

Inventario de emisiones de Bogotá

**Contaminantes criterio y carbono negro
2023**

Conoce la estimación de las emisiones generadas en el 2023 por las principales fuentes de contaminación identificadas en la ciudad de Bogotá.



SECRETARÍA DE
AMBIENTE





Carlos Fernando Galán
Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

Adriana Soto Carreño
Secretaria Distrital de Ambiente

Claudia Patricia Galvis Sánchez
Subsecretaria General y de Control Disciplinario

Daniel Ricardo Páez Delgado
Director de Control Ambiental

Andrea Corzo Álvarez
Subdirectora de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

AUTORES

Edison Yesid Ortiz Durán
Líder del Sistema de Modelación
Atmosférica de Bogotá

July Andrea Vásquez Ramírez
Diego Roberto Rojas Neisa
Sistema de Modelación Atmosférica de Bogotá

Zuly Jasbleidy Ávila Ardila
Aidy Carrillo Cubides
Juan Sebastián Montealegre
Andrea Carolyna Salas Burgos
Grupo del Plan Estratégico para la
Gestión Integral de la Calidad del Aire de Bogotá

Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-
© Octubre de 2025, Bogotá – Colombia
Inventario de emisiones de Bogotá, Contaminantes Criterio y Carbono Negro
Año: 2023



CONTENIDO

1.	RESUMEN EJECUTIVO.....	1
1.1.	Resumen del consolidado de emisiones para el año 2023	1
1.2.	Comportamiento de las emisiones de PM _{2.5} por localidades.....	9
1.3.	Ideas Clave en el comportamiento de las emisiones por tipo de fuente	10
1.3.1.	Combustión en Fuentes Fijas industriales	10
1.3.2.	Fuentes Fijas residenciales	11
1.3.3.	Fuentes Móviles en Ruta (Vehículos en carretera).....	11
1.3.4.	Fuentes Móviles en Ruta (Vehículos en carretera).....	12
1.3.5.	Incendios y Quemados a cielo abierto	12
1.3.6.	Material Resuspendido proveniente del tránsito en vías	12
1.3.7.	Desgaste de Frenos y Llantas	13
1.3.8.	Manipulación de materiales en construcción.....	13
1.3.9.	Manipulación de materiales en canteras.....	13
1.4.	Incertidumbre asociada a las estimaciones de emisiones de PM _{2.5}	14
2.	INTRODUCCIÓN.....	15
2.1.	Dinámica de la contaminación en la atmósfera.....	16
2.2.	Inventario de emisiones y su utilidad para la ciudad	18
2.3.	Fuentes de emisión identificadas en Bogotá	19
2.3.1.	Fuentes de emisión externas	19
2.3.2.	Fuentes de emisión locales.....	20
3.	CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIONES EN BOGOTÁ	22
3.1.	Fuentes fijas industriales	22
3.2.	Fuentes residenciales.....	30
3.3.	Incendios locales.....	30
3.4.	Fuentes móviles en carretera	37
3.4.1.	Categorías Vehiculares	37
3.4.2.	Cantidad de Vehículos.....	38
3.4.3.	Flujos Vehiculares.....	38
3.5.	Malla vial de la ciudad.....	40
3.6.	Construcciones	41
3.7.	Canteras	44
4.	EMISIONES POR COMBUSTIÓN	46
4.1.	Inventario de emisiones por combustión de fuentes fijas industriales	46
4.1.1.	Inventario de emisiones Bottom-Up.....	46
4.1.2.	Resultados históricos de los inventarios de emisiones por combustión en las fuentes fijas industriales	59
4.2.	Inventario de Emisiones por combustión de Fuentes Fijas Residenciales	63
4.2.1.	Inventario de emisiones Top-Down.....	64

4.3.	Inventario de emisiones por combustión de fuentes móviles en ruta (vehículos en carretera)	65
4.3.1.	Inventario de emisiones Top-Down.....	66
4.3.2.	Inventario de emisiones Bottom-Up.....	68
4.3.3.	Comparación entre metodologías de estimación Top-Down y Bottom-Up	76
4.3.4.	Resultados históricos de inventarios de emisión por combustión de fuentes móviles en carretera	78
4.3.5.	Evolución de las emisiones del Sistema Integrado de Transporte Público – SITP..	81
4.4.	Inventario de emisiones por combustión en fuentes móviles fuera de ruta (Maquinaria amarilla)	82
4.4.1.	Inventario de emisiones Top-Down.....	83
4.5.	Inventario de emisiones por combustión en incendios y quemas a cielo abierto .	83
4.5.1.	Inventario de emisiones Bottom-Up.....	83
4.5.2.	Resultados históricos de inventarios de emisión por combustión en incendios y quemas a cielo abierto	90
4.6.	Inventario de emisiones para otras fuentes de combustión	93
5.	EMISIONES POR RESUSPENSIÓN DE MATERIALES EN SUPERFICIES.....	94
5.1.	Inventario de emisiones por resuspensión de material por tránsito en vías	94
5.1.1.	Inventario de emisiones Bottom-up	94
5.1.2.	Resultados históricos de los inventarios de emisiones por resuspensión de material particulado en vías	99
6.	EMISIONES POR DESGASTE DE FRENOS Y LLANTAS EN FUENTES MOVILES	101
6.1.	Inventario de emisiones por desgaste de frenos y llantas	101
6.1.1.	Inventario de emisiones Bottom-up	101
6.1.2.	Resultados históricos de los inventarios de emisiones generadas por desgaste de frenos y llantas	105
7.	EMISIONES POR MANIPULACIÓN DE MATERIALES.....	107
7.1.	Inventario de emisiones por manipulación de materiales en construcciones.....	107
7.1.1.	Inventario de emisiones Bottom-up	107
7.1.2.	Resultados Históricos de los inventarios de emisiones generadas por construcciones.....	109
7.2.	Inventario de emisiones por manipulación de materiales en canteras.....	110
7.2.1.	Inventario de emisiones Bottom-up	111
7.2.2.	Resultados históricos de los inventarios de emisiones generadas por canteras ..	113
7.3.	Inventario de emisiones por manipulación de materiales para otras fuentes	113
8.	EMISIONES POR EVAPORACIÓN	114
8.1.	Emisiones asociadas a la evaporación en fuentes biogénicas	114
8.2.	Emisiones asociadas a la evaporación en fuentes comerciales	115
9.	INVENTARIO CONSOLIDADO DE EMISIONES	116
9.1.	Desagregación espacial de las emisiones totales	119
9.2.	Resultados históricos de los inventarios de emisiones totales para PM _{2.5}	125



9.3.	Inventario de Emisiones en categorías IPCC.....	128
9.4.	Incertidumbre en las estimaciones de las emisiones de PM _{2.5}	135
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Participación porcentual en emisiones de PM _{2.5} por tipo de fuente – Resumen Ejecutivo	5
Figura 2. Evolución de los contaminantes en la atmósfera	18
Figura 3. Utilidad de los inventarios de emisiones	18
Figura 4. Fuentes de emisiones identificadas para la ciudad de Bogotá.....	20
Figura 5. Distribución por tipo de fuente de combustión y combustión + proceso.....	23
Figura 6. Distribución de las fuentes fijas por tipo de combustible usado	23
Figura 7. Participación de uso de combustibles por sectores productivos.....	24
Figura 8. Distribución de fuentes y establecimientos por localidad	27
Figura 9. Ubicación de las fuentes fijas industriales para el año 2023	28
Figura 10. Distribución de uso de combustibles por localidad	29
Figura 11. Consumo energético de gas natural por fuentes residenciales en la ciudad de Bogotá	30
Figura 12. Duración total (A) y número de eventos (B) de incendios y quemas a cielo abierto en Bogotá para el año 2023.....	31
Figura 13. Duración individual de eventos por tipo de quema o de incendios para el año 2023	32
Figura 14. Distribución de la duración de incendios.....	33
Figura 15. Densidad de tipo de incendios de la ciudad de Bogotá	34
Figura 16. Duración total de eventos de quemas e incendios por localidad para el 2023.....	35
Figura 17. Número de eventos de quemas e incendios por localidad para el 2023	35
Figura 18. Datos históricos por tipo de incendios del 2018 a 2023	36
Figura 19. Datos históricos por tipo de incendios del 2018 a 2023 por meses	37
Figura 20. Cantidad de vehículos por categoría vehicular del inventario <i>Top-Down</i>	38
Figura 21. Cantidad de vehículos promedio por hora, por km de vía, entre los años 2018 a 2023	39
Figura 22. Estado de la malla vial para el año 2021.....	41
Figura 23. Ubicación de construcciones identificadas en el inventario 2023.	42
Figura 24. Distribución por tipo de construcción año 2023.....	43
Figura 25. Cantidad de construcciones por localidad año 2023.....	44
Figura 26. Ubicación de canteras activas en la ciudad de Bogotá para el año 2023	45
Figura 27. Participación de cada una de las categorías de fuentes fijas industriales en las emisiones generadas por combustión diferenciadas por contaminante	49
Figura 28. Participación porcentual de las emisiones por combustión contaminantes de fuentes fijas, diferenciadas por sectores productivos.....	52
Figura 29. Distribución espacial de las emisiones PM _{2.5} (izquierda) y PM ₁₀ (derecha) generadas por la quema de combustibles (combustión) en fuentes fijas industriales	53
Figura 30. Distribución espacial de las emisiones de NO _x (izquierda) y COV (derecha) generadas por combustión en fuentes fijas industriales	53



Figura 31. Distribución espacial de las emisiones de SO ₂ (izquierda) y CO (derecha) generadas por combustión en fuentes fijas industriales	54
Figura 32. Distribución espacial de las emisiones de BC generadas por combustión en fuentes fijas industriales	54
Figura 33. Participación por localidad de las emisiones de PM _{2.5} por combustión en fuentes fijas industriales.....	55
Figura 34. Participación por localidad de las emisiones de PM ₁₀ por combustión en fuentes fijas industriales.....	55
Figura 35. Participación por localidad de las emisiones de BC por combustión en fuentes fijas industriales.....	56
Figura 36. Participación por localidad de las emisiones de CO por combustión en fuentes fijas industriales.....	56
Figura 37. Participación por localidad de las emisiones de COV por combustión en fuentes fijas industriales.....	57
Figura 38. Participación por localidad de las emisiones de NO _x por combustión en fuentes fijas industriales.....	57
Figura 39. Participación por localidad de las emisiones de SO ₂ por combustión en fuentes fijas industriales.....	58
Figura 40. Perfiles horarios de emisiones para fuentes fijas industriales	59
Figura 41. Emisiones históricas de PM ₁₀ de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, sin considerar la remoción por SCE, periodo 2008-2023	61
Figura 42. Emisiones históricas de PM ₁₀ de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, considerando la remoción por SCE, periodo 2018-2023	62
Figura 43. Emisiones históricas de PM _{2.5} de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, considerando la remoción por SCE, periodo 2018-2023	62
Figura 44. Histórico de emisiones residenciales	64
Figura 45. Participación porcentual por categoría vehicular de las emisiones de PM _{2.5} estimada con enfoque <i>Top-Down</i> para el año 2023	67
Figura 46. Participación porcentual en emisiones por categoría vehicular para los contaminantes criterio estimada con enfoque <i>Top-Down</i> para el año 2023	67
Figura 47. Participación porcentual por categoría vehicular de las emisiones de PM _{2.5} , estimada con enfoque <i>Bottom-Up</i> , año 2023.	69
Figura 48. Participación porcentual en emisiones por categoría vehicular para los contaminantes criterio y Black carbón, estimada con enfoque <i>Bottom-Up</i> para el año 2023	69
Figura 49. Distribución espacial de emisiones PM _{2.5} y PM ₁₀ generadas por fuentes móviles por combustión en 2023	70
Figura 50. Distribución espacial de emisiones de CO y SO _x generadas por fuentes móviles por combustión en 2023	71
Figura 51. Distribución espacial de emisiones de NO _x y COV generadas por fuentes móviles por combustión en 2023	71



Figura 52. Distribución espacial de emisiones de BC generadas por fuentes móviles por combustión en 2023	72
Figura 53. Distribución por localidad de emisiones de PM _{2.5} generadas por las fuentes móviles por combustión.....	72
Figura 54. Distribución por localidad de emisiones de PM ₁₀ generadas por las fuentes móviles por combustión.....	73
Figura 55. Distribución por localidad de emisiones de COV generadas por las fuentes móviles por combustión.....	73
Figura 56. Distribución por localidad de emisiones de SO _x generadas por las fuentes móviles por combustión.....	73
Figura 57. Distribución por localidad de emisiones de NO _x generadas por las fuentes móviles por combustión.....	74
Figura 58. Distribución por localidad de emisiones de CO generadas por las fuentes móviles por combustión.....	74
Figura 59. Distribución por localidad de emisiones de BC generadas por las fuentes móviles por combustión.....	74
Figura 60. Distribución horaria de emisiones generadas por las fuentes móviles por combustión del año 2023 por categoría vehicular	76
Figura 61. Comparación de emisiones de fuentes móviles en carretera del año 2023 estimadas enfoques Top-Down y Bottom-Up.....	77
Figura 62. Emisiones de 2018 a 2023 de PM _{2.5} estimadas con enfoque <i>Top-Down</i>	80
Figura 63. Histórico de emisiones del Sistema Integrado de Transporte Público entre el 2018 y el 2023.....	82
Figura 64. Participación en las emisiones de incendios y quemas a cielo abierto por cada categoría y contaminante	84
Figura 65. Distribución espacial de las emisiones PM _{2.5} (izquierda) y PM ₁₀ (derecha) generadas por incendios y quemas a cielo abierto	85
Figura 66. Distribución espacial de las emisiones de NO _x (izquierda) y COV (derecha) generadas por incendios y quemas a cielo abierto	86
Figura 67. Distribución espacial de las emisiones de SO ₂ (izquierda) y CO (derecha) generadas por incendios y quemas a cielo abierto	86
Figura 68. Distribución espacial de las emisiones de BC generadas por incendios y quemas a cielo abierto	87
Figura 69. Participación por localidad de las emisiones de PM _{2.5} para quemas e incendios	87
Figura 70. Participación por localidad de las emisiones de PM ₁₀ para quemas e incendios.....	88
Figura 71. Participación por localidad de las emisiones de BC para quemas e incendios.....	88
Figura 72. Participación por localidad de las emisiones de CO para quemas e incendios	88
Figura 73. Participación por localidad de las emisiones de COV para quemas e incendios	89
Figura 74. Participación por localidad de las emisiones de NO _x para quemas e incendios.....	89
Figura 75. Participación por localidad de las emisiones de SO _x para quemas e incendios.....	89
Figura 76. Emisiones de incendios y quemas a cielo abierto por mes, para el año 2023	90

Figura 77. Emisiones históricas de incendios y quemas a cielo abierto.....	91
Figura 78. Distribución de las emisiones por resuspensión de material particulado por tipología vehicular (A) y por tipo de vía (B)	96
Figura 79. Distribución espacial de las emisiones de PM ₁₀ (izquierda) y PM _{2.5} (derecha) por resuspensión de material particulado en vías	97
Figura 80. Distribución espacial de las emisiones de BC por resuspensión de material particulado en vías.....	97
Figura 81. Participación por localidad de las emisiones de PM ₁₀ para resuspensión de material particulado en vía	98
Figura 82. Participación por localidad de las emisiones de PM _{2.5} para resuspensión de material particulado en vía	98
Figura 83. Participación por localidad de las emisiones de BC para resuspensión de material particulado en vía	98
Figura 84. Perfiles horarios de emisiones de material particulado para fuentes móviles por material resuspendido.....	99
Figura 85. Evolución histórica de emisiones de material particulado para fuentes móviles por material resuspendido.....	100
Figura 86. Distribución de las emisiones por desgaste de frenos y llantas, según tipología vehicular	102
Figura 87. Distribución espacial de las emisiones PM ₁₀ y PM _{2.5} generadas por desgaste de frenos y llantas.....	103
Figura 88. Distribución espacial de las emisiones de BC generadas por desgaste de frenos y llantas.	103
Figura 89. Participación por localidad de las emisiones de PM ₁₀ generas por desgaste de frenos y llantas.....	104
Figura 90. Participación por localidad de las emisiones de PM _{2.5} generas por desgaste de frenos y llantas.....	104
Figura 91. Participación por localidad de las emisiones de BC generas por desgaste de frenos y llantas	104
Figura 92. Perfiles horarios de emisiones de material particulado para fuentes móviles por desgaste de llantas y frenos	105
Figura 93. Perfiles horarios de emisiones de material particulado para fuentes móviles por desgaste de llantas y frenos	106
Figura 94. Distribución espacio temporal de las PM ₁₀ (izquierda) y PM _{2.5} (derecha) por resuspensión de construcciones	108
Figura 95. Participación por localidad de las emisiones de PM _{2.5} generas por construcciones....	109
Figura 96. Participación por localidad de las emisiones de PM ₁₀ generas por construcciones....	109
Figura 97. Emisiones PM _{2.5} y PM ₁₀ entre 2018 a 2023, generadas por manipulación de materiales en construcciones	110
Figura 98. Distribución espacio temporal de las emisiones de PM ₁₀ (izquierda) y PM _{2.5} (derecha) por manipulación de materiales en canteras	111



Figura 99. Distribución espacio temporal de las emisiones de BC por manipulación de materiales en canteras	112
Figura 100. Participación porcentual en emisiones de PM _{2.5} por tipo de fuente en el 2023	118
Figura 101. Participación porcentual del total de emisiones de contaminantes criterio y BC por tipo de fuente para el año 2023	119
Figura 102. Distribución espacial de las emisiones totales PM ₁₀ (izquierda) y PM _{2.5} (derecha) generadas en el año 2023	120
Figura 103. Distribución espacial de las emisiones NO _x (izquierda) y CO (derecha) generadas en el año 2023.....	121
Figura 104. Distribución espacial de las emisiones COV (izquierda) y SO _x (derecha) generadas en el año 2023.....	121
Figura 105. Distribución espacial de las emisiones de BC generadas en el año 2023	122
Figura 106. Participación localidad en la emisión de PM _{2.5}	122
Figura 107. Participación localidad en la emisión de PM ₁₀	123
Figura 108. Participación localidad en la emisión de NO _x	123
Figura 109. Participación localidad en la emisión de CO	123
Figura 110. Participación localidad en la emisión de SO _x	124
Figura 111. Participación localidad en la emisión de COV	124
Figura 112. Participación localidad en la emisión de BC	124
Figura 113. Comparación de la participación porcentual de las emisiones de PM _{2.5} por tipo de fuente para los años 2018 a 2023	125
Figura 114. Comparación de participación porcentual y total de emisiones de PM _{2.5} entre 2018 a 2023, por subcategorías de fuentes de emisión.....	128
Figura 115. Distribución porcentual de las emisiones totales para 2023 por categorías IPCC.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Inventario Consolidado de emisiones para la ciudad para el año 2023, en toneladas – Resumen Ejecutivo	4
Tabla 2. Emisiones históricas totales de PM _{2.5} para los años 2018 a 2023, en toneladas – Resumen Ejecutivo	7
Tabla 3. Comportamiento de PM _{2.5} por localidades – Resumen Ejecutivo.....	9
Tabla 4. Incertidumbre de PM _{2.5} para 2023 – Resumen Ejecutivo	14
Tabla 5. Participación porcentual de uso de combustibles por sectores productivos	25
Tabla 6. Categorías Vehiculares homologadas dentro del inventario.....	37
Tabla 7. Longitud de polígonos por tipo de vía, en km.	40
Tabla 8. Caracterización de las canteras activas para el año 2023	45
Tabla 9. Fuentes de Combustión en la ciudad de Bogotá para el año 2023.....	46
Tabla 10. Inventario de emisiones por combustión 2023 – Fuentes fijas por categoría.....	47
Tabla 11. Emisiones históricas de PM ₁₀ de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, sin considerar la remoción por SCE, periodo 2008-2023	61
Tabla 12. Emisiones históricas de PM ₁₀ y PM _{2.5} de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, considerando la remoción por Sistemas de Control de Emisiones, periodo 2018-2023	63
Tabla 13. Emisiones residenciales de los años 2018 a 2023.....	64
Tabla 14. Inventario de emisiones de combustión por las fuentes móviles en carretera por categoría vehicular para el año 2023 con enfoque <i>Top-Down</i>	66
Tabla 15. Inventario de emisiones de combustión por las fuentes móviles en carretera por categoría vehicular para el año 2023 con enfoque <i>Bottom-Up</i>	68
Tabla 16. Emisiones de PM _{2.5} y participación por categoría vehicular estimadas con metodología <i>Top-Down en toneladas/año</i>	78
Tabla 17. Factores de actividad vehicular promedio por categoría (km/veh-año) estimadas en metodología <i>Top-Down a partir de reportes de CDA</i>	81
Tabla 18. Histórico de emisiones de Contaminantes Criterio y <i>Carbono Negro</i> en maquinaria Amarilla.....	83
Tabla 19. Inventario de emisiones por incendios y quemas a cielo abierto para el 2023.....	83
Tabla 20. Histórico de emisiones por incendios y quemas a cielo abierto	92
Tabla 21. Resultados de emisiones para otras fuentes de combustión en Bogotá.....	93
Tabla 22. Fuentes de Resuspensión de materiales en superficies para el año 2023 identificadas en Bogotá.	94
Tabla 23. Inventario de emisiones por resuspensión de material particulado en vías, según estado de la malla vial para el año 2023	95
Tabla 24. Inventario de emisiones de material particulado resuspendido en vías por categoría vehicular para el año 2023	95
Tabla 25. Emisiones de material resuspendido en vías para los años 2018, 2020, 2021 y 2022 ..	100
Tabla 26. Emisiones por desgaste de frenos y llantas para el año 2023 por categoría vehicular	101



Tabla 27. Emisiones de PM _{2.5} por el desgaste de frenos y llantas para los años 2018, 2020, 2021, 2022 y 2023.....	106
Tabla 28. Fuentes de procesos y manipulación de materiales para el año 2023 identificadas en Bogotá	107
Tabla 29. Emisiones del año 2023 generadas por construcciones.....	107
Tabla 30. Emisiones históricas 2018, 2020, 2021, 2022 y 2023 generadas por construcciones ...	110
Tabla 31. Histórico de cantidades y áreas de canteras	111
Tabla 32. Emisiones por localidades provenientes de canteras 2023.	112
Tabla 33. Resultados de inventario de emisiones de Canteras año 2012, 2021, 2022 y 2023	113
Tabla 34. Resultados de emisiones para otras fuentes de combustión en Bogotá.....	113
Tabla 35. Fuentes de emisión por evaporación para el año 2023 identificadas en Bogotá	114
Tabla 36. Resultados de emisiones por evaporación en fuentes biogénicas en Bogotá	115
Tabla 37. Resultados de emisiones por evaporación en fuentes comerciales en Bogotá	115
Tabla 38. Inventario Consolidado de emisiones para la ciudad representativo para el año 2023, en toneladas.....	116
Tabla 39. Consolidado de emisiones de PM _{2.5} en toneladas, por tipo de fuente para los años 2018 a 2023	127
Tabla 40. Homologación de emisiones de contaminantes criterio y <i>carbón negro</i> a las categorías IPCC	129
Tabla 41. Inventario de emisiones por categorías IPCC para el año 2023	130
Tabla 42. Inventario de emisiones por categorías GPC para el año 2023	134
Tabla 43. Incertidumbre de PM _{2.5} para 2023.....	135



LISTA DE ACRÓNIMOS

BC	Carbono Negro (por sus siglas en ingles <i>Black Carbon</i>)
CAC	Centros de Almacenamiento de Combustible
CALAC	programa Clima y Aire limpio en Ciudades de América Latina
CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
CDA	Centros de Diagnóstico Automotor
CO	Monóxido de Carbono
COV	Compuestos orgánicos volátiles
EDS	Estaciones de Servicio
EPA	por sus siglas en ingles <i>Environmental Protection Agency</i>
IDU	Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático (Por sus siglas en inglés de <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
IVE	Por sus siglas en ingles <i>International Vehicle Emissions</i>
MEDINA	Modelo Estratégico para el Desarrollo de Inventarios de emisiones Atmosféricas
MOVES	por sus siglas en ingles <i>Motor Vehicle Emission Simulator</i>
NO _x NO ₂	Óxidos de Nitrógeno Dióxido de Nitrógeno
PM _{2.5}	Material Particulado con diámetro aerodinámico menor a 2.5 µm
PM ₁₀	Material Particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 µm
RDA	Registro Distrital Automotor
RMCAB	Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá
SCE	Sistema de Control de Emisiones
SDA	Secretaría Distrital de Ambiente
SDM	Secretaría Distrital de Movilidad
SIFF	Sistema Integrado de Información de Fuentes Fijas
SIMUR	Sistema Integrado de Información sobre Movilidad Urbana Regional
SITP	Sistema Integrado de Transporte Público
SMA	Sistema de Modelación Atmosférica de Bogotá
SO _x SO ₂	Óxidos de Azufre Dióxido de Azufre
SVCA	Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire



ANEXOS

Anexo 1. Metodología de estimación de emisiones de contaminantes criterio y Carbono Negro

Anexo 2. Comportamiento histórico espacial de los contaminantes criterio y Carbono Negro

Anexo 3. Incertidumbre asociada a las emisiones de $PM_{2.5}$

Anexo 4. Ficha Técnica del Modelo de emisiones MEDINA

1. RESUMEN EJECUTIVO

1.1. Resumen del consolidado de emisiones para el año 2023

Los inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos constituyen una herramienta fundamental para la gestión de la calidad del aire. Su propósito principal es cuantificar las emisiones de gases y partículas generadas en una zona específica, como resultado de diversas actividades humanas —industriales, comerciales y residenciales—, así como de fuentes naturales, tales como incendios forestales o la resuspensión de partículas del suelo.

Esta información permite a las autoridades ambientales contar con un diagnóstico técnico detallado del estado de la calidad del aire en su jurisdicción. Además, los inventarios sirven como base para la formulación de políticas públicas y estrategias de mitigación, al proporcionar datos confiables y actualizados sobre las fuentes emisoras. También son insumos esenciales para la modelación y pronóstico de la calidad del aire, así como para evaluar la efectividad de las acciones implementadas en el tiempo.

El documento presenta una clasificación detallada de las emisiones urbanas en Bogotá, basada en los mecanismos que las generan. Esta clasificación permite entender con mayor precisión las fuentes de contaminación atmosférica en la ciudad y orientar acciones de control más efectivas.

Las emisiones se agrupan en cinco categorías principales: combustión, evaporación, resuspensión de materiales en superficies, manipulación de materiales, y desgaste de frenos y llantas.

En el caso de las emisiones por combustión, se incluyen tanto fuentes móviles en ruta —vehículos de transporte que ruedan sobre las vías de la ciudad—, como fuentes móviles fuera de ruta —maquinaria de construcción e industrial—. También se consideran las fuentes fijas, que abarcan actividades industriales, comerciales y residenciales; finalmente se incluyen las quemas a cielo abierto e incendios —incluidos incendios forestales—, cuyo mecanismo de emisión también se constituye en la combustión.

Las emisiones por evaporación comprenden tanto fuentes biogénicas —es decir, aquellas generadas naturalmente por la vegetación— como fuentes asociadas a actividades humanas, como las estaciones de servicio y los centros de almacenamiento de combustibles.

En cuanto a la resuspensión de material en superficies, se identifican emisiones generadas por el tránsito vehicular en vías principales y secundarias, que levantan partículas acumuladas en las superficies de las vías.

Las emisiones derivadas del manejo de materiales se asocian principalmente a actividades en canteras y obras de construcción, y se agrupan junto con las emisiones de procesos industriales.

Finalmente, las emisiones por desgaste de frenos y llantas corresponden al uso de estos componentes en vehículos que circulan por carretera, y que en la literatura hace parte de las



emisiones generadas por vehículos diferentes a las emitidas por los ductos de escape (emisiones *non-exhaust*)

Para la elaboración de este inventario, se emplearon dos enfoques metodológicos complementarios. El primero, de tipo *Bottom-Up*, se basa en información detallada y desagregada espacial y temporalmente sobre la ciudad, lo que permite estimaciones más precisas y localizadas. El segundo, de tipo *Top-Down*, utiliza datos representativos a nivel urbano para realizar estimaciones con una resolución temporal anual.

Las estimaciones *Bottom-Up* son generadas por el modelo de emisiones MEDINA¹ desarrollado por la Secretaría Distrital de Ambiente para suplir las necesidades de emisiones para los modelos de pronóstico de calidad de aire de la entidad, cuyos resultados son consolidados en este documento, mientras que las estimaciones *Top-down* generalmente se realizan en hojas de cálculo de manera independiente, pero estandarizada. Independiente del enfoque metodológico, dentro de los anexos de este documento se encuentra detallada la metodología de estimación de emisiones para cada una de las fuentes de emisión publicadas en este documento.

Para estimar las emisiones por combustión de fuentes móviles en carretera, se aplicaron metodologías tanto *Top-Down* como *Bottom-Up*, con el fin de obtener resultados más robustos y representativos de la magnitud real de estas emisiones. La metodología *Top-Down* se basó en el uso del modelo internacional *COPERT* (versión 5.8), considerando factores como el número de vehículos, la distancia recorrida representativa por cada tipo de vehículo y factores de expansión que permiten ajustar el número de registros de vehículos de la ciudad a la dinámica de transporte local y regional. Por su parte, la metodología *Bottom-Up* utilizó también el modelo *COPERT*, pero incorporó datos más detallados como los flujos vehiculares por vía y otros insumos generados por el modelo MEDINA. Es importante destacar que las estimaciones para el periodo 2018–2023 incluidas en este informe incorporan una actualización clave: se reemplazaron los factores de emisión del modelo IVE por los del modelo *COPERT*; esta decisión se basó en nueva evidencia técnica obtenida a través del proyecto FECOC+ de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), que mostró diferencias significativas en la magnitud de las emisiones medidas además de nuevos avances en la clasificación de la flota vehicular hecha por la Secretaría Distrital de Ambiente. Por ello, las cifras actuales pueden diferir de las reportadas en inventarios anteriores.

En cuanto a las fuentes fijas industriales, la estimación se realiza exclusivamente mediante un enfoque *Bottom-Up*, utilizando datos de consumo de combustible, tipo de tecnología, factores de emisión específicos y eficiencias de los sistemas de control. Esta información es gestionada a través del Sistema Integrado de Información de Fuentes Fijas (SIIFF), lo que permite una caracterización detallada y georreferenciada de las emisiones.

El documento también aborda emisiones no convencionales. Las emisiones por desgaste de frenos y llantas se estiman con base en factores del modelo *COPERT* y flujos vehiculares

¹ Modelo Estratégico para el Desarrollo de Inventarios de emisiones Atmosféricas - MEDINA



desagregados espacial y temporalmente. Las emisiones por resuspensión de material particulado se modelan considerando el tipo de vía (pavimentada o no), condiciones meteorológicas (precipitación), cobertura vegetal y características del tráfico. Para las actividades de construcción y extracción en canteras, se utilizan metodologías específicas basadas en área intervenida, duración de las obras y tipo de material.

En el ámbito residencial, se estiman las emisiones derivadas del uso de gas natural en hogares, utilizando factores de emisión por unidad de energía (g/GJ) y datos de consumo anual.

La estimación de carbono negro se realiza mediante la especiación química del material particulado fino (PM_{2.5}), utilizando bases de datos como *SPECIATE* (US-EPA), *MOVES* y la guía europea para la estimación de emisiones del año 2023. Se aplican fracciones máscas específicas para cada tipo de fuente (fija, móvil, desgaste y resuspensión).

Por otro lado, se incluye una metodología para estimar emisiones derivadas de quemas e incendios, diferenciando entre incendios vehiculares, quema de residuos sólidos, llantas, biomasa (agrícola y forestal) e infraestructura. Cada tipo de evento cuenta con factores de emisión específicos, y las emisiones se calculan en función del tiempo de ocurrencia, área afectada o número de elementos quemados.

Este inventario actualiza la información de emisiones atmosféricas para el periodo 2018–2023, incorporando mejoras metodológicas clave, especialmente en las fuentes móviles en carretera y para el desgaste de frenos y llantas. En estas, se actualizaron los factores de emisión por combustión teniendo como referencia mediciones recientes realizadas a nivel nacional, lo que permite una estimación más precisa y representativa de la realidad local.

Durante este periodo también se actualizaron otras fuentes relevantes, como las emisiones de fuentes fijas industriales y residenciales, la resuspensión de material en vías, las emisiones asociadas a construcciones y canteras, y, por primera vez desde 2014, las emisiones por incendios en la ciudad.

Por otro lado, algunas fuentes como las emisiones de fuentes fijas comerciales, estaciones de servicio, terrenos agrícolas y fuentes biogénicas mantienen los datos de inventarios anteriores (2012 o 2014), al no haberse identificado nueva información que justifique una actualización.

Como resultado de diversas estimaciones, se presenta a continuación (Tabla 1) el inventario representativo para el año 2023 de las emisiones de diferentes contaminantes, incluyendo material particulado con diámetro igual o menor a 10 micrómetros (PM₁₀), material particulado con diámetro igual o menor a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), el contaminante climático de vida corta carbono negro o (BC por su acrónimo en inglés).

Tabla 1. Inventario Consolidado de emisiones para la ciudad para el año 2023, en toneladas – Resumen Ejecutivo

Mecanismo de Emisión	Fuente de Emisión	Actualización	Metodología	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	CO	NO _x	SO _x	COV
Combustión	Fuentes Móviles en Carretera	2023	Top Down	824.6	697.3	249.7 ^a	86631.0	29572.9	305.0	13919.8
	Fuentes Móviles Fuera de Carretera	2023	Top Down	438.0	424.8	279.9	2782.0	5311.5	15.5	527.0
	Fuentes Fijas Industriales	2023	Bottom Up	294.0	82.4	16.5	510.6	1551.2	2222.4	66.0
	Quemas e Incendios	2023	Bottom Up	134.8	78.2	8.6	732.9	122.0	3.5	67.4
	Fuentes Fijas Comerciales	2014	Bottom Up	128.2	66.6	4.3	2534.4	67.3	190.3	104.7
	Fuentes Fijas Residenciales	2023	Top Down	2.8	2.8	0.2	315.5	602.4	4.3	25.8
Desgaste de Frenos y Llantas	Fuentes Móviles en Carretera	2023	Bottom Up	915.0	452.1	50.9	NA	NA	NA	NA
Evaporación	Fuentes Biogénicas	2012	Bottom Up	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2040.0
	Fuentes Fijas Comerciales	2012	Bottom Up	NA	NA	NA	NA	NA	NA	23888.5
Manipulación de Materiales	Actividades de Construcción	2023	Bottom Up	1360.7	418.7	0.0	NA	NA	NA	NA
	Actividades en Canteras	2023	Bottom Up	523.0	238.2	3.5	NA	NA	NA	NA
	Actividades Agrícolas	2012	Bottom Up	5.0	NE	NE	NA	NA	NA	NA
	Fuentes Fijas Industriales	2023	Bottom Up	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Resuspensión de Material en Superficies	Tránsito en vías	2023	Bottom Up	14840.8	1632.5	4.0	NA	NA	NA	NA
Total				19466.9	4093.7	617.5	93506.4	37227.2	2741.0	40639.2

NA: No Aplica, NE: No estimado

a. BC puesto en la tabla como resultado de la estimación Bottom-Up

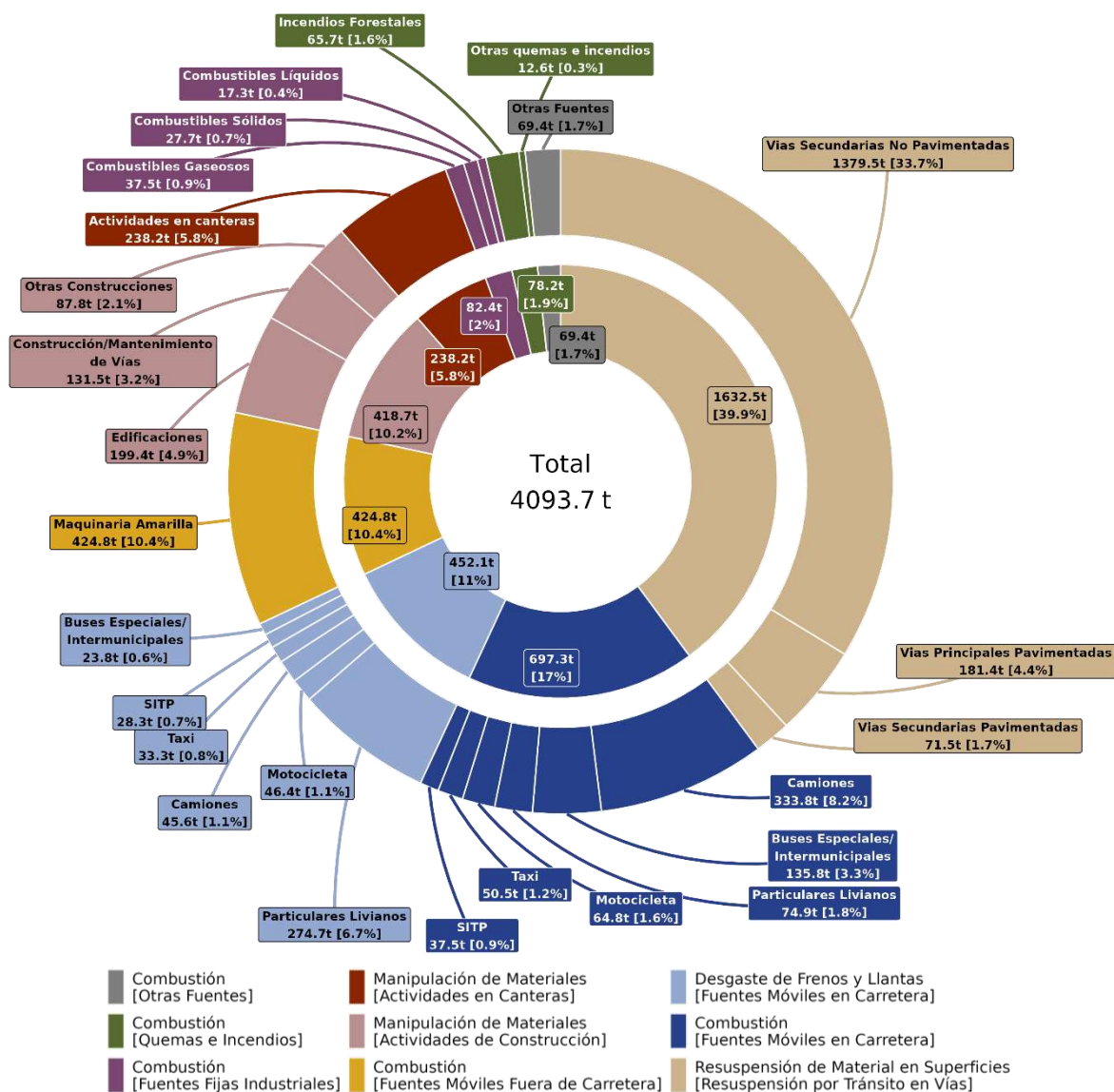
Fuente: Elaboración propia

En 2023, la principal fuente de emisión de PM_{2.5} en Bogotá fue la resuspensión de material, con una participación del 40%. Le siguieron la combustión en fuentes móviles en carretera (17%), el desgaste de frenos y llantas (11%), la maquinaria amarilla (10%) y la manipulación de materiales en las construcciones (10%) y en las canteras (6%). Finalmente, las fuentes fijas industriales, las quemas e incendios y otras fuentes, representaron en conjunto el 6% del total.

Aunque las emisiones por el desgaste de frenos y llantas, y la combustión se analizan de forma separada por su mecanismo de generación, en su conjunto son generadas por el uso de los vehículos en carretera, en ese sentido, las emisiones totales generadas por este tipo de fuentes tienen un peso conjunto del 28% en el inventario consolidado de PM_{2.5}.

En el caso de la resuspensión de material, el 84% de las emisiones de PM_{2.5} se originaron por el tránsito vehicular en vías secundarias no pavimentadas, mientras que el 16% restante

correspondió a la resuspensión por tránsito en vías pavimentadas, tanto principales, como secundarias.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1. Participación porcentual en emisiones de PM_{2.5} por tipo de fuente – Resumen Ejecutivo

Respecto a la combustión en fuentes móviles en carretera, los camiones fueron el principal responsable, con un 48% de las emisiones de PM_{2.5}. Le siguieron los buses especiales e intermunicipales con un 20%, los vehículos particulares livianos² con un 11%, las motocicletas con un 9%, los taxis con un 7% y el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) con un 5%.

Por otro lado, en el desgaste de frenos y llantas de las fuentes móviles en carretera los vehículos particulares livianos representan el 61% de las emisiones de PM_{2.5}, seguido de las

² Se consideran vehículos particulares livianos, los automóviles, camperos y camionetas de uso particular



motocicletas con un 10% camiones con un 10%, taxis con un 8%, el SITP con un 6% y los buses especiales e intermunicipales con un 5%.

En cuanto a la manipulación de materiales en la construcción, el 48% de las emisiones de $PM_{2.5}$ se atribuyeron a actividades de construcción de edificaciones, el mientras que el 31% de las emisiones fueron atribuidas a actividades de construcción y mantenimiento de vías, y el remanente de 21% es asignado a otro tipo de construcciones.

En las emisiones de $PM_{2.5}$ asociadas a combustión de fuentes fijas industriales, el 46% se estimó en fuentes industriales que funcionan con combustibles gaseosos (gas natural y gas licuado de petróleo), 34% se asoció a fuentes que funcionan con combustibles sólidos (carbón, madera) y el 12% restante corresponde a las fuentes fijas que funcionan con combustibles líquidos (diésel, aceite tratado, entre otros).

Finalmente, de las emisiones de $PM_{2.5}$ asociadas a la combustión en quemas e incendios, el 84% se generó en incendios forestales, y el 16% de emisiones restante se distribuyó entre incendios estructurales, vehiculares, y quema a cielo abierto de llantas y residuos.

Entre los años 2022 y 2023, la ciudad de Bogotá registró una reducción del 7% en las emisiones de $PM_{2.5}$ con respecto al 2022, pasando de 4414 toneladas a 4094 toneladas, teniendo una reducción de aproximadamente 320 toneladas entre el 2022 y el 2023.

Las principales categorías que contribuyeron a esta reducción fueron la resuspensión de partículas por tránsito vehicular, la manipulación de materiales en actividades de canteras y la combustión asociada a los camiones. En particular, la disminución en los kilómetros recorridos por vehículos, tanto en vehículos particulares livianos como en camiones, fue un factor determinante en la reducción de emisiones por resuspensión y la combustión de combustible asociado al tráfico vehicular.

En cuanto a las fuentes móviles en carretera, las emisiones de $PM_{2.5}$ pasaron de 768 toneladas en 2022 a 697 toneladas en 2023, lo que representa una reducción de 71 toneladas. Este cambio se explica principalmente por la disminución en la circulación de vehículos de carga. De manera complementaria, el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) también mostró una mejora, con una reducción de 2 toneladas de $PM_{2.5}$, al pasar de 39 toneladas en 2022 a 37 toneladas en 2023.

Por su parte, las emisiones de $PM_{2.5}$ asociadas al desgaste de frenos y llantas se incrementaron de 446 toneladas a 452 toneladas, es decir, un aumento de 6 toneladas atribuido a aportes por el cambio de kilómetros recorridos por vehículos livianos particulares, taxis y buses especiales e intermunicipales. En contraste, las emisiones asociadas a la resuspensión de material de las superficies de las vías por el tránsito en las vías se redujeron de 1706 toneladas a 1632 toneladas

entre el 2022 y el 2023, dinamizado por la disminución del uso de los vehículos particulares en las vías secundarias³.

Tabla 2. Emisiones históricas totales de PM_{2.5} para los años 2018 a 2023, en toneladas – Resumen Ejecutivo

Mecanismo de emisión	Fuente emisión	Fuente específica	2018	2020	2021	2022	2023
Combustión	Fuentes fijas comerciales	Otras Fuentes	66.6	66.6	66.6	66.6	66.6
	Fuentes fijas industriales	Fuentes a combustibles gaseosos	59.6	115.7	109.5	33.2	37.5
		Fuentes a combustibles líquidos	0.6	0.5	0.4	15.2	17.3
		Fuentes a combustibles sólidos	49.4	59.8	29.4	26.0	27.7
		Otras Fuentes	3.3	2.9	3.1	2.9	2.8
	Fuentes fijas residenciales	Otras Fuentes	3.3	2.9	3.1	2.9	2.8
	Fuentes móviles fuera de carretera	Maquinaria amarilla	430.4	372.5	430.4	422.1	424.8
	Fuentes móviles en carretera	Buses Especiales Intermunicipales	150.0	122.7	116.7	135.4	135.8
		Camiones	495.4	391.3	506.5	435.6	333.8
		Motocicleta	41.7	31.6	59.5	63.6	64.8
		Particulares Livianos	83.0	58.7	82.9	75.5	74.9
		SITP	207.2	110.5	43.4	39.2	37.5
		Taxi	46.5	42.0	45.7	49.8	50.5
	Quemas e incendios	Incendios Forestales	32.5	31.1	5.8	105.4	65.7
Otras quemas e incendios		13.0	8.9	23.5	11.8	12.6	
Desgaste de frenos y llantas	Fuentes móviles en carretera	Buses Especiales Intermunicipales	53.9	28.7	22.0	21.9	23.8
		Camiones	56.4	46.5	59.3	51.5	45.6
		Motocicleta	36.2	30.6	42.6	45.3	46.4
		Particulares Livianos	349.7	222.8	300.7	272.5	274.7
		SITP	40.4	25.1	26.9	24.5	28.3
		Taxi	32.1	29.0	31.4	30.0	33.3
Evaporación	Fuentes biogénicas		NA	NA	NA	NA	NA
	Fuentes fijas comerciales	Estaciones de servicio y centros de almacenamiento de combustible	NA	NA	NA	NA	NA
Manipulación de materiales y procesos	Actividades de construcción	Edificaciones	217.4	198.3	217.4	203.5	199.4
		Otras Construcciones	89.2	100.7	89.2	89.7	87.8
		Vías	117.6	68.3	117.6	122.9	131.5
	Actividades en agricultura		NE	NE	NE	NE	NE
	Fuentes Fijas Industriales	Procesos	NE	NE	NE	NE	NE
	Actividades en canteras		428.2	428.2	176.7	364.5	238.2
Resuspensión de material en superficies	Tránsito en vías	Vías Secundarias No Pavimentadas	1659.3	1250.8	1520.6	1454.2	1379.5
		Vías principales pavimentadas	233.2	156.9	191.4	180.7	181.4
		Vías Secundarias Pavimentadas	86.0	61.2	79.8	71.1	71.5
Total			5078.8	4061.8	4399.1	4414.9	4093.7

NA: No Aplica, NE: No estimado

Fuente: Elaboración propia

³ Se debe denotar que hasta la fecha esta dinámica no incluye el cambio del estado de la malla vial debido a la disponibilidad de información

En cuanto a las fuentes móviles en carretera, las emisiones de $PM_{2.5}$ pasaron de 768 toneladas en 2022 a 697 toneladas en 2023, lo que representa una reducción de 71 toneladas. Este cambio se explica principalmente por la disminución en la circulación de vehículos de carga. De manera complementaria, el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) también mostró una mejora, con una reducción de 2 toneladas de $PM_{2.5}$, al pasar de 39 toneladas en 2022 a 37 toneladas en 2023.

Por su parte, las emisiones de $PM_{2.5}$ asociadas al desgaste de frenos y llantas se incrementaron de 446 toneladas a 452 toneladas, es decir, un aumento de 6 toneladas atribuido a aportes por el cambio de kilómetros recorridos por vehículos livianos particulares, taxis y buses especiales e intermunicipales. En contraste, las emisiones asociadas a la resuspensión de material de las superficies de las vías por el tránsito en las vías se redujeron de 1706 toneladas a 1632 toneladas entre el 2022 y el 2023, dinamizado por la disminución del uso de los vehículos particulares en las vías secundarias⁴.

Las emisiones de $PM_{2.5}$ generadas por incendios y quemas a cielo abierto disminuyeron de 117 toneladas en 2022 a 78 toneladas en 2023, lo que equivale a una reducción de 39 toneladas, reducción asociada directamente a una menor ocurrencia de incendios forestales durante ese periodo.

No obstante, se identificó un incremento en las emisiones de $PM_{2.5}$ provenientes de fuentes fijas industriales. Las emisiones por combustión en este sector pasaron de 74 toneladas en 2022 a 82 toneladas en 2023, lo que representa un aumento de 8 toneladas. Este crecimiento se relaciona principalmente con un mayor consumo de combustible y un incremento en el número de calderas a gas natural en operación.

Las emisiones de $PM_{2.5}$ asociadas a la manipulación de materiales por actividades en las canteras tuvieron un descenso de 364 toneladas a 238 toneladas entre el 2022 y el 2023, principalmente por la reducción de títulos mineros. Por otro lado, en cuanto a la manipulación de materiales en las construcciones, se estimó un incremento de 3 toneladas entre el año 2022 a 2023, pasando de 416 a 419 toneladas, principalmente por el incremento en las emisiones asociadas a la construcción y mantenimiento de vías.

En relación con los demás contaminantes criterio, se observa que las emisiones provenientes de la combustión en fuentes móviles en carretera constituyen la mayor parte de las emisiones de contaminantes NO_x ⁵ y CO. En lo que respecta al SO_x , precursor de material particulado secundario en la atmósfera, las fuentes fijas industriales contribuyen aproximadamente con el 81% de las emisiones de este contaminante, principalmente debido al uso de carbón y diésel en la

⁴ Se debe denotar que hasta la fecha esta dinámica no incluye el cambio del estado de la malla vial debido a la disponibilidad de información

⁵ NO_x hace referencia a óxidos de nitrógeno (NO y NO_2 principalmente) y SO_x hace referencia a óxidos de azufre (SO_2 y SO_3 principalmente), en algunas fuentes se puede estimar únicamente NO_2 y SO_2 (se asume que el aporte de los demás óxidos es mucho menor), y en otras fuentes se estiman en simultaneo todos los óxidos. Por convención, para la consolidación de distintas fuentes, se establece forma general NO_x y SO_x , y, dependiendo del tipo de fuente, se muestran las emisiones como NO_2 o NO_x , por ejemplo, según la metodología de estimación.

industria. En el caso de PM₁₀, el 77% de las emisiones están asociadas a la resuspensión de material en el tránsito en vías, mientras que BC es aportado mayoritariamente por la combustión en la maquinaria amarilla, con un 45% de participación; COV está dominado principalmente por la evaporación de hidrocarburos en fuentes fijas comerciales (estaciones de servicio y centros de almacenamiento de combustible), con un porcentaje de participación de 64%.

1.2. Comportamiento de las emisiones de PM_{2.5} por localidades

La siguiente tabla presenta un análisis detallado de las emisiones de material particulado fino (PM_{2.5}) registradas en diferentes localidades de la ciudad durante el año 2023. En cada localidad, se identifican y cuantifican los principales tipos de actividades y fuentes responsables de la mayor parte de las emisiones, así como el total anual emitido.

Tabla 3. Comportamiento de PM_{2.5} por localidades – Resumen Ejecutivo

Localidad	Resumen
Ciudad Bolívar	Los tipos de emisión que más aportan en esta localidad son la Resuspensión de material por tránsito en vías, (65%), Manipulación de materiales en cateras (16%), y combustión en fuentes móviles en carretera (6%). La localidad emitió en total 503.5 toneladas de PM _{2.5} en el 2023
Fontibón	Los tipos de emisión que más aportan en esta localidad son la Resuspensión de material por tránsito en vías, (40%), combustión en fuentes móviles en carretera (15%), desgaste de frenos y llantas (17%) y Combustión en Maquinaria Amarilla (14%). La localidad emitió en total 406.3 toneladas de PM _{2.5} en el 2023.
Suba	Los tipos de emisión que más aportan en esta localidad son la Resuspensión de material por tránsito en vías, (45%), combustión en fuentes móviles en carretera (16%), y desgaste de frenos y llantas (13%). La localidad emitió en total 405.3 toneladas de PM _{2.5} en el 2023
Kennedy	Los tipos de emisión que más aportan en esta localidad son la Resuspensión de material por tránsito en vías, (46%), combustión en fuentes móviles en carretera (18%), y desgaste de frenos y llantas (11%). La localidad emitió en total 309.7 toneladas de PM _{2.5} en el 2023
Usme	Los tipos de emisión que más aportan en esta localidad son la Resuspensión de material por tránsito en vías, (50%), Manipulación de materiales en cateras (32%), y combustión en fuentes móviles en carretera (5.2%). La localidad emitió en total 352.7 toneladas de PM _{2.5} en el 2023
Bosa	Los tipos de emisión que más aportan en esta localidad son la Resuspensión de material por tránsito en vías, (69%), combustión en fuentes móviles en carretera (9%), desgaste de frenos y llantas (6%) y Combustión en Maquinaria Amarilla (6%). La localidad emitió en total 273.4 toneladas de PM _{2.5} en el 2023
Engativá	Los tipos de emisión que más aportan en esta localidad son la Resuspensión de material por tránsito en vías, (30%), combustión en fuentes móviles en carretera (23%), desgaste de frenos y llantas (17%) y Combustión en Maquinaria Amarilla (14%). La localidad emitió en total 272.6 toneladas de PM _{2.5} en el 2023
Usaquén	Los tipos de emisión que más aportan en esta localidad son combustión en fuentes móviles en carretera (22%), Resuspensión de material por tránsito en vías (20%) y desgaste de frenos y llantas (17%). La localidad emitió en total 271.5 toneladas de PM _{2.5} en el 2023
Puente Aranda	Los tipos de emisión que más aportan en esta localidad son la Resuspensión de material por tránsito en vías, (27%), combustión en fuentes móviles en carretera (20%), y desgaste de frenos y llantas (18%), además, se destaca que el 8% del PM _{2.5} de esta localidad este asociado a combustión en fuentes móviles industriales. La localidad emitió en total 220.6 toneladas de PM _{2.5} en el 2023
Teusaquillo	Los tipos de emisión que más aportan en esta localidad son combustión en fuentes móviles en carretera (26%), desgaste de frenos y llantas (23%) y Resuspensión de material por tránsito en vías (22%). La localidad emitió en total 138 toneladas de PM _{2.5} en el 2023
Chapinero	Los tipos de emisión que más aportan en esta localidad son combustión en fuentes móviles en carretera (20%), desgaste de frenos y llantas (18%) y Combustión en Maquinaria Amarilla (17%), además, se destaca que el 9% del PM _{2.5} de esta localidad este asociado a Incendios forestales. La localidad emitió en total 134.5 toneladas de PM _{2.5} en el 2023.
Barrios Unidos	Los tipos de emisión que más aportan en esta localidad son combustión en fuentes móviles en carretera (24%), desgaste de frenos y llantas (21%) y Combustión en Maquinaria Amarilla (19%). La localidad emitió en total 127.3 toneladas de PM _{2.5} en el 2023
San Cristóbal	Los tipos de emisión que más aportan en esta localidad son la Resuspensión de material por tránsito en vías, (37%), combustión en fuentes móviles en carretera (15%), y desgaste de frenos y llantas (13%), además, se

Localidad	Resumen
	destaca que el 7% del PM _{2.5} de esta localidad este asociado a incendios forestales. La localidad emitió en total 109.3 toneladas de PM _{2.5} en el 2023
Tunjuelito	Los tipos de emisión que más aportan en esta localidad son la Manipulación de Materiales en Canteras (19%), combustión en fuentes móviles en carretera (20%), y combustión en maquinaria amarilla (14%), además, se destaca que el 8% del PM _{2.5} de esta localidad este asociado a combustión en fuentes fijas industriales. La localidad emitió en total 86.3 toneladas de PM _{2.5} en el 2023
Rafael Uribe Uribe	Los tipos de emisión que más aportan en esta localidad son la Resuspensión de material por tránsito en vías, (52%), combustión en fuentes móviles en carretera (20%), y desgaste de frenos y llantas (15%), además, se destaca que el 4% del PM _{2.5} de esta localidad este asociado a incendios forestales. La localidad emitió en total 84.1 toneladas de PM _{2.5} en el 2023
Los Mártires	Los tipos de emisión que más aportan en esta localidad son combustión en maquinaria amarilla (22%), manipulación de materiales en construcciones (22%) y Combustión en fuentes móviles en carretera (18%), además, se destaca que el 8% del PM _{2.5} de esta localidad este asociado a combustión en fuentes fijas comerciales. La localidad emitió en total 78.5 toneladas de PM _{2.5} en el 2023.
Santa Fe	Los tipos de emisión que más aportan en esta localidad son combustión en fuentes móviles en carretera (18%), desgaste de frenos y llantas (16%) y Combustión en Maquinaria Amarilla (16%), además, se destaca que el 11% del PM _{2.5} de esta localidad este asociado a Incendios forestales. La localidad emitió en total 69.6 toneladas de PM _{2.5} en el 2023.
Antonio Nariño	Los tipos de emisión que más aportan en esta localidad son combustión en fuentes móviles en carretera (30%), desgaste de frenos y llantas (21%) y Resuspensión de material por tránsito en vías (16%). La localidad emitió en total 41.5 toneladas de PM _{2.5} en el 2023
La Candelaria	Los tipos de emisión que más aportan en esta localidad son la Combustión en fuentes fijas comerciales (20%), combustión en fuentes móviles en carretera (18%), y Resuspensión de material por tránsito en vías (17%). La localidad emitió en total 11.4 toneladas de PM _{2.5} en el 2023

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que las localidades se diferencian ampliamente por su tamaño, se estima el flujo de masa⁶ para PM_{2.5} para cada una de ellas, cuyos valores oscilan entre 4 t/km²-año (estimado para La Candelaria) y 16 t/km²-año (estimado para Ciudad Bolívar). Al analizar el flujo de masa de cada una de las localidades, Ciudad Bolívar, Puente Aranda, Barrios Unidos, Kennedy, Fontibón y los Mártires son las localidades que más emiten por km², con valores por encima de las t/km²-año.

1.3. Ideas Clave en el comportamiento de las emisiones por tipo de fuente

1.3.1. Combustión en Fuentes Fijas industriales

- Para 2023 el Sistema Integrado de Información de Fuentes Fijas (SIIFF) de la Secretaría Distrital de Ambiente registró para la ciudad 2117 fuentes que usan combustibles fósiles en operación, alojadas en 1807 establecimientos.
- El 89% de las fuentes de la ciudad operan a gas natural, 4% operan con diésel, 4% operan con GLP y el 4% restante con otro tipo de combustibles (carbón, madera, aceite usado, entre otros). Por otro lado, el 47% de las fuentes son Calderas, 32% hornos y el resto de las fuentes son de otras tecnologías o procesos como calentadores, extrusoras, estufas industriales, intercambiadores de calor, plantas eléctricas, quemadores, etc.
- Los hornos ladrilleros son las fuentes fijas industriales con mayor participación de emisiones de PM₁₀ (29%) y CO (23%).

⁶ Flujo de masa hace referencia al valor de emisión dividido por el área donde se emitió, y tiene unidades de toneladas/año-km²

- Las calderas mayores a 100 BHP antiguas (año de fabricación menor a 1999) son las fuentes que más emiten BC (45%) y $PM_{2.5}$ (24%).
- Las fuentes fijas industriales que operan con gas licuado de petróleo son los mayores aportantes de emisiones de COV (32%) y óxidos de nitrógeno (26%) mientras que las plantas eléctricas que operan con diésel son las mayores aportantes de óxidos de azufre (58%).
- Las localidades con mayor aporte de emisiones son Puente Aranda, Ciudad Bolívar, Tunjuelito y Usme, especialmente en $PM_{2.5}$, PM_{10} y BC.

1.3.2. Fuentes Fijas residenciales

- En las emisiones asociadas a las fuentes fijas residenciales (los hogares), solo se contempla el uso de gas natural, otros combustibles como GLP y madera no pudieron ser estimados por falta de información.
- La ciudad de Bogotá consumió entre 1000000 y 1300000 m^3 al día de gas natural en el sector residencial para el año 2023, los cuales generaron 2.8 toneladas de $PM_{2.5}$. Por el tipo de información usada para la estimación, este tipo de emisiones no puede desagregarse por localidad.

1.3.3. Fuentes Móviles en Ruta (Vehículos en carretera)

- Para el año 2023 se estimó que en la ciudad transitan 2533548 vehículos, de los cuales 1'165.599 son automóviles (46%), 605045 son camperos y camionetas (23.9%), 641810 son motocicletas (25.3%), 42750 (1.7%) son camiones, 52225 son taxis (2.1%) y el resto de los vehículos (1%) están asociados a transporte especial, intermunicipales y vehículos del SITP.
- Entre el 2022 y el 2023 se encontró una reducción de la actividad vehicular identificada para la mayoría de las categorías y en los ascensos tecnológicos que ha tenido el transporte público de la ciudad durante los últimos años. La reducción de actividad vehicular ha sido identificada principalmente para las categorías del transporte de carga, automóviles y camperos y camionetas tanto en el enfoque *Bottom-up* a través de los flujos, como en el enfoque *Top-Down* a través de los kilómetros recorridos por vehículo.
- Las emisiones de $PM_{2.5}$ asociados a la combustión en vehículos en carretera para el 2023 fue de 697 toneladas, 17% de las emisiones totales. De las emisiones por combustión en vehículos de carretera, el transporte de carga aportó 48%, seguido del transporte especial (20%), vehículos livianos con 11% y motocicletas con un 9%.
- El transporte de carga tiene la participación mayoritaria en las emisiones de BC, NO_x , PM_{10} y $PM_{2.5}$, los vehículos livianos tienen su mayor aporte en las emisiones de CO, COV y SO_x , con aportes superiores al 35% de las respectivas emisiones.
- Las vías que más aportan en las emisiones por este tipo de fuente en la ciudad corresponden a la Avenida Boyacá, Autopista norte, Autopista Sur, Avenida Calle 26, Avenida Ciudad de Cali, la Avenida Carrera 68 y la Avenida NQS.
- Entre el año 2018 a 2023, las emisiones del SITP para $PM_{2.5}$ se han reducido de 190.5 a 37.5 toneladas, modulado principalmente por la salida del SITP provisional, luego de esta

salida, el cambio de las emisiones entre 2021 y 2023 del SITP pasó de 46.8 a 37.5 toneladas.

- En términos de emisiones por localidad, Kennedy destaca como la principal fuente de contaminantes como PM_{10} , $PM_{2.5}$, COV, CO y NO_x , debido a su extensión, la cantidad de vías y la diversidad de fuentes móviles. Para SO_x y CO, Suba presenta los niveles más altos, asociados principalmente a la mayor cantidad de vehículos livianos y motocicletas. Por último, Kennedy y Fontibón lideran en emisiones de BC, resultado del elevado tránsito de vehículos de carga en estas zonas.

1.3.4. Fuentes Móviles en Ruta (Vehículos fuera de carretera)

- Las emisiones para la maquinaria amarilla fueron estimadas para el año 2023 proyectando las emisiones del año 2018 del estudio realizado por el Ministerio de Ambiente, en conjunto con el programa CALAC+ a nivel Nacional, empleando como *driver* el comportamiento de las construcciones en la ciudad entre los años 2018 a 2023.
- Se estima que para el 2023 las emisiones de $PM_{2.5}$ en la combustión en maquinaria amarilla estuvieron cerca de las 428 toneladas, donde el 80% de las emisiones están asociadas a la maquinaria amarilla empleada para la construcción.

1.3.5. Incendios y Quemas a cielo abierto

- Se actualiza las emisiones de quemas e incendios, cuya última estimación para la ciudad fue en 2014.
- En el 2023 se presentan 3952 incendios y quemas a cielo abierto en Bogotá, los cuales se agrupan en Quema de residuos sólidos (1913), incendios en infraestructuras (938), quema de biomasa (663), Incendios Vehiculares (299) y quema de llantas (139).
- Se estima que para el 2023 las emisiones de $PM_{2.5}$ para quemas e incendios fue de 78 toneladas, donde los incendios forestales y de infraestructura son los mayores aportantes.
- Los incendios y quemas tuvieron un pico de emisión de todos los contaminantes en octubre, siendo un comportamiento atípico, teniendo en cuenta que, entre el año 2018 a 2022 las mayores emisiones se han presentado en los meses de enero a marzo producto de los incendios forestales.

1.3.6. Material Resuspendido proveniente del tránsito en vías

- Para 2021 la ciudad contaba con 7942 km de vías pavimentadas y 467 km de vías no pavimentadas, donde se destaca que la mayoría de las vías no pavimentadas se encuentran en la periferia de la ciudad; esta información está sujeta a actualizarse en la estimación de próximos inventarios según la disponibilidad de información.
- Se emitieron 1632 toneladas de $PM_{2.5}$ equivalentes al 40% de las emisiones totales. De las emisiones de material resuspendido, el 84.5% provienen de tránsito en vías secundarias sin pavimentar, 11.1% provienen de tránsito en vías principales pavimentadas y el 4.4% del tránsito en vías secundarias pavimentadas. En el caso de PM_{10} , se emitieron 14840 toneladas, siendo mayoritario el aporte de las vías secundarias sin pavimentar (93%).

Finalmente, en el caso de BC, el 48% de las emisiones (4.0 toneladas) provino de las vías principales pavimentadas.

- Dado que no se ha podido tener una categorización actualizada del estado de la malla vial para la ciudad, la dinámica anual de estas fuentes de emisión está ligada únicamente al comportamiento de los flujos vehiculares en la ciudad, así como ocurre con las fuentes móviles en carretera por combustión.
- Las localidades de Ciudad Bolívar, Kennedy, Fontibón, Bosa y Suba son las localidades en donde se presentan las mayores emisiones por este tipo de fuente.
- El comportamiento de las emisiones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ registra un leve repunte en 2021 respecto a 2018, atribuible a la normalización del tráfico tras las restricciones por COVID-19 en 2020 y 2021. Sin embargo, entre 2022 y 2023 se estima una reducción en las emisiones de $PM_{2.5}$ de 74 toneladas, asociada principalmente a la disminución de flujos vehiculares en automóviles livianos, ya que no se ha podido actualizar el estado de la malla vial en el inventario.

1.3.7. Desgaste de Frenos y llantas

- La dinámica de estas fuentes de emisión está ligada al comportamiento de los flujos vehiculares en la ciudad, así como ocurre con la combustión en fuentes móviles en carretera.
- Se emitieron 452 toneladas de $PM_{2.5}$ en el 2023, de los cuales el 71% provienen de tránsito de automóviles, motocicletas, camperos y camionetas, el 29% restante corresponde a las demás categorías vehiculares. En el caso de PM_{10} , se emitieron 915 toneladas, siendo mayoritario el aporte de automóviles, motocicletas, camperos y camionetas, con un aporte de 71%.

1.3.8. Manipulación de materiales en construcción

- Para 2023 se encontraron activas 1982 construcciones, de las cuales 31% son clasificadas como dotacionales, 26% como edificaciones, 18% remodelaciones, 19% asociadas a vías y 6% a otro tipo de construcciones.
- Las construcciones emitieron 419 toneladas de $PM_{2.5}$, las cuales pueden dividirse en 131 t asociadas a construcción de vías (32%) y 288 t asociadas a Edificaciones (48%), Dotacionales (11%), Remodelaciones (9%) y otros tipos de construcción (<1%).

1.3.9. Manipulación de materiales en canteras

- Para 2023 se encontraron activas 7 canteras, ubicadas en las localidades de Ciudad Bolívar, Usaquén, Usme y Tunjuelito, en las cuales se extrae principalmente arenas y arcillas.
- Las canteras emitieron 238 toneladas de $PM_{2.5}$, 523 t de PM_{10} y 3.5 t de BC en el año 2023, en donde las canteras de Usme son las que más aportan en las emisiones de estos contaminantes.

1.4. Incertidumbre asociada a las estimaciones de emisiones de PM_{2.5}

Dado que las emisiones suelen ser inciertas, la mayoría de las mediciones o estimaciones de estas presentan una incertidumbre asociada. Esta se representa mediante bandas de error — simétricas o asimétricas— cuyo ancho depende del intervalo de confianza seleccionado para expresar el grado de certeza de la medición o estimación. Estrictamente hablando, dichas bandas reflejan la precisión del valor estimado, no el error propiamente dicho, ya que en la mayoría de los casos el valor “real” permanece desconocido. En consecuencia, lo que puede establecerse con mayor rigor es la comparabilidad entre distintas técnicas o métodos de medición o estimación.

En el Anexo 3 de este documento se encuentra detallada la metodología y la estimación de la incertidumbre para las emisiones de PM_{2.5} para el año 2023, cuyos resultados se condensan en la siguiente tabla, teniendo en cuenta que la incertidumbre puede clasificarse desde Muy Baja (A), a Muy Alta (E).

Tabla 4. Incertidumbre de PM_{2.5} para 2023 – Resumen Ejecutivo

Mecanismo de Emisión	Fuente de Emisión	Emisión	Incertidumbre			Coef. Ponderación <i>c_i</i>
		PM _{2.5}	Emisión		Categoría	
		(t/año)	(%)	t		
Combustión	Fuentes Móviles en Carretera	697.3	38%	±264	B - Baja	1.70E-01
	Fuentes Móviles Fuera de Carretera	424.8	141%	±599	D - Alta	1.04E-01
	Fuentes Fijas Industriales	82.4	27%	±22	B - Baja	2.01E-02
	Quemas e Incendios	78.2	38%	±30	B - Baja	1.91E-02
	Fuentes Fijas Comerciales	66.6	141%	±94	D - Alta	1.63E-02
	Fuentes Fijas Residenciales	2.8	100%	±4	D - Alta	6.84E-04
Desgaste de Frenos y Llantas	Fuentes Móviles en Carretera	452.1	24%	±109	B - Baja	1.10E-01
Evaporación	Fuentes Biogénicas	NA				
	Fuentes Fijas Comerciales	NA				
Manipulación de Materiales	Actividades de Construcción	418.7	32%	±133	B - Baja	1.02E-01
	Actividades en Canteras	238.2	71%	±168	C - Media	5.82E-02
	Actividades Agrícolas	NE				
	Fuentes Fijas Industriales	NE				
Resuspensión de Material	Tránsito en vías	1632.4	95%	±1555	D - Alta	3.99E-01
Total		4093.7	42%	±1707	C - Media	

Fuente: Elaboración propia

2. INTRODUCCIÓN

Desde el año 2008, la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá (SDA) ha desarrollado periódicamente la actualización de los inventarios de emisiones atmosféricas de las fuentes contaminantes de la ciudad. Estas estimaciones se han realizado con base en ejercicios de investigación de varias universidades como la Universidad de La Salle, la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad de los Andes, recopilación y procesamiento de información compartida por la Secretaría Distrital de Movilidad – SDM, Transmilenio S.A., el Instituto de Desarrollo Urbano – IDU, el Programa Clima y Aire Limpio en Ciudades de América Latina – Plus (CALAC+), entre otras fuentes; así como el desarrollo de consultorías propias, buscando acercar cada vez más el inventario a las condiciones más representativas de las fuentes así como sus procesos de generación de contaminación atmosférica.

Desde el año 2020, profesionales y contratistas de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá se han esforzado en documentar y publicar los inventarios de emisiones de 2018, 2020, 2021, 2022 y 2023 en los informes técnicos de inventarios de emisiones, basados en consultorías previas, y mediante el desarrollo de un modelo de emisiones propio para la ciudad (MEDINA) y metodologías adicionales, que permite mantener el proceso de publicación de forma anual.

Aunque la publicación sea anual, el tiempo de retraso entre el análisis de un año y la publicación del inventario toma todo un año debido a los procesos de obtención, análisis y validación de información, así como a la estimación de emisiones, la generación del reporte técnico y los procesos de socialización, aprobación y publicación del documento. Por esta razón, las emisiones del año 2023 se estimaron y documentaron durante todo el año 2024.

El documento clasifica las emisiones urbanas por el mecanismo de generación de la emisión: combustión, evaporación, resuspensión de materiales en superficies, procesos industriales y manejo de materiales, y desgaste de frenos y llantas⁷.

En el caso de las emisiones por combustión, se incluyen tanto fuentes móviles en ruta —vehículos de transporte que ruedan sobre las vías de la ciudad—, como fuentes móviles fuera de ruta —maquinaria de construcción e industrial—. También se consideran las fuentes fijas, que abarcan actividades industriales, comerciales y residenciales; finalmente se incluyen las quemas a cielo abierto e incendios —incluidos incendios forestales—, cuyo mecanismo de emisión también se constituye en la combustión.

Las emisiones por evaporación comprenden tanto fuentes biogénicas —es decir, aquellas generadas naturalmente por la vegetación— como fuentes asociadas a actividades humanas, como las estaciones de servicio y los centros de almacenamiento de combustibles.

⁷ Clasificación sugerida por la comunidad académica dado que el origen de las emisiones tiene mecanismos distintos de generación.

En cuanto a la resuspensión de material en superficies, se identifican emisiones generadas por el tránsito vehicular en vías principales y secundarias, que levantan partículas acumuladas en las superficies de las vías.

Las emisiones derivadas del manejo de materiales se asocian principalmente a actividades en canteras y obras de construcción, y se agrupan junto con las emisiones de procesos industriales.

Finalmente, las emisiones por desgaste de frenos y llantas corresponden al uso de estos componentes en vehículos que circulan por carretera, y que en la literatura hace parte de las emisiones generadas por vehículos diferentes a las emitidas por los ductos de escape (emisiones *non-exhaust*)

Este documento presenta de forma detallada los inventarios de emisiones actualizados al año 2023, así como su desagregación espacio temporal, de las fuentes fijas industriales, fuentes móviles en carretera, las emisiones generadas por resuspensión de material particulado de las vías de la ciudad, construcciones, canteras y desgaste de frenos, emisiones por fuentes residenciales así como un análisis de las emisiones por incendios forestales alrededor del casco urbano, considerando las emisiones de los contaminantes PM₁₀, PM_{2.5}, NO_x, CO, SO₂, COV y BC, y se reportan las emisiones de otros estudios cuyas emisiones no han sido actualizadas para el año 2023, las cuales se detallan al inicio de cada sección descriptiva de las emisiones.

Así mismo, se presenta una recopilación de los inventarios de emisiones de todas las fuentes de emisión estimadas hasta el momento con un inventario de emisiones, incluyendo las no actualizadas; la metodología detallada para la estimación de las emisiones presentadas en este documento se presenta en el Anexo 1, además, en el Anexo 2 se encuentra la evolución histórica de emisiones desagregadas espacialmente, mientras que en el Anexo 3 se encuentra detallada la estimación de la incertidumbre de PM_{2.5} para el año 2023 y en el anexo 4 se encuentra la ficha técnica que describe el modelo de emisiones MEDINA empleado para estimar este inventario.

Por otro lado, se presenta el primer análisis de las emisiones por tipos de incendios para el año 2023 en la ciudad de Bogotá, donde se puede establecer una influencia directa de los diferentes tipos de incendios que se presentan durante este año en la ciudad.

2.1. Dinámica de la contaminación en la atmósfera

La evolución de las emisiones generadas en las fuentes y su interacción con la atmósfera (incluidos los componentes meteorológicos) permite tener claridad de cómo esta contaminación afecta directamente sobre la población y los ecosistemas de la ciudad Figura 2. A continuación, se describen de forma general las etapas en este proceso de transformación en la atmósfera de los contaminantes:

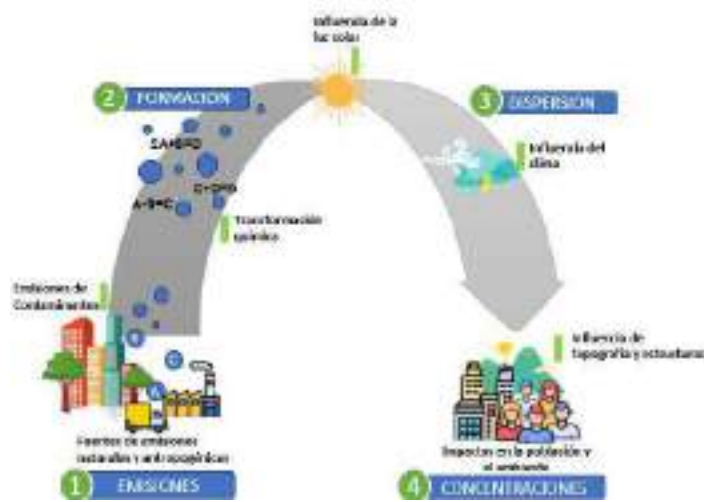
1. **Emisión:** Corresponde a la generación del contaminante desde la fuente hasta su expulsión al aire. Las fuentes de emisión se pueden clasificar de modo general en fuentes

naturales (producidas por fenómenos propios de la naturaleza) y en fuentes antropogénicas. Estas últimas, relacionadas a actividades humanas, como el transporte, la transformación de materias primas, la construcción de infraestructura, entre otras. El detalle de la identificación de las fuentes de emisión y los mecanismos de emisión se profundiza en la sección 2.3.

2. **Formación de contaminantes secundarios:** Una vez los contaminantes están en la atmósfera, se encuentran influenciados por condiciones atmosféricas como la luz solar, humedad, temperatura, etc., que pueden catalizar reacciones química y físicamente generando otros contaminantes llamados secundarios, por ejemplo, la interacción de algunos contaminantes en la atmósfera como los óxidos de nitrógeno u óxidos de azufre, puede generar material particulado secundario representado en sales de nitratos y sulfatos. Otro ejemplo muy común es la producción de ozono troposférico a través de la reacción fotoquímica entre las moléculas de oxígeno catalizadas por compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno.
3. **Dispersión de contaminantes:** La dispersión es una etapa clave en la concentración y transporte de los contaminantes en la atmósfera; entre mayor sea la dispersión, menor será la concentración del contaminante en el aire. En esta etapa, variables meteorológicas como la velocidad y dirección del viento, la humedad y la temperatura, juegan un papel importante dada su relación con la estabilidad atmosférica. En términos generales, una atmósfera inestable facilita el movimiento de las masas de aire (vertical u horizontalmente) evitando estancamiento de los contaminantes.
4. **Concentración de contaminantes en la atmósfera:** La concentración corresponde a la cantidad de contaminante en una unidad de volumen de aire. Se encuentra directamente relacionada con la dispersión de contaminantes y a nivel de suelo se encuentra influenciada por características topográficas y estructurares de la zona de análisis. El seguimiento en la ciudad a la variación temporal de la concentración de contaminantes, así como el cumplimiento de la norma nacional de calidad del aire⁸ se hace a partir de mediciones en los Sistemas de Vigilancia, que en el caso de Bogotá es la Red de Monitoreo de Calidad del Aire (RMCAB). Así mismo, existen otras alternativas de medición como los sensores de bajo costo, que pueden ser fácilmente adquiridos por la ciudadanía y que permiten caracterizar las concentraciones de calidad de aire de manera preliminar, sin embargo, la calidad y durabilidad de estos sensores es mucho más limitada y pueden medir datos indicativos. A su vez, herramientas como los modelos de calidad aire permiten calcular las concentraciones de contaminantes en escenarios específicos, en este caso, la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá cuenta con el Sistema de Modelación Atmosférica de Bogotá (SMA) que realiza pronósticos de calidad del aire a 90 horas; para

⁸ Establecida en la Resolución 2254 de 2017

más información de la RMCAB y los pronósticos de calidad del aire se puede dirigir al siguiente enlace: <https://www.ambientebogota.gov.co/calidad-del-aire>.



Fuente: Imagen adaptada de la agencia ambiental europea (EEA-EU)

Figura 2. Evolución de los contaminantes en la atmósfera

2.2. Inventario de emisiones y su utilidad para la ciudad

Los inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos permiten cuantificar las emisiones generadas en una ciudad. Proporcionan información técnica que sirven a las autoridades ambientales como: herramienta de diagnóstico para gestionar la calidad del aire de su jurisdicción, respaldo técnico para la formulación de políticas y estrategias de mitigación, información de entrada para la evaluar la efectividad de acciones a través de modelación de calidad del aire, generación periódica de pronóstico de calidad del aire. También, estos inventarios son insumo en la cuantificación del impacto que la contaminación atmosférica tiene sobre la salud pública.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3. Utilidad de los inventarios de emisiones

Para otros actores como empresas o entidades privadas, los inventarios de emisiones permiten cuantificar el impacto de sus procesos sobre la matriz aire y establecer estrategias para la mitigación de emisiones, permitiendo gestionar sus emisiones y dar cumplimiento a la norma vigente que les aplique. En el caso de la académica, los inventarios de emisiones, por sí solos representan un ejercicio de investigación que permite aumentar el conocimiento de las fuentes de emisión en un territorio y ser variables de entrada para procesos más complejos de modelación de calidad del aire y cuantificación de impactos en salud.

Los inventarios de emisiones informan a la ciudadanía sobre las principales causas de contaminación del aire y cómo nuestras actividades diarias afectan su calidad. Esto nos hace conscientes de nuestra participación y ayuda a identificar acciones de mitigación.

Los inventarios de emisiones en este documento se estiman a través de dos enfoques. El primero corresponde a un enfoque *Top-Down* que, utiliza información en un rango de tiempo y zona específica, para obtener emisiones globales para la ciudad. Este enfoque es ideal para tener un panorama general las emisiones. El segundo enfoque es el *Bottom-Up*, que permite obtener información tanto global como desagregada temporal y espacialmente, siendo útil para ejercicios de modelación detallada de calidad del aire.

2.3. Fuentes de emisión identificadas en Bogotá

La identificación de las fuentes de emisión responsables de la contaminación atmosférica de la ciudad ha sido un trabajo de varios años. En el año 2008, inició la estimación del primer inventario oficial para Bogotá, desarrollado en el marco de la formulación del Plan Decenal de Descontaminación del Aire. De ahí en adelante la publicación del inventario se ha desarrollado en apoyo a los planes de descontaminación vigentes, como el Plan Aire 2030 y el Sistema de Modelación Atmosférica de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. A continuación, se presenta un resumen de la descripción de estas fuentes.

2.3.1. Fuentes de emisión externas

En el caso del presente inventario, las fuentes externas corresponden a aquellas que se encuentran fuera de la jurisdicción de la Secretaría Distrital de Ambiente⁹, pero que aportan significativamente a la contaminación de la ciudad debido a que son arrastradas hasta el perímetro urbano. Entre las fuentes externas identificadas se encuentran:

- **Incendios:** Generados en la región, en el país o de otros países.
- **Fenómeno de las arenas del Sahara:** Es un fenómeno periódico en donde es transportado por los vientos del Atlántico material particulado desde el Sahara hasta Centroamérica, el Caribe y parte de América del Sur.
- **Emisiones de Bogotá rural y municipios colindantes a la ciudad:** Emisiones provenientes de zonas de la jurisdicción de la CAR Cundinamarca, que por condiciones

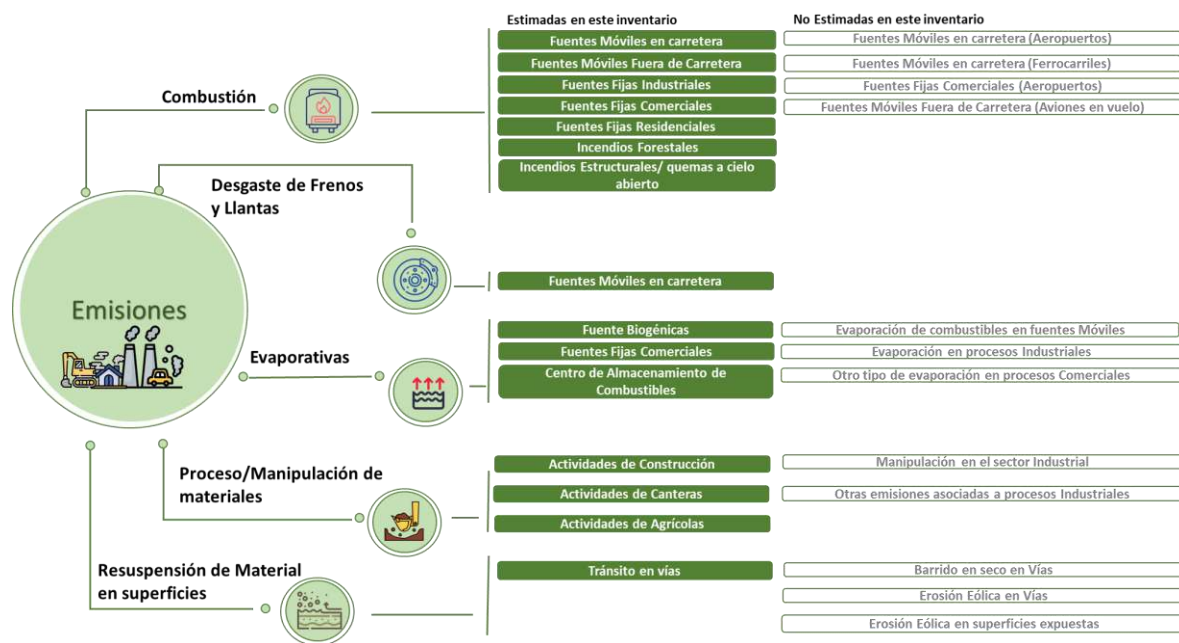
⁹ La jurisdicción de la SDA corresponde a la zona urbana de Bogotá.

meteorológicas son arrastradas y que tienen mayor probabilidad estancamiento en algunas zonas como es el sur occidente de la Capital. En los inventarios de la ciudad no se cuantifican estas emisiones, pero se consideran en los inventarios globales usados por el Sistema de Modelación Atmosférica de Bogotá.

2.3.2. Fuentes de emisión locales

Estas corresponden a las fuentes que generan emisiones dentro de la jurisdicción de la SDA. Estas fuentes de emisión pueden generar contaminación por tres mecanismos. El primero corresponde a las emisiones generadas por la combustión interna o externa de combustibles como madera, gasolina, diésel entre otras. Ejemplo de esto son las emisiones generadas en los motores de los vehículos. El segundo corresponde a las emisiones generadas por procesos mecánicos, siendo un ejemplo de esto los procesos de resuspensión del material particulado depositado en las vías debido al paso de vehículos. Finalmente, el tercer mecanismo corresponde a las emisiones por evaporación, que corresponde a las emisiones generadas por la fuga de sustancias químicas en fase gaseosa, como combustibles o materia prima en proceso industriales, y también relacionadas con fuentes biogénicas asociadas a la vegetación.

Las fuentes identificadas y clasificadas para la ciudad de Bogotá se presentan en el esquema de la Figura 4. Algunas fuentes de emisión no tienen inventarios de emisiones estimados para Bogotá o no cuentan con inventarios actualizados para el año 2023.



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Fuentes de emisiones identificadas para la ciudad de Bogotá

Emisiones por Combustión: Las emisiones por combustión se refieren a los contaminantes liberados durante el proceso de quema de combustibles y sustancias.



Emisiones por Desgaste de Frenos y Llantas: Las partículas en el aire emitidas por este tipo de fuentes se producen por el uso de neumáticos y llantas al usar fuentes móviles. No se incluye la resuspensión de material en las carreteras, ya que estas tienen un mecanismo de formación de emisión distinto.

Emisiones Evaporativas: Las emisiones por evaporación se producen cuando las sustancias volátiles se liberan al ambiente de forma natural o inducida por calor o corrientes de aire.

Emisiones por Procesos y Manipulación de Materiales: Las fuentes de emisión asociadas a este tipo de actividades engloban todas aquellas emisiones generadas por las actividades económicas, cuyos procesos internos son diferentes a la combustión y a la evaporación; entre las emisiones más comunes se encuentran los procesos de manipulación de materiales (excavación, cargue, descargue, transporte, trituración, extrusión, etc.), almacenamiento y otras emisiones específicas de procesos industriales.

Emisiones por Resuspensión de Material en Superficies: Las emisiones por resuspensión de materiales se refieren al levantamiento de material depositado en superficies, producto fuerzas mecánicas, como aplicación de fuerzas de tracción (tránsito en vía), corrientes de aire (erosión eólica) y otras fuerzas.

3. CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIONES EN BOGOTÁ

Este capítulo presenta la caracterización de las fuentes de emisión de los inventarios actualizados para el año 2023. Esta caracterización incluye una descripción de cantidad y tipos de fuentes, así como, en las fuentes que aplique, su distribución espacial en la ciudad.

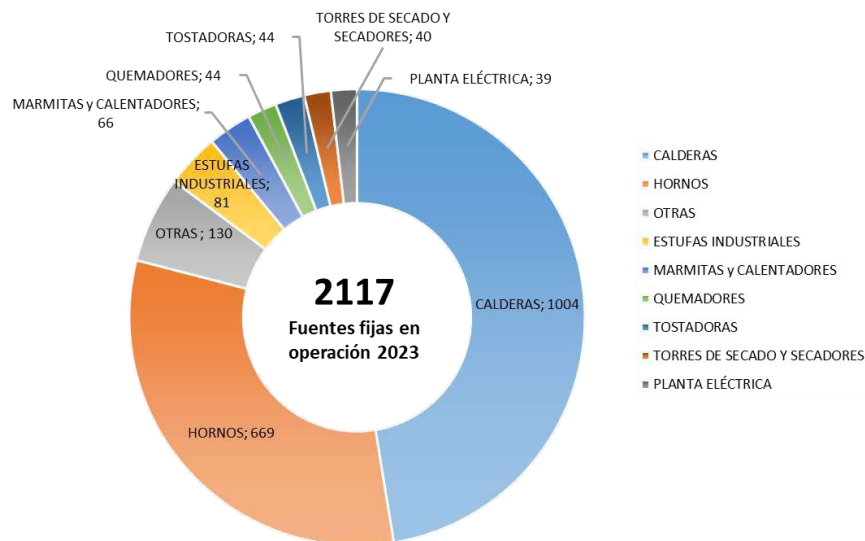
3.1. Fuentes fijas industriales

Conforme a la información del Sistema Integrado de Información de Fuentes Fijas – SIIF de la Secretaría Distrital de Ambiente – SDA (Secretaría Distrital de Ambiente, 2024), consultada a principios del año 2024, se identificaron 3069 fuentes instaladas de combustión, proceso y de combustión + proceso, de las cuales 2117 se encuentran en operación, teniendo que, las 952 fuentes que no están en operación, corresponden a las que se encuentran como respaldo a otras fuentes, tienen medidas preventivas impuestas por la SDA o, son fuentes que no están en funcionamiento por la capacidad operativa de la industria. De las 2117 fuentes en operación, 1807 corresponden a fuente de combustión, 255 de combustión + proceso, y 55 corresponden a fuentes únicamente de proceso.

La Figura 5 muestra las 2117 fuentes fijas de emisión en Bogotá durante 2023. Cada segmento del círculo representa un tipo de fuente fija, con el tamaño proporcional al número de unidades. Calderas (47%) y hornos (32%) son las más comunes, indicando una alta dependencia de estos equipos. Dentro de estas categorías hay subtipos como alimentos, ladrilleros, cremación, secado, crisol y cubilote, usados en procesos industriales y comerciales (ver Figura 5). Marmitas (3.8%) y calentadores (3.1%) siguen en cantidad, sugiriendo actividad significativa en los sectores alimentario y habitacional. La gráfica también revela otras fuentes fijas, desde equipos industriales hasta sistemas de combustión interna como plantas eléctricas, cada una representando aproximadamente un 2%. El 6% restante incluye intercambiadores de calor, ramas de termofijado e impresoras de gran formato, contribuyendo al total de emisiones.

Con relación a la distribución de uso de combustibles, también tomada del SIIF, para las 2062 fuentes fijas industriales en operación que producen combustión (ver Figura 6), se concluye que el gas natural es la fuente de combustión predominante en la ciudad de Bogotá, representando un 89.3% del total de las fuentes de combustión.

El diésel/ACPM ocupa el segundo lugar, aunque muy por debajo del gas natural, con un 4.0%. El Gas Licuado de Petróleo (GLP), también conocido como gas propano, tiene una participación moderada con un 3.8%.

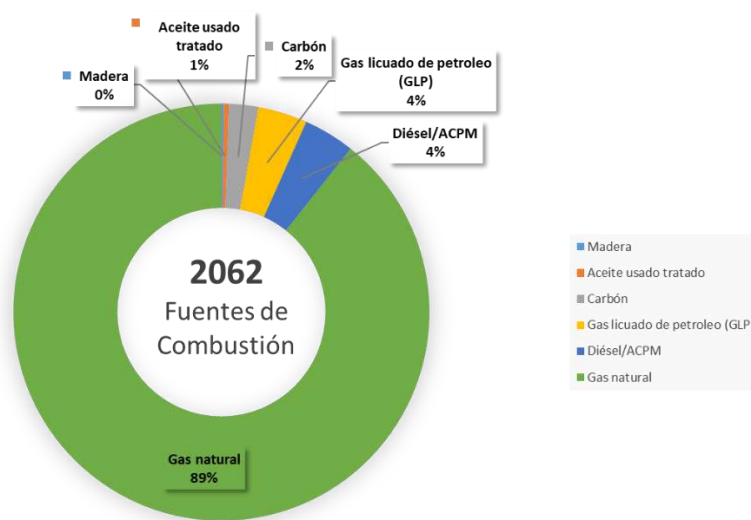


Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Distribución por tipo de fuente de combustión y combustión + proceso

El carbón, a pesar de ser una fuente de energía tradicional, muestra un uso limitado en Bogotá, representando solo un pequeño porcentaje del total (2.3%). Dentro de los tipos de carbón utilizados se encuentran el carbón coque (83%), el carbón vegetal (11%) y el carbón bituminoso (6%).

Otros combustibles como la madera y el Aceite Usado Tratado tienen una participación mínima (0.6% entre ambos), lo que sugiere un desincentivo en su uso y un avance significativo en las actividades de control de estas fuentes en la ciudad.



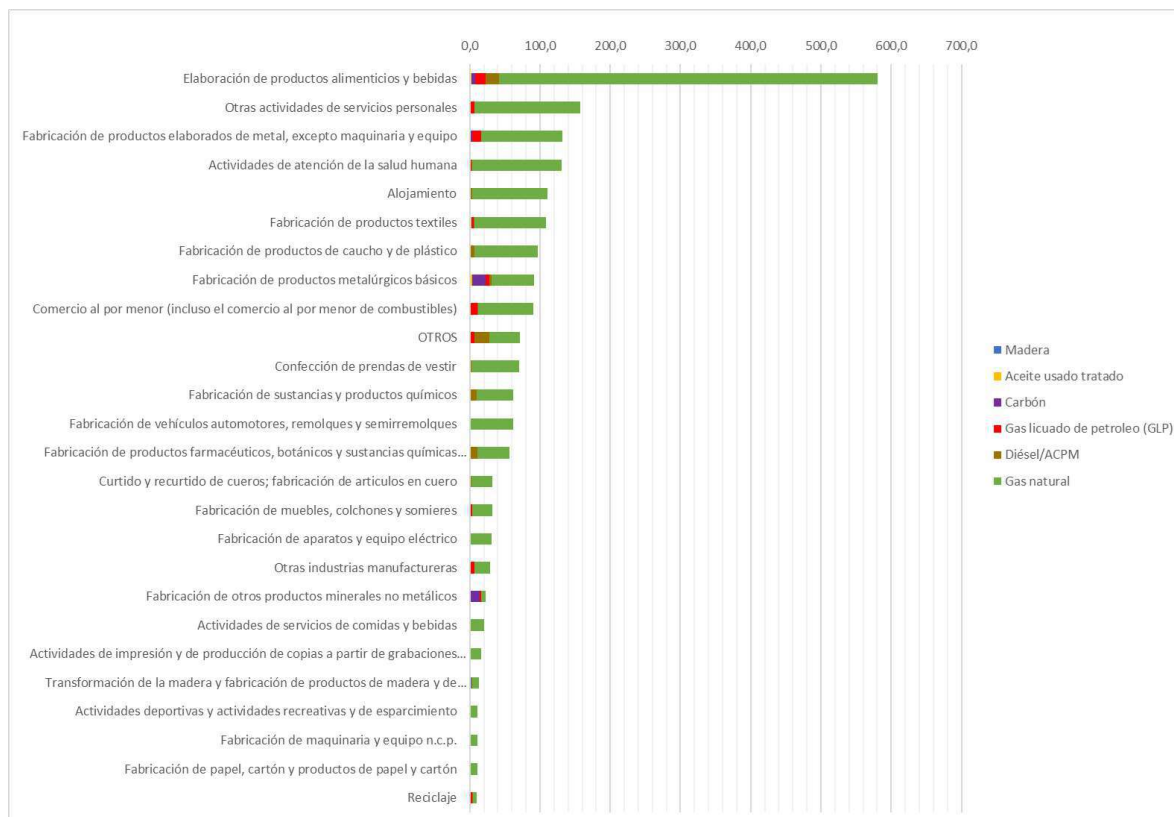
Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Distribución de las fuentes fijas por tipo de combustible usado

La Figura 7 ofrece una panorámica detallada sobre la utilización de diferentes combustibles en las fuentes fijas de combustión asociadas a los principales sectores económicos de Bogotá. Esta información resulta crucial para comprender el perfil energético de la ciudad y diseñar estrategias efectivas para mitigar la contaminación atmosférica y promover la transición hacia fuentes de energía más limpias.

Al analizar sectores económicos y combustibles, los sectores con mayor consumo son:

- Productos alimenticios y bebidas (28.2%), principalmente gas natural utilizado en cocción, pasteurización y esterilización.
- Otras actividades de servicios personales (7.6%), incluyendo lavado y limpieza (86%), actividades deportivas y recreativas (11%), pompas fúnebres (9%) y peluquería y tratamientos de belleza (2%), utilizando gas propano, madera y diésel.
- Fabricación de productos metálicos (6.4%) e industrias de la salud (6.4%), con uso intenso de energía, carbón y gas natural en hornos y fundición.



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Participación de uso de combustibles por sectores productivos.

Los valores completos y el aporte porcentual de cada uno de los combustibles en cada sector productivo se encuentran en Tabla 5.

Tabla 5. Participación porcentual de uso de combustibles por sectores productivos

Sector productivo	Madera	Aceite usado tratado	Carbón	Gas licuado de petróleo (GLP)	Diésel ACPM	Gas natural	Total
Elaboración de productos alimenticios y bebidas	0.0%	0.0%	0.3%	0.7%	0.9%	26.1%	28.2%
Otras actividades de servicios personales			0.0%	0.3%		7.3%	7.6%
Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo			0.1%	0.6%		5.6%	6.4%
Actividades de atención de la salud humana				0.1%	0.1%	6.2%	6.4%
Alojamiento					0.1%	5.2%	5.4%
Fabricación de productos textiles		0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	4.9%	5.3%
Fabricación de productos de caucho y de plástico		0.0%			0.3%	4.4%	4.7%
Fabricación de productos metalúrgicos básicos		0.2%	0.9%	0.2%	0.1%	3.0%	4.5%
Comercio al por menor (incluso el comercio al por menor de combustibles)				0.5%	0.0%	3.8%	4.4%
Otros	0.0%			0.3%	1.0%	2.1%	3.4%
Confección de prendas de vestir			0.0%		0.0%	3.3%	3.4%
Fabricación de sustancias y productos químicos				0.0%	0.4%	2.5%	3.0%
Fabricación de vehículos automotores, remolques y semirremolques				0.0%		3.0%	3.0%
Fabricación de productos farmacéuticos, botánicos y sustancias químicas medicinales y de uso farmacéutico				0.0%	0.5%	2.2%	2.8%
Curtido y recurtido de cueros; fabricación de artículos en cuero			0.0%		0.0%	1.5%	1.6%
Fabricación de muebles, colchones y somieres				0.2%		1.4%	1.6%
Fabricación de aparatos y equipo eléctrico					0.0%	1.5%	1.5%
Otras industrias manufactureras				0.3%		1.1%	1.4%
Fabricación de otros productos minerales no metálicos			0.7%	0.1%		0.3%	1.1%
Actividades de servicios de comidas y bebidas				0.0%	0.0%	1.0%	1.0%
Actividades de impresión y de producción de copias a partir de grabaciones originales						0.8%	0.8%
Transformación de la madera y fabricación de productos de madera y de corcho	0.1%			0.0%	0.0%	0.5%	0.6%
Actividades deportivas y actividades recreativas y de esparcimiento						0.5%	0.5%
Fabricación de maquinaria y equipo n.c.p.						0.5%	0.5%
Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón						0.5%	0.5%
Reciclaje			0.0%	0.1%	0.1%	0.2%	0.5%
Total	0.2%	0.4%	2.3%	3.8%	4.0%	89.3%	100.0%

Fuente: Elaboración propia

Al analizar el uso porcentual de cada sector productivo por combustible, se puede ver que el gas natural es el más utilizado, especialmente en alimentos y bebidas (26.1%), servicios personales (7.35%) y atención de la salud humana (6.2%). Aunque se usa mucho en todos los sectores, la industria alimentaria lidera su consumo.

El diésel es el segundo combustible más usado, principalmente en la fabricación de otros productos (25.6%), productos alimenticios y bebidas (23%), y productos farmacéuticos (12.2%).



Otros sectores menores incluyen industrias manufactureras (9%) y fabricación de papel (2.4%), asociadas al uso de plantas eléctricas.

El GLP se usa principalmente en alimentos y bebidas (19.2%), productos metálicos (16.7%) y comercio al por menor (14.1%). Otros sectores menores incluyen metalúrgica básica (6.4%) y muebles (5.1%). Su uso varía ampliamente entre sectores.

El carbón se utiliza en mayor medida en productos metalúrgicos básicos (40.4%), productos minerales no metálicos (29.8%), alimentos y bebidas (12.86%) y productos metálicos elaborados (6.4%). Los sectores restantes tienen baja representatividad, por lo que la conversión energética debe centrarse en productos minerales no metálicos.

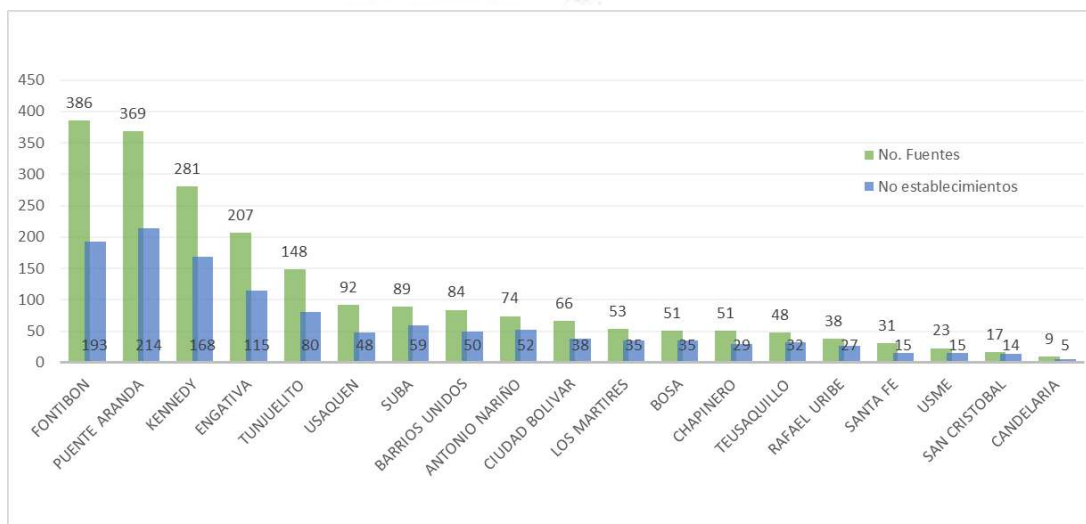
La Figura 8 y Figura 9 muestran la distribución de fuentes fijas de emisión y el número de establecimientos que las poseen en Bogotá. Las fuentes fijas son puntos específicos, como chimeneas o ductos, que emiten contaminantes; los establecimientos son empresas con al menos una fuente fija. Según SIIF (Secretaría Distrital de Ambiente, 2022), las localidades con mayor cantidad de fuentes son Fontibón y Puente Aranda, seguidas por Kennedy, Engativá y Tunjuelito. Estas áreas requieren más control de emisiones. Por otro lado, Candelaria y Santa Fe tienen menos actividad industrial.

En detalle:

- **Fontibón:** 18.2% de fuentes fijas, 15.8% de establecimientos.
- **Puente Aranda:** 17.4% de fuentes fijas, 17.5% de establecimientos.
- **Kennedy:** 13.3% de fuentes fijas, 13.7% de establecimientos.
- **Engativá:** 9.8% de fuentes fijas, 9.4% de establecimientos.
- **Tunjuelito:** 7% de fuentes fijas, 6.5% de establecimientos.

Localidades con menor actividad:

- **La Candelaria:** 0.4% de fuentes fijas y establecimientos.
- **San Cristóbal, Usme y Santa Fe:** alrededor del 1% de fuentes y establecimientos cada una.

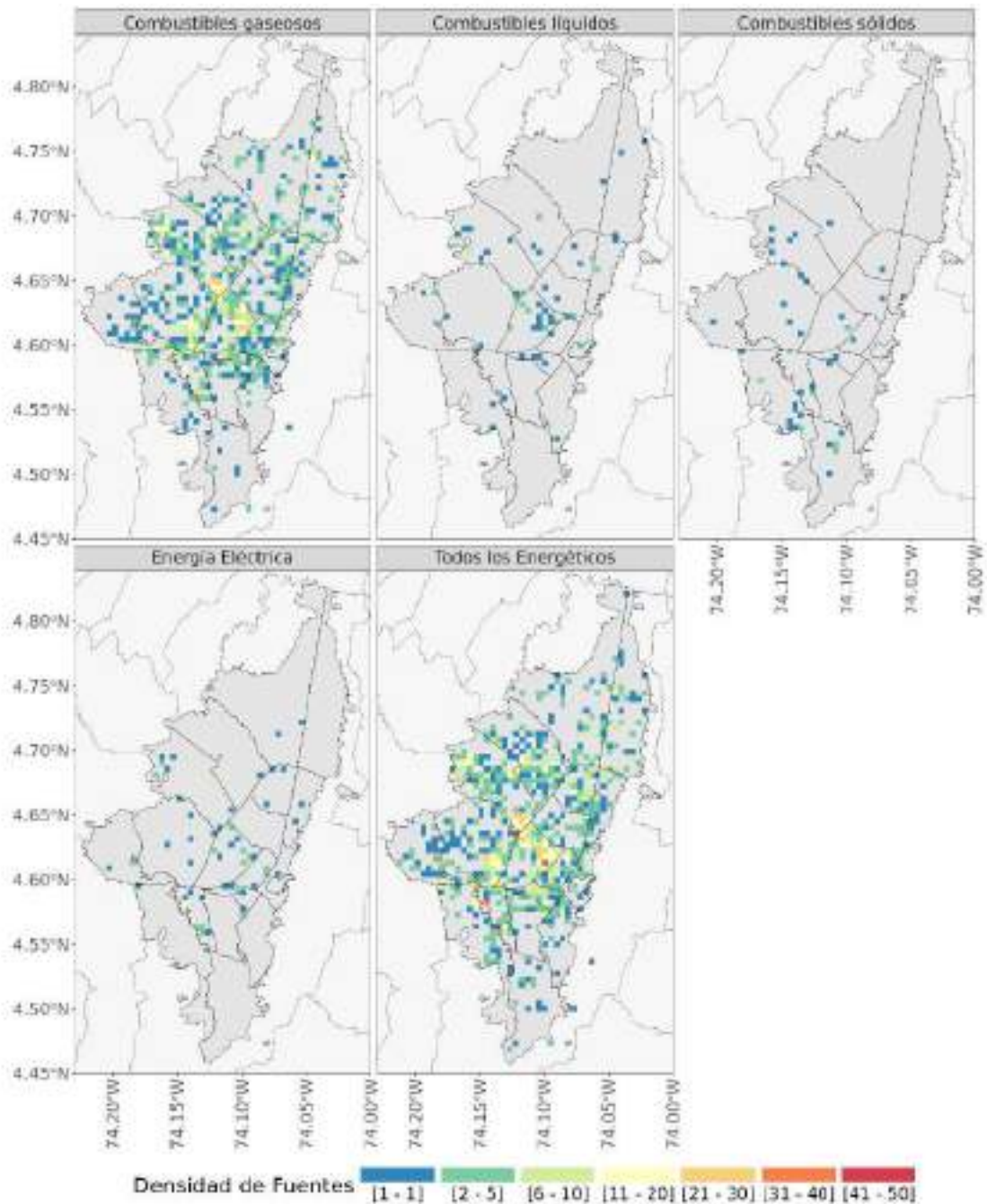


Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Distribución de fuentes y establecimientos por localidad

El mapa en la Figura 9 complementa la Figura 8 y muestra la localización de fuentes fijas que usan todos los energéticos. Indica la cantidad de estas fuentes en la ciudad y, mediante un mapa de calor, describe las zonas con mayor y menor uso de combustible. En el mapa de calor se observa la densidad de fuentes (número de fuentes en una malla de 500x500m) y se relaciona con los datos: Puente Aranda y Fontibón tienen mayor densidad de fuentes, reflejando su carácter industrial. Las zonas sin mapa de calor corresponden a áreas con menos industria y fuentes fijas de emisión.

Finalmente, en la Figura 9, se muestran las zonas con mayor densidad de puntos (colores más orientados hacia el rojo) que indican una mayor concentración de fuentes fijas que utilizan combustibles gaseosos. Se observa que estos combustibles son empleados en la gran mayoría de la ciudad, lo cual se explica por el hecho de que el 47% del total del inventario de fuentes corresponde a calderas que usan gas natural, y el 89% de las fuentes emplean este combustible. En contraste, los combustibles líquidos presentan una distribución más dispersa, con puntos aislados en toda la ciudad, sugiriendo un uso industrial a pequeña escala. Las zonas con mayor densidad de estos puntos suelen estar asociadas a fuentes que utilizan Diesel/ACPM como combustible de contingencia en áreas industriales. Los combustibles sólidos tienen un comportamiento similar al de los líquidos, aunque con una concentración mayor en ciertas zonas, posiblemente relacionadas con industrias más artesanales ubicadas principalmente en el sur de Bogotá, en las localidades de Tunjuelito, Usme y Ciudad Bolívar. En cuanto al uso de la energía eléctrica, se evidencia una distribución más homogénea, lo que indica un acceso generalizado a la red eléctrica en toda la ciudad y su creciente utilización. La exclusión del gas natural permite analizar la distribución de otros combustibles y comprender su importancia relativa en diferentes zonas de la ciudad, tal como se mencionó anteriormente.



Fuente: Elaboración propia

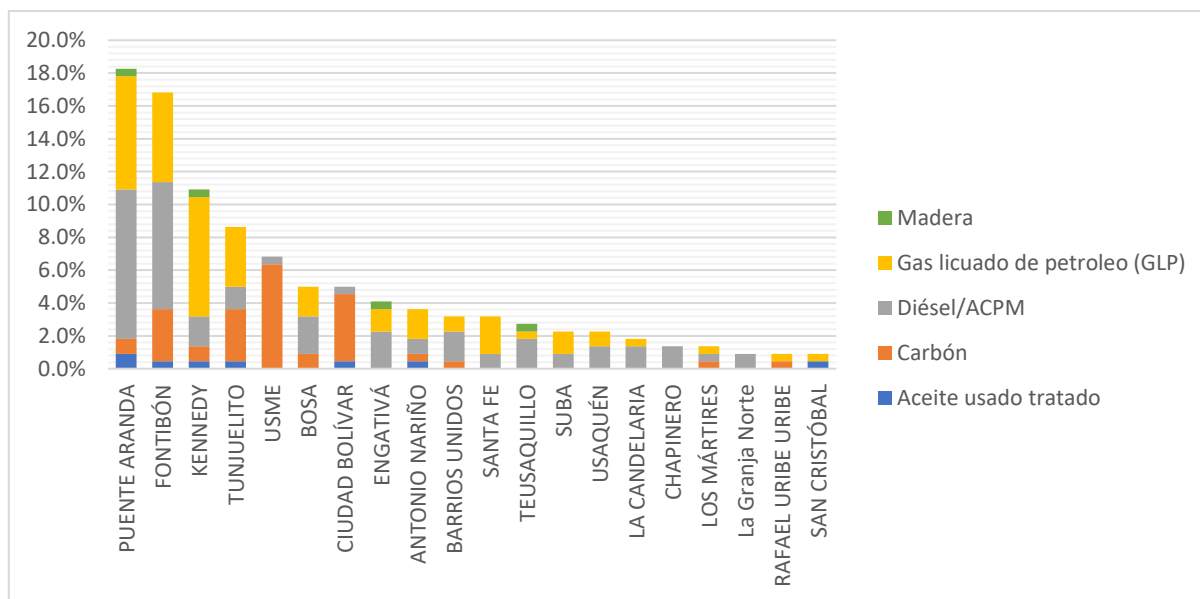
Figura 9. Ubicación de las fuentes fijas industriales para el año 2023

En conclusión, al comparar el número de fuentes fijas y establecimientos, se pueden extraer dos conclusiones: (1) La distribución de fuentes fijas y establecimientos en Bogotá no es homogénea, lo que sugiere variaciones en la actividad industrial y el potencial de contaminación entre las zonas. (2) Existe una correlación positiva entre el número de fuentes fijas y establecimientos. Las localidades con más fuentes fijas generalmente tienen más empresas emisoras, aunque esta relación no es perfectamente lineal, ya que el número de fuentes por establecimiento varía entre las empresas.

La Figura 10 muestra la distribución porcentual del uso de diferentes combustibles en fuentes fijas con combustión ubicadas en Bogotá, excluyendo el gas natural. Cada barra representa una localidad de la ciudad y la altura de cada segmento de color indica la proporción de cada tipo de combustible utilizado en esa zona. Dado que previamente se determinó que el gas natural es utilizado de manera generalizada en la ciudad, se realiza un análisis con otros tipos de combustibles para identificar las tendencias reales de uso por localidad.

En el gráfico se observa que el diésel se usa en todas las localidades, excepto en Rafael Uribe Uribe y San Cristóbal, siendo su uso mayoritario en Fontibón, Puente Aranda, Bosa y Engativá. De igual forma, el GLP predomina en localidades con una alta concentración de fuentes y establecimientos, usualmente relacionadas a zonas industriales como Fontibón, Puente Aranda y Kennedy, lo cual indica la presencia de industrias dedicadas a la producción de alimentos y elaboración de productos metálicos.

El carbón presenta un comportamiento particular, ya que se utiliza principalmente en Usme, Tunjuelito, Ciudad Bolívar y Fontibón. La mayoría de los casos de uso de este combustible están vinculados a la producción de metalúrgicos y productos minerales, como el ladrillo. Esto sugiere que la industria en estas localidades difiere significativamente de aquellos sectores en Puente Aranda y Kennedy.



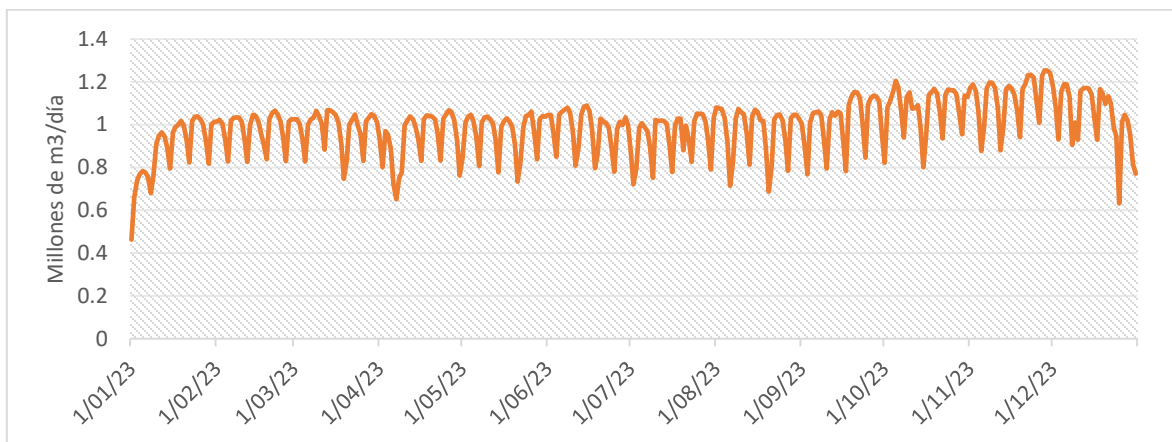
Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Distribución de uso de combustibles por localidad

En Bogotá, el uso de combustibles varía significativamente entre localidades. Puente Aranda y Kennedy destacan por su alto consumo y diversidad de combustibles, mientras que otros como la madera y el aceite usado tratado son usados limitadamente en pocas áreas. Además, las fuentes fijas varían considerablemente, reflejando diferencias en densidad poblacional, actividad industrial y otros factores.

3.2. Fuentes residenciales

Las fuentes residenciales generan emisiones a partir del uso de combustibles fósiles para uso doméstico. En Bogotá su principal uso se deriva del uso de gas natural para cocinar o uso de calentamiento de agua. La cuantificación de las emisiones de contaminantes criterio para este tipo de fuentes es por primera vez cuantificado para la ciudad por la SDA en esta actualización del año 2023. La cantidad de energía consumida por el consumo de gas natural residencial para la ciudad en el año 2023 se presenta en la Figura 11, en donde se evidencia reducción a final y principio de año y durante semana santa.



Fuente: Elaboración propia, basada en la información del Gestor del Mercado del Gas Natural en Colombia (2023)

Figura 11. Consumo energético de gas natural por fuentes residenciales en la ciudad de Bogotá

3.3. Incendios locales

Los incendios son procesos de combustión no controlada que libera calor, luz y diversos productos de reacción química. Este fenómeno puede ocurrir de manera natural, como en el caso de los incendios forestales causados por rayos, o ser provocado por actividades humanas, como el uso inadecuado de fuentes de calor, fallos eléctricos, o acciones intencionales. Los incendios pueden variar en su tamaño, intensidad y duración, dependiendo de factores como el tipo de combustible (por ejemplo, madera, papel, líquidos inflamables), las condiciones ambientales (temperatura, humedad, viento) y la topografía del lugar afectado.

En la ciudad de Bogotá, la Unidad Administrativa Especial del Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá (UAECOB) históricamente ha recopilado información de los incendios registrados en la ciudad, y los cuales pueden agruparse en:

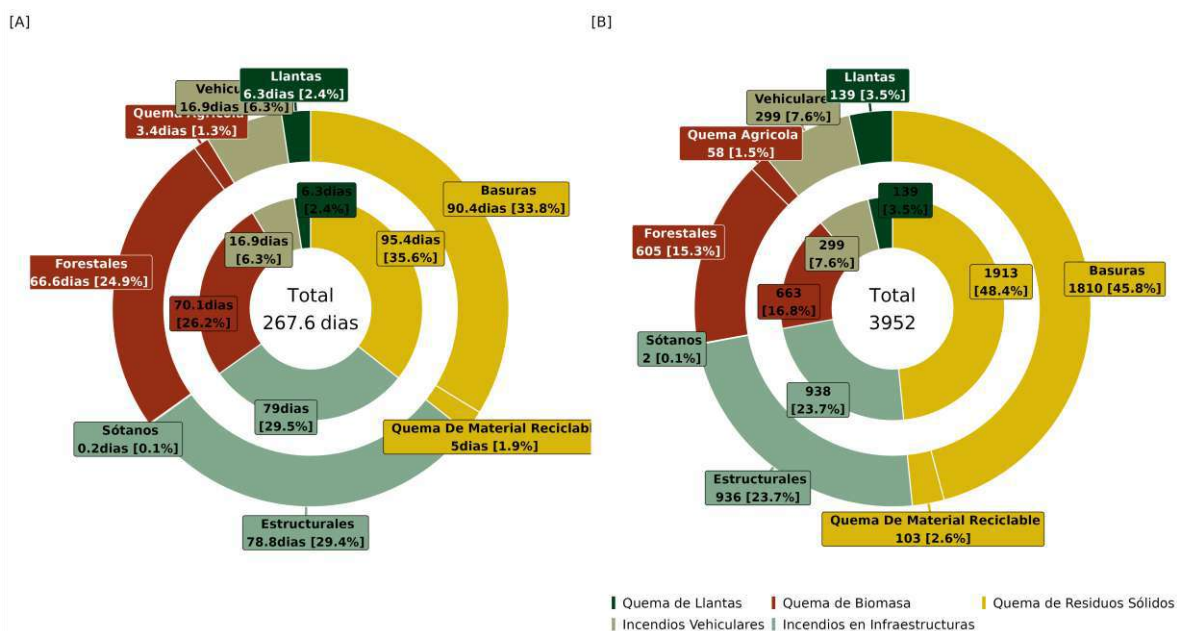
- Incendio de vehículos
- Incendios en infraestructura
- Quema de residuos sólidos
- Quema de llantas
- Quema de biomasa (incendios forestales)

Dada la importancia de las emisiones generadas por los incendios locales en la calidad del aire de Bogotá, en este inventario, se analizan los datos de los incendios reportados para el año 2023, con el fin de realizar un seguimiento de estos, y poder conocer con mayor veracidad su impacto sobre la calidad del aire de la ciudad.

En el anillo interior de la Figura 12 se observa que en el año 2023 se registraron en total 3952 incendios y quemas a cielo abierto en Bogotá, los cuales se distribuyeron en las siguientes categorías: Quema de residuos sólidos (1913), incendios en infraestructuras (938), quema de biomasa (663), Incendios Vehiculares (299) y quema de llantas (139).

El anillo exterior de la misma figura presenta la clasificación más detallada de los tipos de incendios según la clasificación entregada por la UAECOB. Donde, la quema de basuras y de material reciclable se agrupa bajo la categoría de quema de residuos sólidos; los incendios estructurales y en sótanos se integran en la categoría de incendios en infraestructuras; y las quemas agrícolas junto con los incendios forestales se clasifican como quema de biomasa.

Con base en la información recibida, los eventos de incendios y quemas a cielo abierto en Bogotá tuvieron una duración total de 267.6 días, cuya participación mayoritaria se encontró en la quema de residuos sólidos con un tiempo de 95.4 días, seguido de incendios estructurales con una duración total de 79 días, la quema de biomasa con una duración de 70 días, y por último los incendios vehiculares y quemas de llantas que, en su conjunto suma ~23 días (ver Figura 12).

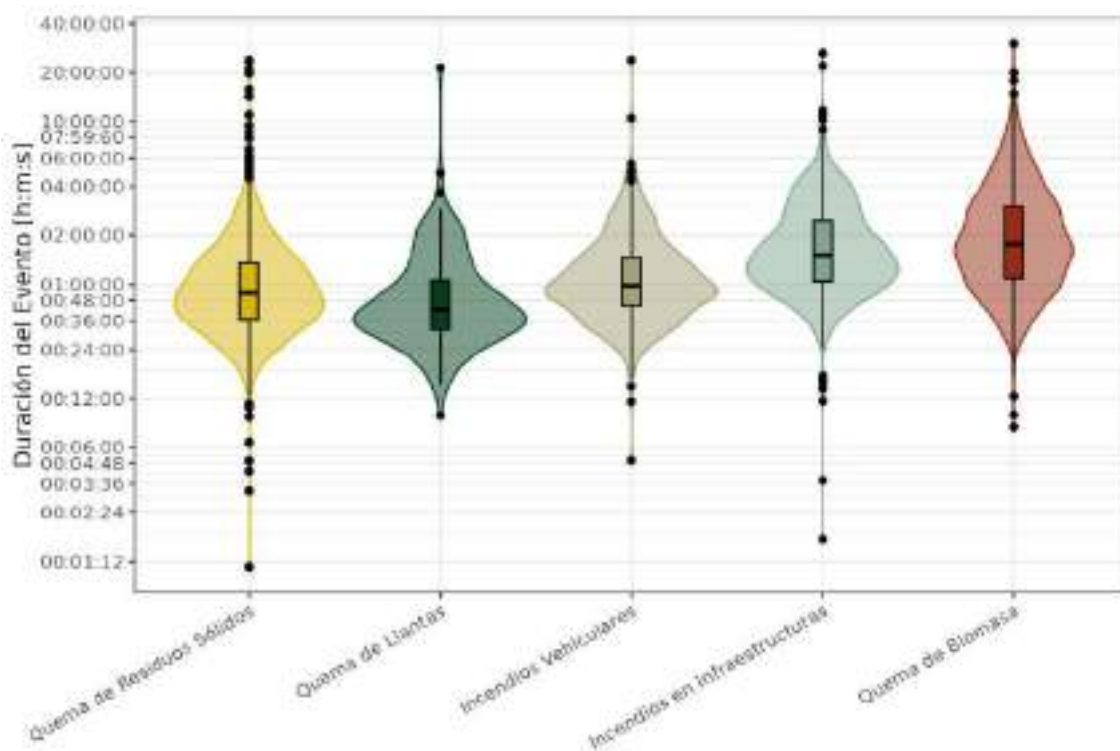


Fuente: Elaboración propia, basada en los registros del Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá

Figura 12. Duración total (A) y número de eventos (B) de incendios y quemas a cielo abierto en Bogotá para el año 2023.

En la Figura 13 se encuentra la distribución de la duración de cada uno de los eventos, y allí se observa que, tanto la quema de biomasa como los incendios en infraestructuras poseen el mayor valor frecuente de duración del evento (~2:00:00 por evento y ~1:30:00 por evento respectivamente), mientras que, en promedio, los incendios generados por la quema de residuos

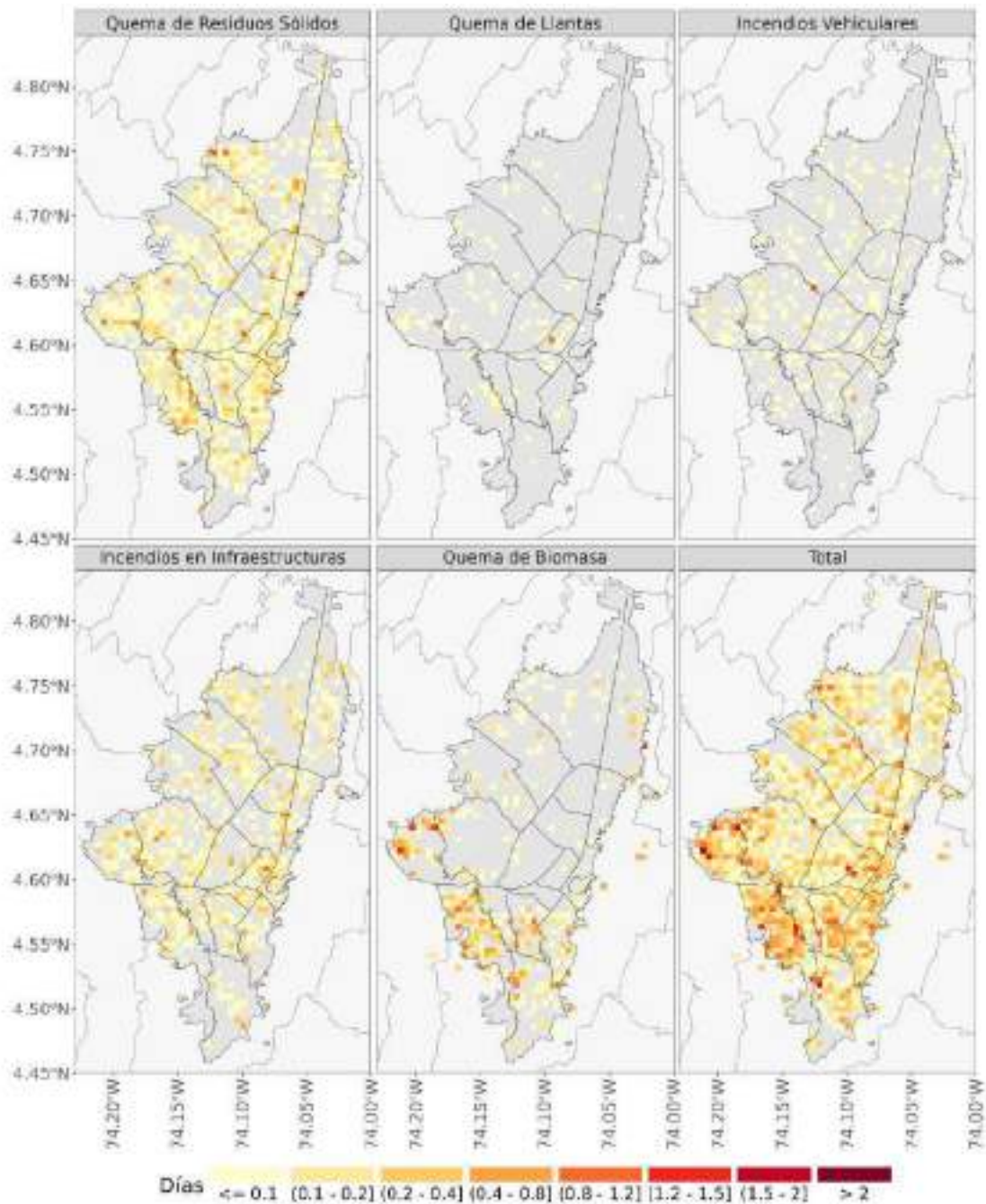
sólidos, quema de llantas e incendios vehiculares se encuentran entre 00:45:00 y 1:00:00 por evento). La mayor variabilidad en la duración de incendios se encuentra en los originados por quema de biomasa, cuyos eventos se encontraron típicamente entre 00:15:00 hasta 10:00:00 por evento, mientras que los incendios asociados a quema de llantas, residuos sólidos e incendios vehiculares tuvieron una duración representativa entre 00:10:00 horas hasta 3:00:00.



Fuente: Elaboración propia, basada en los registros del Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá

Figura 13. Duración individual de eventos por tipo de quema o de incendios para el año 2023

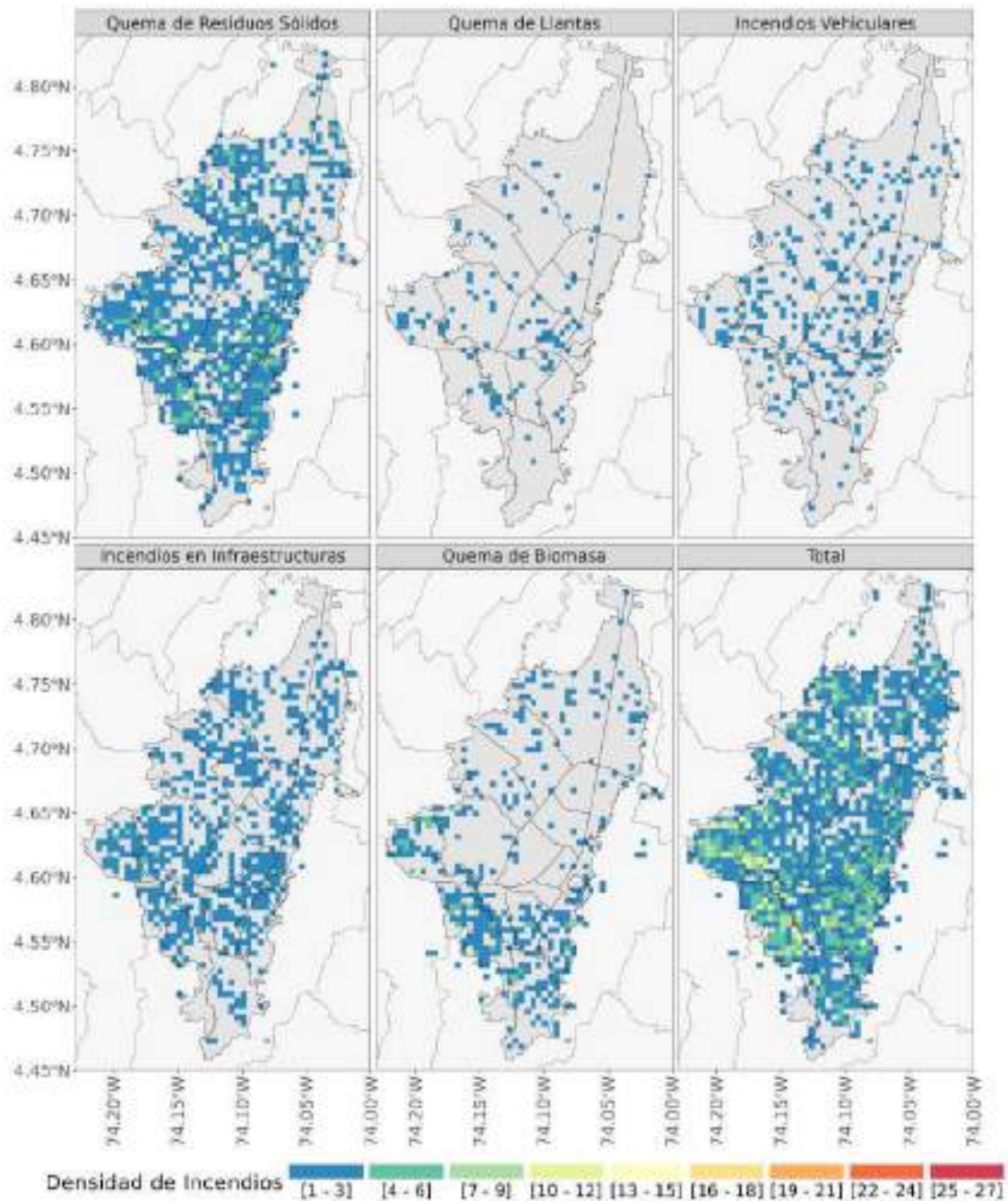
En la Figura 14 y Figura 15, se presenta la distribución de los tipos de incendios ocurridos en Bogotá durante el año 2023. En el primer mapa (Figura 14) se ilustra la frecuencia, en términos de días, en que se registraron incendios de diferentes categorías: incendios en infraestructuras, vehículos, quema de biomasa, llantas, residuos sólidos y la combinación de todos los tipos. Los tipos de incendios con mayor incidencia corresponden a la quema de biomasa y residuos sólidos, siendo particularmente comunes en localidades como Ciudad Bolívar, San Cristóbal y Bosa, sin embargo, las áreas más afectadas se concentran principalmente en el centro y el este de la ciudad, donde se evidencia una mayor frecuencia de incendios, especialmente los relacionados con la quema de biomasa, residuos sólidos y la combinación de todos los tipos. En contraste, el noroeste y otras zonas periféricas muestran una frecuencia significativamente menor de días con incendios reportados.



Fuente: Elaboración propia, basada en los registros del Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá

Figura 14. Distribución de la duración de incendios

Por su parte, la Figura 15 destaca que el sur y el este de la ciudad, especialmente las localidades de Ciudad Bolívar, Bosa y San Cristóbal, concentran la mayor densidad de incendios, con predominancia de aquellos relacionados con la quema de biomasa y residuos sólidos. En contraposición, el norte y el noroeste de Bogotá muestran una baja densidad de incendios, lo que sugiere que estas áreas están menos expuestas a los factores que contribuyen a dichos eventos.

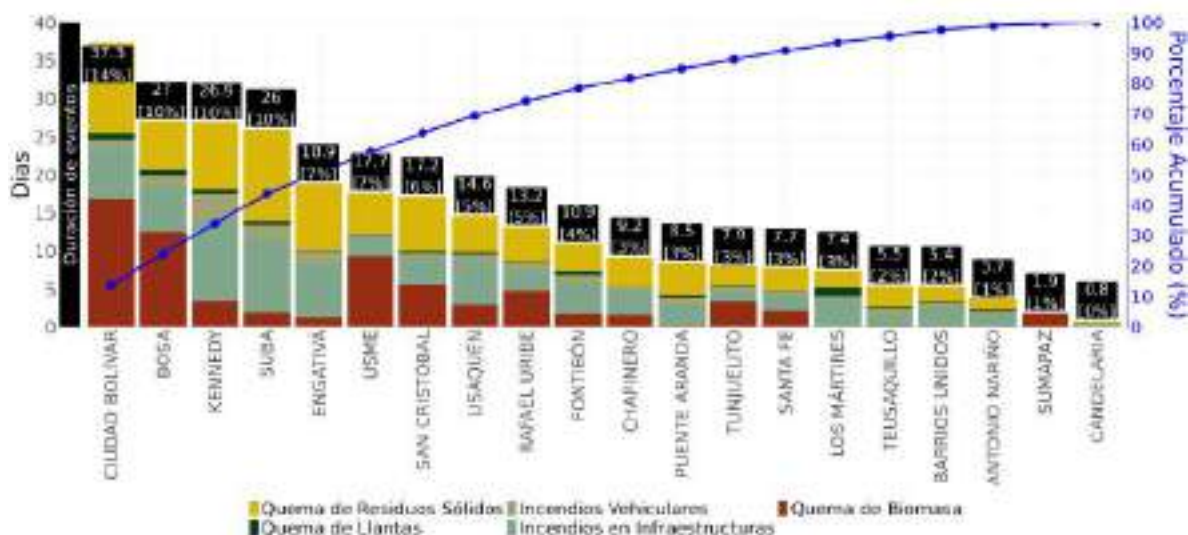


Fuente: Elaboración propia, basada en los registros del Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá

Figura 15. Densidad de tipo de incendios de la ciudad de Bogotá

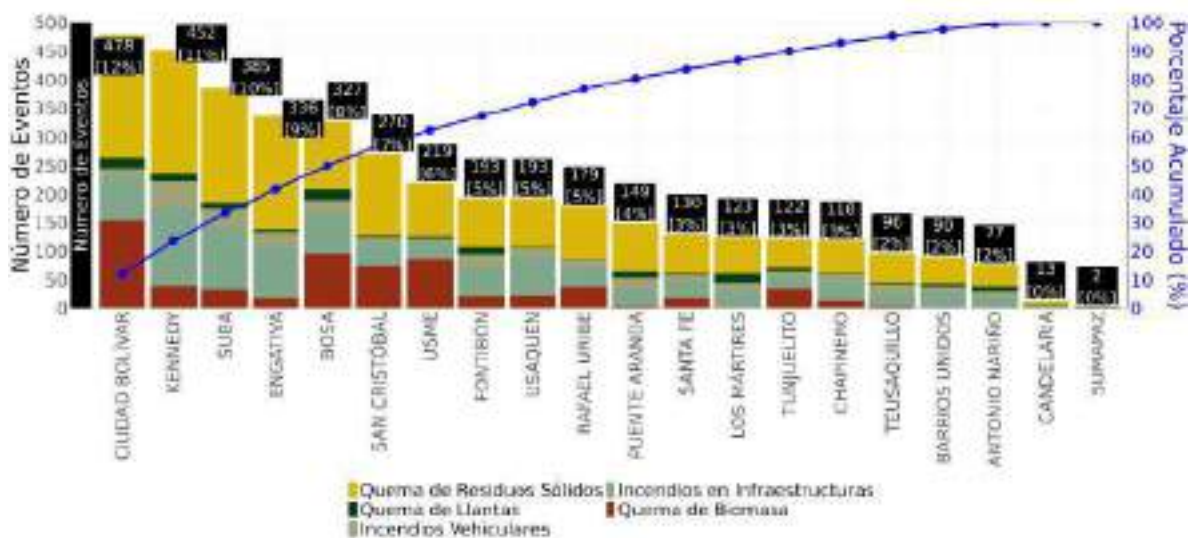
La distribución de los tipos de incendios por localidades es un aspecto crucial para identificar patrones y áreas de intervención. A partir de las Figura 16 y Figura 17, se observa que la localidad de Ciudad Bolívar lidera con una duración total de eventos de 37.3 días, seguida por Bosa con 27 días y Kennedy con 26.9 días. Esto indica que estas localidades enfrentan incendios más prolongados, posiblemente debido a condiciones ambientales adversas o prácticas recurrentes, como la quema de residuos.

En cuanto a los tipos de incendios, la quema de residuos sólidos tiene un papel predominante en la duración de los eventos, especialmente en las localidades más afectadas. Adicionalmente, otros tipos de incendios, como la quema de biomasa y los incendios en infraestructuras, también tienen una contribución significativa en localidades específicas como San Cristóbal y Usme, lo que sugiere problemáticas particulares en estas áreas. Al analizar la frecuencia, Ciudad Bolívar nuevamente encabeza la lista con un total de 478 eventos, seguida de Bosa con 452 eventos y Kennedy con 385 eventos.



Fuente: Elaboración propia, basada en los registros del Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá

Figura 16. Duración total de eventos de quemas e incendios por localidad para el 2023



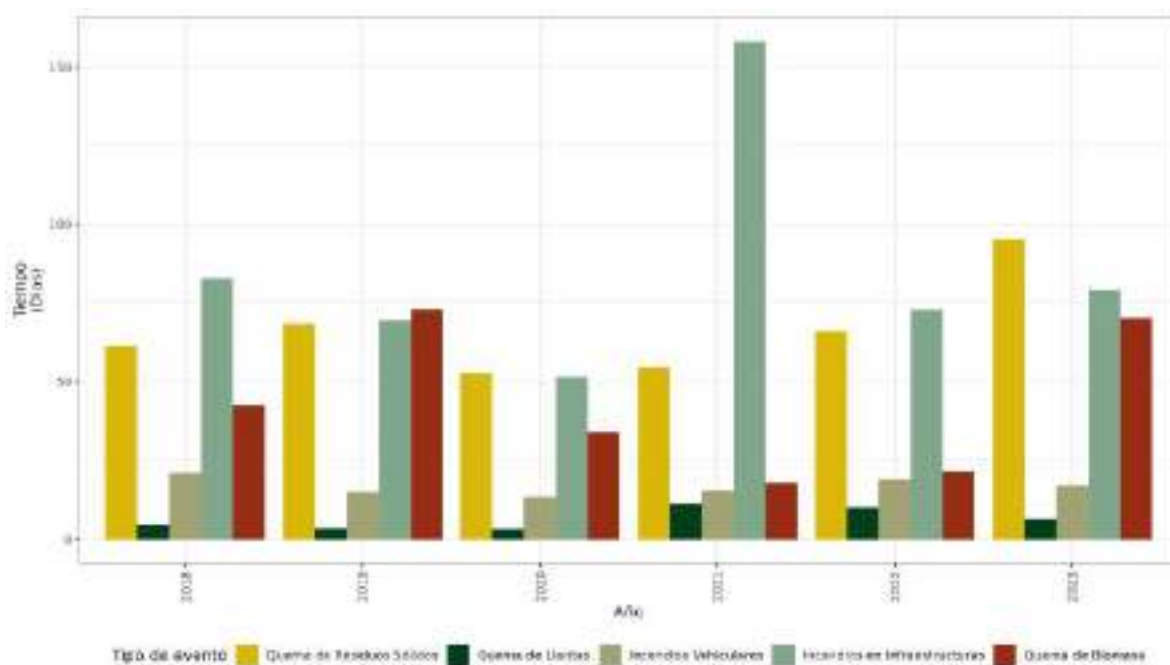
Fuente: Elaboración propia, basada en los registros del Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá

Figura 17. Número de eventos de quemas e incendios por localidad para el 2023

El análisis de la duración de incendios por tipo y año (Figura 18) evidencia cómo ha evolucionado este indicador (en días) a lo largo del período analizado. Respecto a los tipos de incendios con mayor crecimiento en duración son la quema de residuos sólidos y la quema de

llantas, lo que resalta la necesidad de implementar y fortalecer políticas ambientales y educativas enfocadas en la correcta disposición de estos materiales.

Por otro lado, la quema de biomasa presenta una alta variabilidad, posiblemente influenciada por factores climáticos o actividades humanas específicas, mientras que los incendios en infraestructuras y los incendios vehiculares muestran una tendencia más estable. Sin embargo, el aumento significativo en la duración de los incendios en infraestructuras durante el año 2021 requiere un análisis detallado para identificar las causas subyacentes.



Fuente: Elaboración propia, basada en los registros del Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá

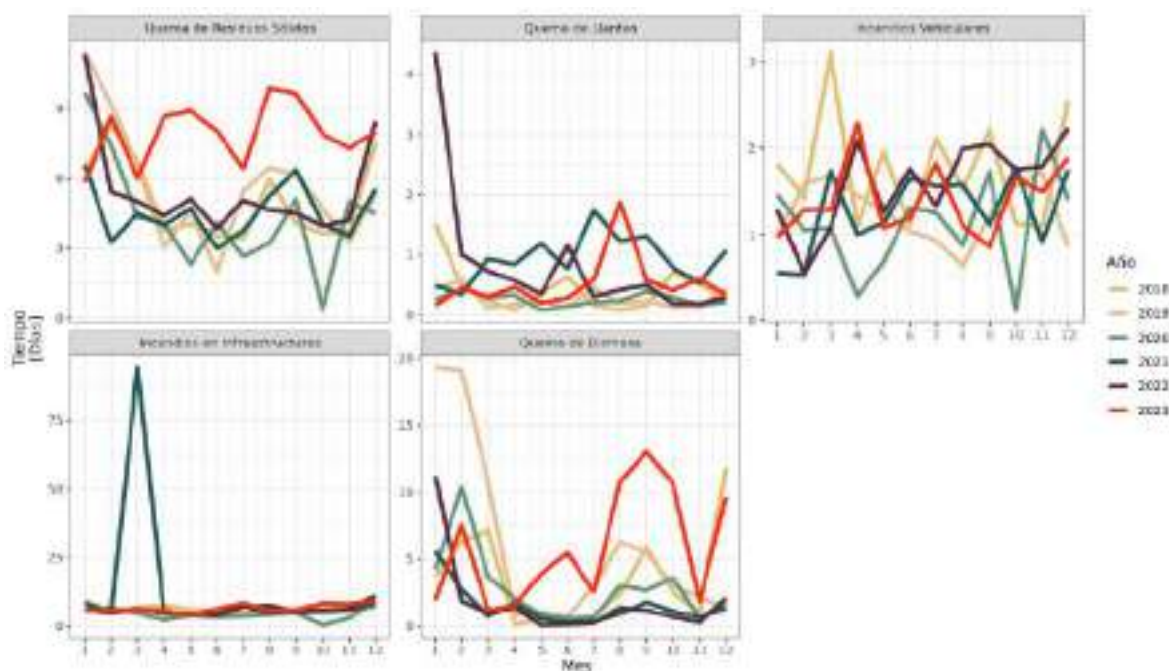
Figura 18. Datos históricos por tipo de incendios del 2018 a 2023

En el caso de la Figura 19, donde se realiza el análisis de por meses, desde el 2018 hasta el 2023, en donde la quema de basuras tiene el mayor porcentaje de presencia de incendios en la ciudad con un 48%. El Mayor impacto inicial en 2018, en particular para el tiempo de incendio se cuenta con la siguiente información:

- Incendios en infraestructura, se observa un evento excepcionalmente alto en este año que distorsiona la tendencia global, donde el pico significativo en enero de 2018, con una frecuencia extremadamente alta en comparación con otros meses y años.
- Incendios vehiculares, estos incendios se distribuyen de manera uniforme a lo largo de los meses, con pequeñas fluctuaciones, pero sin una concentración en un mes específico.
- Quema de biomasa, los meses más críticos se ven representados por enero y febrero en donde se registran los picos más altos de actividad, especialmente en años como 2019 y 2020.

- Quema de llantas, este evento no presenta un patrón mensual claro, con fluctuaciones dispersas entre los años. En algunos casos, se observan aumentos en marzo y octubre, pero no son consistentes entre todos los años.
- Quema de residuos sólidos, se observa un incremento en enero, seguido de meses intermedios como mayo o junio en algunos años.

En general se observa la tendencia mensual según el tipo de incendio al cual se haga referencia, sin embargo, cabe aclarar que según el histórico en la ciudad de Bogotá algunos eventos se ven con mayor participación en los meses secos (enero a marzo) que están alineados con algunas declaraciones de alertas por calidad del aire.



Fuente: Elaboración propia, basada en los registros del Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá
 Figura 19. Datos históricos por tipo de incendios del 2018 a 2023 por meses

3.4. Fuentes móviles en carretera

3.4.1. Categorías Vehiculares

Existen varias formas de categorizar los vehículos, ya sea por su uso, su tamaño, número de ejes, etc. Para orientar al lector, en la Tabla 6 se describen las categorías vehiculares empleadas en este documento.

Tabla 6. Categorías Vehiculares homologadas dentro del inventario.

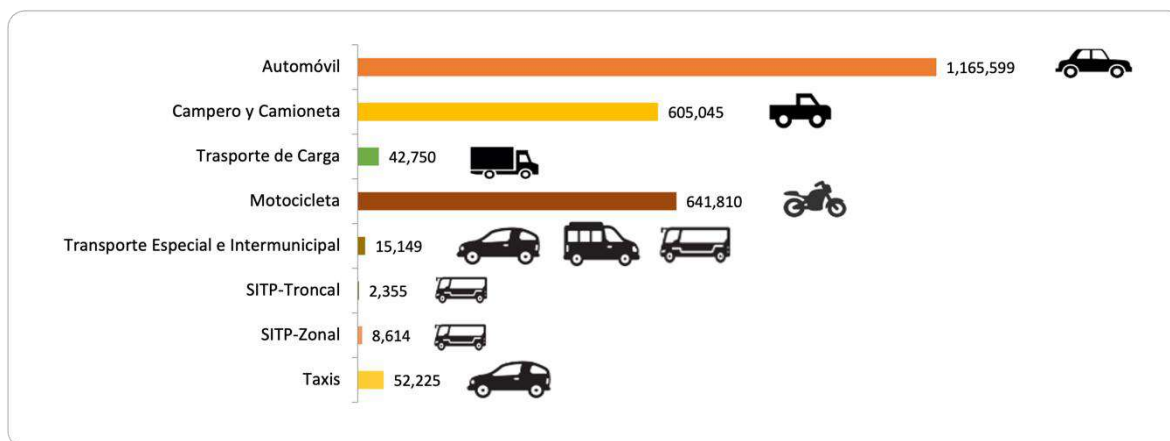
Categoría Vehicular	Subcategoría Vehicular	Definición
Automóviles (livianos)	AUT - Automóviles	Vehículos de uso particular con un peso menor a 2,27 t*
	ESL – Especiales Livianos	Vehículos livianos de transporte especial
Camperos y Camionetas (Livianos)	CC – Camperos y Camionetas	Vehículos de uso particular con un peso entre 2,27* t y 2,99 t*
Taxis (Livianos)	TX – Taxis	Vehículos livianos de transporte público
Transporte de Carga	C2 – Camiones de 2 ejes	Vehículos de carga de 2 ejes

Categoría Vehicular	Subcategoría Vehicular	Definición
	C3 – Camiones de 3 ejes	Vehículos de carga de 3 ejes
	C4+ – Camiones de 4 ejes o más	Vehículos de carga de 4 ejes o más.
SITP-Troncal	AT – Articulados	Buses articulados con 2 vagones.
	BA – Biarticulados	Buses articulados con 3 vagones.
SITP-Zonal	BS – Buses del SITP	Buses Zonales y Provisionales del SITP.
	AL – Alimentadores	Buses alimentadores al Sistema Transmilenio.
Transporte Especial	INT – Intermunicipales	Buses cuyo objeto principal es transportar pasajeros entre Bogotá y otras regiones del país
	ESB – Otros Buses Especiales	Buses cuyo objeto principal es transportar pasajeros para otros fines distintos al servicio público o intermunicipal
Motocicletas	M – Motocicletas	Vehículos de dos ruedas con motor 2 tiempos o 4 tiempos.

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Cantidad de Vehículos

Para el año 2023, se estima que en la ciudad de Bogotá transitaron activamente 2533538 vehículos. El proceso metodológico empleado para obtener este valor se detalla en la sección A.1 del Anexo 1 de este inventario. En dicha sección, también se presenta en la tabla A.1.3 la cantidad de vehículos correspondientes al total de las 234 categorizaciones empleadas en el enfoque *Top-Down*. De forma resumida, en la Figura 20 se presenta la cantidad vehículos por categorías generales vehiculares para el año 2023.



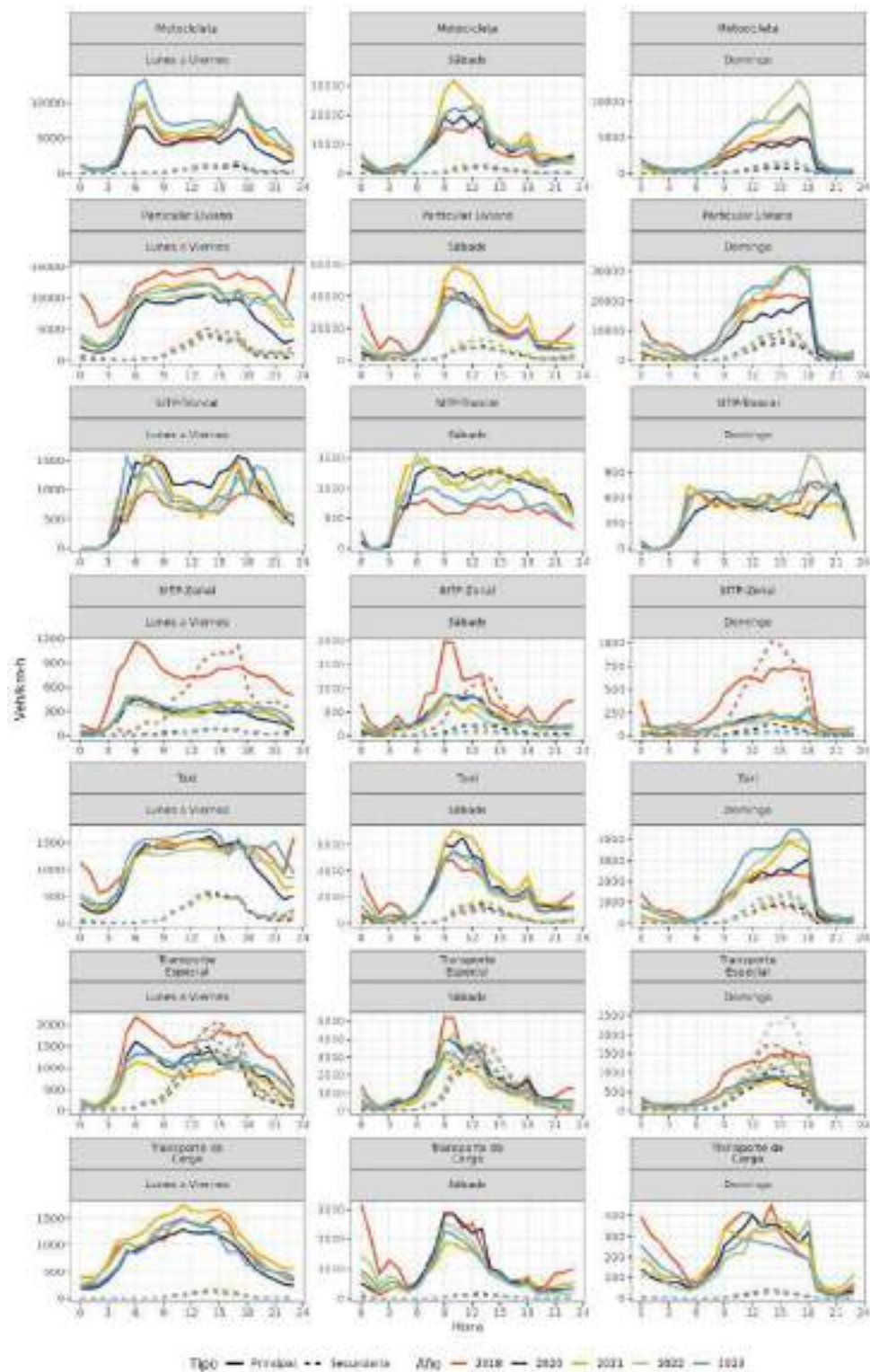
Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Cantidad de vehículos por categoría vehicular del inventario *Top-Down*

3.4.3. Flujos Vehiculares

Los flujos vehiculares en la ciudad son estimados a partir de la metodología expuesta en la sección A.2. del Anexo 1; a partir de los resultados generados para los años 2018, 2020, 2021, 2022 y 2023, se pudo establecer el comportamiento promedio diario de cada una de las categorías vehiculares los cuales se representan por día tipo y la clasificación de las vías entre principal y secundaria en la Figura 21. Se debe destacar que, como producto del ajuste metodológico en la extrapolación de los flujos en los fines de semana, los flujos horarios pueden tener asociado un incremento en la incertidumbre y dicho comportamiento debe validarse con

conteos vehiculares para estos días (la mayoría de la información de conteos vehiculares se recolecta en los lunes a jueves).



Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Cantidad de vehículos promedio por hora, por km de vía, entre los años 2018 a 2023

Los vehículos livianos particulares, tuvieron un descenso en el flujo vehicular de la ciudad entre el 2018 y el 2020, producido principalmente por las cuarentenas del COVID-19. Entre el 2020 y 2021 aumentaron ligeramente, y para el año 2023 los flujos disminuyeron levemente, principalmente en camperos y camionetas. Por otro lado, las motocicletas, pese a la reducción de flujos en el año 2020 producto del COVID-19, en el año 2023 volvió a tener flujos vehiculares similares al año 2018, excepto para los días domingo.

En el caso del transporte de carga, los camiones han tenido un comportamiento similar entre los años 2020 a 2022, excepto los domingos, en los cuales se denota una disminución entre los años 2021 a 2022 para los camiones de 3 ejes. En el caso del año 2023, se denota una disminución en los flujos asociadas al transporte de carga, principalmente los domingos.

En el caso de los vehículos asociados a Transmilenio en el componente troncal y los buses intermunicipales, los flujos vehiculares han aumentado en comparación con el año 2021, mientras que los flujos del SITP se han incrementado desde entre el 2021 y 2023.

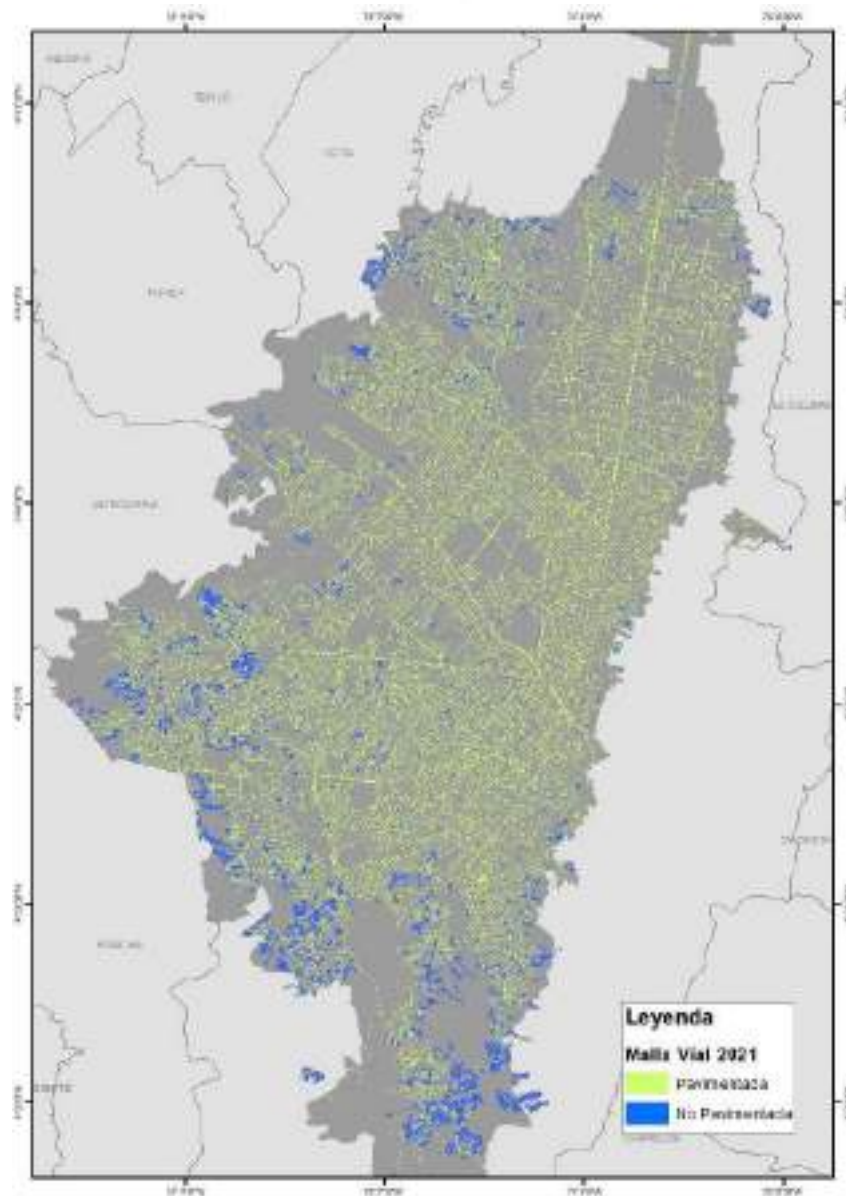
3.5. Malla vial de la ciudad

La caracterización de la malla vial es un insumo para la estimación de las emisiones por resuspensión de material particulado debido al tránsito vehicular. Ésta se realizó acorde a la manipulación del archivo geográfico que representa las vías de la ciudad para el año 2021 proporcionado por el IDU, el cual esta detallado en la sección B del Anexo 1, y es de vital importancia, principalmente el estado de la malla vial (vía pavimentada o no pavimentada), que define la magnitud de las emisiones producto del material resuspendido por el tráfico en las vías. En dicho archivo, las vías están representadas en polígonos que pueden representar una vía completa o carriles separados de una misma vía (por ejemplo, la autopista norte se divide en polígonos que representan el carril lento, el carril rápido y el carril exclusivo de Transmilenio, para cada sentido). En la Figura 22 se observa la distribución de vías pavimentadas y no pavimentadas, y en la Tabla 7 se resume la longitud de cada uno de los polígonos que representan las vías de la ciudad, clasificados en vías principales y secundarias, por la clasificación del IDU, y si son vías pavimentadas o no pavimentadas.

Tabla 7. Longitud de polígonos por tipo de vía, en km.

<i>Tipo</i>	<i>Clasificación IDU</i>	<i>Vía No Pavimentada</i>	<i>vía Pavimentada</i>	<i>Total</i>
Principal	Arterial	0.00	1084.17	1084.17
Principal	Malla Vial Principal Rural	0.00	230.13	230.13
Principal	Troncal	0.00	489.45	489.45
Secundaria	Intermedia	40.57	1477.69	1518.26
Secundaria	Local	418.39	3946.64	4365.04
Secundaria	Malla Vial Rural	8.43	714.79	723.22
Total		467.39	7942.88	8410.27

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia, información basada en IDU (2021) con ajustes de los autores

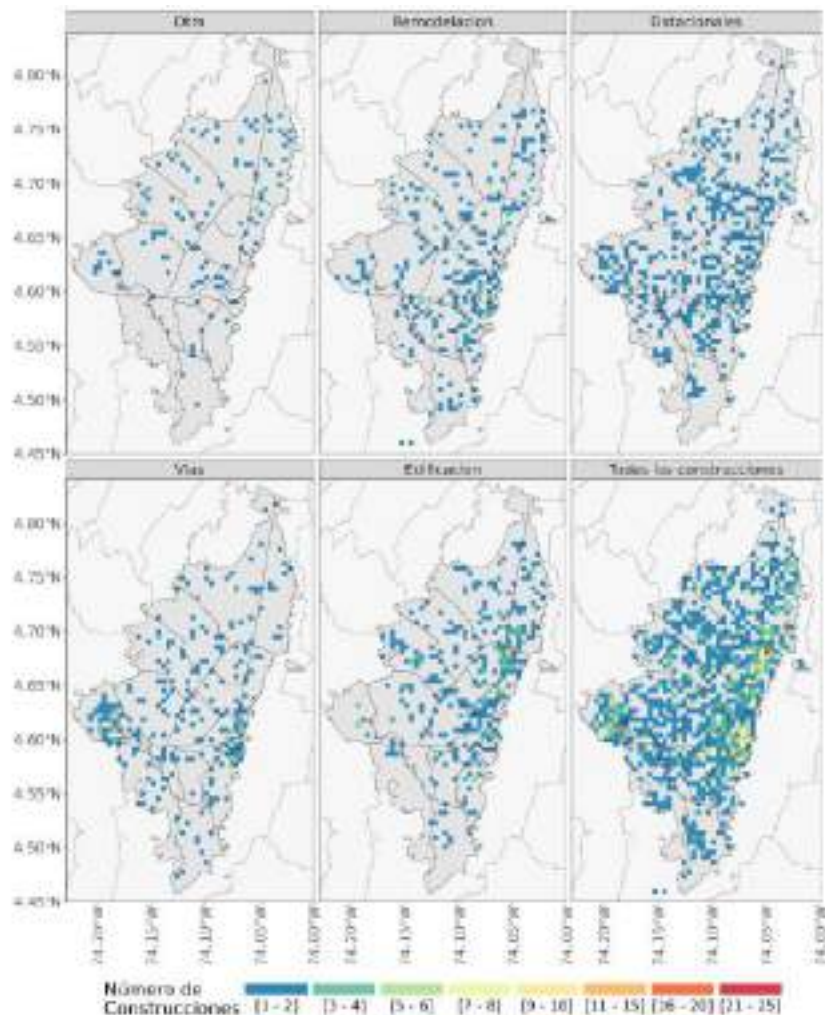
Figura 22. Estado de la malla vial para el año 2021.

3.6. Construcciones

Las obras de construcción son una fuente de emisión de material particulado que pueden presentar un alto impacto durante el tiempo de ejecución en la calidad local del aire. La construcción de edificios y vías, son dos tipos de construcción con un alto potencial de emisiones difusas y directas de PM_{10} y el $PM_{2.5}$; estas emisiones se originan por una gran variedad de actividades como la demolición, el desmonte, el barrenado, la excavación y el movimiento de la tierra y la construcción de la obra en sí. Además de las emisiones por la manipulación de materiales de construcción, estas obras generan emisiones asociadas a la operación de la maquinaria empleada las cuales son contabilizadas en la categoría de fuentes móviles fuera de carretera.

La cantidad y tipo de obras de construcción se fundamenta en la base de datos suministrada por la Subdirección de Control Ambiental al Sector Público de la Secretaría Distrital de Ambiente, que contiene el valor de las variables principales para la estimación de las emisiones como es el área de construcción y tiempo de duración basada de en las fechas registradas. Realizando los filtros según las construcciones presentes para el año 2023, se identificaron 1982 construcciones con información viable para su cálculo de emisiones y que realizaron actividades durante el año 2023.

En la Figura 23, se presenta la distribución espacial del número de construcciones por áreas en Bogotá. El mapa evidencia una mayor concentración de construcciones en las localidades de Usaquén, Bosa, Suba Chapinero y Candelaria. Esta tendencia refleja una intensa actividad constructiva en estas zonas, posiblemente debido a su alta densidad poblacional, demanda residencial y comercial. Por otro lado, las áreas periféricas, especialmente en el sur, muestran una menor densidad constructiva. Además, evidencia las zonas con mayor actividad constructiva en Bogotá durante el año 2023.

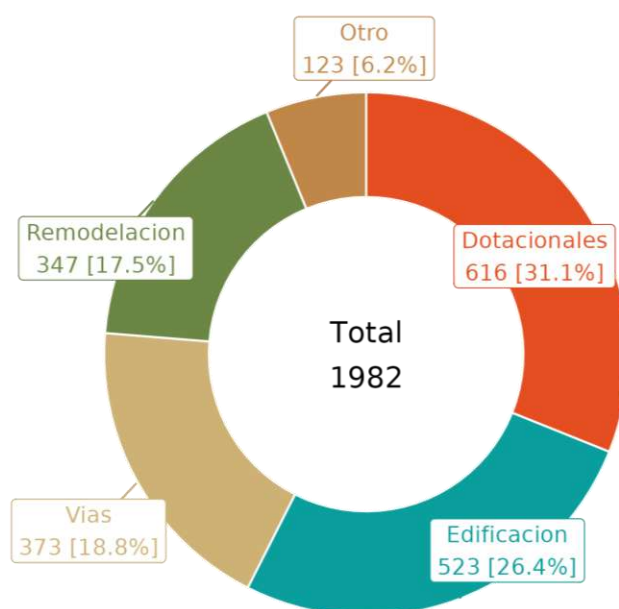


Fuente: Elaboración propia, información basada en los registros de la SDA año 2023.

Figura 23. Ubicación de construcciones identificadas en el inventario 2023.

Por medio de la Figura 24 se presentan dos aspectos clave relacionados con las construcciones en Bogotá durante el año 2023. La distribución por tipo de construcción revela que la mayor proporción corresponde a las construcciones dotacionales (31%), que abarcan infraestructuras destinadas a servicios como educación, salud y recreación.

En segundo lugar, se destacan las construcciones de edificación (26%), que incluyen nuevas estructuras o viviendas. Les siguen las construcciones relacionadas con vías (19%), enfocadas en proyectos de carreteras, calles y transporte. Por su parte, las remodelaciones representan el 18%, reflejando obras de reforma o adecuación de estructuras existentes. Finalmente, un 6% corresponde a otros tipos de construcciones, menos frecuentes o no categorizados dentro de las anteriores. Este análisis permite comprender las prioridades en el desarrollo urbano de la ciudad para 2023, destacándose que la mayor parte de las construcciones están destinadas a usos dotacionales. Esto refleja una posible prioridad en el fortalecimiento de la infraestructura de servicio público, como educación, salud y recreación, en beneficio de la comunidad.



Fuente: Elaboración propia basado en los registros de la SDA año 2023.

Figura 24. Distribución por tipo de construcción año 2023.

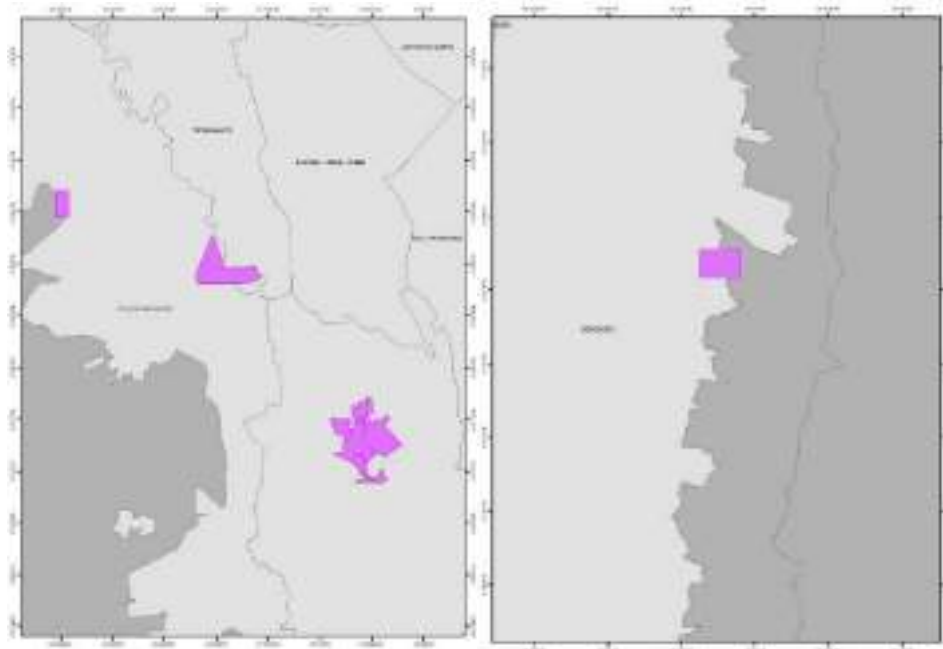
La Figura 25 muestra la distribución de construcciones por localidad, en donde la localidad de Usaquén lidera con 230 construcciones, seguida por Bosa (197), Suba (189) y Chapinero (174). Por otro lado, las localidades con menor actividad constructiva son Antonio Nariño (45), La Candelaria (40) y Tunjuelito (34). Esta baja actividad podría estar relacionada con una menor densidad poblacional, características geográficas específicas o restricciones normativas para el desarrollo urbano en estas zonas.

se presenta la ubicación de las canteras que tienen participación en la ciudad de Bogotá para el año 2023.

Tabla 8. Caracterización de las canteras activas para el año 2023

Localidad	Cantera	Área (m ²)	Material extraído	Estado
Ciudad Bolívar	Central de Mezclas S.A. - Cemex S.A. Colombia	423179	Material de construcción	PMRRA
Usme	Ladrillera Prisma S.A.S	82685	Arena y arcilla	PMA
Usme	Sociedad Ladrillera Helios S.A.	241154	Arena y arcilla	PMA
Usme	Sociedad Ladrillera Helios S.A.	99962	Arena y arcilla	PMA
Usme	Sociedad Ladrilleras Yomasa S.A.	116697	Arena y arenisca	PMA
Usme	Sociedad Ladrillera Zigurat S.A.S.	303618	Arena y arcilla	PMA
Usaquén	Cantera El Cedro San Carlos	175000	Material de construcción	PMRRA
Ciudad Bolívar	Julia Alicia Gómez de Franco	109.48	Material de construcción	PMRRA

Fuente: Elaboración propia basado en información recolectada de la Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo de la SDA



Fuente: Elaboración propia, información basada en base de datos de la Subdirección del recurso hídrico y del suelo de la SDA

Figura 26. Ubicación de canteras activas en la ciudad de Bogotá para el año 2023

4. EMISIONES POR COMBUSTIÓN

En Bogotá se encuentran identificadas como fuentes de combustión las enlistadas en la Tabla 9, en donde se detallan las fuentes que se actualizan en este informe, las que cuentan con una estimación de años anteriores y que no ha sido posible actualizar o si dicha fuente no ha sido estimada u obtenida información para poder cuantificar la magnitud de estas.

Tabla 9. Fuentes de Combustión en la ciudad de Bogotá para el año 2023

<i>Fuente de Combustión</i>	<i>Año de actualización</i>	<i>Observaciones</i>
Fuentes fijas industriales	2023	Se actualiza emisión en este documento
Fuentes Fijas Comerciales	2014	Estimación tomada de Universidad de la Salle, SDA y Ecopetrol (2018).
Fuentes Fijas comerciales (Aeropuerto)	Información No disponible	Los inventarios de emisiones del Aeropuerto Eldorado realizados para los distintos trámites ambientales de la ANLA no han sido integrados a este documento
Fuentes Fijas Residenciales	2023	Se actualiza emisión en este documento
Fuentes móviles en ruta (Vehículos en carretera)	2023	Se actualiza emisión en este documento
Fuentes móviles en ruta (Ferrocarriles)	Información No disponible	La información requerida para la estimación de este tipo de fuentes se encuentra en estado de exploración
Fuentes móviles en ruta (Aeropuerto)	Información No disponible	Los inventarios de emisiones del Aeropuerto El Dorado realizados para los distintos trámites ambientales de la ANLA no han sido integrados a este documento
Fuentes móviles fuera de ruta (Maquinaria Amarilla)	2023	Estimación proyectada del inventario de emisiones de fuentes móviles de uso de fuera de carretera en Colombia (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Agencia Suiza COSUDE, & Swisscontact, 2022), empleando el comportamiento de las construcciones.
Fuentes móviles fuera de ruta (Aviones en vuelo)	Información No disponible	Los inventarios de emisiones del Aeropuerto El Dorado realizados para los distintos trámites ambientales de la ANLA no han sido integrados a este documento
Incendios Forestales	2023	Se actualiza emisión en este documento
Incendios estructurales/quemas a cielo abierto	2023	Se actualiza emisión en este documento

Fuente: Elaboración propia

4.1. Inventario de emisiones por combustión de fuentes fijas industriales

En esta sección se presenta la estimación de emisiones de contaminantes para las fuentes fijas industriales por combustión y de combustión+proceso, las cuales se estimaron mediante la metodología *Bottom-Up* (ver Anexo 1, sección B), dado que se cuenta con información de cada una de las fuentes, incluidos los datos de ubicación, horas y frecuencia de operación con base en el Sistema Integrado de Información de Fuentes Fijas de la SDA (SIFF).

4.1.1. Inventario de emisiones Bottom-Up

Con base en los resultados obtenidos mediante la metodología implementada y considerando las categorías en las que se clasifican las fuentes fijas industriales de la ciudad según su tipo, tecnología y el combustible empleado para su operación, en la Tabla 10 se presentan las emisiones totales (en toneladas por año) de los principales contaminantes criterio para cada categoría de fuente fija. Adicionalmente, en la Figura 27, se identifican y destacan las categorías

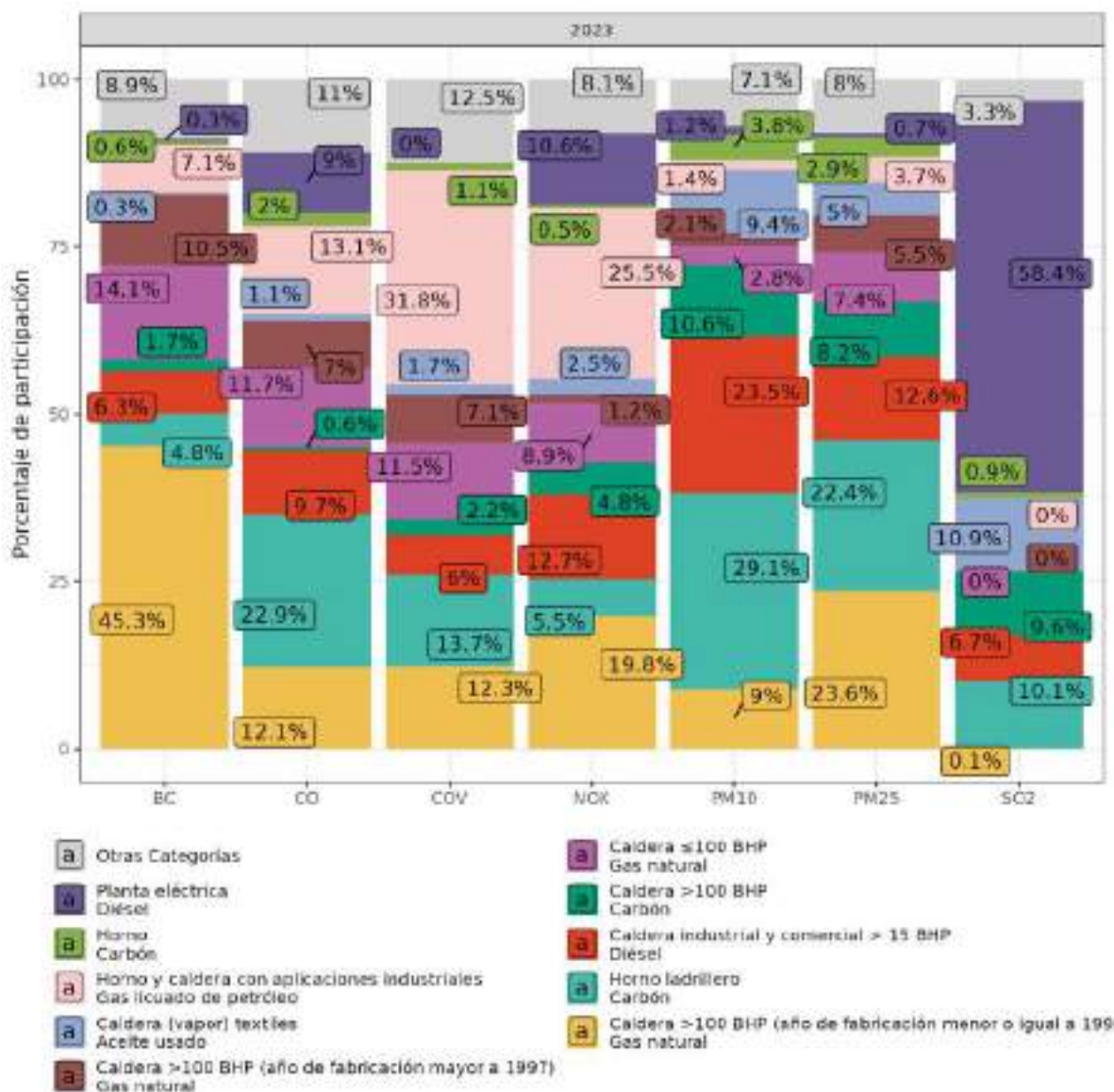
con mayor aporte a la generación de dichos contaminantes, permitiendo visualizar el impacto relativo de cada una en la calidad del aire.

Tabla 10. Inventario de emisiones por combustión 2023 – Fuentes fijas por categoría

Categoría	Tipo de Fuente	Combustible	Emisión (t/año)						
			PM ₁₀	COV	NO _x	SO ₂	CO	PM _{2.5}	BC
CG1	Caldera >100 BHP (año de fabricación menor o igual a 1997)	Gas natural	26.28	8.06	305.63	1.22	61.58	19.40	7.45
HL	Horno ladrillero	Carbón	84.87	8.93	84.22	222.91	115.33	18.33	0.78
ACD	Caldera industrial y comercial > 15 BHP	Diésel	69.41	4.01	198.31	148.74	49.58	10.41	1.04
CC1	Caldera >100 BHP	Carbón	31.03	1.45	73.40	213.25	2.89	6.70	0.29
CG3	Caldera ≤100 BHP	Gas natural	8.18	7.58	137.43	0.99	59.42	6.04	2.32
CG2	Caldera >100 BHP (año de fabricación mayor a 1997)	Gas natural	6.35	4.88	19.25	0.01	37.23	4.69	1.80
CTA	Caldera (vapor) textiles	Aceite usado	28.15	1.12	38.84	246.50	5.59	4.22	0.04
GLP	Horno y caldera con aplicaciones industriales	Gas licuado de petróleo	4.16	21.02	396.03	0.21	66.74	3.07	1.18
HC	Horno	Carbón	11.18	0.74	7.28	19.26	9.97	2.42	0.10
HFA	Horno fundición	Aceite usado	11.93	0.48	4.46	8.33	2.41	1.79	0.02
HG1	Horno de alimentos	Gas natural	0.84	1.22	7.24	0.00	4.46	0.62	0.24
HG2	Horno de secado y curado	Gas natural	0.75	0.96	6.67	0.38	3.50	0.55	0.21
PED	Planta eléctrica	Diésel	3.60	0.00	164.52	1297.90	45.70	0.54	0.05
RTG	Rama de Termofijado	Gas natural	0.55	0.46	7.81	0.05	3.32	0.41	0.16
IMG	Impresora de gran formato	Gas natural	0.46	1.05	18.10	0.12	7.70	0.34	0.02
AHF	Horno	Diésel	2.15	1.59	11.40	9.07	3.17	0.32	0.03
OTG	Otra	Gas natural	0.38	0.30	6.68	0.04	2.84	0.28	0.11
EGL	Estufa industrial	Gas licuado de petróleo	0.37	0.00	6.94	0.01	3.89	0.27	0.02
HG3	Horno de fundición y cremación	Gas natural	0.36	0.57	4.89	0.03	2.08	0.27	0.10
TSG	Torre de secado	Gas natural	0.35	0.73	12.41	0.08	5.28	0.26	0.10
CRG	Calentador	Gas natural	0.32	0.23	3.91	0.02	1.67	0.23	0.02
CGL	Calentador	Gas licuado de petróleo	0.26	0.00	4.98	0.01	2.79	0.20	0.08
QGL	Quemador	Gas licuado de petróleo	0.23	0.00	4.38	0.00	2.45	0.17	0.07
IGL	Inyectora	Gas licuado de petróleo	0.23	0.00	4.31	0.00	2.42	0.17	0.07
QMG	Quemador	Gas natural	0.23	0.17	2.85	0.02	1.21	0.17	0.06
ICG	Intercambiador de calor	Gas natural	0.14	0.10	1.75	0.01	0.74	0.10	0.04
SEG	Secadora	Gas natural	0.12	0.14	2.47	0.02	1.05	0.09	0.03
TOG	Tostadora	Gas natural	0.12	0.08	3.85	0.02	1.64	0.09	0.03
MRG	Marmita	Gas natural	0.07	0.05	0.82	0.01	0.35	0.05	0.02
PEG	Planta eléctrica	Gas natural	0.06	0.04	0.76	0.00	0.32	0.05	0.02
ESG	Estufa industrial	Gas natural	0.06	0.04	0.77	0.00	0.33	0.04	0.00
MGL	Marmita	Gas licuado de petróleo	0.05	0.00	0.97	0.00	0.54	0.04	0.01
OTD	Otra	Diésel	0.13	0.00	6.57	51.87	1.83	0.02	0.00
CC2	Caldera ≤100 BHP	Carbón	0.03	0.00	0.03	0.08	0.00	0.01	0.00

Categoría	Tipo de Fuente	Combustible	Emisión (t/año)						
			PM ₁₀	COV	NO _x	SO ₂	CO	PM _{2.5}	BC
GRG	Caldera	Gas natural	0.01	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00
EXG	Extrusora	Gas natural	0.00	0.00	0.04	0.00	0.02	0.00	0.00
CUG	Cuba	Gas natural	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00
BOG	Bombo	Gas natural	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00
CM	Caldera	Madera	0.01	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00
VUG	Vulcanizadora	Gas natural	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00
PLG	Peletizadora	Gas natural	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00
ING	Inyectora	Gas natural	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
TOD	Tostadora	Diésel	0.00	0.00	0.31	2.45	0.09	0.00	0.00
AGG	Aglutinadora	Gas natural	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
LAG	Lacadora	Gas natural	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ICM	Intercambiador de calor	Madera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SEL	Secadora	Gas licuado de petróleo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ACE	Caldera industrial y comercial > 15 BHP	Energía Eléctrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ACF	Caldera industrial y comercial > 15 BHP	Fuئل residual (Fuel oil No. 5 y 6)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AGE	Aglutinadora	Energía Eléctrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BOE	Bombo	Energía Eléctrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CEL	Calentador	Energía Eléctrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
EXE	Extrusora	Energía Eléctrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HE	Horno	Energía Eléctrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HLG	Horno ladrillero	Gas natural	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HM	Horno	Madera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
IME	Impresora de gran formato	Energía Eléctrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
INE	Inyectora	Energía Eléctrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MRE	Marmita	Energía Eléctrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
MRM	Calentador	Madera	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OTE	Otra	Energía Eléctrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PLE	Peletizadora	Energía Eléctrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PRCB	Cabina – Proceso	Energía Eléctrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PRMO	Molino – Proceso	Energía Eléctrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
QME	Quemador	Energía Eléctrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
RTE	Rama de Termofijado	Energía Eléctrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SEE	Secadora	Energía Eléctrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOE	Tostadora	Energía Eléctrica	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL			293.43	66.01	1550.46	2223.62	510.23	82.35	16.52

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Participación de cada una de las categorías de fuentes fijas industriales en las emisiones generadas por combustión diferenciadas por contaminante

Partiendo de la anterior información, las fuentes fijas industriales por combustión y de combustión + proceso presentan el siguiente comportamiento por tipo de contaminante:

- Las emisiones totales de PM₁₀ corresponden a 294.0 t/año, donde las principales categorías aportantes son HL– Horno ladrillero (29.1%) y ACD – Caldera industrial y comercial > 15 BHP (23.5%) representando más de la mitad del total. Otras categorías que también tienen un aporte significativo, aunque en menor medida, son CC1– Caldera >100 BHP (10.6%) y CTA – Caldera (vapor) textiles (9.4%), cuyo tipo de fuentes se encuentran principalmente en los sectores de producción de ladrillo, elaboración de productos alimenticios y bebidas; fabricación y acabado de productos textiles y, hospitales y clínicas.

- Las emisiones totales de $PM_{2.5}$ corresponden a 82.4 t/año, donde las principales categorías aportantes son las categorías CG1 (23.6%), HL (22.4%) y ACD (12.6%) son las principales contribuyentes a las emisiones de este contaminante, lo que indica que estas tres categorías son las mayores emisoras tanto de $PM_{2.5}$ como de PM_{10} y las actividades productivas asociadas a este tipo de categorías, como lo son la producción de ladrillo, alimentos, bebidas y textiles, constituyen la mayor fuente de emisión de partículas acumulada de las fuentes fijas de Bogotá.
- Las emisiones totales de BC corresponden a 16.5 t/año, donde, la categoría CG1 – Caldera >100 BHP fabricada antes de 1997 (45.3%), CG3 – Caldera ≤ 100 BHP (14.1%) y CG2 – Caldera >100 BHP fabricada después de 1997 (10.5%), las cuales cuentan con gas natural como su tipo de combustible y las actividades productivas asociadas a este tipo de categorías como lo son la producción de ladrillo, alimentos, bebidas y textiles, constituyen la mayor fuente de emisión de partículas acumulada de las fuentes fijas de Bogotá.
- Las emisiones totales de NO_x son de 1551 t/año, teniendo que la principal categoría aportante de emisión corresponde a los hornos y calderas que operan con GLP, con el 25% de participación, seguido de la categoría CG1 - Caldera >100 BHP (año de fabricación menor o igual a 1997) con uso de gas natural, con un aporte del 19% del total de emisiones de este contaminante.
- Respecto a las emisiones totales de SO_2 , se generaron 2222.4 t/año, donde las principales categorías aportantes corresponden a PED – Planta eléctrica con un 58% y CTA - Caldera (vapor) de aceite, con un aporte del 11% del total de emisiones de este contaminante. Es relevante identificar que el SO_2 se emitió en las diferentes categorías de una manera mínima en la mayoría de las categorías.
- Con relación a las emisiones de CO, las fuentes fijas emitieron en total 511 t/año, teniendo que las principales categorías aportantes corresponden a HL – Horno ladrillero a carbón con el 23% del total de emisiones de este contaminante y a GLP- Horno y caldera con aplicaciones industriales, a GLP, con un aporte del 13%.

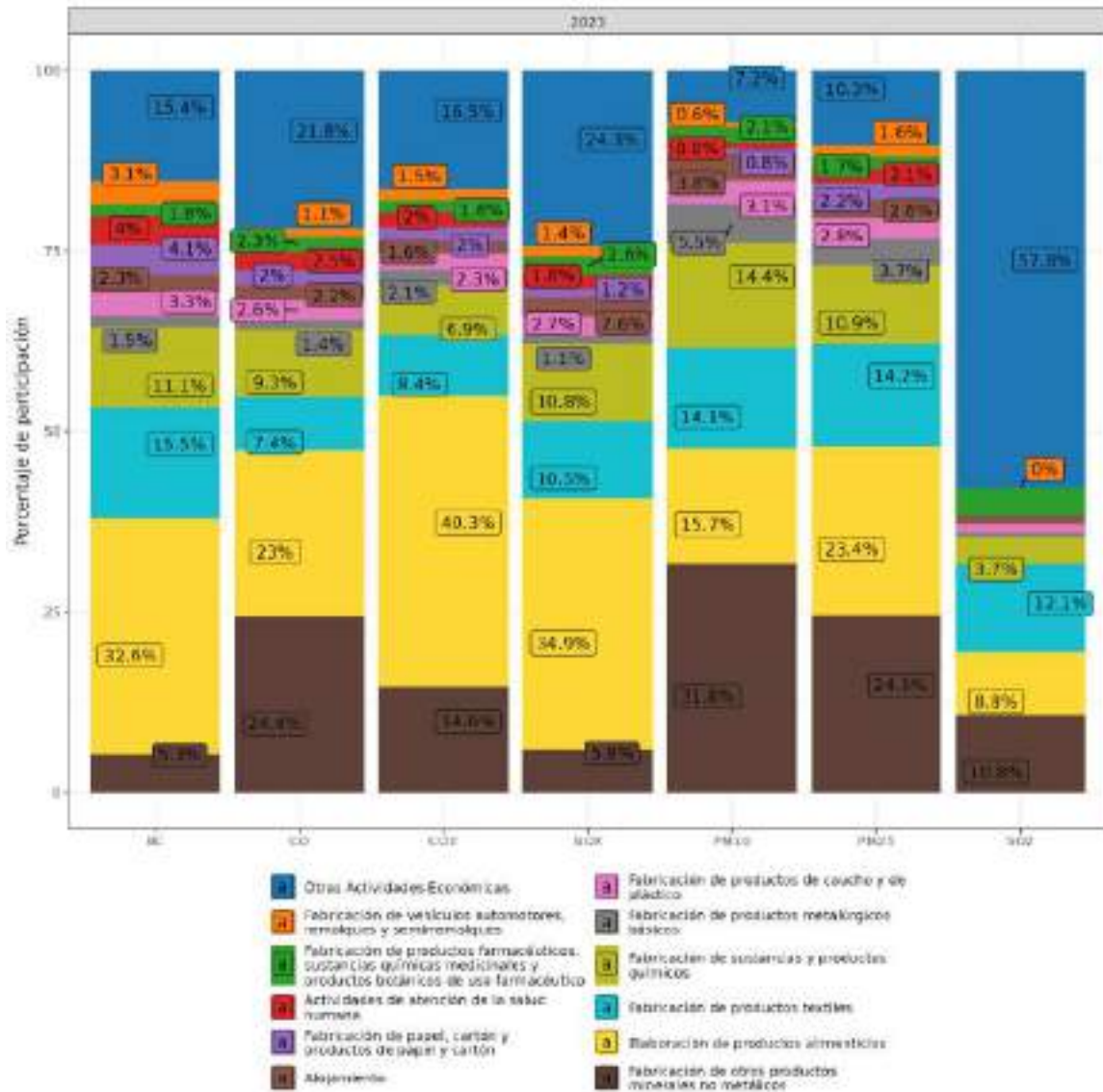
Por otra parte, la participación de sectores económicos en la emisión de contaminantes atmosféricos se presenta en la Figura 28, donde se puede evidenciar el consolidado de sectores productivos identificados en la ciudad, tanto de manufactura como de servicios. A continuación, se presenta el análisis de cada contaminante:

- Las emisiones de PM_{10} son generadas, principalmente por el sector de fabricación de otros productos minerales no metálicos, el cual lidera las emisiones debido al uso de hornos y procesos industriales con un 32%, seguido de la elaboración de productos alimenticios (16%) y fabricación de productos textiles (14%) también tienen una contribución importante, vinculada a procesos con alta generación de polvo y uso de combustibles sólidos, se destaca que el 7% de las emisiones son generadas por otras actividades enlistadas en la Figura 28.
- En el caso de las emisiones de $PM_{2.5}$, el sector de fabricación de otros productos minerales no metálicos tiene una participación del 34%, seguido por la elaboración de productos

alimenticios, que aporta un 23% y finalmente la fabricación de productos textiles tiene un aporte de 14%. Estas emisiones están asociadas principalmente al uso de calderas y hornos en los procesos industriales de estos sectores.

- Las calderas y hornos, al utilizar combustibles como carbón, gas natural o petróleo, generan partículas finas que se liberan al aire. En el sector de alimentos, estas emisiones se producen durante procesos como la cocción, el secado o la pasteurización. En la industria textil, el teñido, el acabado y el secado de textiles también contribuyen significativamente, mientras que, en la fabricación de productos químicos, las reacciones térmicas y químicas propias del sector son las principales fuentes.
- Las principales fuentes para el contaminante CO son la Fabricación de productos de otros minerales no metálicos (24%) y la Elaboración de productos alimenticios (23%). Estas emisiones están relacionadas con la combustión incompleta en procesos industriales.
- Las emisiones de SO₂ son generadas, principalmente por los sectores clasificados como Otras actividades económicas con un 58%, seguido del sector de fabricación de productos textiles, con un 12% de participación y fabricación de otros productos minerales no metálicos del 11%. Estas participaciones se destacan probablemente debido al uso de combustibles con alto contenido de azufre, lo que contribuye significativamente a la emisión de SO₂.
- En cuanto a las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx), los sectores que más contribuyen son el de elaboración de productos alimenticios, con un 35% de participación, seguido por el sector de otras actividades económicas, con un 24%. Además, los sectores de fabricación de productos textiles y fabricación de sustancias y productos químicos representan el 11% cada uno. Estas emisiones están relacionadas principalmente con el uso de altas temperaturas en los procesos de combustión, comunes en estos sectores.
- Para los compuestos orgánicos volátiles (COV), los sectores con mayor representación son, Elaboración de Productos Alimenticios con el 40% y Fabricación de otros productos minerales no metálicos con el 15% y otras actividades económicas con 16%. Estas emisiones, son típicas en procesos donde se utilizan solventes y productos orgánicos.
- Los sectores de mayor aporte a las emisiones de BC son la elaboración de productos alimenticios (33%) y Fabricación de productos textiles (16%); la fabricación de sustancias y productos químicos (11%) y otras actividades económicas (15%) tienen una alta contribución a las emisiones de BC, típicamente asociado a la combustión incompleta.

Para finalizar, los sectores elaboración de alimentos, textiles, productos minerales no metálicos y productos químicos son los mayores contribuyentes en la mayoría de los contaminantes.



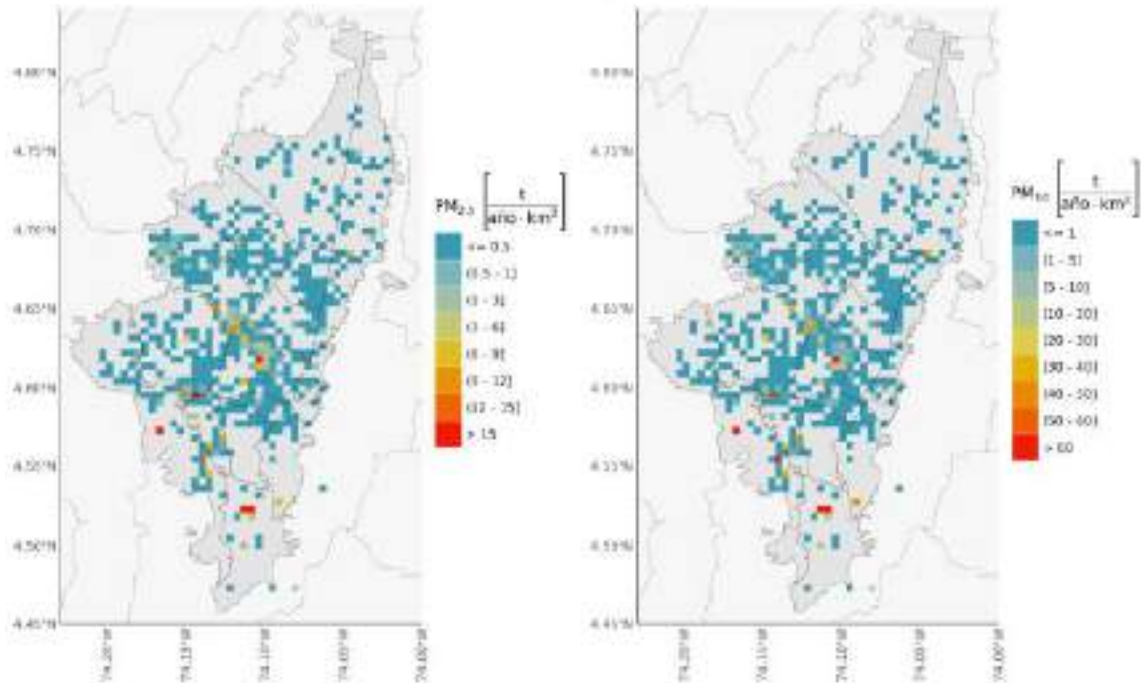
Fuente: Elaboración propia

Figura 28. Participación porcentual de las emisiones por combustión contaminantes de fuentes fijas, diferenciadas por sectores productivos

Desagregación espacial de las emisiones

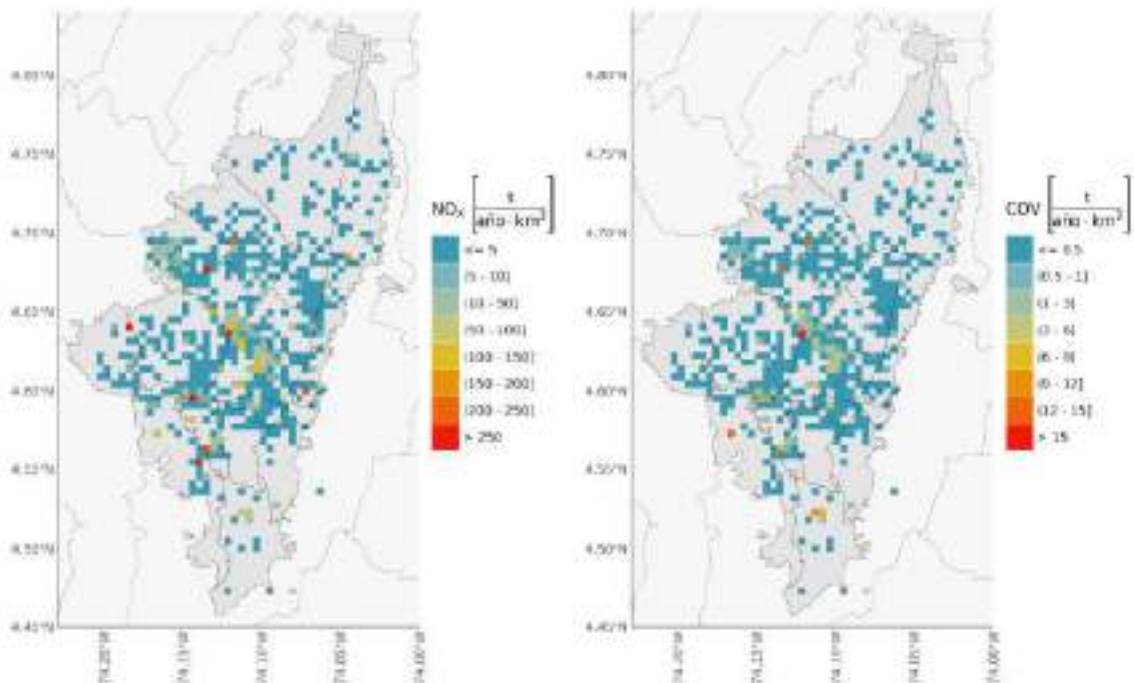
Desde la Figura 29 hasta la Figura 32 se presentan los mapas de distribución espacial de las emisiones provenientes de fuentes fijas industriales, tanto por combustión y combustión+proceso. Estos mapas permiten realizar un análisis georreferencial del aporte de las emisiones en las distintas localidades, tomando en cuenta las características específicas de cada industria en la ciudad de Bogotá.

En estos mapas, se destacan las áreas con mayores emisiones en la zona occidental y central de la ciudad. Sin embargo, en la zona sur, aunque las cantidades de emisiones son menores, su impacto ambiental es significativo debido a la naturaleza y agrupación de las industrias en esos sitios de la ciudad.



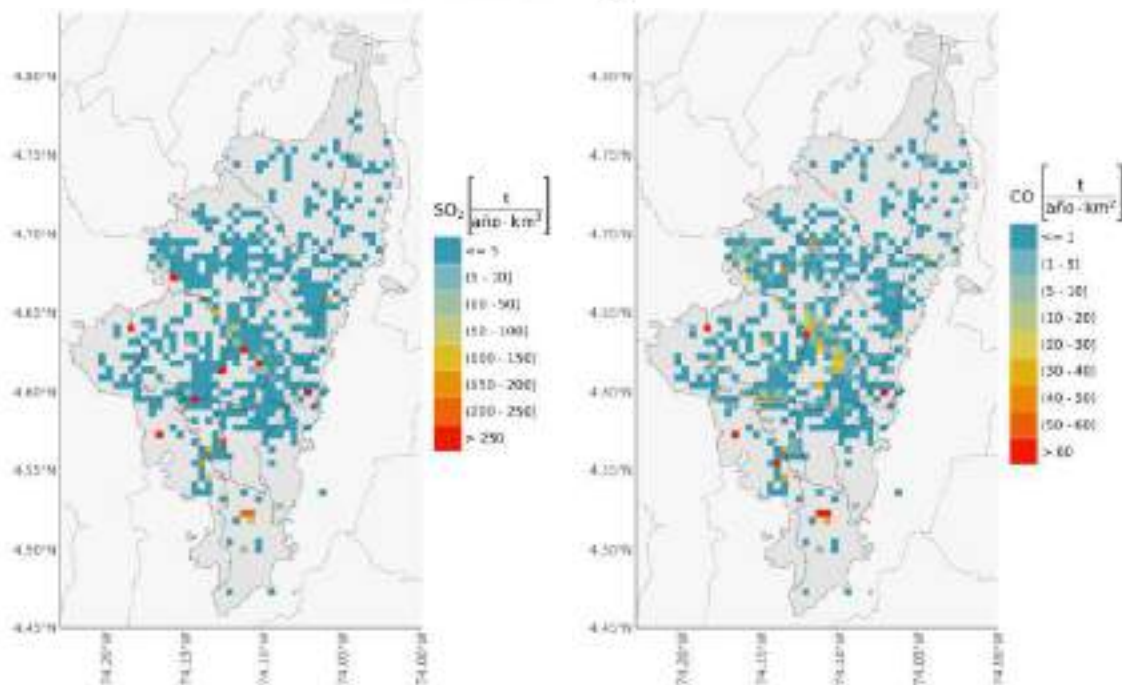
Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Distribución espacial de las emisiones $PM_{2.5}$ (izquierda) y PM_{10} (derecha) generadas por la quema de combustibles (combustión) en fuentes fijas industriales



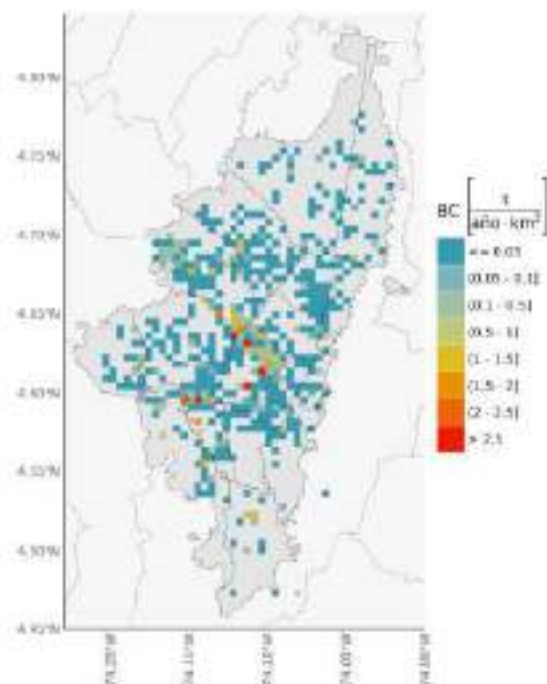
Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Distribución espacial de las emisiones de NO_x (izquierda) y COV (derecha) generadas por combustión en fuentes fijas industriales



Fuente: Elaboración propia

Figura 31. Distribución espacial de las emisiones de SO₂ (izquierda) y CO (derecha) generadas por combustión en fuentes fijas industriales

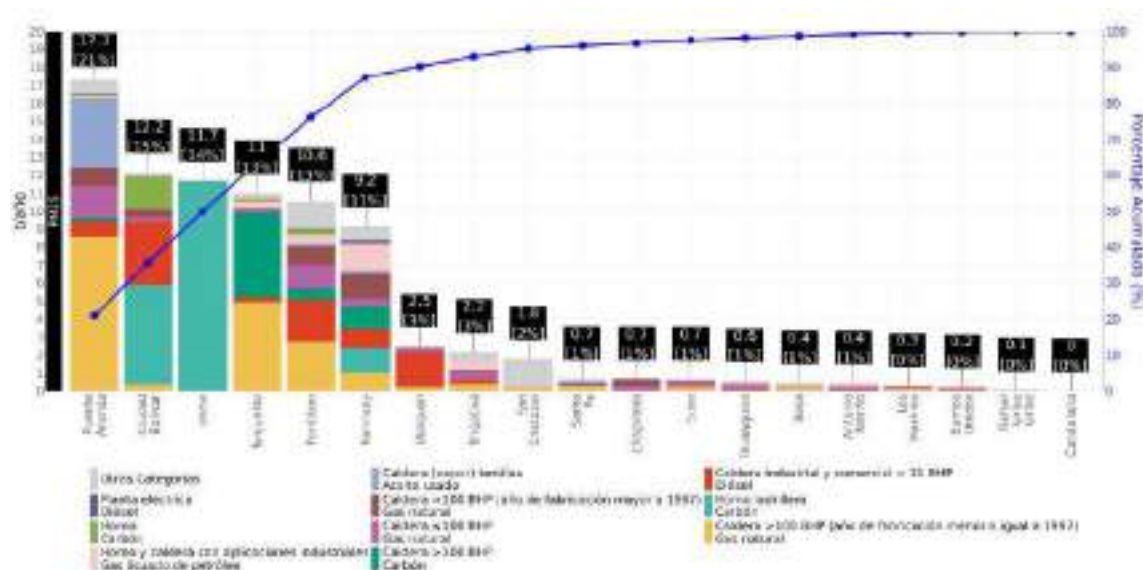


Fuente: Elaboración propia

Figura 32. Distribución espacial de las emisiones de BC generadas por combustión en fuentes fijas industriales

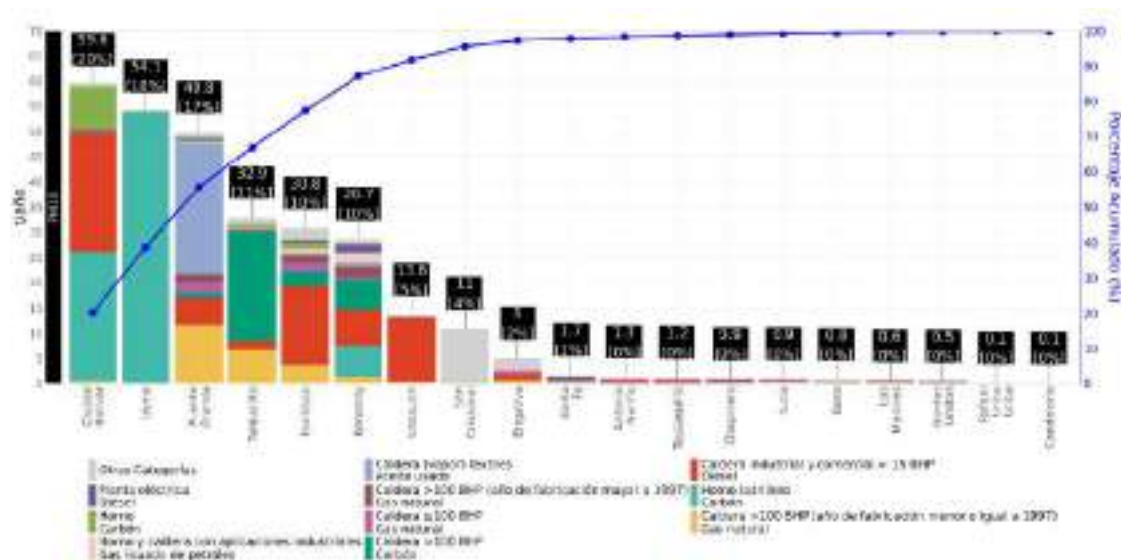
En términos generales, las localidades con mayores emisiones de contaminantes atmosféricos en Bogotá son Usme, Puente Aranda, Tunjuelito y Ciudad Bolívar. El orden de su participación

varía según el contaminante específico, lo cual está relacionado principalmente con el tipo de industria presente en la zona y el consumo de combustible en cada proceso productivo. En particular, para los contaminantes BC, PM_{2.5} y PM₁₀, las localidades con mayor aporte son Puente Aranda y Tunjuelito, como se observa en las Figura 33 a Figura 39. Esto se debe a que estas zonas albergan las principales áreas industriales de la ciudad, donde se registra el mayor uso de carbón, así como un alto consumo de combustibles como gas natural, GLP y diésel, en comparación con el resto de las localidades.



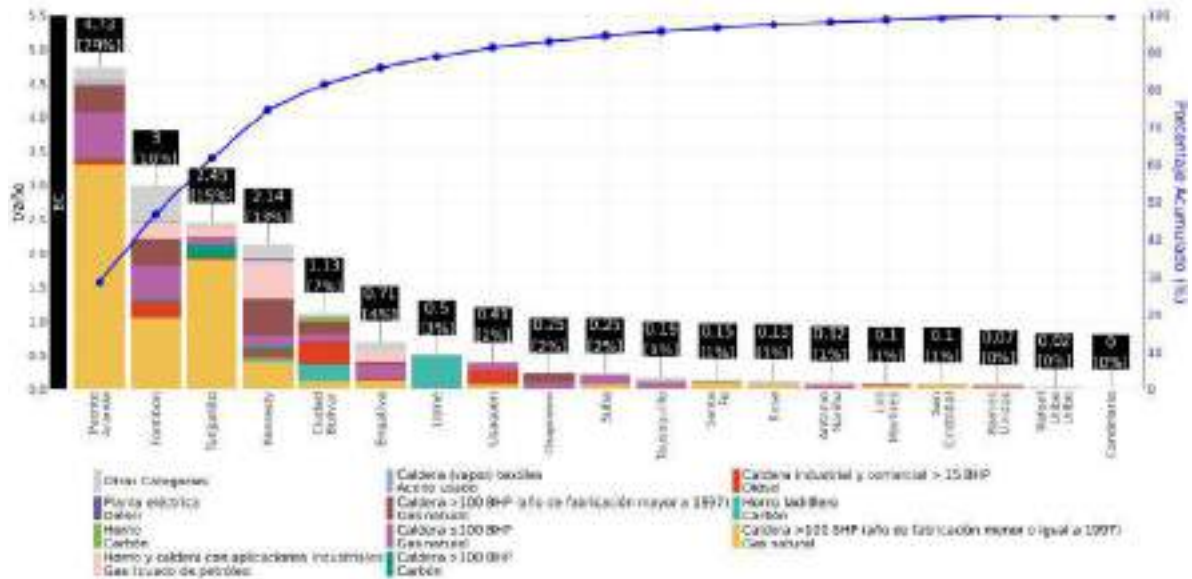
Fuente: Elaboración propia

Figura 33. Participación por localidad de las emisiones de PM_{2.5} por combustión en fuentes fijas industriales



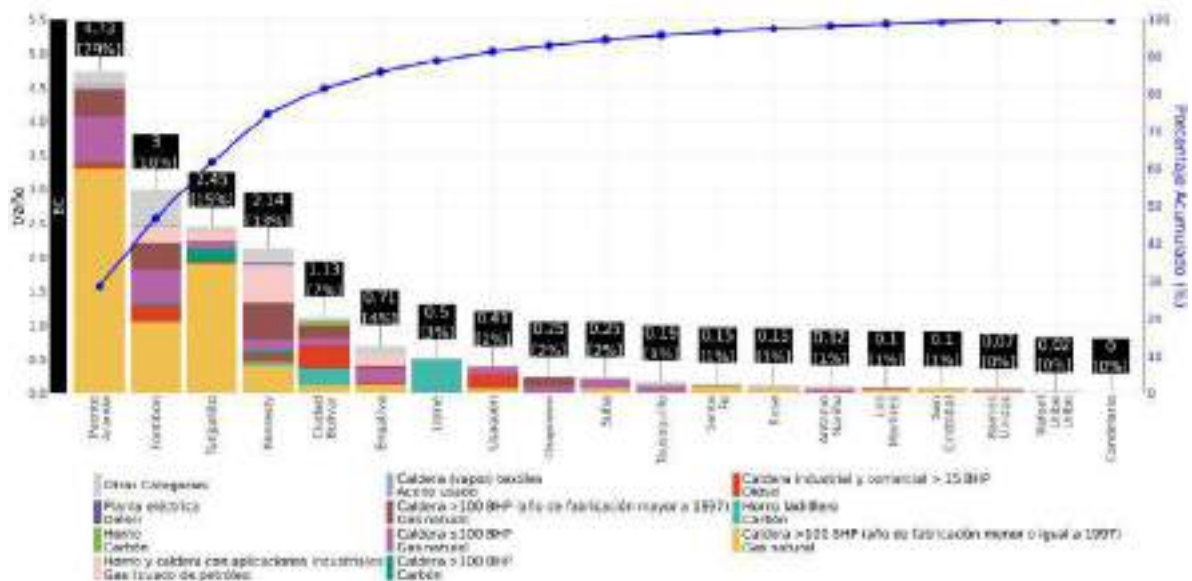
Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Participación por localidad de las emisiones de PM₁₀ por combustión en fuentes fijas industriales



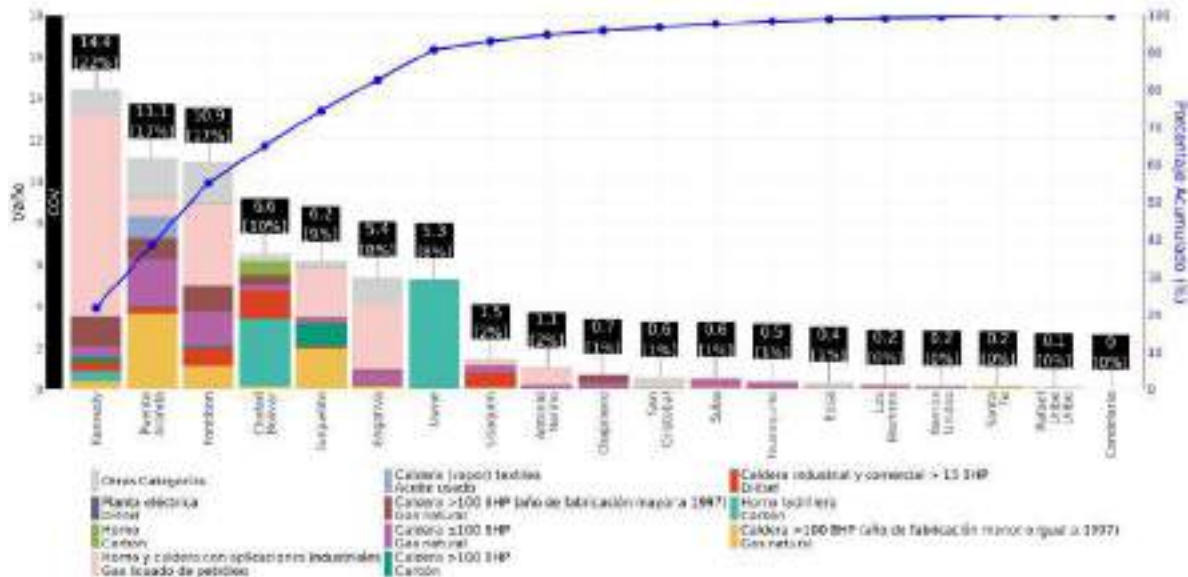
Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Participación por localidad de las emisiones de BC por combustión en fuentes fijas industriales



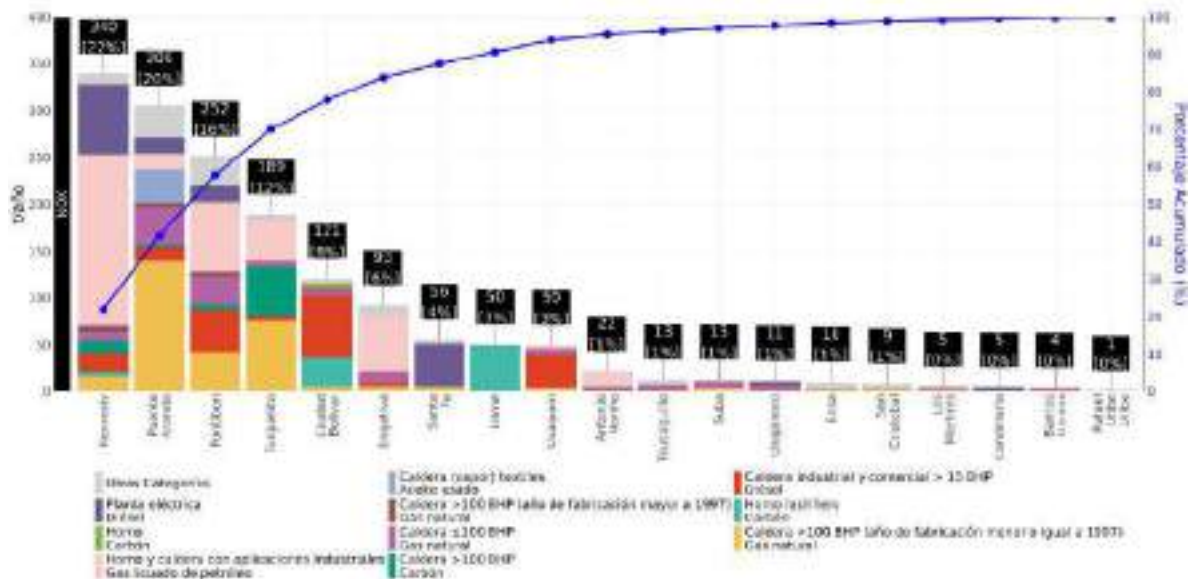
Fuente: Elaboración propia

Figura 36. Participación por localidad de las emisiones de CO por combustión en fuentes fijas industriales



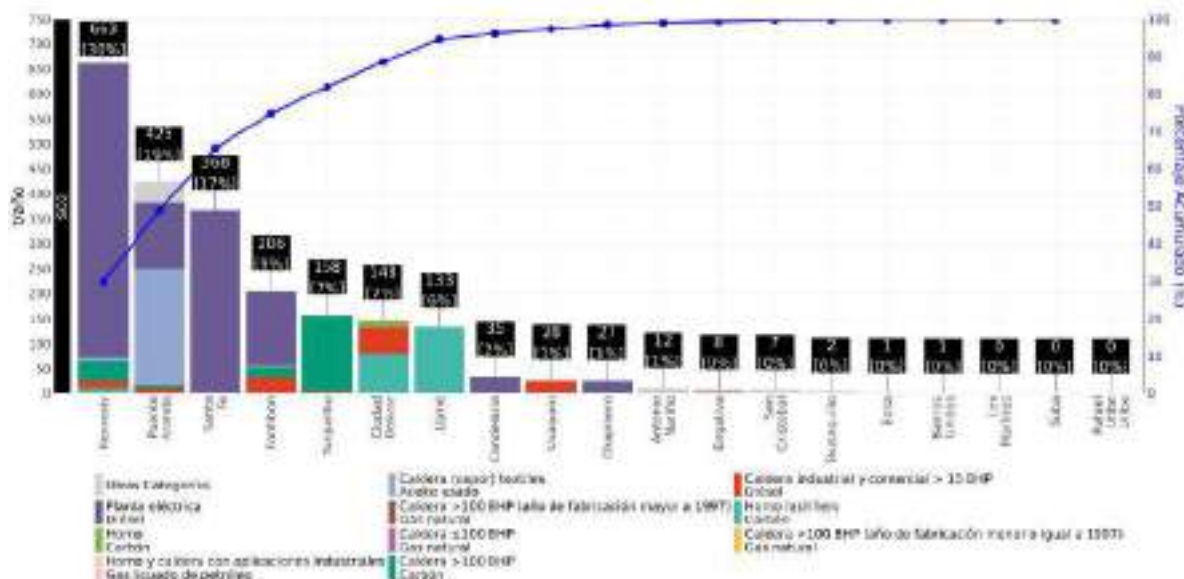
Fuente: Elaboración propia

Figura 37. Participación por localidad de las emisiones de COV por combustión en fuentes fijas industriales



Fuente: Elaboración propia

Figura 38. Participación por localidad de las emisiones de NOx por combustión en fuentes fijas industriales



Fuente: Elaboración propia

Figura 39. Participación por localidad de las emisiones de SO₂ por combustión en fuentes fijas industriales

Es importante señalar que la distribución de las emisiones en algunas localidades no está necesariamente vinculada de manera directa con la cantidad de fuentes fijas o establecimientos presentes. Las emisiones dependen de una serie de variables interrelacionadas, como la actividad económica, el tipo de proceso productivo, el tipo y cantidad de combustible utilizado, así como su forma de dosificación. También influyen factores como el tipo, capacidad y antigüedad de las fuentes, su forma de operación, el tiempo de funcionamiento y mantenimiento, y los insumos utilizados, entre otros.

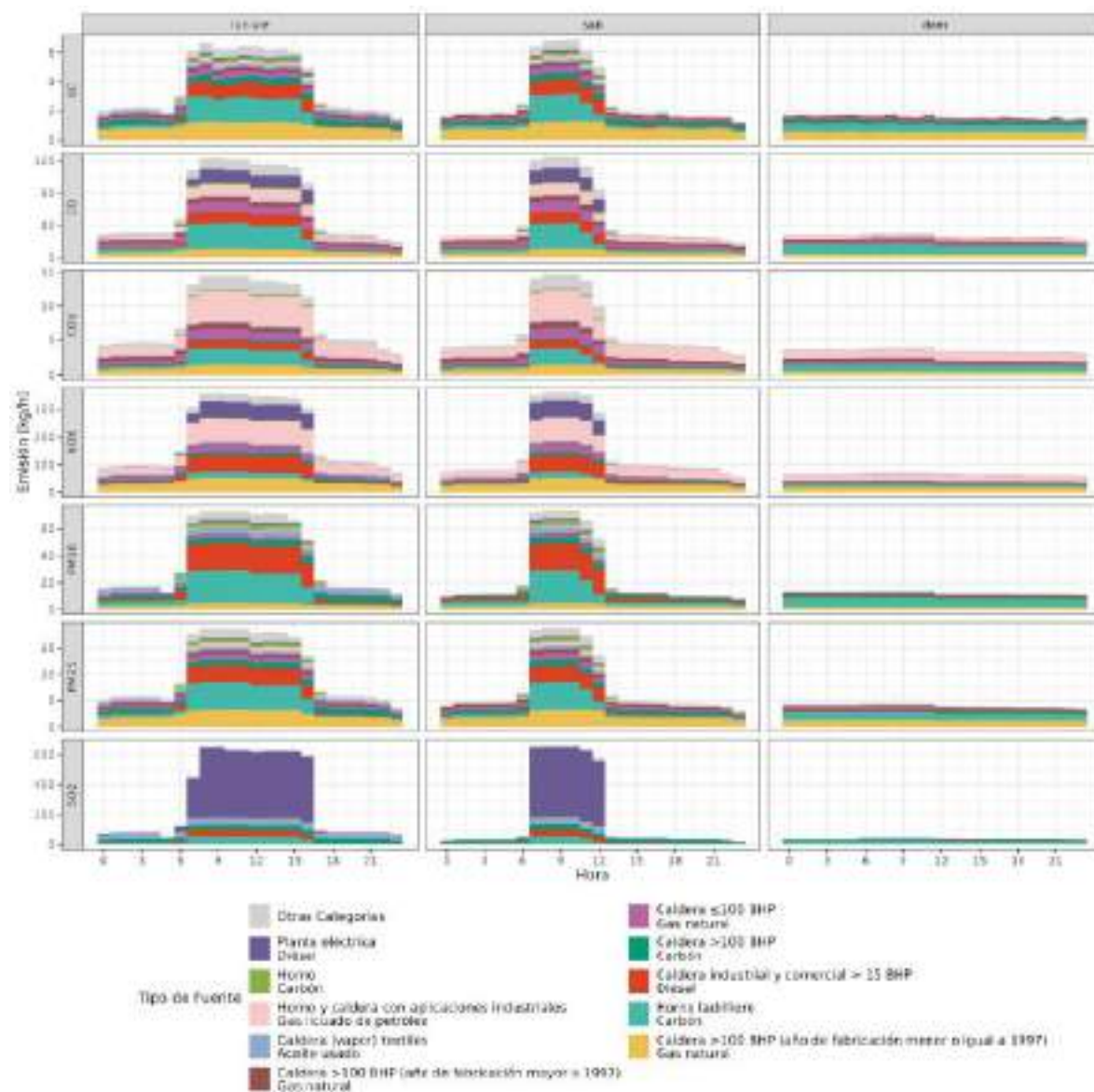
Un ejemplo claro de esta situación es la localidad de Usme, donde se observa el mayor porcentaje de emisiones de PM_{2.5} y PM₁₀, atribuibles principalmente al alto consumo de carbón por parte del sector ladrillero. Sin embargo, la cantidad de fuentes en este sector es muy baja, como se mostró en la Figura 5.

Desagregación horaria de las emisiones

La distribución horaria de las emisiones de los contaminantes criterio (PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, CO, NO_x y COV) provenientes de las fuentes fijas industriales se presenta en la Figura 40, diferenciada por días hábiles (lunes a viernes), sábados y domingos. En ella se observa que las industrias presentan su mayor actividad durante los días de semana, con un aumento en las emisiones a partir de las 6:00 a.m., momento en el que inician sus labores. Este incremento alcanza su pico máximo alrededor de las 12:00 p.m., y luego las emisiones comienzan a descender gradualmente hasta llegar a su mayor disminución a las 4:00 p.m., coincidiendo con el final de la jornada laboral.

Por otro lado, los sábados se registra una reducción de aproximadamente un 30% en las emisiones, en comparación con los horarios laborales de los días hábiles. Esta disminución, sin embargo, se presenta de forma más directa tras el pico de emisiones. En los domingos, el

comportamiento es más plano debido a la menor cantidad de industrias que operan ese día, siendo principalmente las fuentes de operación continua las que mantienen cierta actividad.



Fuente: Elaboración propia

Figura 40. Perfiles horarios de emisiones para fuentes fijas industriales

4.1.2. Resultados históricos de los inventarios de emisiones por combustión en las fuentes fijas industriales

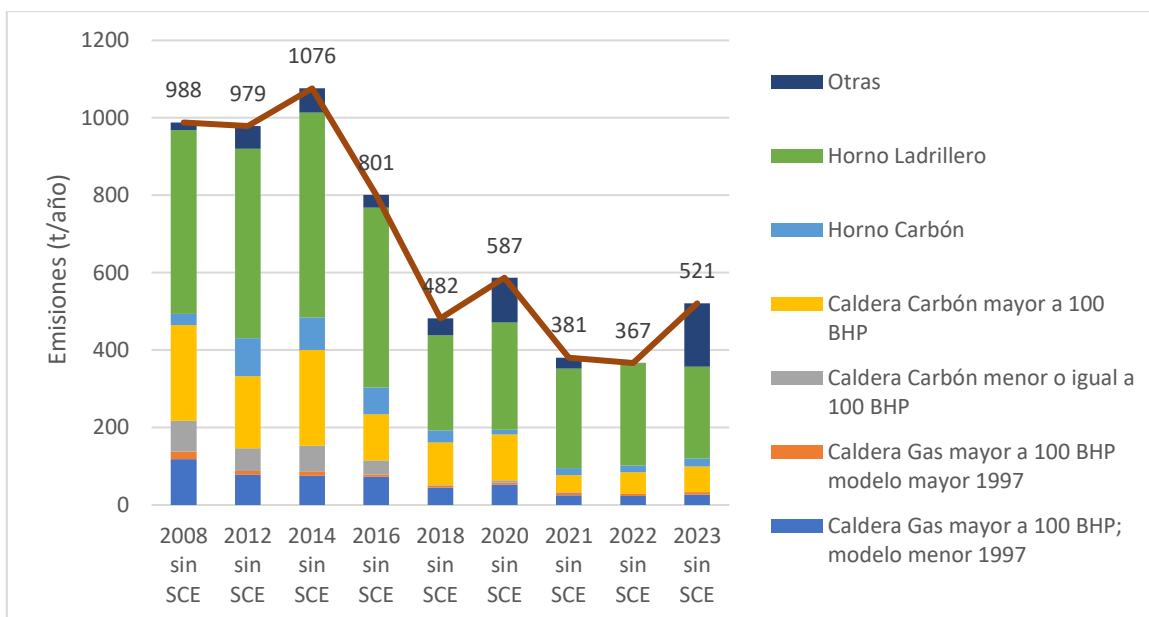
Conforme a las estimaciones de emisiones por combustión de cada uno de los contaminantes criterio para las fuentes fijas industriales, desde el año 2008 hasta el 2023, se tiene una disminución de dichas emisiones desde el año 2014. Este comportamiento se asocia a la conversión de varias de las fuentes que utilizan combustibles sólidos (madera o carbón) o líquidos (diésel, aceite usado tratado) a combustibles menos contaminantes como el gas natural; migración de la industria a municipios cercanos a la ciudad; entrada en operación de fuentes con

combustibles y energéticos más limpios, así como al desmantelamiento de fuentes y cese de actividades de establecimientos.

Las fuentes fijas en el año 2023 registraron incrementos en varios de los contaminantes con respecto al inventario 2022. Esta tendencia es esperada a partir razones referentes a la dinámica de la ciudad y del control de fuentes. En primer lugar, a partir de ser el segundo año completo sin restricciones postpandemia a la industria, se identifica que, para este año, se incrementó la producción en las empresas con mayor cantidad de emisiones de material particulado y se registró también un incremento en la cantidad de combustible usado por dichas industrias, lo que llevó a un aumento en las emisiones. Si bien el recambio tecnológico y el montaje de Sistemas de Control de Emisiones es importante, y también se incrementó en la ciudad, las dinámicas de producción y las mejores prácticas en la industria prevalecen como el factor más relevante que da lugar a la cantidad de contaminantes de las fuentes fijas sobre la ciudad.

Las emisiones totales aumentaron de 988 toneladas en 2008 a 1076 toneladas en 2014, mostrando un aumento del 9%. Esto podría estar relacionado con el aumento en el uso de las tecnologías menos eficientes o la falta de regulación en las fuentes de emisiones. Desde el 2014 se evidencia una Reducción significativa desde el máximo de 1076 toneladas en 2014, las emisiones disminuyen gradualmente hasta 521 toneladas en 2023, lo que representa una reducción de más del 50%. Esto sugiere la implementación de medidas de control de emisiones o el reemplazo de tecnologías más contaminantes por opciones más sostenibles. Finalmente podemos evidenciar que los Hornos Ladrilleros son los mayores contribuyentes en la mayor parte del período analizado. Su participación disminuye después de 2014, lo que indica cambios en procesos productivos, modernización de hornos o implementación de normativas para controlar las emisiones.

Para el caso puntual de PM_{10} , en la Figura 41 y la Tabla 11 se presenta el comportamiento histórico de emisiones (t/año) sin tener en consideración el porcentaje de remoción de los Sistemas de Control de Emisión (SCE) instalados. La evolución histórica del 2008 ha mostrado una disminución considerable en las emisiones de las fuentes fijas industriales, debido principalmente a la reducción del consumo de carbón en calderas y en hornos ladrilleros. Este comportamiento también se ve reflejado en las emisiones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ teniendo en consideración la reducción de emisiones por los SCE, los cuales se presentan en la Figura 42, Figura 43 y la Tabla 12. Se debe mencionar que la eficiencia de los SCE empleadas para este estudio fueron definidos a partir de información de porcentajes teóricos de remoción y ajustes de dichos porcentajes conforme a consultas a expertos.



Fuente: Elaboración propia

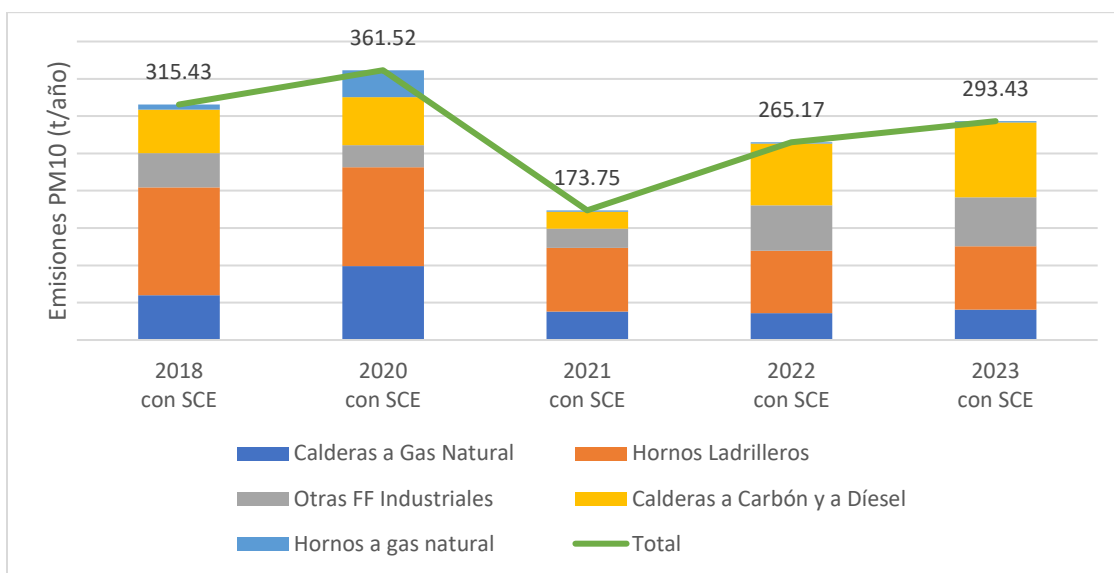
Figura 41. Emisiones históricas de PM₁₀ de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, sin considerar la remoción por SCE, periodo 2008-2023

Tabla 11. Emisiones históricas de PM₁₀ de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, sin considerar la remoción por SCE, periodo 2008-2023

Tipo de fuente	Emisiones (t/año)								
	2008 sin SCE	2012 sin SCE	2014 sin SCE	2016 sin SCE	2018 sin SCE	2020 sin SCE	2021 sin SCE	2022 sin SCE	2023 sin SCE
Caldera Gas mayor a 100 BHP; modelo menor 1997	118.6	78.3	75.5	73.4	45	5.2	25.4	23.8	27.1
Caldera Gas mayor a 100 BHP modelo mayor 1997	19.8	9.8	11.3	5.6	5	6.1	6.5	5.6	6.3
Caldera Carbón menor o igual a 100 BHP	79	58.7	66.7	35.8	1.7	5.6	1.8	0.2	0.1
Caldera Carbón mayor a 100 BHP	247	186	246.8	119.6	109.9	118.2	43.4	55.3	66.3
Horno Carbón	29.6	97.9	84.5	69.4	30.9	12.2	18.6	17.0	20.3
Horno Ladrillero	474.2	489.5	529	464.1	246.1	277.1	256.8	264.6	237.4
Otras	19.8	58.7	62.2	33.4	43.5	115.5	28.2	0.4	163.7
Total	988	979	1076	801	482	587	381	367	521

Fuente: Elaboración propia

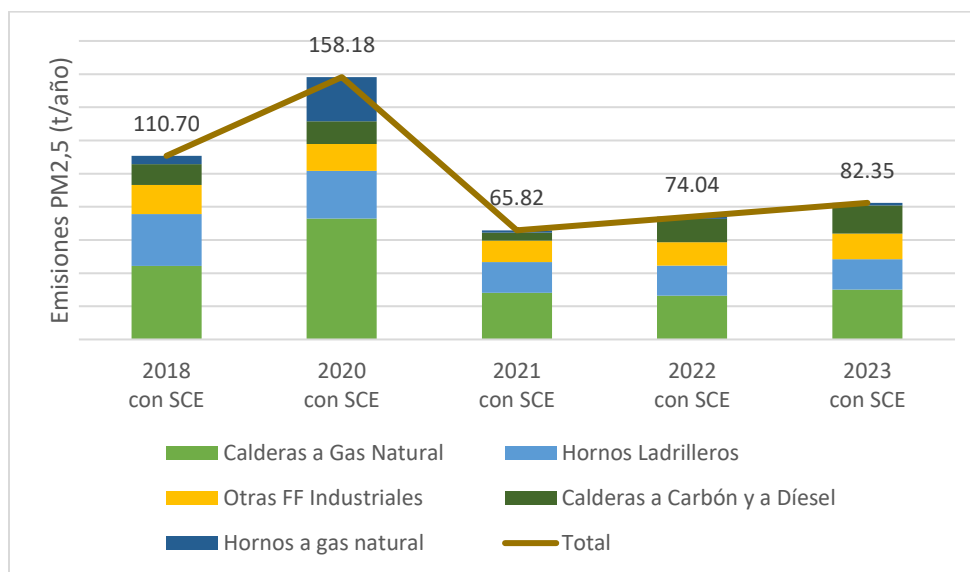
En la Figura 42 se evidencia el año 2020 como pico máximo, en donde las emisiones de PM₁₀ alcanzaron su punto máximo con 361.52 toneladas por año y la principal fuente de emisión en ese año fueron las calderas a gas natural, seguidas por los hornos ladrilleros, las otras fuentes industriales y las calderas a carbón y diésel tienen contribuciones menores. Desde el 2020, las emisiones disminuyen a lo largo de los años hasta el año 2023, donde se alcanzan 293.43 t/año. Este descenso es atribuible probablemente a la implementación de las remociones por SCE y la optimización de las tecnologías.



Fuente: Elaboración propia

Figura 42. Emisiones históricas de PM₁₀ de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, considerando la remoción por SCE, periodo 2018-2023

Cómo se evidencia en la Figura 43, el año 2020 tiene la mayor participación de emisiones de PM_{2.5} al igual que en las PM₁₀, con un total de 158.18 t/año. La distribución por fuente es similar a la de PM₁₀, con las calderas a gas natural y hornos ladrilleros como las principales fuentes de emisiones. En 2023, las emisiones de PM_{2.5} disminuyen a 82.35 t/año, lo que muestra una reducción significativa en la contaminación del aire. Esta disminución sugiere que las medidas de control (SCE) han tenido un impacto efectivo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 43. Emisiones históricas de PM_{2.5} de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, considerando la remoción por SCE, periodo 2018-2023

Tabla 12. Emisiones históricas de PM₁₀ y PM_{2.5} de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, considerando la remoción por Sistemas de Control de Emisiones, periodo 2018-2023

Tipo de fuente	Emisiones PM ₁₀ (t/año)					Emisiones PM _{2.5} (t/año)				
	2018	2020	2021	2022	2023	2018	2020	2021	2022	2023
Calderas a Gas Natural	60.14	98.84	38.22	35.82	40.82	44.38	72.94	28.21	26.43	30.13
Hornos Ladrilleros	144.57	132.59	85.28	83.75	84.87	31.23	28.64	18.42	18.09	18.33
Otras FF Industriales	45.85	29.83	25.88	61.06	65.31	17.58	16.24	12.90	14.06	15.33
Calderas a Carbón y a Diésel	58.04	64.33	22.37	82.72	100.48	12.46	13.84	4.81	14.11	17.12
Hornos a gas natural	6.83	35.93	2.01	1.83	1.95	5.04	26.52	1.48	1.35	1.44
Total	315.43	361.52	173.75	265.17	293.43	110.70	158.18	65.82	74.04	82.35

Fuente: Elaboración propia

Los Hornos ladrilleros y calderas a gas natural son los principales aportantes de emisiones, pero su contribución se reduce con el tiempo. Mientras Otras fuentes industriales, Similar al caso de las PM₁₀, su contribución es relativamente pequeña pero constante. Finalmente, las Calderas a carbón y diésel, disminuye notablemente en los años posteriores.

Conforme a lo presentado en las Figura 41, Figura 42 y Figura 43, se mantiene el comportamiento histórico de participación de emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5} por tipo de fuente, con SCE, de las emisiones de los hornos ladrilleros y calderas a gas, presentando variaciones de reducción de emisiones en hornos y calderas que operan a carbón, debido a conversión de combustible a gas natural o GLP, a la desinstalación de fuentes y cierre de establecimientos y sin SCE los comportamientos se mantienen muy similares al año anterior (2022), solo se presenta disminución para el tipo de fuentes pertenecientes a otras.

Por otra parte, en las estimaciones de PM₁₀ y PM_{2.5} del año 2020 se presentó un aumento respecto al año 2018, asociado a la identificación de otras fuentes de emisión que no necesariamente son nuevas, sino que gracias a la refinación de los procesos verificación y validación de la información se han podido incluir en el inventario. Así mismo, se puede evidenciar nuevamente una disminución de las emisiones de las fuentes fijas para el año 2023, principalmente por la disminución de consumos de combustibles, parada temporal de operación de fuentes e incluso cierre de establecimientos, como consecuencia de la emergencia sanitaria declarada por el COVID-19.

4.2. Inventario de Emisiones por combustión de Fuentes Fijas Residenciales

En cuanto a las emisiones por combustión por las fuentes fijas residenciales se contemplan en este documento únicamente aquellas generadas por el consumo de gas natural, dada la disponibilidad de información o falta de la definición metodológica de estimación, otros combustibles empleados en las actividades residenciales tales como Gas Licuado de Petróleo o Madera no pudieron ser estimados.

Para este tipo de fuentes, solo se ha podido estimar las emisiones con enfoque *Top-Down* debido a que la información de consumo de gas natural para la ciudad no se encuentra desagregada espacialmente.

4.2.1. Inventario de emisiones *Top-Down*

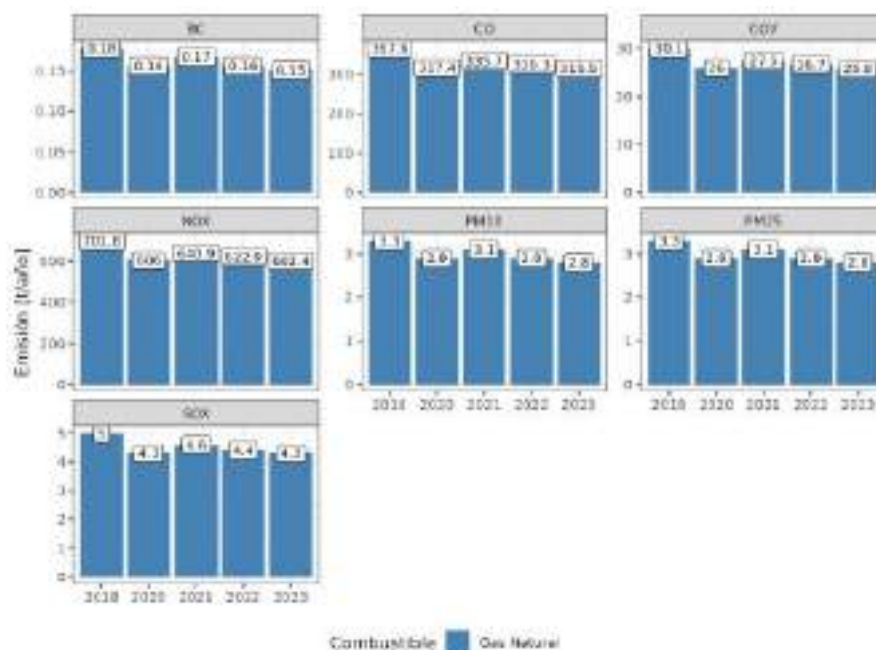
Las emisiones residenciales corresponden a aquellas emisiones generadas por fuentes en los hogares que utilizan gas natural para cocinar, calentar agua y otros fines. El detalle de la metodología de estimación se presenta en la sección G del Anexo 1. En la Tabla 13 se presentan los resultados totales de estas emisiones para los años 2018, 2020, 2021, 2022 y 2023.

Tabla 13. Emisiones residenciales de los años 2018 a 2023

Contaminante	Emisiones (t/año)				
	2018	2020	2021	2022	2023
PM ₁₀	3.3	2.9	3.1	2.9	2.8
PM _{2.5}	3.3	2.9	3.1	2.9	2.8
COV	30.1	26.0	27.5	26.7	25.8
NO _x	701.8	606.0	640.9	622.9	602.4
CO	367.6	317.4	335.7	326.3	315.5
SO ₂	5.0	4.3	4.6	4.4	4.3

Fuente: Elaboración propia

Dentro del comportamiento de las emisiones históricas de este tipo de fuentes, se destaca una relativa estabilidad de emisiones a lo largo de los años; sin embargo, es más notoria la reducción de emisiones de los contaminantes NO_x y CO entre el año 2018 y 2020 producto del COVID-19, y en general, las emisiones estimadas para todos los contaminantes en el año 2023 tienen la tendencia a ser menores a las reportadas para los años anteriores.



Fuente: Elaboración propia

Figura 44. Histórico de emisiones residenciales

4.3. Inventario de emisiones por combustión de fuentes móviles en ruta (vehículos en carretera)

Las emisiones para este tipo de fuentes se han estimado con las metodologías *Bottom-Up* y *Top-Down*; estimar las emisiones por ambos enfoques, conforme a la metodología y las fuentes de información disponibles, es necesario únicamente para las fuentes móviles, ya que la desagregación de emisiones deseada por tecnología, tipo de combustible y otras variables, no es realizable con la información utilizada para el *Bottom-Up* como son los conteos vehiculares. Realizar el inventario de emisiones por ambos enfoques para las demás fuentes, es un ejercicio de validación que permite determinar la coherencia de las emisiones obtenidas por un solo enfoque.

En la sección A del Anexo 1 se explica con detalle las metodologías utilizadas actualmente por la Secretaría Distrital de Ambiente, para realizar la estimación de este tipo de emisiones. Se resalta que algunas de las metodologías aquí presentadas, tienen como base otros ejercicios realizados en conjunto con la comunidad académica (Universidad de La Salle, Ecopetrol, & SDA, 2018) (Universidad de La Salle & SDA, 2013), y que en la mayoría de los casos han sido mejoradas o modificadas totalmente, según lo requerido por la Secretaría Distrital de Ambiente.

Finalmente, cabe mencionar que se han cambiado gran parte de los factores de emisión, lo que ha generado un cambio drástico en las magnitudes de estas emisiones, en comparación con los inventarios anteriormente publicados por la Secretaría Distrital de Ambiente, cambio que se realiza según nuevas actualizaciones metodológicas, nueva disponibilidad de información medida en campo de estas emisiones y por sugerencias de la academia. En resumen, para esta actualización se reemplazaron los factores de emisión del modelo IVE por los estimados usando el modelo *COPERT en su versión más reciente (v5.8)*; esta decisión se basó en nueva evidencia técnica local obtenida a través del proyecto FECOC+ de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), que mostró diferencias significativas en la magnitud de las emisiones medidas además de nuevos avances en la clasificación de la flota vehicular hecha por la Secretaría Distrital de Ambiente. Los factores de emisión actualizados con COPERT corresponden a las categorías vehiculares: automóviles, taxis, camperos, camionetas, camiones, motocicletas y buses del transporte especial e intermunicipal. En el caso del SITP se mantiene el uso de los factores de emisión generados dentro de las mediciones locales realizadas en los Convenios con la Universidad Nacional de Colombia (Universidad Nacional de Colombia & SDA, 2012) (2013)

Durante la consolidación de la nueva base de factores de emisión, se evaluó la viabilidad técnica de usar los factores generados por las mediciones directas dentro del Convenio CO1.PCCNTR.5104655 de 2023 entre UPME y Universidad de Antioquia, donde se determinaron factores de emisión de vehículos livianos, motocicletas, camiones y autobuses para Colombia. Sin embargo, al evaluar la base de datos de FE generada, se evidenció como principal conclusión que desafortunadamente ésta no logra representar totalmente el parque vehicular de la ciudad

por la metodología de selección de vehículos de medición. En la sección A del Anexo 1 podrá encontrarse mayor detalle sobre el diagnóstico realizado.

4.3.1. Inventario de emisiones Top-Down

El inventario de emisiones del año 2023 estimado por enfoque *Top-Down* por categorías vehiculares y contaminantes criterio se presenta en la Tabla 14.

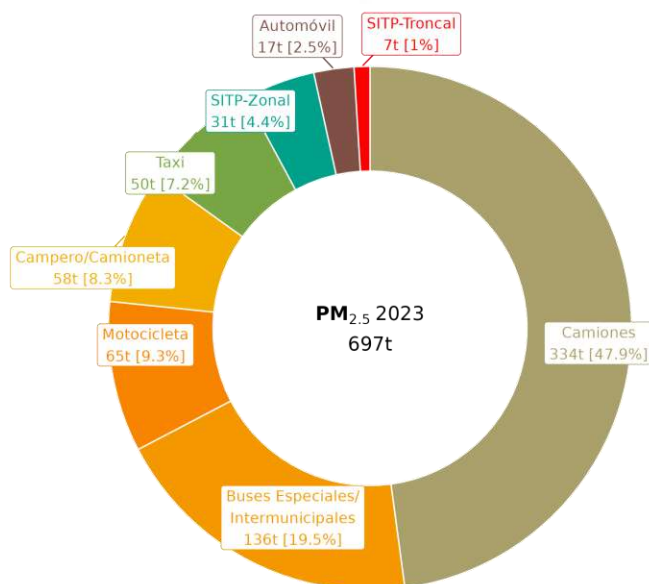
En total se emitieron 697 toneladas de $PM_{2.5}$ (Figura 45) de las cuales, la categoría de transporte de carga es el que tiene mayor participación con un 48%, seguido del transporte especial e intermunicipal, con un 20%, las motocicletas con un 9% y los camperos y camionetas con 8%.

Tabla 14. Inventario de emisiones de combustión por las fuentes móviles en carretera por categoría vehicular para el año 2023 con enfoque *Top-Down*

Categoría vehicular	Emisiones (t/año)					
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	NO_x	CO	COV	SO_x
Camiones	363.8	333.8	12893.1	2517.3	724.3	21.6
Buses Especiales/ Intermunicipales	147.5	135.8	4256.6	6278.0	3249.3	17.0
Motocicleta	97.9	64.8	1213.1	21028.7	2937.9	23.5
Campero/Camioneta	63.4	57.6	2072.0	11790.3	1800.0	94.7
Taxi	91.4	50.5	853.5	8692.2	1093.1	30.8
SITP-Zonal	34.0	30.7	3388.2	2850.0	38.3	8.8
Automóvil	19.0	17.3	3097.0	32177.3	4061.2	104.5
SITP-Troncal	7.6	6.8	1799.4	1297.3	15.7	4.1
Total	824.6	697.3	29572.9	86631.0	13919.8	305.0

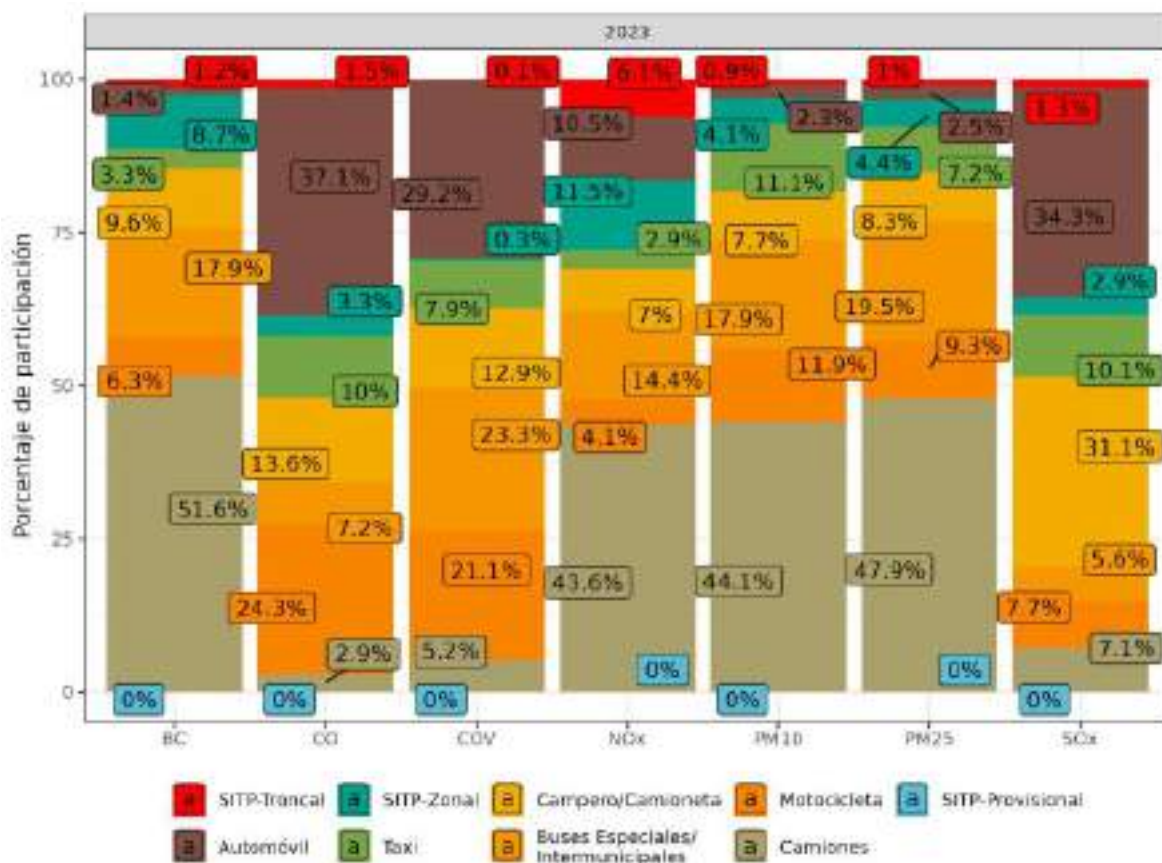
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 46 se puede observar el comportamiento de las emisiones de los demás contaminantes criterio para 2023 de acuerdo con cada categoría vehicular; los camiones son el principal aportante de PM_{10} , ya que representa el 44% de las emisiones de este contaminante, seguido del transporte especial e intermunicipal, que concentran el 18%. En cuanto a las emisiones de NO_x , se tiene que el 44% corresponde a los camiones, y el 14% a transporte especial e intermunicipal; las emisiones de SO_x se asocian principalmente a los automóviles y a los camperos y camionetas, ya que participan con el 34% y 31% respectivamente, seguidos de taxis con el 10%. Por su parte, las emisiones de CO y COV se concentran principalmente en los automóviles y las motocicletas, ya que participan con el 37% y 24% de CO, y con el 29% y 21% de COV, respectivamente. COV también presenta un aporte significativo del transporte especial e intermunicipal con el 23%.



Fuente: Elaboración propia

Figura 45. Participación porcentual por categoría vehicular de las emisiones de PM_{2.5} estimada con enfoque *Top-Down* para el año 2023



Fuente: Elaboración propia

Figura 46. Participación porcentual en emisiones por categoría vehicular para los contaminantes criterio estimada con enfoque *Top-Down* para el año 2023

4.3.2. Inventario de emisiones Bottom-Up

En la Tabla 15, se presentan las emisiones totales por categoría vehicular generadas a partir del inventario de la metodología *Bottom-Up*.

Tabla 15. Inventario de emisiones de combustión por las fuentes móviles en carretera por categoría vehicular para el año 2023 con enfoque *Bottom-Up*

Categoría vehicular	Emisiones (t/año)						
	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO _x	CO	COV	SO _x	BC
Camiones	274.0	251.9	9277.7	1997.5	689.6	12.2	128.8
Motocicleta	170.6	113.0	2113.1	36630.1	5118.2	41.0	15.8
Buses Especiales/ Intermunicipales	92.4	81.7	3163.8	4612.3	2927.4	17.9	44.7
Campero/Camioneta	67.3	64.7	2364.4	14394.4	2208.3	115.2	23.9
Taxi	88.7	57.4	1071.8	11130.6	1408.1	31.1	8.4
SITP-Zonal	40.4	37.4	3101.6	3327.3	33.9	9.3	21.7
Automóvil	23.7	23.6	4250.7	44201.8	5568.7	144.2	3.4
SITP-Troncal	6.9	6.5	1602.7	1180.5	13.1	3.6	3.1
Total	764.0	636.1	26945.7	117474.4	17967.3	374.6	249.7

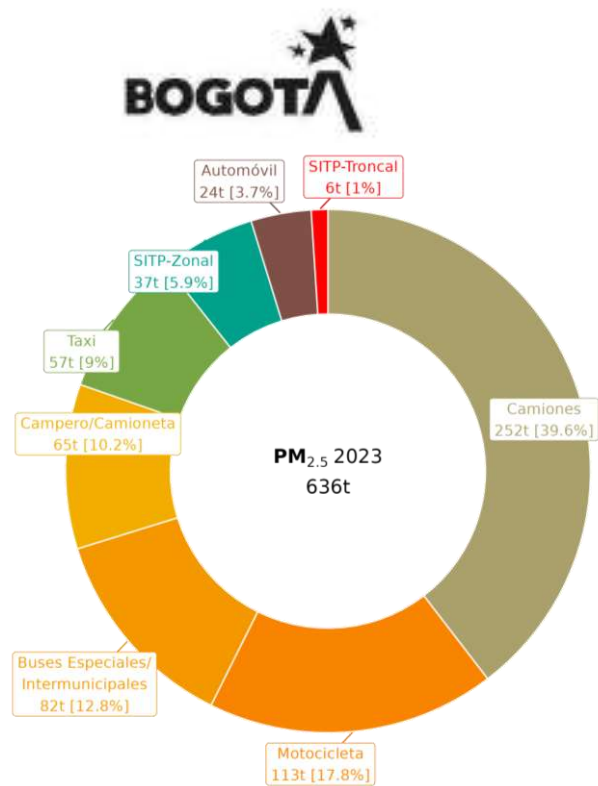
*Incluye categorías buses especiales e Intermunicipales

** Incluye la categoría de Especiales Livianos

Fuente: Elaboración propia

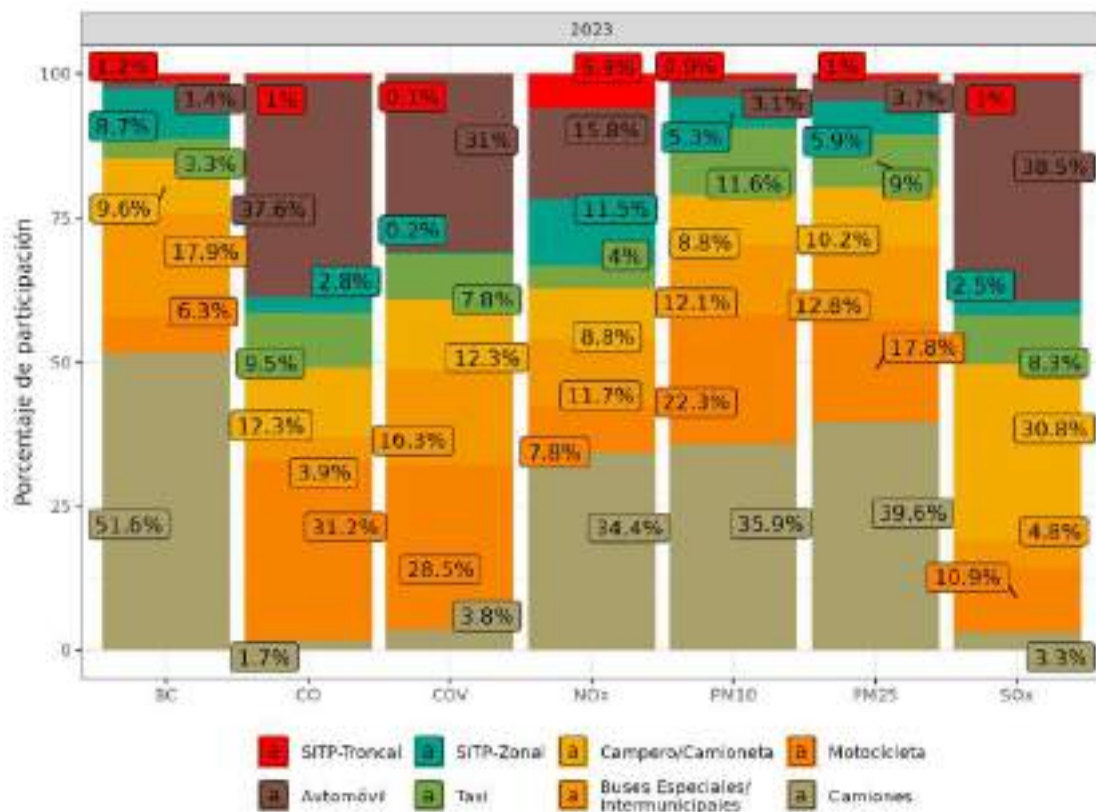
La distribución de emisiones de PM_{2.5} (Figura 47) tiene un comportamiento similar a las estimadas a la metodología *Top-Down* descritas en la sección 4.3.1, obteniendo para el año 2023 un valor de 636 t de PM_{2.5}, las fuentes móviles en carretera que emiten mayores emisiones por combustión son los camiones con el 40% de las emisiones, seguido de las motocicletas con 18% y el transporte especial e intermunicipales con un 13% (ver Figura 47).

En cuanto a los demás contaminantes criterio (Figura 48), las emisiones de CO y COV son dominadas mayoritariamente por automóviles y por motocicletas, las cuales, en conjunto, son responsables de más del 60% de emisiones de estos contaminantes. Por otro lado, PM₁₀ tiene un comportamiento similar a PM_{2.5}, mientras que en BC se destaca que los camiones y el transporte especial aportan más del 52% de las emisiones de la ciudad; En el caso de las emisiones de NO_x, los camiones, los automóviles y los camperos y camionetas aportan en conjunto cerca del 62% de dichas emisiones, finalmente, los óxidos de azufre son emitidos en su mayoría por los vehículos livianos (automóviles, camperos, camionetas y taxis), cuyas emisiones representan cerca del 78% del total de SO_x emitidos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 47. Participación porcentual por categoría vehicular de las emisiones de PM_{2.5}, estimada con enfoque *Bottom-Up*, año 2023.

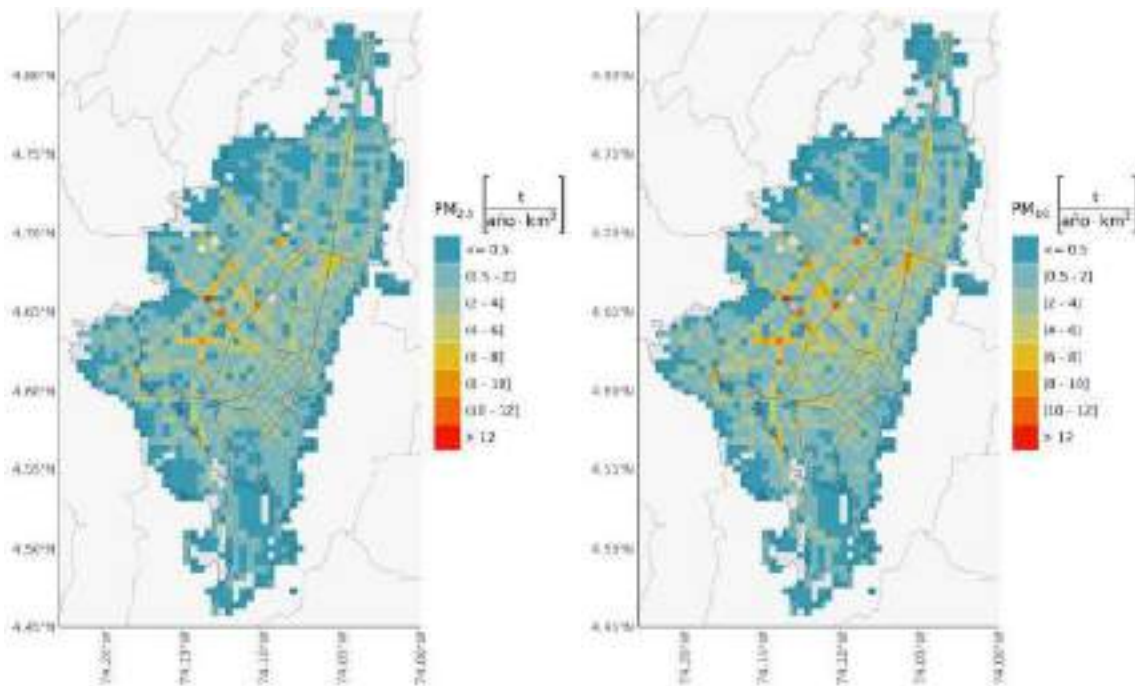


Fuente: Elaboración propia

Figura 48. Participación porcentual en emisiones por categoría vehicular para los contaminantes criterio y Black carbón, estimada con enfoque *Bottom-Up* para el año 2023

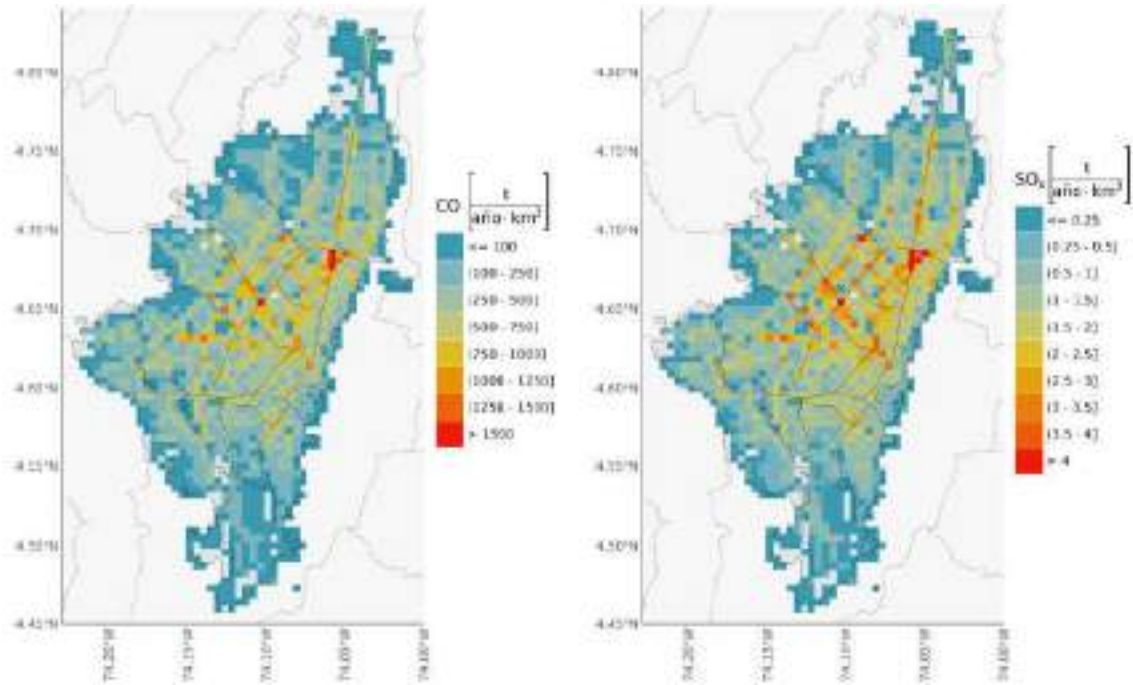
Desagregación espacial para emisiones

La desagregación de emisiones de forma espacial por medio de mapas se presenta desde la Figura 49 a la Figura 52, en donde se observa que las mayores emisiones se concentran en la zona centro de la ciudad y se distribuye a partir de ramificaciones por las vías principales de la ciudad, como la Avenida Boyacá, Autopista norte, Autopista Sur, Avenida El Dorado, Avenida Ciudad de Cali, la Avenida Carrera 68 y la Avenida NQS; así mismo se destaca que, en general los sitios de mayores emisiones de fuentes móviles, usualmente corresponden a la intersección de las vías mencionadas anteriormente. En el caso del PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_x y BC , las mayores emisiones se encuentran en la Avenida NQS, entre la Avenida Calle 80 y la Avenida El Dorado, la Avenida de las Américas, la Avenida El Dorado, la Avenida Boyacá entre la calle 80 y la Autopista Sur y la Avenida Calle 13. En el caso de los demás contaminantes, estas emisiones tienden a concentrarse con mayor intensidad en las localidades de Chapinero y Teusaquillo.



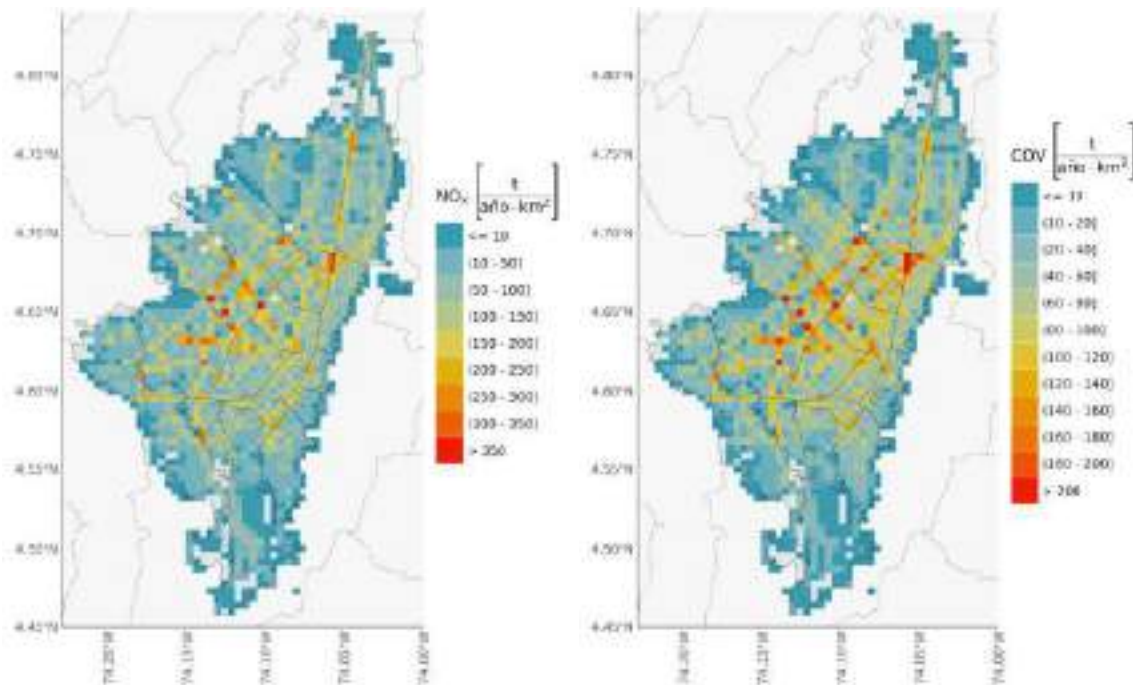
Fuente: Elaboración propia

Figura 49. Distribución espacial de emisiones $PM_{2.5}$ y PM_{10} generadas por fuentes móviles por combustión en 2023



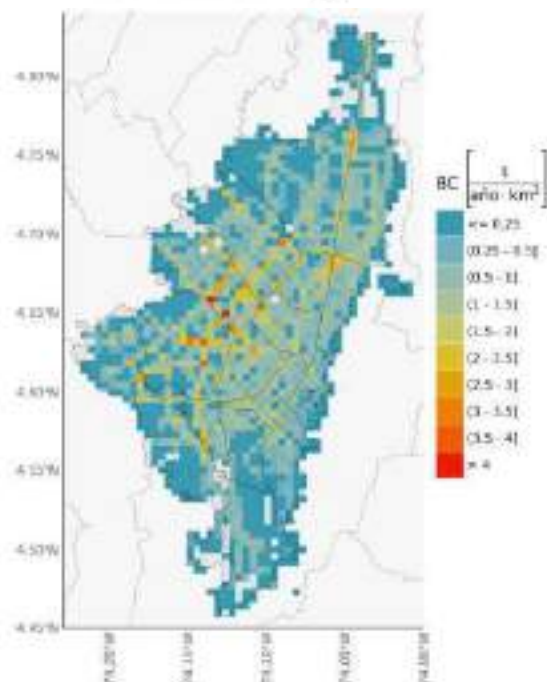
Fuente: Elaboración propia

Figura 50. Distribución espacial de emisiones de CO y SOx generadas por fuentes móviles por combustión en 2023



Fuente: Elaboración propia

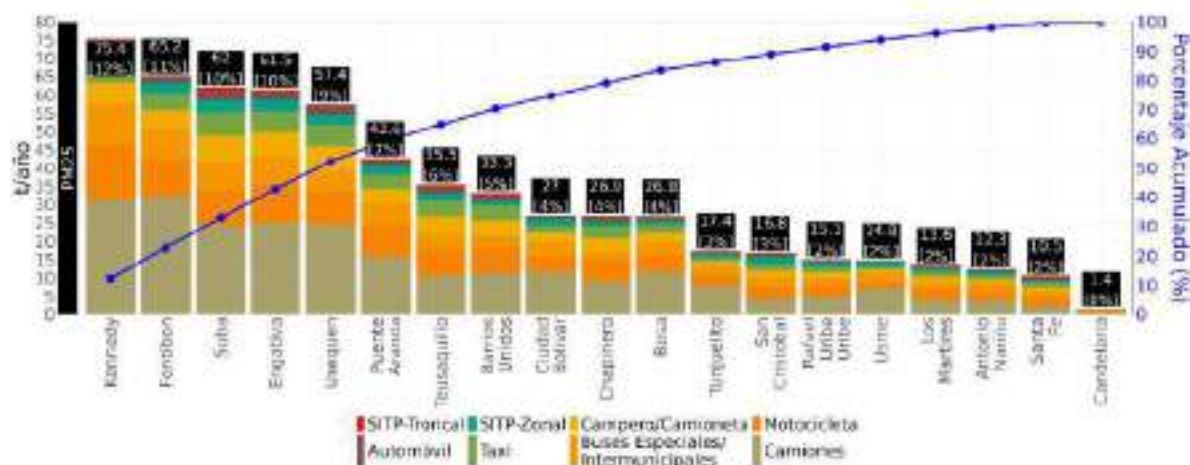
Figura 51. Distribución espacial de emisiones de NOx y COV generadas por fuentes móviles por combustión en 2023



Fuente: Elaboración propia

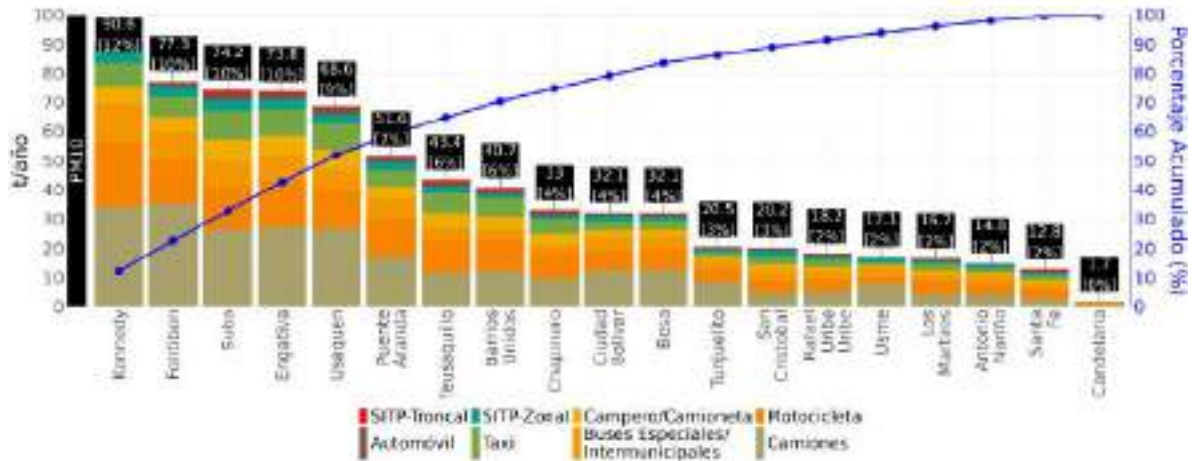
Figura 52. Distribución espacial de emisiones de BC generadas por fuentes móviles por combustión en 2023

En cuanto a las emisiones por localidad, entre la Figura 53 y la Figura 59, se observa que la participación de la localidad de Kennedy es mayoritaria en los contaminantes PM_{10} , $PM_{2.5}$, COV, CO y NO_x , debido a su tamaño, cantidad de vías y diversidad de fuentes móviles; en el caso de SO_x y CO, las mayores emisiones se presentan en Suba, debido a la mayor cantidad de vehículos livianos y de motos en esta localidad, finalmente, Kennedy y Fontibón son las localidades que más emiten BC debido al alto tráfico de camiones que transitan por esta zona de la ciudad.



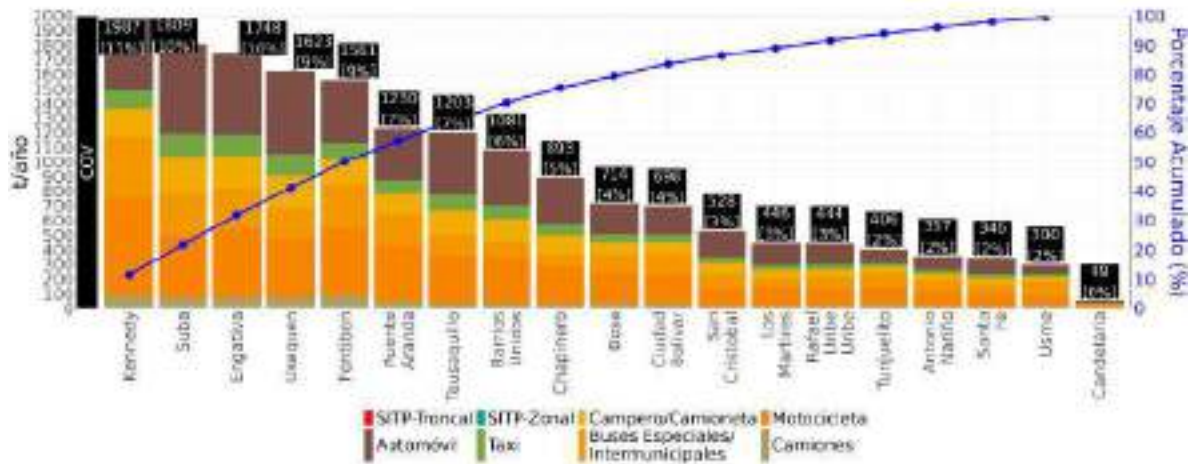
Fuente: Elaboración propia

Figura 53. Distribución por localidad de emisiones de $PM_{2.5}$ generadas por las fuentes móviles por combustión



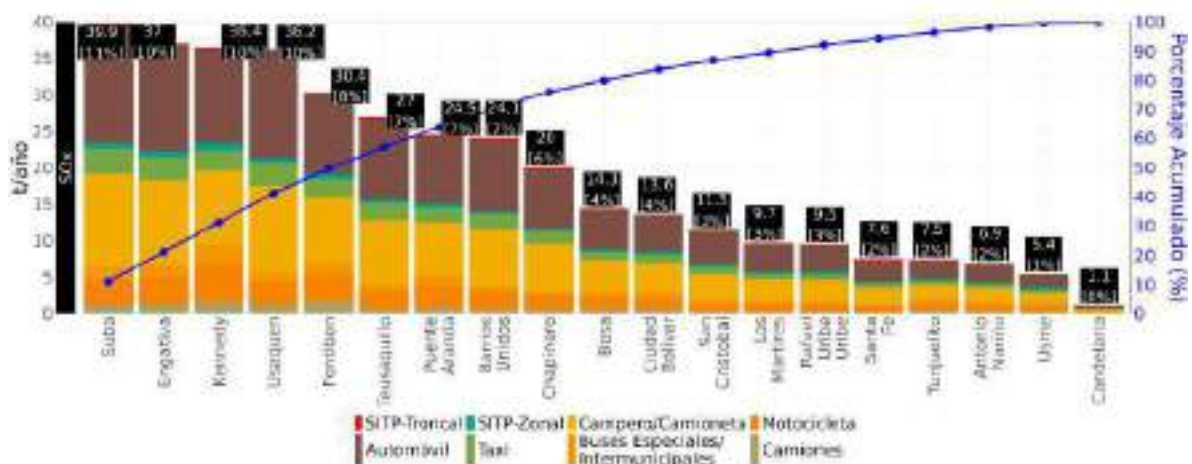
Fuente: Elaboración propia

Figura 54. Distribución por localidad de emisiones de PM₁₀ generadas por las fuentes móviles por combustión



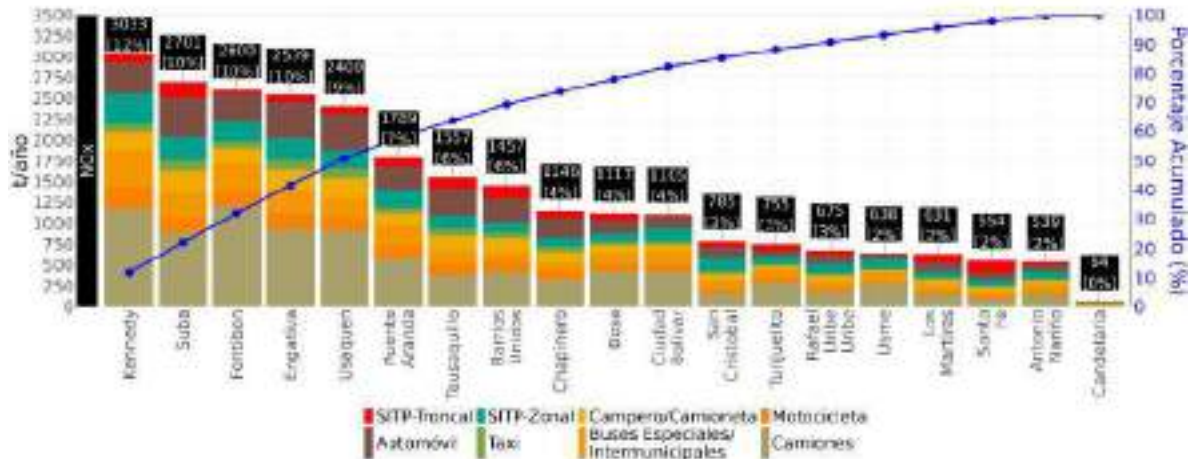
Fuente: Elaboración propia

Figura 55. Distribución por localidad de emisiones de COV generadas por las fuentes móviles por combustión



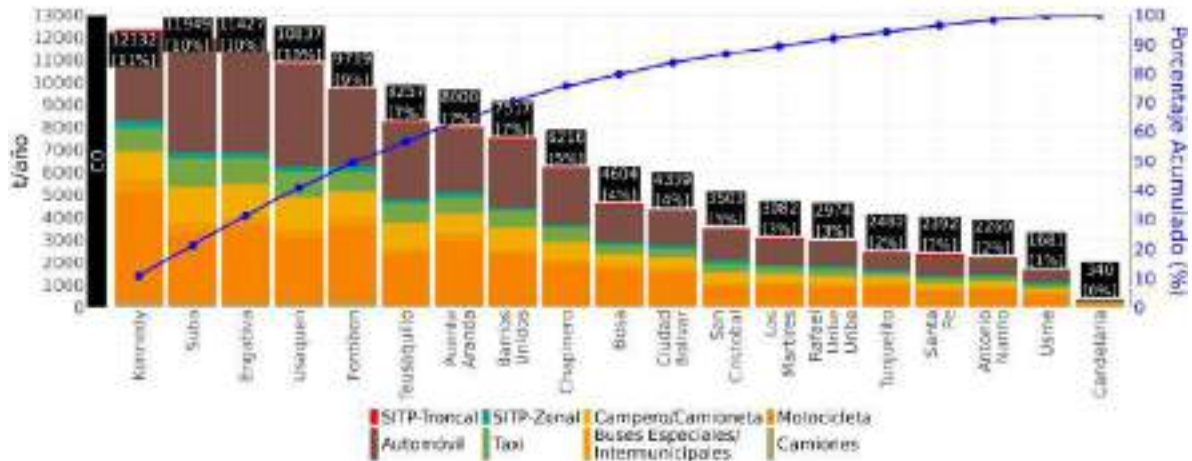
Fuente: Elaboración propia

Figura 56. Distribución por localidad de emisiones de SO_x generadas por las fuentes móviles por combustión



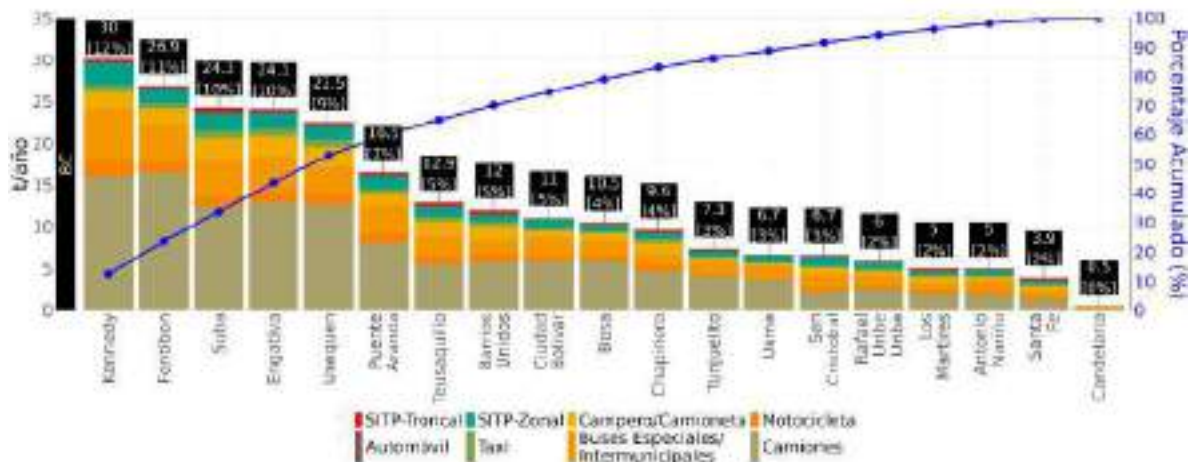
Fuente: Elaboración propia

Figura 57. Distribución por localidad de emisiones de NOx generadas por las fuentes móviles por combustión



Fuente: Elaboración propia

Figura 58. Distribución por localidad de emisiones de CO generadas por las fuentes móviles por combustión



Fuente: Elaboración propia

Figura 59. Distribución por localidad de emisiones de BC generadas por las fuentes móviles por combustión

Desagregación temporal horaria de las emisiones

Los perfiles horarios de emisión por combustión en fuentes móviles en carretera se encuentran en la Figura 60, para los contaminantes $PM_{2.5}$, PM_{10} , CO, NO_x , SO_x , COV y BC. En estas gráficas se presentan las emisiones de las categorías agregadas, y para los días tipo lunes a viernes (lun-vie), sábados (sab) y domingos (dom).

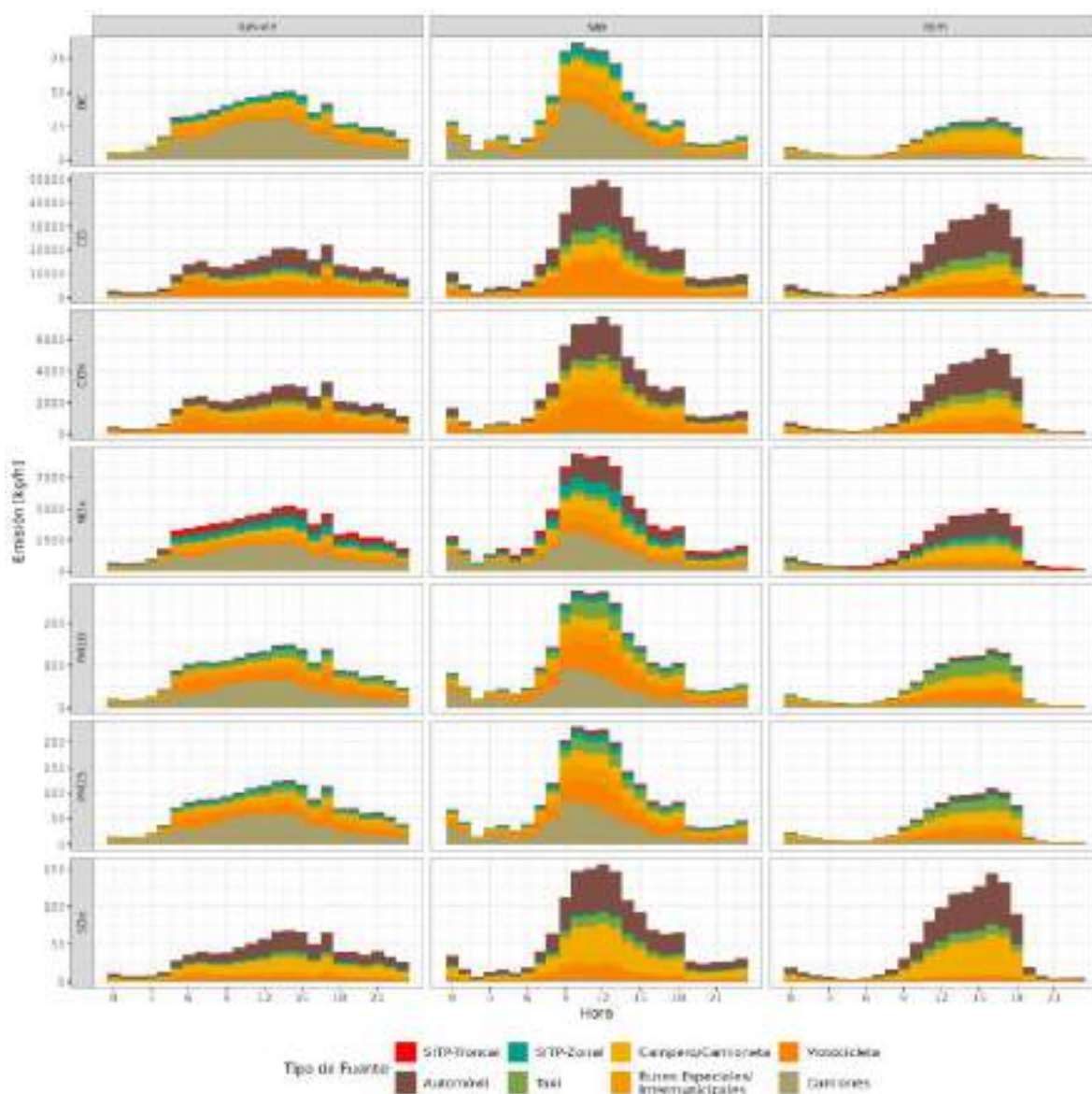
En los días hábiles (lun-vie), las emisiones de los contaminantes BC, $PM_{2.5}$ y PM_{10} , son generadas principalmente por vehículos de carga e inician su aumento desde las 2:00 horas, incrementando gradualmente hasta las 15:00 horas del día.

Para los demás contaminantes como SO_x , CO, NO_x y COV, dada que su emisión es generada en su mayoría por automóviles, camperos y camionetas (livianos), motocicletas y buses, su comportamiento sigue lo esperado según las horas pico, en donde se destaca un valor máximo de emisión entre las 6:00 y 8:00 y las 16:00 y las 18:00.

Para los sábados, todas las categorías presentan un aumento creciente de emisiones entre las 08:00 y las 12:00, y con el transcurrir de las horas tiene un comportamiento descendente hasta las horas de la noche; las emisiones horarias en el pico del sábado duplican las emisiones horarias del pico de emisiones alcanzado en los días hábiles.

Los domingos, el crecimiento de las emisiones de los contaminantes se observa entre las 06:00 y las 17:00, luego de este periodo, las emisiones empiezan a descender llegando a los valores más bajos de emisiones entre las 21:00 y las 23:00. En este día tipo se observan emisiones considerablemente más bajas que en el resto de la semana.

Finalmente, en cuanto a la participación de las categorías vehiculares en las emisiones horarias, se destacan los vehículos livianos y las motos como los mayores emisores de CO, SO_x y COV, y los camiones como mayores emisores de NO_x , BC, PM_{10} y $PM_{2.5}$.



Fuente: Elaboración propia

Figura 60. Distribución horaria de emisiones generadas por las fuentes móviles por combustión del año 2023 por categoría vehicular

4.3.3. Comparación entre metodologías de estimación Top-Down y Bottom-Up

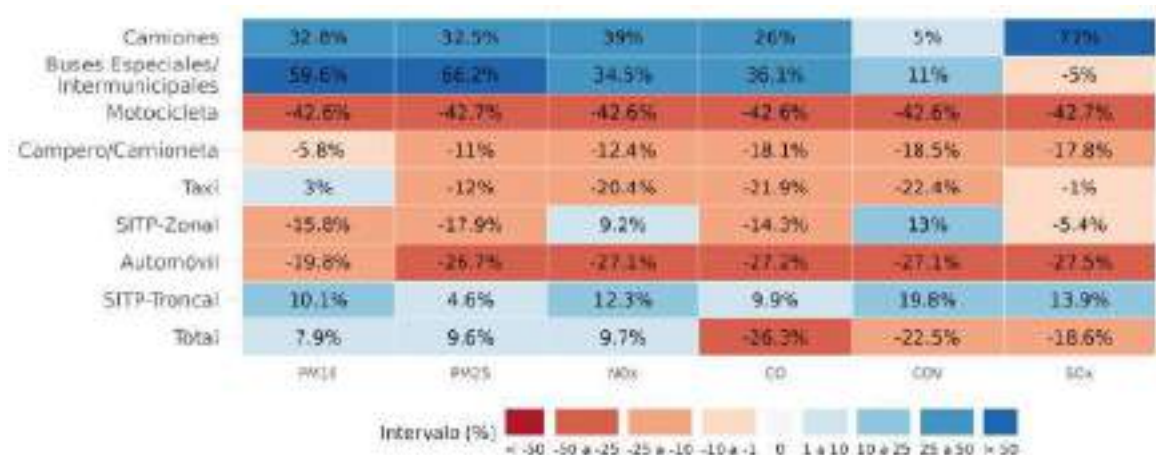
Como se mencionó anteriormente, la estimación de las emisiones de fuentes móviles se realiza a partir de dos enfoques con diferentes supuestos que permiten hacer una validación de los resultados entre ellos mismos. Es decir, entre más cercanos se encuentran los resultados de ambos enfoques, se puede asumir una menor incertidumbre. En la Figura 61 se presenta una comparación sencilla entre ambos inventarios, en donde los valores negativos se asocian a valores más altos en las emisiones estimadas por *Bottom-Up* respecto al *Top-Down*.

En general, para los valores totales de los contaminantes, hay cifras mayores en las estimaciones del enfoque *Bottom-Up* en comparación al *Top-Down*, para las categorías vehiculares de automóvil, campero y camioneta, motocicleta, taxis y SITP-Zonal, que se puede evidenciar con las diferencias porcentuales negativas de la Figura 61. La categoría con diferencias más significativas son las motocicletas con aproximadamente un -40%.

Las categorías transporte de carga, transporte especial e intermunicipal y camiones, por el contrario, presentan sus valores de emisión más altos con el enfoque *Top-Down* en comparación al *Bottom-Up*. Las diferencias en los camiones se encuentran entre el 5% y 77% según el contaminante. En cuanto a las magnitudes globales, ambos inventarios se encuentran entre -26% a 10%.

Las diferencias entre los enfoques metodológicos las dan principalmente los datos de actividad utilizados. Al comparar los resultados obtenidos por *Top-Down* se observa tanto tendencias de valores mayores en emisión como de menores en comparación al *Bottom-Up*. Esto se relaciona con la influencia y variabilidad que puede llegar a tener el enfoque metodológico *Top-Down* (véase sección A.1 del Anexo 1) debido al uso de las bases de datos del Registro Distrital Automotor – RDA y los informes de los Centros de Diagnóstico Automotor – CDA para la estimación de la cantidad de vehículos y su actividad vehicular, respectivamente. Esto aumenta la incertidumbre en la cantidad de vehículos estimada de algunas categorías porque se asume el supuesto que todos los que hacen su revisión tecno-mecánica en un CDA de la ciudad y no están registrados en el RDA, transitan habitualmente en la ciudad.

Luego de las comparaciones entre los inventarios *Top-Down* y *Bottom-Up*, para propósitos de reporte de emisiones del año 2023 de este tipo de fuente se seleccionaron las emisiones *Top-Down*, tanto en el consolidado como en el comportamiento histórico, de tal forma que pueda evidenciarse los avances en el SITP y los camiones.



Fuente: Elaboración propia

Figura 61. Comparación de emisiones de fuentes móviles en carretera del año 2023 estimadas enfoques *Top-Down* y *Bottom-Up*

4.3.4. Resultados históricos de inventarios de emisión por combustión de fuentes móviles en carretera

La Tabla 16 y la Figura 62 presentan las estimaciones de emisiones para los contaminantes criterio y *Carbono Negro* realizadas con un enfoque *Top-Down*, que refleja la reducción de emisiones del año 2020, debido a la reducción de la actividad vehicular durante las cuarentenas causadas por el COVID-19. Para el año 2021 se encontró un incremento en las emisiones principalmente modulado por el aumento en las emisiones en el transporte de carga, específicamente en las emisiones de camiones de dos ejes (C2).

Tabla 16. Emisiones de PM_{2.5} y participación por categoría vehicular estimadas con metodología *Top-Down* en toneladas/año

Contaminante	Tipo de Fuente	2018	2020	2021	2022	2023
CO	SITP-Troncal	1572.8	1477.5	1469.9	1310	1297.3
	Automóvil	44138.6	28600.2	38355.2	33993.2	32177.3
	SITP-Zonal	3276.4	3072.5	3049.2	2984.1	2850
	Taxi	8006.5	7243.3	7865.4	8565	8692.2
	Campero/Camioneta	12750.8	9052.5	12916.6	11806.8	11790.3
	Buses Especiales e Intermunicipales	5481.6	4094.4	5037.8	6263.9	6278
	Motocicleta	13516.4	10238.7	19308.8	20624.4	21028.7
	Camiones	3740.9	2965.8	3815.2	3288.6	2517.3
	SITP-Provisional	5938.4	2303.1	102.8	0	0
	Totales	98422.4	69048	91921	88836.1	86631
COV	SITP-Troncal	12.3	16.7	16.7	15.8	15.7
	Automóvil	5571.5	3610.1	4841.2	4290.5	4061.2
	SITP-Zonal	40.3	39.4	39.9	39.6	38.3
	Taxi	1006.8	910.9	989.1	1077.1	1093.1
	Campero/Camioneta	1926.9	1369.4	1959.7	1798.1	1800
	Buses Especiales e Intermunicipales	2758.5	2035.3	2588.6	3242.2	3249.3
	Motocicleta	1888.3	1430.4	2697.6	2881.4	2937.9
	Camiones	1084.9	861.9	1109.4	936.6	724.3
	SITP-Provisional	2988.3	1144.9	52.8	0	0
	Totales	17277.8	11419	14295	14281.2	13919.8
NOx	SITP-Troncal	1969	1992.4	1984.7	1812.5	1799.4
	Automóvil	4248.5	2752.9	3691.7	3271.8	3097
	SITP-Zonal	4074	3739.8	3674.5	3570.5	3388.2
	Taxi	785.6	710.8	772.3	840.9	853.5
	Campero/Camioneta	2196.8	1577.4	2257.3	2068.7	2072
	Buses Especiales e Intermunicipales	4573	3718.5	3627.9	4244.3	4256.6
	Motocicleta	779.7	590.7	1113.9	1189.8	1213.1
	Camiones	19164.3	15064.8	19413.1	17044.4	12893.1
	SITP-Provisional	4954	2091.6	74	0	0
	Totales	42745	32238.8	36609.4	34042.9	29572.9
PM ₁₀	SITP-Troncal	8.8	8.6	8.5	7.7	7.6
	Automóvil	26	16.9	22.6	20.1	19
	SITP-Zonal	40.9	37.5	36.9	35.8	34
	Taxi	84.2	76.1	82.8	90.1	91.4
	Campero/Camioneta	65.3	47.7	68.6	63	63.4
	Buses Especiales e Intermunicipales	162.7	133.1	126.6	147	147.5
	Motocicleta	63	47.7	89.9	96.1	97.9
	Camiones	539.7	426.7	552.1	474.4	363.8

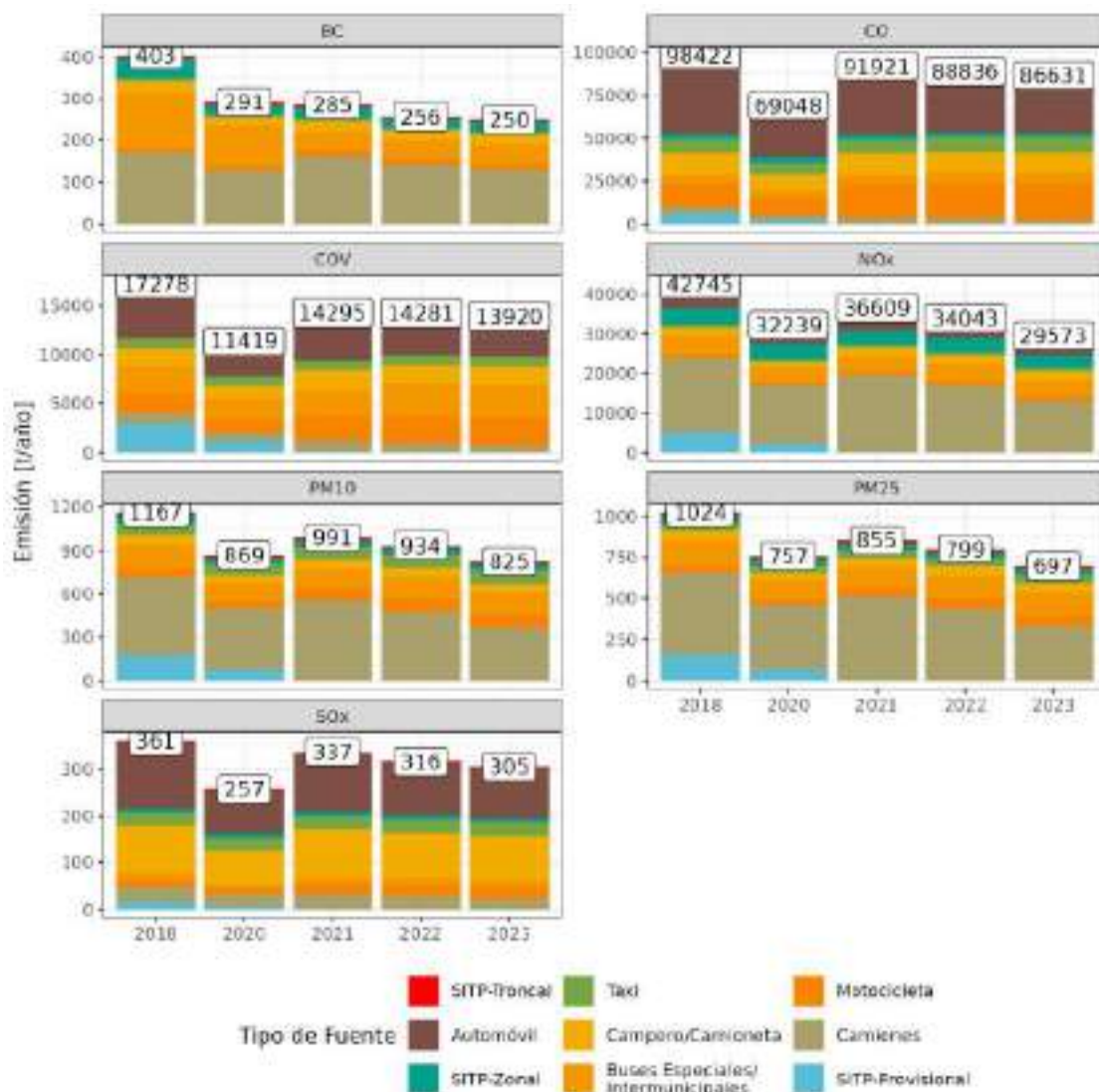
Contaminante	Tipo de Fuente	2018	2020	2021	2022	2023
	SITP-Provisional	176.2	74.9	2.6	0	0
	Totales	1166.8	869.2	990.6	934.2	824.6
PM _{2.5}	SITP-Troncal	7.9	7.7	7.7	6.9	6.8
	Automóvil	23.6	15.3	20.5	18.2	17.3
	SITP-Zonal	36.8	33.8	33.3	32.3	30.7
	Taxi	46.5	42	45.7	49.8	50.5
	Campero/Camioneta	59.4	43.4	62.3	57.3	57.6
	Buses Especiales e Intermunicipales	150	122.7	116.7	135.4	135.8
	Motocicleta	41.7	31.6	59.5	63.6	64.8
	Camiones	495.4	391.3	506.5	435.6	333.8
	SITP-Provisional	162.5	69	2.4	0	0
	Totales	1023.8	756.9	854.7	799.2	697.3
SO _x	SITP-Troncal	3.1	4.4	4.4	4.1	4.1
	Automóvil	142.5	92.4	124.1	110.2	104.5
	SITP-Zonal	8.4	8.7	8.9	9	8.8
	Taxi	28.4	25.7	27.9	30.4	30.8
	Campero/Camioneta	101.1	71.9	102.9	94.5	94.7
	Buses Especiales e Intermunicipales	14.7	10.9	13.6	16.9	17
	Motocicleta	15.1	11.5	21.6	23.1	23.5
	Camiones	31.9	25.6	32.8	28	21.6
	SITP-Provisional	15.9	6.2	0.3	0	0
	Totales	361.1	257.2	336.5	316.2	305
BC*	SITP-Troncal	3.8	5.9	4.3	3.1	3.1
	Automóvil	4.4	2.8	3.7	3.3	3.4
	SITP-Zonal	46.4	21.1	23.2	18.8	21.7
	Taxi	7.5	6.9	7.7	7.3	8.4
	Campero/Camioneta	27	18.3	25.1	22.9	23.9
	Buses Especiales e Intermunicipales	132.6	98.1	44.7	42.4	44.7
	Motocicleta	12.1	10.2	14.2	15.1	15.8
	Camiones	169.5	127.7	162.1	143.1	128.8
	SITP-Provisional	0	0	0	0	0
	Totales	403.4	290.9	284.8	256.1	249.7

* Datos de BC provenientes de la estimación Bottom-up, ya que este contaminante no es estimado con metodología Top-Down

Fuente: Elaboración propia

Cabe destacar, que entre el 2021 y el 2023 se estimó un descenso en las emisiones de todos los contaminantes para las fuentes móviles por combustión. De acuerdo con los análisis realizados estas reducciones se soportan en la reducción de la actividad vehicular identificada para la mayoría de las categorías y en los ascensos tecnológicos que ha tenido el transporte público de la ciudad durante los últimos años. La reducción de actividad vehicular ha sido identificada principalmente para las categorías del transporte de carga, automóviles y camperos y camionetas

tanto en el enfoque Bottom-up a través de los flujos (véase Figura 21) y los factores de actividad estimados bajo el enfoque *Top-Down* (Tabla 17).



Fuente: Elaboración propia

Figura 62. Emisiones de 2018 a 2023 de PM_{2.5} estimadas con enfoque *Top-Down*

Por último, es importante destacar que ambos enfoques metodológicos, aunque presentan diferencias en proporciones por categoría vehicular (como se presentó en la sección 4.3.), estos reflejan tendencias similares, como la mayoritaria participación en emisiones de PM_{2.5} por parte de los vehículos de carga. De la misma forma, se destaca la participación de categorías como transporte especial intermunicipal, camperos y camionetas, motocicletas y automóviles, categorías con la mayor cantidad de vehículos en la ciudad.

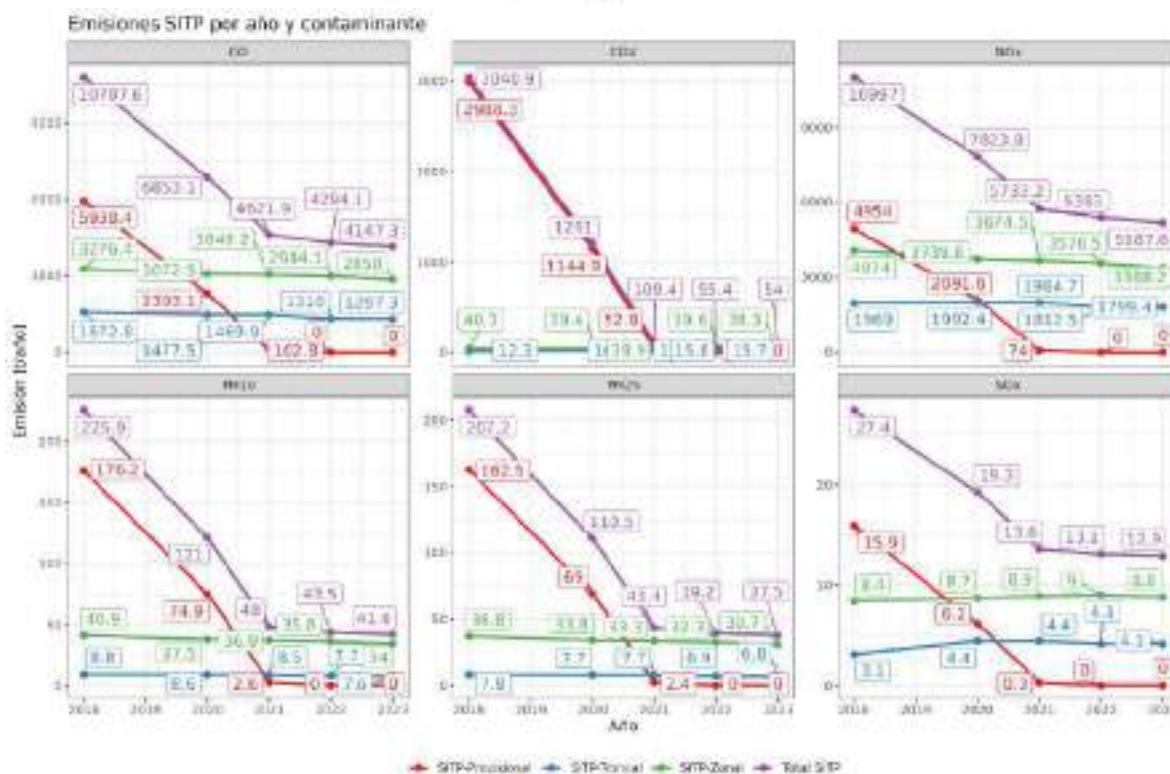
Tabla 17. Factores de actividad vehicular promedio por categoría (km/veh-año) estimadas en metodología *Top-Down* a partir de reportes de CDA.

Categoría	Factor de Actividad Vehicular Promedio (km/veh-año)				
	2018	2020	2021	2022	2023
Automóvil	11237	7291	9350	8406	7806
Campero y camioneta	12332	8505	11163	10206	9887
Transporte de carga	31032	20977	32493	30045	22188
Motocicleta	6796	5901	8047	8316	8316
SITP-Troncal	80752	62229	62229	68575	69028
SITP-Zonal	58476	52311	52311	49628	48103
Transporte especial e intermunicipal	28600	20890	24790	27854	27854
Taxis	47693	49722	46678	44649	51244

4.3.5. Evolución de las emisiones del Sistema Integrado de Transporte Público – SITP

A partir de las aproximaciones *Top-Down* para el SITP Provisional e información reportada por Transmilenio S.A (número de vehículos, tecnologías y distancias recorridas por vehículo), se estimaron las emisiones que se encuentran en la Figura 63, en donde se observa una reducción generalizada en las emisiones totales del SITP (línea morada), este cambio es modulado por el ascenso tecnológico que ha tenido el transporte público durante los últimos años, que se ve reflejado en la renovación de la flota de Transmilenio y el SITP-Zonal que se ha presentado en los últimos años donde se ha promovido el ingreso de vehículos a GNV y Eléctricos (véase cambios en distribución energética en Tabla A-6 del Anexo 1), adicionalmente, se ha visto una reducción significativa de emisiones por la salida del SITP-Provisional del sistema y cambios en la operación.

Entre el año 2018 a 2023, las emisiones del SITP para PM_{2.5} se han reducido de 207.2 t a 37.5 t, modulado principalmente por la salida del SITP provisional, luego de esta salida, el cambio de las emisiones entre 2021 y 2023 del SITP pasó de 43.4 t a 37.5 t.



Fuente: Elaboración propia

Figura 63. Histórico de emisiones del Sistema Integrado de Transporte Público entre el 2018 y el 2023

4.4. Inventario de emisiones por combustión en fuentes móviles fuera de ruta (Maquinaria amarilla)

La maquinaria amarilla se define popularmente como toda aquella maquinaria pesada empleada para trabajos agrícolas, de construcción y actividades industriales específicas; dentro de estas fuentes de emisión se encuentran buldóceres, tractores, excavadoras, compactadores, cargadores, retroexcavadoras, motoniveladoras entre otras.

Una de las barreras principales que posee la estimación de emisiones de este tipo de fuentes se encuentra en la falta de registros distritales que permitan estimar el número de máquinas, el tiempo de uso y la ubicación de estas, así como la tecnología, el año-modelo, la potencia del motor y los sistemas de control de emisiones asociados a los mismos.

Sin embargo, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible en conjunto con el programa CALAC+ (2022) realizó la estimación de emisiones de este tipo de maquinaria a nivel nacional para el año 2018 por metodología *Top-Down*, empleando los registros de este tipo de vehículos en el Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT) y se realizó una estimación para la ciudad de Bogotá extrapolando la información con los porcentajes de aporte a los PIB de Bogotá asociados a construcción, agricultura y actividades industriales, y estos resultados se presentan en la siguiente sección del documento.

4.4.1. Inventario de emisiones Top-Down

La estimación de emisiones de Maquinaria amarilla se realizó basado en una extrapolación de las emisiones de PM_{2.5}, tanto de maquinaria amarilla como de construcciones para el año 2018. Basado en esta proporcionalidad, se muestran a continuación las emisiones proyectadas para el año 2023 de la maquinaria amarilla.

Tabla 18. Histórico de emisiones de Contaminantes Criterio y *Carbono Negro* en maquinaria Amarilla

Contaminante	Emisiones (t/año)				
	2018	2020	2021	2022	2023
PM ₁₀	443.8	384.2	443.8	434.4	437.8
PM _{2.5}	430.4	372.6	430.4	421.2	424.6
NO _x	5382.1	4658.8	5382.1	5267.7	5309.6
SO _x	15.7	13.6	15.7	15.4	15.5
CO	2819.0	2440.1	2819.0	2759.1	2781.0
COV	534.0	462.2	534.0	522.6	526.8
BC	283.6	245.5	283.6	277.6	279.8

Fuente: Extrapolación de información de CALAC+ (2022).

4.5. Inventario de emisiones por combustión en incendios y quemas a cielo abierto

4.5.1. Inventario de emisiones Bottom-Up

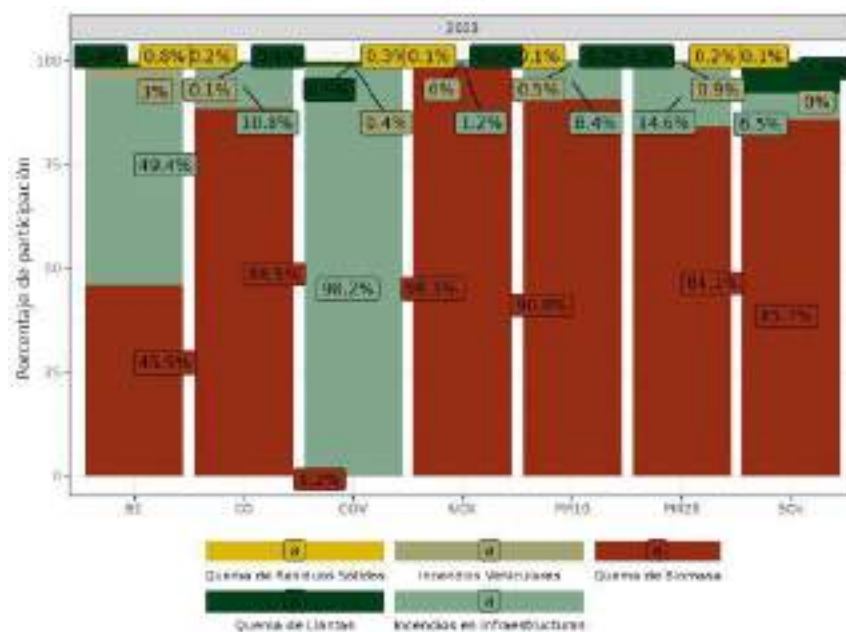
En la Tabla 19 y en la Figura 64, se evidencia cómo las diferentes actividades (como la quema de residuos sólidos, incendios en infraestructura, quema de biomasa, entre otras) contribuyen a la emisión de contaminantes específicos analizar durante el año 2023 que hacen referencia a: PM₁₀, COV, NO_x, SO_x, CO, PM_{2.5}, y BC.

El contaminante CO presenta la mayor emisión total, con 732.88 toneladas anuales, donde la quema de biomasa es la actividad principal, contribuyendo con el 84.11% de las emisiones. En segundo lugar, PM₁₀ con un total de 134.81 toneladas, siendo los Incendios en Infraestructura la principal fuente, dominando con un 98.16% de participación. Por su parte, el contaminante NO_x alcanza un total de 121.99 toneladas anuales, principalmente generado por la quema de biomasa, que aporta el 85.75% de estas emisiones.

Tabla 19. Inventario de emisiones por incendios y quemas a cielo abierto para el 2023.

Tipo de Incendio	Quema específica	Emisión (t/año)						
		PM ₁₀	COV	NO _x	SO _x	CO	PM _{2.5}	BC
Incendios en Infraestructuras	Estructurales	11.36	66.02	1.43	0.23	79.10	11.36	4.26
	Sótanos	0.03	0.18	0.00	0.00	0.19	0.03	0.01
Incendios Vehiculares	Vehiculares	0.69	0.29	0.03	0.00	0.86	0.69	0.26
Quema de Biomasa	Forestales	122.21	No Estimado	120.13	3.03	646.11	65.67	3.95
	Quema agrícola	0.15	0.11	0.07	0.00	2.38	0.15	0.02
Quema de Llantas	Llantas	0.20	0.62	0.23	0.27	2.71	0.20	0.08
Quema de Residuos Sólidos	Basuras	0.16	0.20	0.08	0.00	1.45	0.15	0.06
	Quema de material reciclable	0.01	0.01	0.00	0.00	0.08	0.01	0.00
TOTAL		134.81	67.44	121.99	3.54	732.88	78.25	8.64

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 64. Participación en las emisiones de incendios y quemas a cielo abierto por cada categoría y contaminante

Finalmente, se destaca que los Incendios en Infraestructura son responsables de la mayoría de las emisiones de PM_{10} y COV, mientras que la quema de biomasa constituye la principal fuente de contaminantes como NO_x , SO_x , CO, y BC. Aunque las actividades de Quema de Residuos Sólidos y Quema de Llantas tienen contribuciones menores en términos relativos, generan impactos significativos en contaminantes como SO_x y $PM_{2.5}$. Por último, los Incendios Vehiculares contribuyen marginalmente, principalmente a la emisión de NO_x y COV.

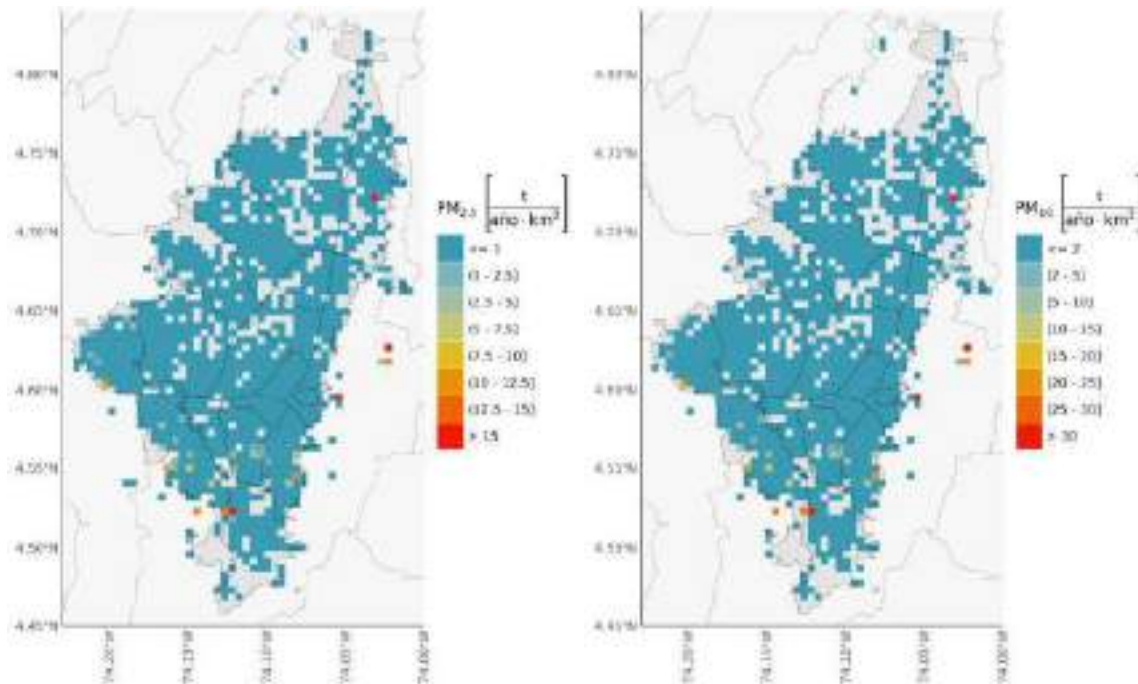
Desagregación espacial para emisiones

La distribución espacial de las emisiones generadas por incendios y quemas a cielo abierto se presenta entre la Figura 45 a la Figura 48. El análisis nos permite identificar patrones clave relacionados con la contaminación atmosférica en la ciudad de Bogotá. A continuación, se presenta un desglose del análisis:

- PM_{10} y $PM_{2.5}$, las principales fuentes de incendios son de biomasa y las emisiones con mayor participación se encuentran en las zonas sur y centro-sur de la ciudad.
- NO_x , su mayor participación de emisiones se encuentra en el sur de la ciudad y sus consecuencias están atribuidas a impactos meteorológicos
- COV, las principales fuentes atribuidas a la quema de biomasa y vegetación, en donde las zonas más afectadas se ven representadas en centro y norte de la ciudad.
- SO_2 , los incendios que más representan este contaminante son la quema de biomasa, puesto que su alto contenido de azufre eleva las concentraciones de este contaminante, adicionalmente las zonas en donde más se frecuentan incendios es en la zona sur de la ciudad.

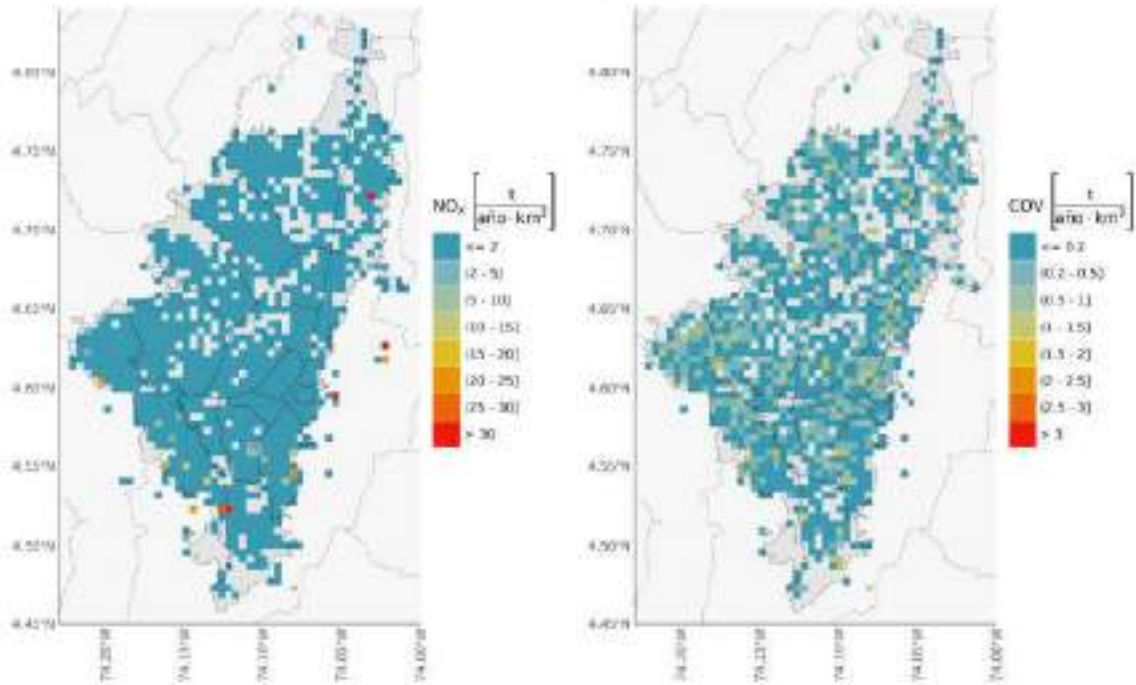
- CO, la combustión incompleta de incendios son lo mayor participantes de este contaminante en donde la zona más representativa centro-sur
- BC, finalmente para este contaminante, se representa la mayor participación en el sur y suroeste de la ciudad gracias al aporte de la combustión incompleta de los incendios.

El análisis muestra que las emisiones de contaminantes generadas por incendios y quemas a cielo abierto tienen una distribución espacial concentrada principalmente en el sur y centro-sur de la ciudad de Bogotá, con impactos ambientales y de salud considerables.



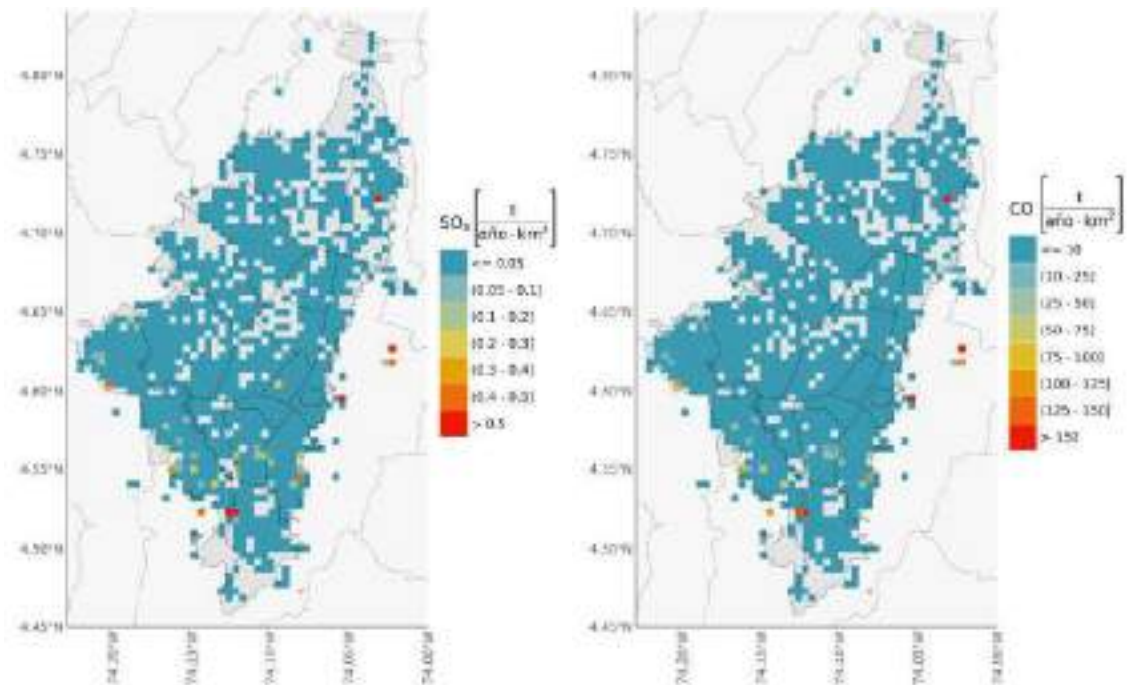
Fuente: Elaboración propia

Figura 65. Distribución espacial de las emisiones PM_{2.5} (izquierda) y PM₁₀ (derecha) generadas por incendios y quemas a cielo abierto



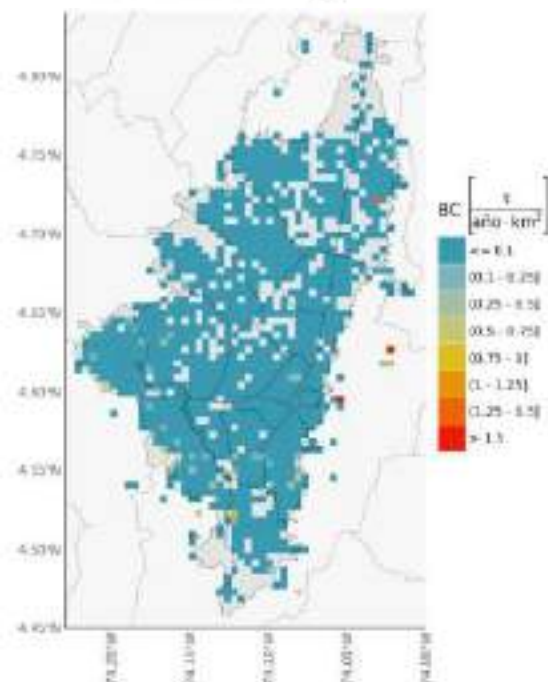
Fuente: Elaboración propia

Figura 66. Distribución espacial de las emisiones de NO_x (izquierda) y COV (derecha) generadas por incendios y quemas a cielo abierto



Fuente: Elaboración propia

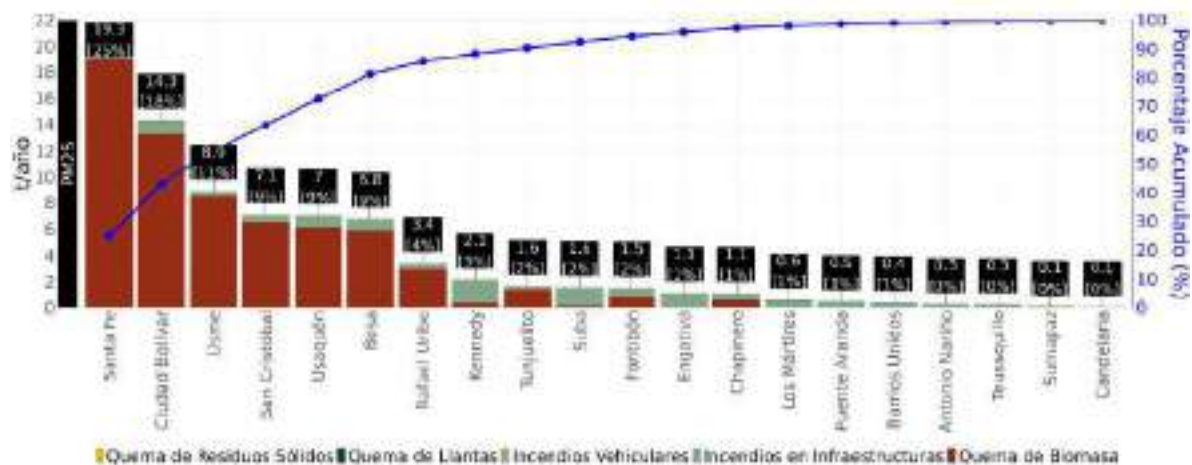
Figura 67. Distribución espacial de las emisiones de SO₂ (izquierda) y CO (derecha) generadas por incendios y quemas a cielo abierto



Fuente: Elaboración propia

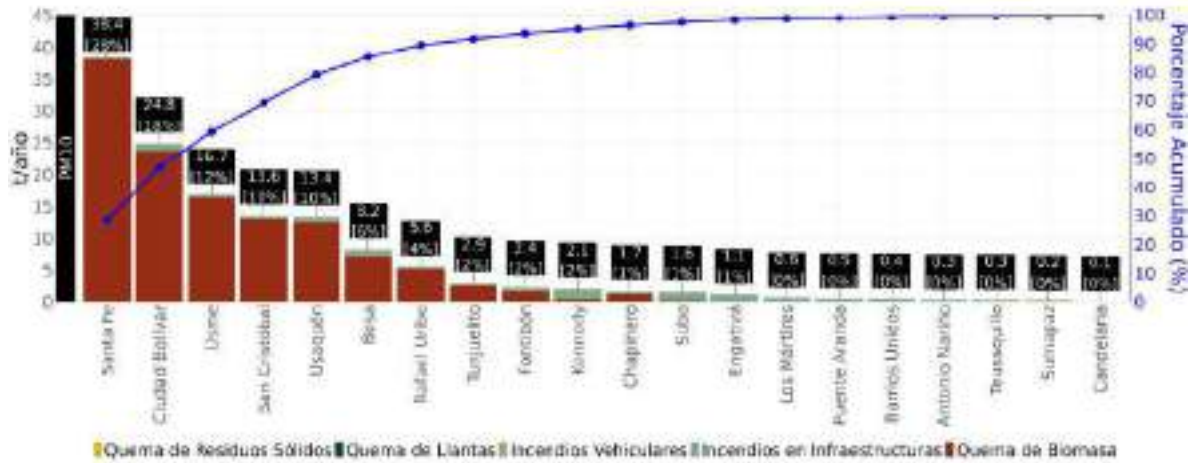
Figura 68. Distribución espacial de las emisiones de BC generadas por incendios y quemas a cielo abierto

Entre las Figura 69 a la Figura 75 se presenta la distribución del tipo de incendio por cada una de las localidades de la ciudad. Se observa que las localidades con mayor participación en la emisión de contaminantes $PM_{2.5}$ y PM_{10} son Santa Fe, Ciudad Bolívar y Usme. Por otro lado, las localidades con mayor contribución a las emisiones de BC son Santa Fe, Ciudad Bolívar y Bosa. En estas localidades, las principales fuentes de incendio corresponden a la quema de biomasa y problemas relacionados con la seguridad de incendios en infraestructura.



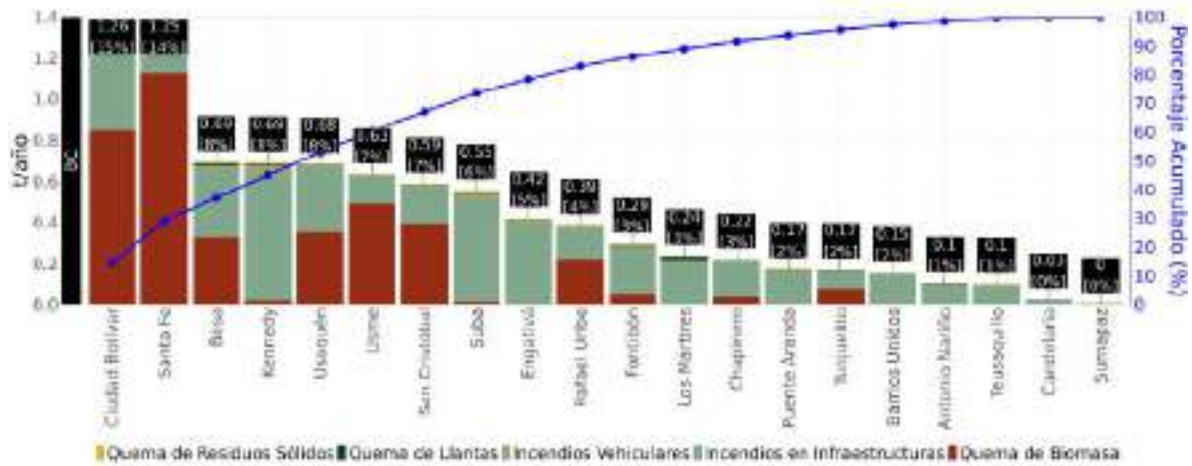
Fuente: Elaboración propia

Figura 69. Participación por localidad de las emisiones de $PM_{2.5}$ para quemas e incendios



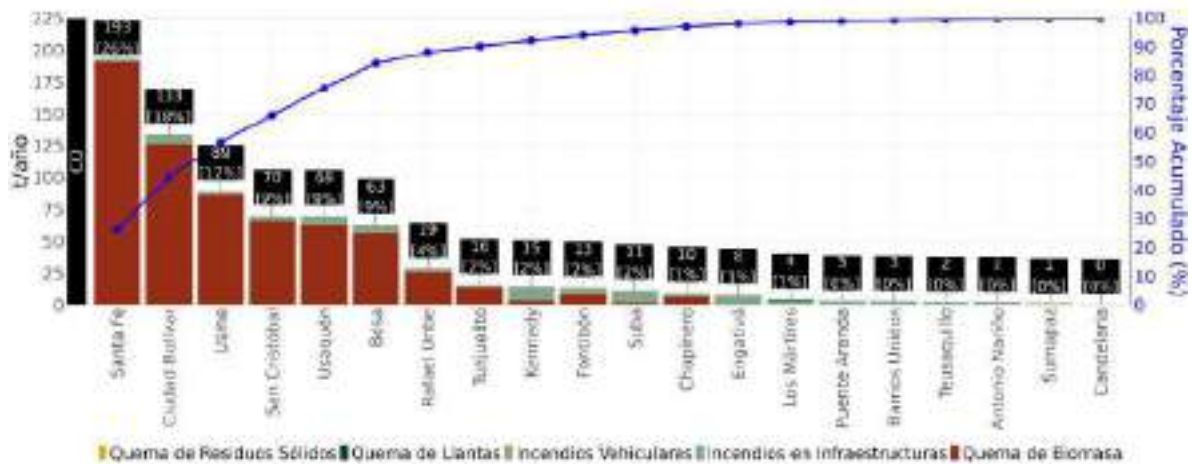
Fuente: Elaboración propia

Figura 70. Participación por localidad de las emisiones de PM₁₀ para quemas e incendios



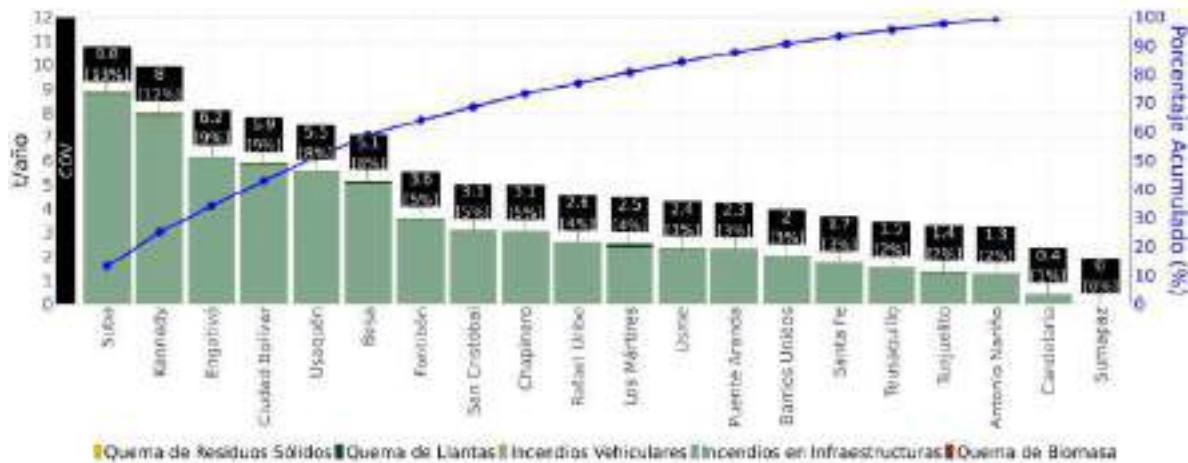
Fuente: Elaboración propia

Figura 71. Participación por localidad de las emisiones de BC para quemas e incendios



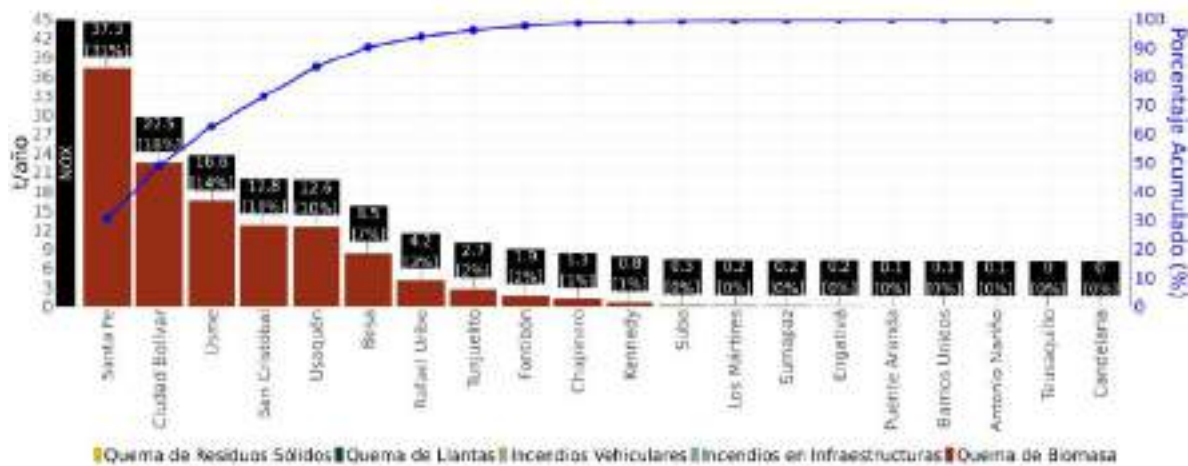
Fuente: Elaboración propia

Figura 72. Participación por localidad de las emisiones de CO para quemas e incendios



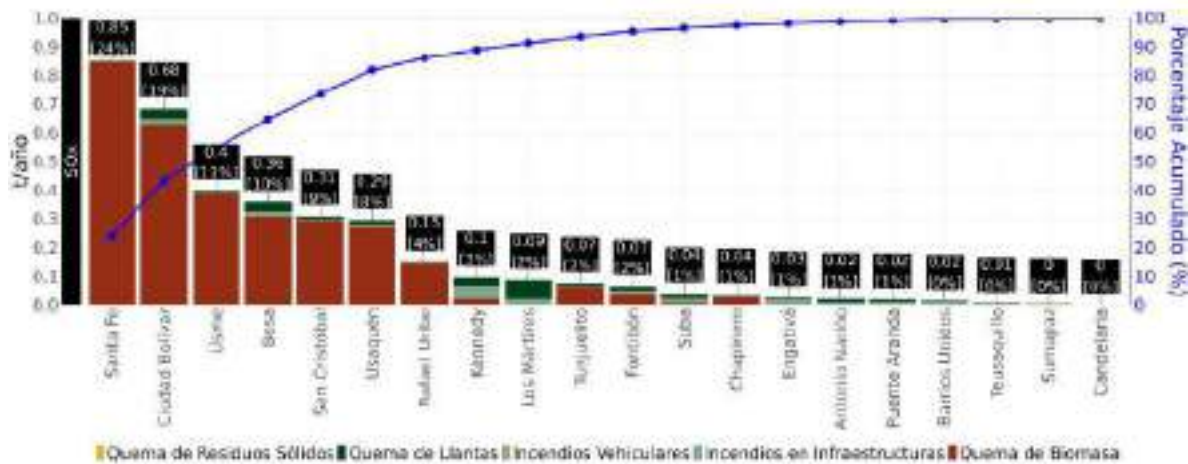
Fuente: Elaboración propia

Figura 73. Participación por localidad de las emisiones de COV para quemas e incendios



Fuente: Elaboración propia

Figura 74. Participación por localidad de las emisiones de NOx para quemas e incendios

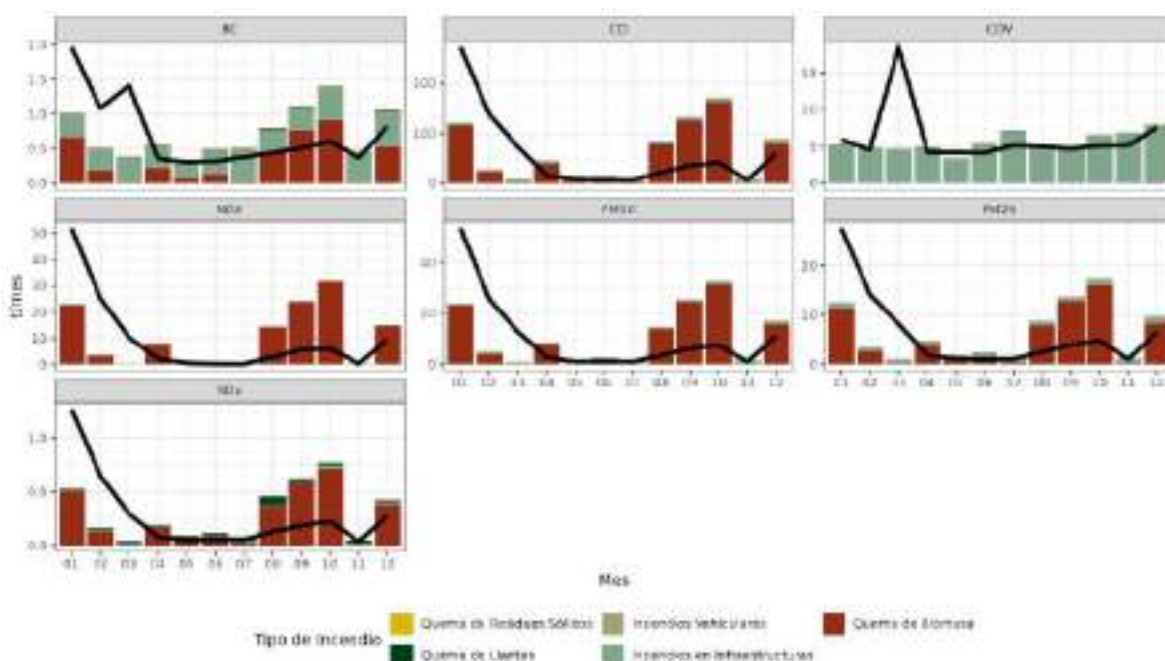


Fuente: Elaboración propia

Figura 75. Participación por localidad de las emisiones de SOx para quemas e incendios

Desagregación temporal de las emisiones

Al analizar la relevancia de los impactos de los incendios, es fundamental evaluar los meses de mayor frecuencia, ya que estos están estrechamente relacionados con la influencia de factores meteorológicos. En particular, durante las épocas secas se observa una mayor incidencia de incendios debido a las condiciones climáticas favorables para su propagación. Según la Figura 76, se evidencia que los meses de enero, febrero y marzo presentan la mayor representatividad en las emisiones de todos los contaminantes, con la excepción de los COV, cuyo mes más representativo es marzo. Finalmente, se destaca que la quema de biomasa es la principal fuente de emisión de contaminantes, seguida de los incendios de infraestructura. Específicamente para el año 2023, se encontraron emisiones atípicas en los meses de agosto a octubre generadas por Biomasa comparados con los promedios mensuales de emisiones (líneas negras en la Figura 76).



La línea negra representa el promedio de emisiones mensuales entre el 2018 y el 2023

Fuente: Elaboración propia

Figura 76. Emisiones de incendios y quemas a cielo abierto por mes, para el año 2023

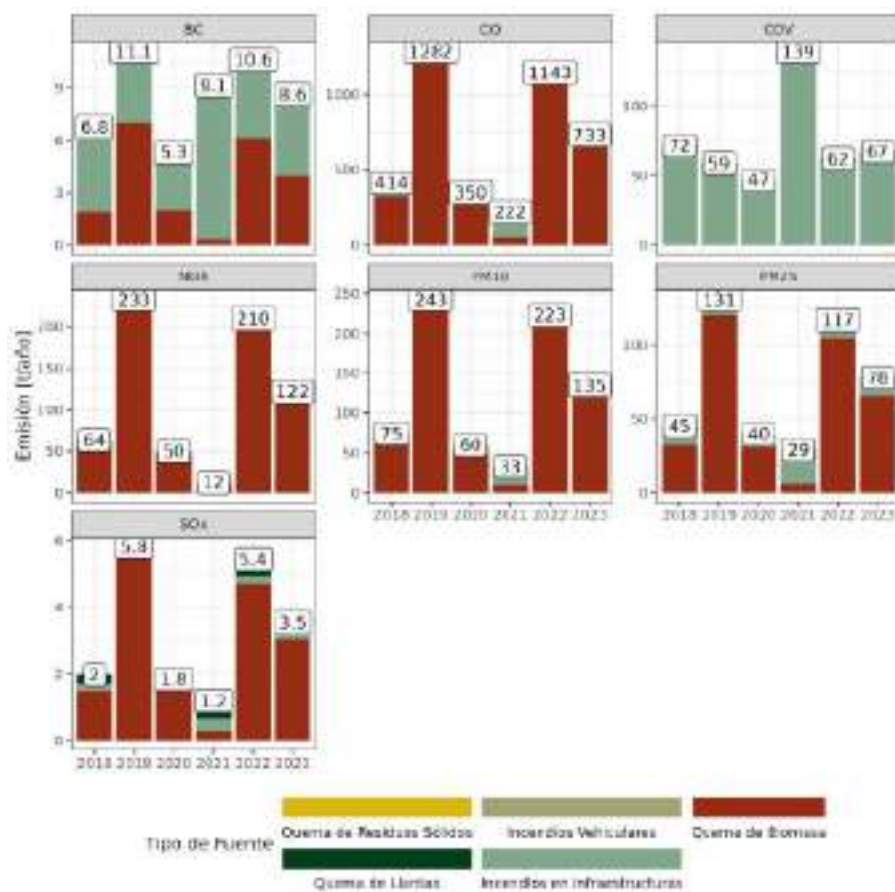
4.5.2. Resultados históricos de inventarios de emisión por combustión en incendios y quemas a cielo abierto

En la gráfica Figura 77 y la Tabla 20, muestra los niveles de emisión de BC, CO, COV, NO_x, PM₁₀, PM_{2.5} y SO_x por el tipo de incendios que se presentaron entre los años 2018 y 2023.

La distribución de incendios en la ciudad de Bogotá se ven representados de la siguiente manera:

- **Quema de Llantas:** Esta fuente tiene emisiones relativamente altas en varias categorías de contaminantes, especialmente en CO y PM_{2.5}.

- **Quema de Biomasa:** Genera emisiones significativas de PM_{10} y $PM_{2.5}$, que son de afectación para la salud respiratoria.
- **Quema de Residuos Sólidos:** Las emisiones de COV y SOx son las que tienen mayor participación en este tipo de incendio.
- **Incendios Vehiculares:** Emiten cantidades considerables de NO_x y CO, lo cual impacta negativamente en la calidad del aire.
- **Incendios en Infraestructuras:** Contribuyen a las emisiones de varios contaminantes, destacándose en la categoría el SOx.



Fuente: Elaboración propia

Figura 77. Emisiones históricas de incendios y quemas a cielo abierto

Las emisiones de CO, $PM_{2.5}$ y NO_x muestran variabilidad a lo largo de los años. Es importante identificar si esta variabilidad está relacionada con cambios en las políticas de control de emisiones o en la frecuencia de los diferentes tipos de incendios. Un incremento o decremento notable en cualquier año específico podría indicar eventos anómalos como incendios forestales severos, nuevas regulaciones ambientales, o mejoras en las tecnologías de control de emisiones.

Tabla 20. Histórico de emisiones por incendios y quemas a cielo abierto

Contaminante	Tipo de Incendio	2018	2019	2020	2021	2022	2023
BC	Quema de Llantas	0.08	0.04	0.04	0.16	0.16	0.08
	Incendios Vehiculares	0.32	0.24	0.22	0.23	0.29	0.26
	Quema de Biomasa	1.88	7.00	1.99	0.33	6.17	3.97
	Incendios en Infraestructuras	4.45	3.75	3.04	8.39	3.95	4.27
	Quema de Residuos Sólidos	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.06
	Total	6.78	11.09	5.32	9.15	10.62	8.64
CO	Quema de Llantas	2.73	1.49	1.41	5.24	5.28	2.71
	Incendios Vehiculares	1.07	0.81	0.72	0.78	0.97	0.86
	Quema de Biomasa	325.63	1209.06	291.22	56.42	1062.68	648.49
	Incendios en Infraestructuras	83.36	69.69	56.10	158.91	73.07	79.29
	Quema de Residuos Sólidos	0.98	1.10	0.91	0.88	1.06	1.53
	Total	413.78	1282.15	350.37	222.23	1143.06	732.88
COV	Quema de Llantas	0.63	0.34	0.32	1.20	1.21	0.62
	Incendios Vehiculares	0.36	0.27	0.25	0.26	0.33	0.29
	Quema de Biomasa	NE	NE	NE	NE	NE	NE
	Incendios en Infraestructuras	70.72	58.16	46.44	137.61	60.44	66.20
	Quema de Residuos Sólidos	0.14	0.15	0.13	0.12	0.15	0.21
	Total	71.85	58.93	47.14	139.20	62.13	67.44
NO _x	Quema de Llantas	0.23	0.13	0.12	0.44	0.45	0.23
	Incendios Vehiculares	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03
	Quema de Biomasa	61.83	231.63	48.99	9.64	208.06	120.21
	Incendios en Infraestructuras	1.39	1.26	1.06	2.34	1.38	1.44
	Quema de Residuos Sólidos	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06	0.09
	Total	63.54	233.11	50.25	12.50	209.98	121.99
PM ₁₀	Quema de Llantas	0.21	0.11	0.11	0.40	0.40	0.20
	Incendios Vehiculares	0.86	0.65	0.58	0.62	0.78	0.69
	Quema de Biomasa	61.50	231.72	51.25	9.20	210.69	122.36
	Incendios en Infraestructuras	11.87	10.01	8.09	22.37	10.55	11.39
	Quema de Residuos Sólidos	0.11	0.12	0.10	0.10	0.12	0.17
	Total	74.54	242.61	60.13	32.68	222.53	134.81
PM _{2.5}	Quema de Llantas	0.21	0.11	0.11	0.40	0.40	0.20
	Incendios Vehiculares	0.86	0.65	0.58	0.62	0.78	0.69
	Quema de Biomasa	32.46	120.37	31.11	5.77	105.40	65.81
	Incendios en Infraestructuras	11.87	10.01	8.09	22.37	10.55	11.39
	Quema de Residuos Sólidos	0.10	0.11	0.09	0.09	0.11	0.15
	Total	45.49	131.25	39.98	29.25	117.23	78.25
SO _x	Quema de Llantas	0.27	0.15	0.14	0.52	0.53	0.27
	Incendios Vehiculares	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Quema de Biomasa	1.48	5.45	1.52	0.28	4.69	3.03
	Incendios en Infraestructuras	0.22	0.20	0.17	0.37	0.22	0.23
	Quema de Residuos Sólidos	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Total	1.98	5.81	1.84	1.18	5.44	3.54

Fuente: Elaboración propia

4.6. Inventario de emisiones para otras fuentes de combustión

El estudio realizado por la Universidad de la Salle y otros (2018) permitió tener una primera aproximación a las emisiones generadas por otras fuentes de combustión no descritas anteriormente (Fuentes Fijas Comerciales), cuyos valores se condensan en la Tabla 21. Estas estimaciones fueron realizadas con año base 2014 y para propósitos del inventario se han supuesto constantes entre los años 2018 y 2023 dado que no se han actualizado.

Tabla 21. Resultados de emisiones para otras fuentes de combustión en Bogotá

Mecanismo de Emisión	Fuente de Emisión	Metodología	Años del inventario	Emisiones (t/año)						
				PM ₁₀	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	CO	COV	BC
Combustión	Fuentes fijas comerciales	Bottom-Up	2014	130.0	68.0	67.0	190.0	2529.0	105.0	4.3

NE: No estimado

Fuente: Adaptado de Universidad de la Salle y Otros (2018)

5. EMISIONES POR RESUSPENSIÓN DE MATERIALES EN SUPERFICIES.

En Bogotá se encuentran identificadas como fuentes de resuspensión las enlistadas en la Tabla 22, en donde se detallan las fuentes que se actualizan en este informe, las que cuentan con una estimación de años anteriores y que no ha sido posible actualizar o si dicha fuente no ha sido estimada u obtenida información para poder cuantificar la magnitud de estas. Se debe tener en cuenta que, aunque exista resuspensión de materiales en superficies en los procesos inherentes a las actividades industriales, de construcción y de canteras, estas emisiones se contabilizan en la sección 7 de este documento, ya que, en estos procesos, existen otros mecanismos adicionales que generan material particulado en la atmósfera, como excavaciones, perforaciones, cargue y descargue de material, entre otros.

Tabla 22. Fuentes de Resuspensión de materiales en superficies para el año 2023 identificadas en Bogotá.

<i>Fuente de Emisión</i>	<i>Año de actualización</i>	<i>Observaciones</i>
Resuspensión de Material por tránsito en vías	2023	Se actualiza emisión en este documento
Resuspensión de Material por barrido en seco en vías	Información No disponible	No se ha explorado en detalle la información de operación del barrido en seco de las vías en la ciudad, tanto por maquinaria como por personal de aseo
Resuspensión de Material por erosión eólica en vías	Aún no estimado	No se ha definido la metodología de estimación de emisiones para este tipo de fuente
Resuspensión de Material por erosión eólica en superficies expuestas	Aún no estimado	No se ha definido la metodología de estimación de emisiones para este tipo de fuente

Fuente: Elaboración propia

5.1. Inventario de emisiones por resuspensión de material por tránsito en vías

El material particulado resuspendido proveniente de las vías, hace referencia al material intrínseco de la vía que se eleva, o al polvo depositado en la malla vial, que debido al flujo vehicular es resuspendido al aire nuevamente. El origen de este material particulado puede provenir de diferentes fuentes, entre ellas, el desgaste de frenos y llantas de los vehículos, el desgaste propio de la vía, arrastre de polvo de vías no pavimentadas o construcciones cercanas, inclusive han sido identificadas las emisiones por combustión de los vehículos (Universidad de La Salle, SDA, & Ecopetrol, 2018), sin embargo, la metodología empleada para la estimación de estas emisiones en esta sección del documento no incluye el desgaste de frenos y llantas, ya que estas emisiones se cuantifican con otra metodología, la cual se presenta en la sección D del Anexo 1.

5.1.1. Inventario de emisiones Bottom-up

En esta sección se presentan las emisiones de material particulado resuspendido de las vías por estado de la malla vial y categorías vehiculares. En la Tabla 23 se presenta las emisiones por vías pavimentadas y no pavimentadas de la ciudad, en donde las vías no pavimentadas tienen una participación de 93%, 84% y 34% de las emisiones de PM₁₀, PM_{2.5} y BC respectivamente. Esto

se asocia al alto factor de emisión de este tipo de vías, en conjunto con la estimación de los flujos vehiculares en vías secundarias.

Tabla 23. Inventario de emisiones por resuspensión de material particulado en vías, según estado de la malla vial para el año 2023

Tipo de Vía	Emisiones (t/año)		
	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC
Secundaria [No Pavimentada]	13796.2	1379.6	1.3
Principal [Pavimentada]	750	181.5	1.9
Secundaria [Pavimentada]	295.8	71.6	0.7
Total	14842	1632.6	4.0

Fuente: Elaboración propia

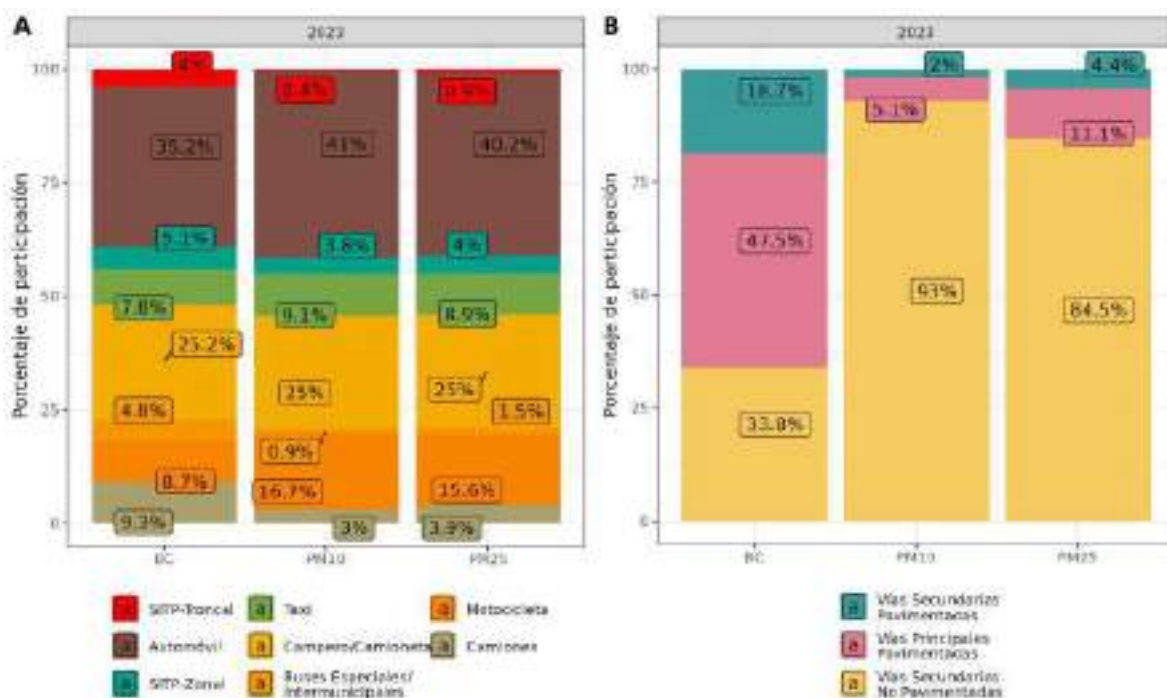
Por su parte la clasificación de las emisiones de material resuspendido en la vía clasificada categoría vehicular dependen principalmente del peso de los vehículos (en vías sin pavimentar) y el flujo vehicular. En Tabla 24 se presentan los resultados en donde la categoría de camperos y camionetas y automóviles son los mayores aportantes de las emisiones, ya que esta clase de vehículos son los que predominan en las vías de la ciudad como se observó en la Figura 20 y en la Figura 21. Se debe destacar que las emisiones de BC por la resuspensión de material particulado en las vías es muy bajo, en comparación con las emisiones totales de PM_{2.5} (alrededor de 0.6%), debido a que este tipo de material particulado están compuestos principalmente de minerales.

Tabla 24. Inventario de emisiones de material particulado resuspendido en vías por categoría vehicular para el año 2023

Tipología Vehicular	Emisiones (t/año)		
	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC
Automóvil	6085.6	655.8	1.4
Campero/Camioneta	3708.9	408.4	1
Motocicleta	2480	254.1	0.3
Taxi	1352.6	145.8	0.3
SITP-Zonal	560.1	64.6	0.2
Camiones	451.9	64.2	0.4
Buses Especiales/ Intermunicipales	138.9	24.4	0.2
SITP-Troncal	62.8	15.2	0.2
Total	14840.8	1632.5	4

Fuente: Elaboración propia

En el caso específico de las emisiones de PM_{2.5}, en el 2023 (véase Figura 78) se generaron 1633 t de este contaminante, donde los automóviles generaron el 40% del material resuspendido, seguido de los camperos y camionetas (25%) y las motocicletas (16%); estos aportes tienden a ser similares en PM₁₀, mientras que en el caso de BC, la participación de transporte de carga y el SITP-Troncal se duplica debido a que BC es generado en mayores proporciones en vías pavimentadas, tal como se puede observar en la Figura 78.

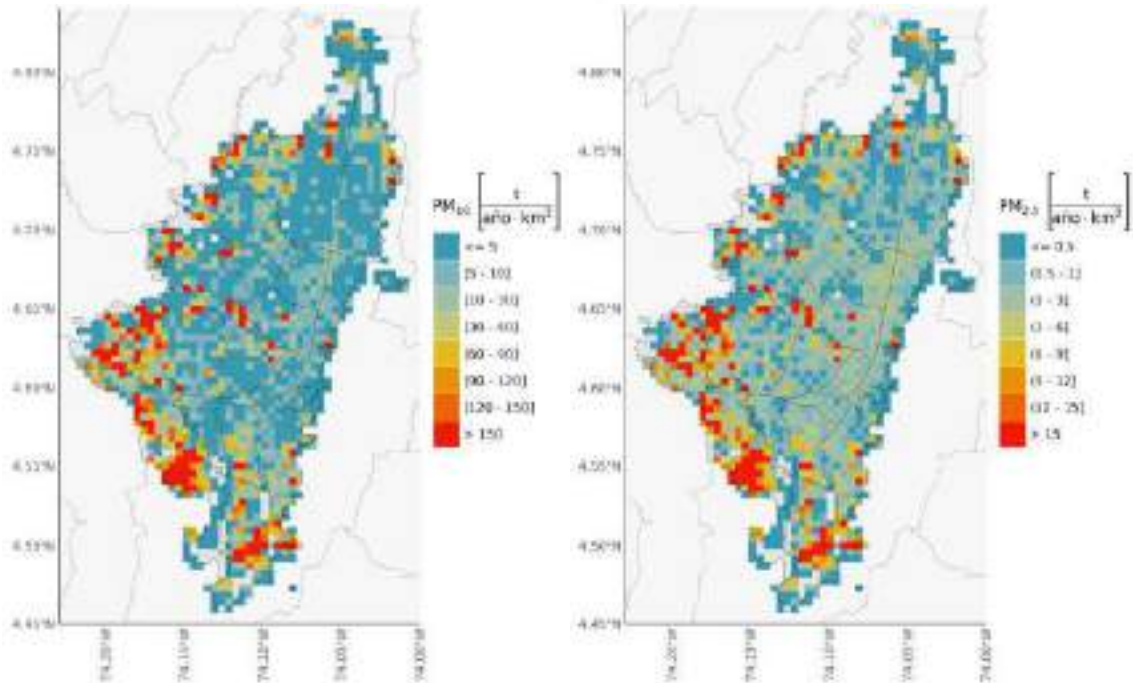


Fuente: Elaboración propia

Figura 78. Distribución de las emisiones por resuspensión de material particulado por tipología vehicular (A) y por tipo de vía (B)

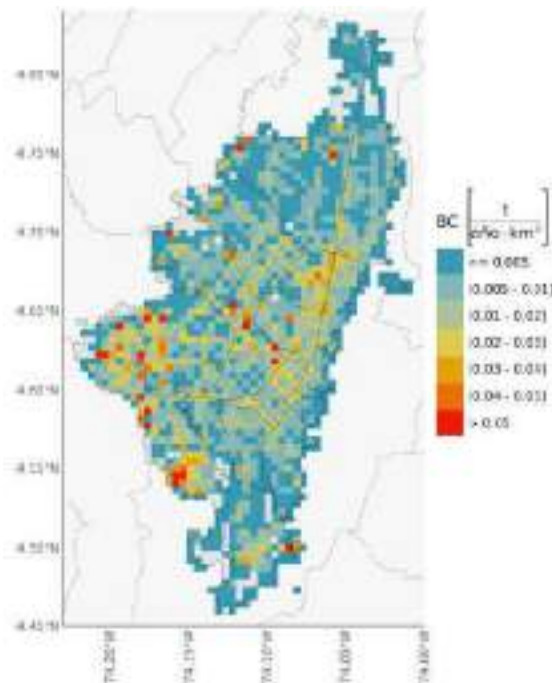
Desagregación espacial de emisiones

La distribución espacial de las emisiones de material resuspendido de las vías se presenta en los mapas de la Figura 79 y Figura 80 en donde se observa una concentración de emisiones en la zona sur y sur occidente de la ciudad. Lo anterior se evidencia en el análisis de participación por localidad entre la Figura 81 y Figura 83, en donde Ciudad Bolívar, Suba, Kennedy, Fontibón y Usme, son las cinco localidades de mayor emisión de $PM_{2.5}$ y PM_{10} . Esto se encuentra relacionado con el estado de la malla vial, en donde se evidencia que estas eran las zonas con mayor cantidad de vías sin pavimentar (como se observó en la Figura 22) además que se cruzan con algunas vías principales como la Autopista Sur. Se debe destacar que las emisiones BC tienen un mayor aporte de otras categorías distintas a vehículos livianos y motocicletas, debido a que, para este contaminante, el aporte de las vías principales es equiparable a los aportes de BC por las vías secundarias sin pavimentar.



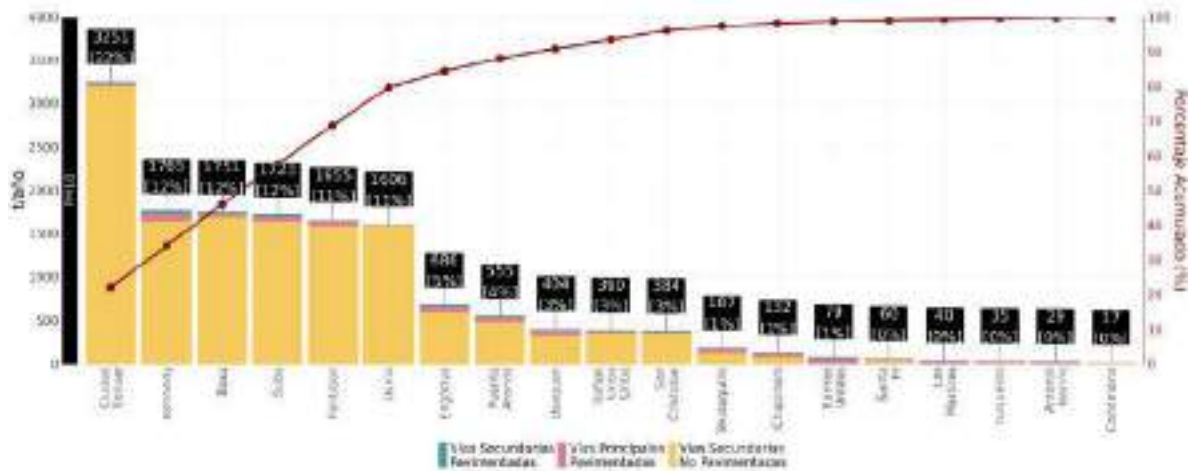
Fuente: Elaboración propia

Figura 79. Distribución espacial de las emisiones de PM₁₀ (izquierda) y PM_{2.5} (derecha) por resuspensión de material particulado en vías



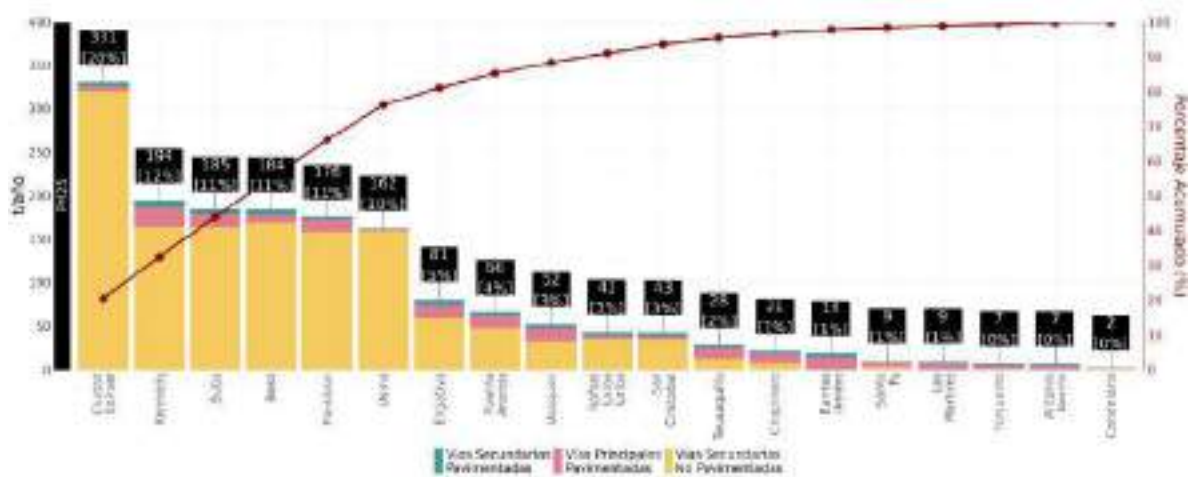
Fuente: Elaboración propia

Figura 80. Distribución espacial de las emisiones de BC por resuspensión de material particulado en vías



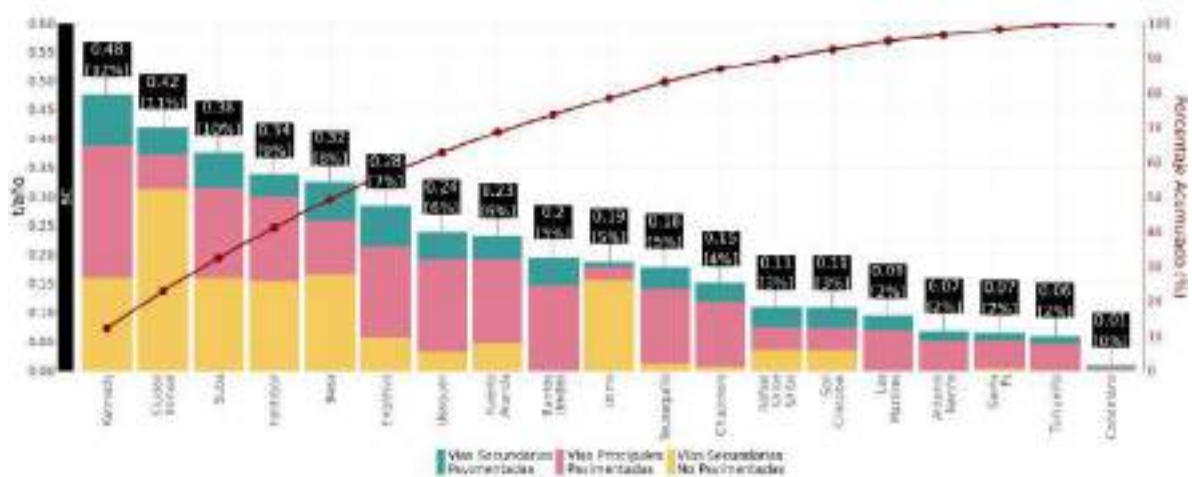
Fuente: Elaboración propia

Figura 81. Participación por localidad de las emisiones de PM₁₀ para resuspensión de material particulado en vía



Fuente: Elaboración propia

Figura 82. Participación por localidad de las emisiones de PM_{2.5} para resuspensión de material particulado en vía



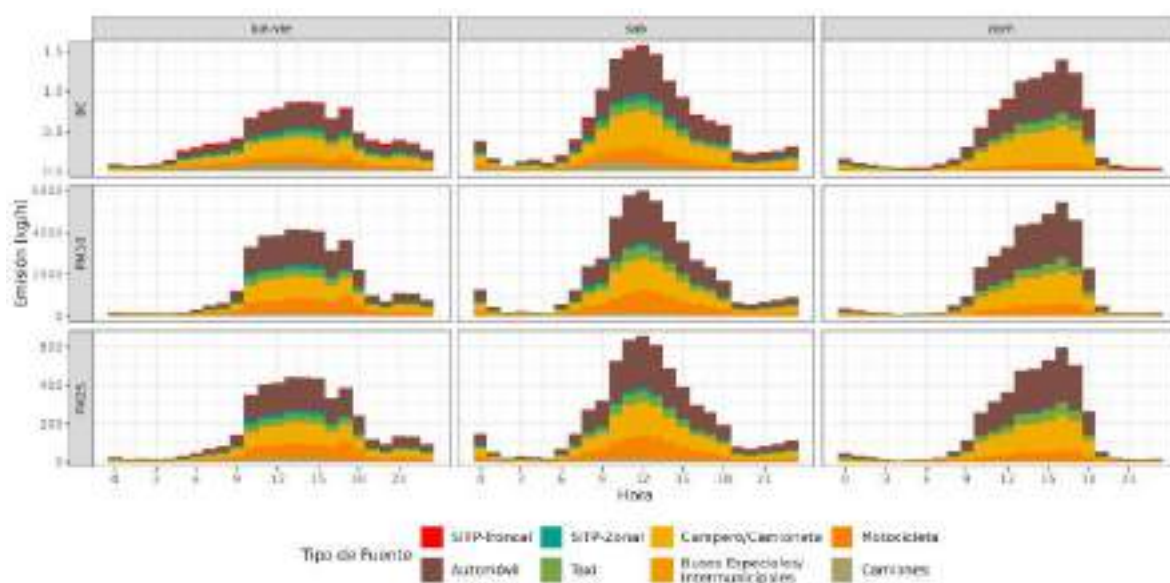
Fuente: Elaboración propia

Figura 83. Participación por localidad de las emisiones de BC para resuspensión de material particulado en vía

Desagregación temporal horaria de emisiones

Las emisiones por perfiles horarios del material resuspendido en vías (véase Figura 84) están condicionado a los flujos vehiculares de automóviles, campero y camionetas, principalmente en las vías secundarias, ya que estas categorías son las mayores aportantes de este contaminante por la cantidad de fuentes que hay en la ciudad en este tipo de vías.

Para los días hábiles (lun-vie), las emisiones son mayores entre las 9:00 y las 18:00, siendo mayores las diferencias directamente en PM_{10} y $PM_{2.5}$, por otro lado, los sábados se tiene un perfil de emisiones similar a un 'domo' cuyos picos de emisiones se encuentran entre las 10:00 y 12:00; finalmente, los días domingo se estiman emisiones crecientes entre las 07:00 y las 16:00, hora en la cual empiezan a disminuir hasta el nivel habitual de emisiones en horas nocturnas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 84. Perfiles horarios de emisiones de material particulado para fuentes móviles por material resuspendido

5.1.2. Resultados históricos de los inventarios de emisiones por resuspensión de material particulado en vías

Los resultados generales por tipo de vía se presentan en la Tabla 25, en donde se observa un leve repunte de emisiones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ comparados con el año 2018, debido a que para el 2022 ya se cuenta con una condición similar de tráfico comparado con el año 2018, luego del cambio del dinamismo de la ciudad producto del COVID-19 en los años 2020 y 2021, finalmente, para el año 2023 se estimaron unas emisiones menores a las estimadas para el año 2022, producto de la reducción de flujos vehiculares en vehículos livianos.

Tabla 25. Emisiones de material resuspendido en vías para los años 2018, 2020, 2021 y 2022

Cont.	Tipo de Vía	2018	2020	2021	2022	2023
BC	Secundaria [Pavimentada]	0.9	0.6	0.8	0.7	0.7
	Principal [Pavimentada]	2.4	1.6	2	1.9	1.9
	Secundaria [No Pavimentada]	1.6	1.2	1.5	1.4	1.3
	Total	4.9	3.5	4.3	4	4
PM ₁₀	Secundaria [Pavimentada]	355.4	253.1	329.7	294	295.7
	Principal [Pavimentada]	963.8	648.3	791.1	746.8	749.9
	Secundaria [No Pavimentada]	16592.7	12507.9	15206.2	14542	13795.1
	Total	17911.9	13409.3	16327	15582.8	14840.8
PM _{2.5}	Secundaria [Pavimentada]	86	61.2	79.8	71.1	71.5
	Principal [Pavimentada]	233.2	156.9	191.4	180.7	181.4
	Secundaria [No Pavimentada]	1659.3	1250.8	1520.6	1454.2	1379.5
	Total	1978.4	1468.9	1791.8	1706	1632.5

Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 85. Evolución histórica de emisiones de material particulado para fuentes móviles por material resuspendido

6. EMISIONES POR DESGASTE DE FRENOS Y LLANTAS EN FUENTES MOVILES

Las partículas en el aire emitidas por desgaste de frenos y llantas se producen por la interacción entre la superficie de las vías y los neumáticos de los vehículos, contando las emisiones generadas por aplicar los frenos para desacelerar los vehículos, algunos autores también consideran que existen mecanismos secundarios de emisión por la evaporación de material debido a las altas temperaturas desarrolladas por este contacto, pero es difícil su cuantificación. Dentro de los mecanismos específicos de emisión pueden categorizarse tres tipos de emisiones principales, el desgaste de frenos, el desgaste de llantas y el desgaste de la superficie, sin embargo, para propósitos de este informe se analizará en conjunto el desgaste de frenos y llantas, y no se tendrá en cuenta el desgaste de la superficie, ya que este tipo de emisión es contabilizada dentro de la resuspensión de material por el tránsito en las vías, por la metodología de medición de este tipo de fuente.

6.1. Inventario de emisiones por desgaste de frenos y llantas

El desgaste de frenos y llantas constituye una fuente adicional de material particulado, el cual puede emitirse en forma directa a la atmósfera al frenar los vehículos en vía; aunque esta actividad también genere material particulado sujeto a resuspenderse por la fricción entre las llantas y las vías, este material es contabilizado en las emisiones por resuspensión de material del capítulo anterior. El detalle de la metodología utilizada para esta clase de emisiones se presenta en la sección C del Anexo 1.

6.1.1. Inventario de emisiones Bottom-up

En la Tabla 26 se presentan las emisiones generadas por el desgaste de frenos y llantas clasificadas por categorías vehiculares y en la Figura 86 se encuentra la participación porcentual de cada una de las tipologías vehiculares en las emisiones por desgaste de frenos y llantas.

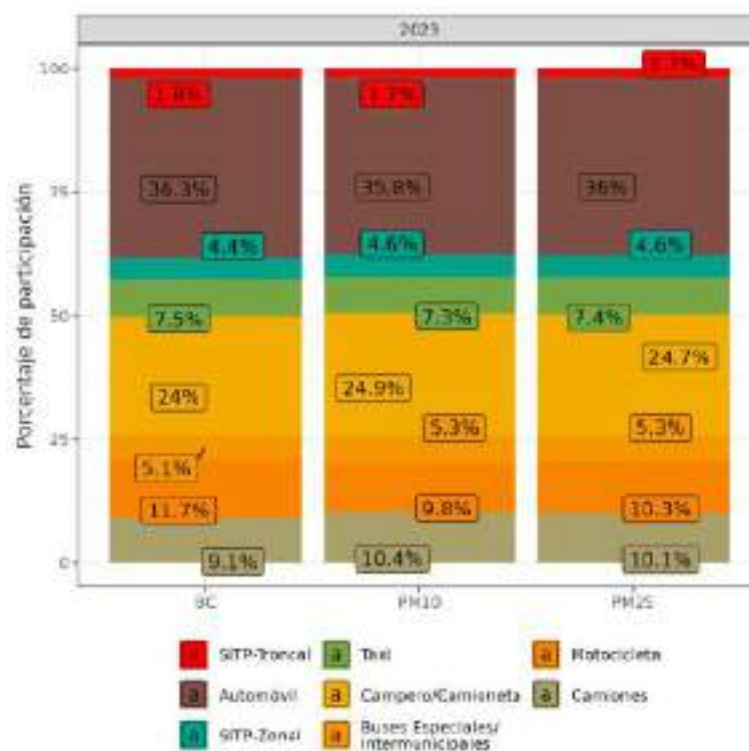
Tabla 26. Emisiones por desgaste de frenos y llantas para el año 2023 por categoría vehicular

Categoría vehicular	Emisiones [t/año]		
	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC
Automóvil	328	162.8	18.5
Campero/Camioneta	228.3	111.9	12.2
Motocicleta	90.1	46.4	6
Camiones	95.3	45.6	4.7
Taxi	67.1	33.3	3.8
Buses Especiales e Intermunicipales	48.8	23.8	2.6
SITP-Zonal	42.4	20.7	2.3
SITP-Troncal	15.1	7.6	0.9
Total	915	452.1	50.9

Fuente: Elaboración propia

Del comportamiento de este tipo de emisión se puede inferir que los automóviles, camperos, camionetas, taxis y motocicletas son los mayores aportantes en todos los contaminantes (alrededor del 70%), esto se encuentra relacionado a que más del 90% de los vehículos que se estiman transitan en la ciudad, pertenece a estas categorías (como se presentó en la 3.4.2). Por

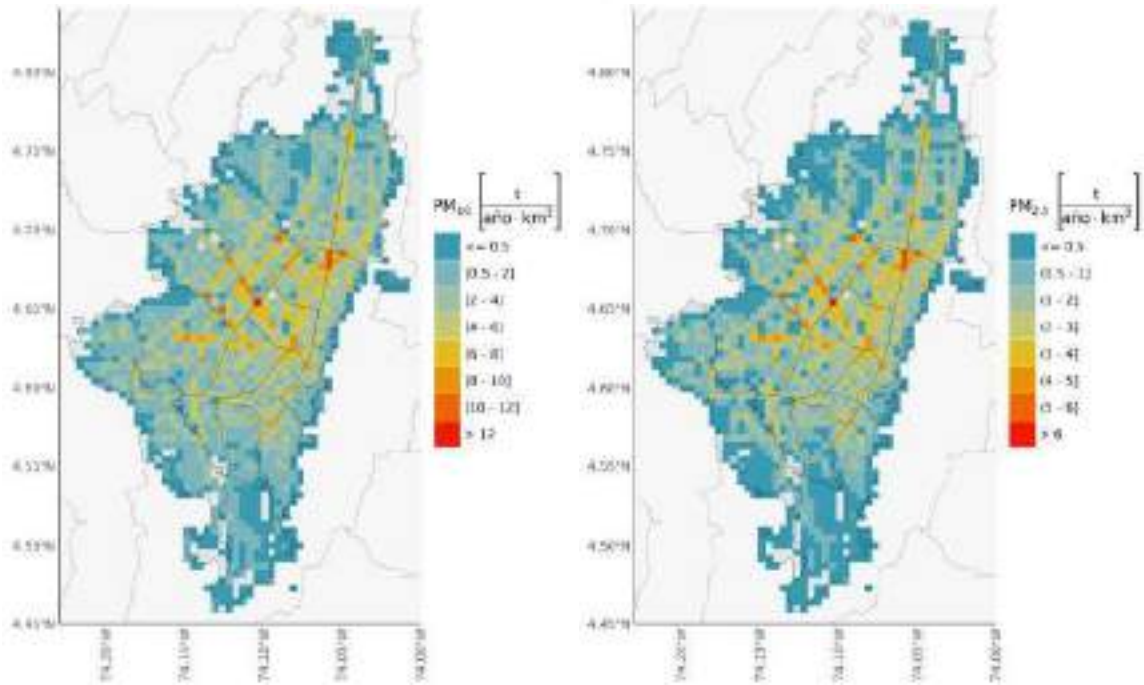
su parte, los camiones también tienen una participación significativa que se puede asociar al peso de los vehículos que se encuentra relacionada con esta clase de emisiones.



Fuente: Elaboración propia

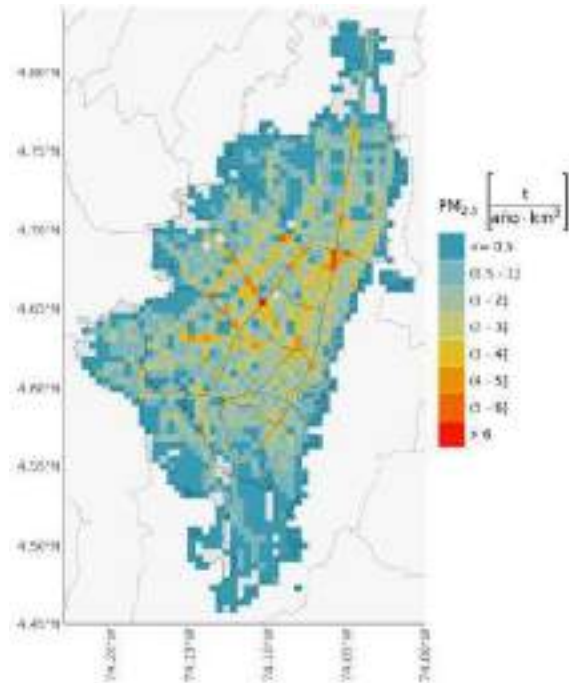
Figura 86. Distribución de las emisiones por desgaste de frenos y llantas, según tipología vehicular

En las Figura 87 y Figura 88, se encuentran los mapas de distribución espacial de las emisiones por desgaste de frenos y llantas. Esta distribución presenta similitud con la resultante para las emisiones de CO generadas por la combustión en las fuentes móviles, dado que ambas dependen de los flujos vehiculares sobre las vías. Es así, que se observan las mayores emisiones en vías como la autopista norte, autopista sur y en la zona central de la ciudad. Lo anterior se corrobora en las Figura 89 a Figura 91, en donde Suba lidera con un aporte del 10% de las emisiones por localidad, seguida de las localidades de Kennedy, Engativá, Teusaquillo y Usaquén.



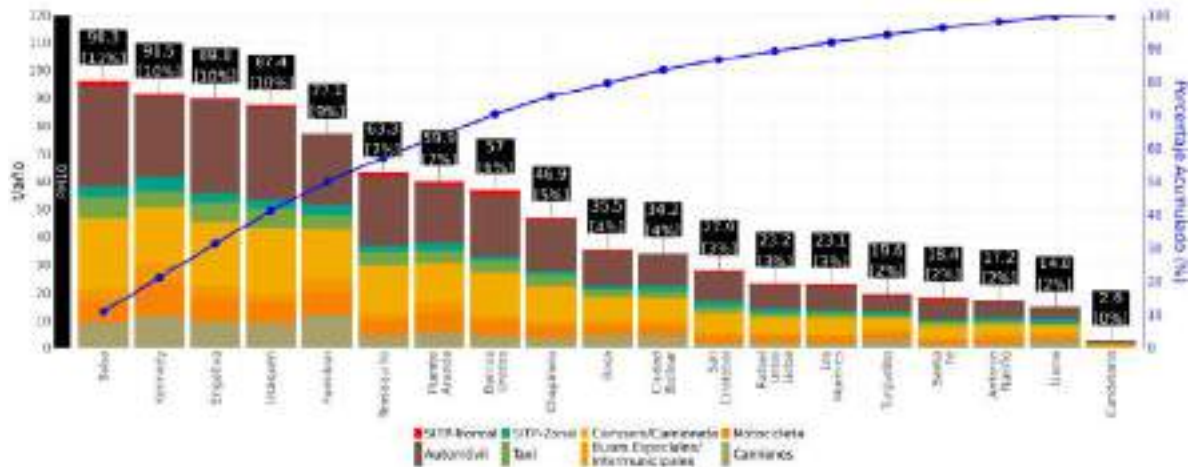
Fuente: Elaboración propia

Figura 87. Distribución espacial de las emisiones PM_{10} y $PM_{2.5}$ generadas por desgaste de frenos y llantas.



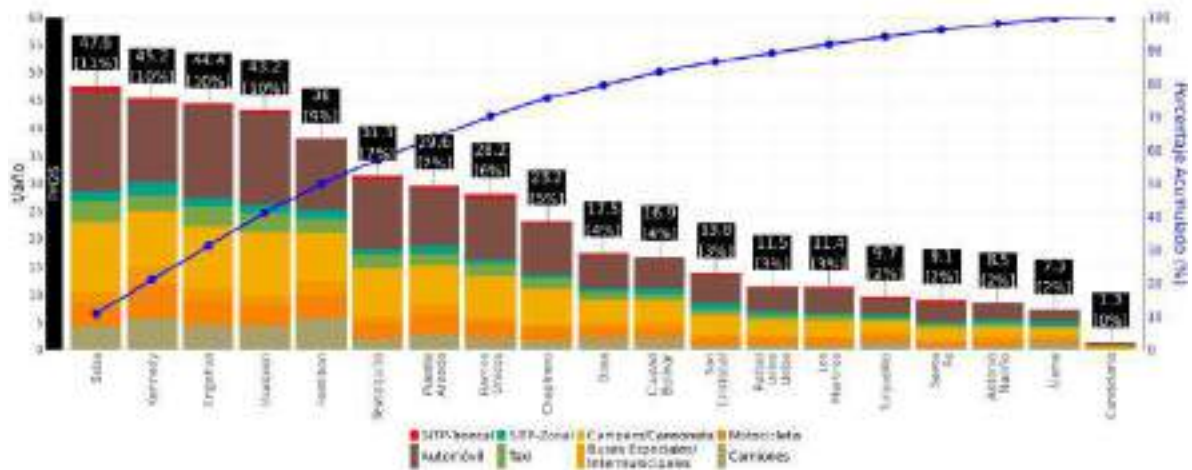
Fuente: Elaboración propia

Figura 88. Distribución espacial de las emisiones de BC generadas por desgaste de frenos y llantas.



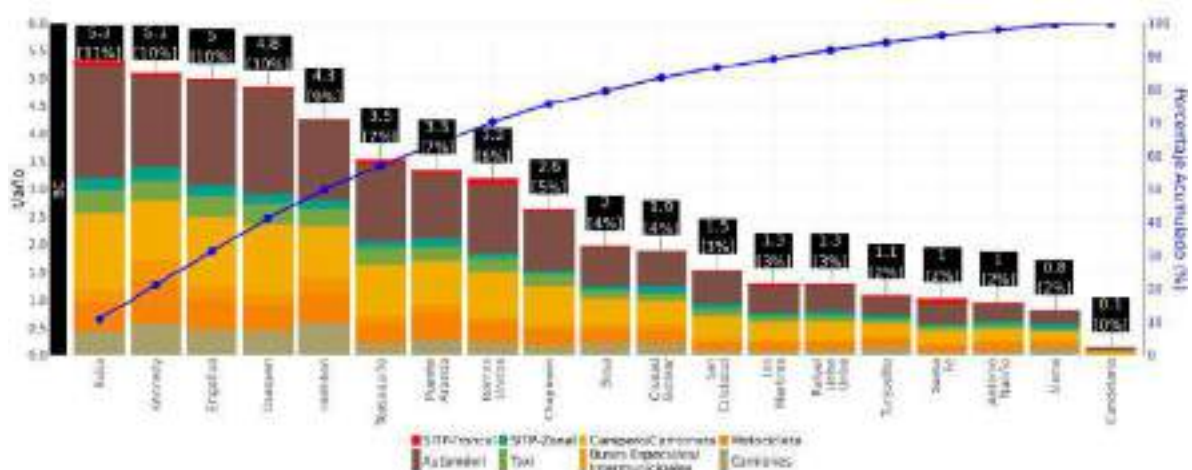
Fuente: Elaboración propia

Figura 89. Participación por localidad de las emisiones de PM₁₀ generas por desgaste de frenos y llantas



Fuente: Elaboración propia

Figura 90. Participación por localidad de las emisiones de PM_{2.5} generas por desgaste de frenos y llantas

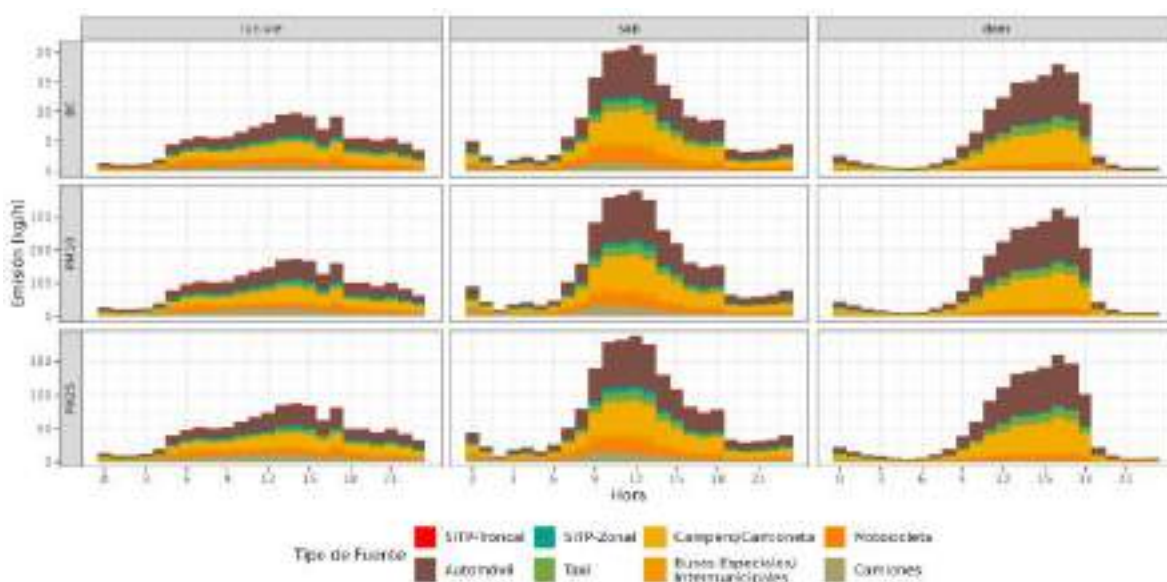


Fuente: Elaboración propia

Figura 91. Participación por localidad de las emisiones de BC generas por desgaste de frenos y llantas

Desagregación temporal horaria de emisiones

En la desagregación horaria de estas emisiones (véase Figura 92), se observa para los lunes a viernes un primer pico de emisiones entre las 6:00 y las 8:00, seguido de un incremento gradual de emisiones hasta las 15:00, producto del incremento de tránsito en las vías secundarias, y finalmente, luego de las 18:00 empieza el descenso gradual de emisiones. En el caso de los días sábado, se estima un pico de emisiones entre las 10:00 y las 14:00, pico que es aproximadamente el doble que el estimado para las mismas horas los lunes a viernes; luego del pico de emisiones, éstas empiezan a descender de manera drástica hasta las 16:00, hora en la que ya los descensos dejan de ser notorios en el perfil de emisiones. Finalmente, los días domingo se estima un incremento gradual de emisiones entre las 6:00 y las 15:00. El comportamiento descrito es similar al comportamiento de las emisiones de CO producidas por la combustión en las fuentes móviles en carretera, con la salvedad que la participación de los vehículos livianos y motos tiene una participación mayoritaria.



Fuente: Elaboración propia

Figura 92. Perfiles horarios de emisiones de material particulado para fuentes móviles por desgaste de llantas y frenos

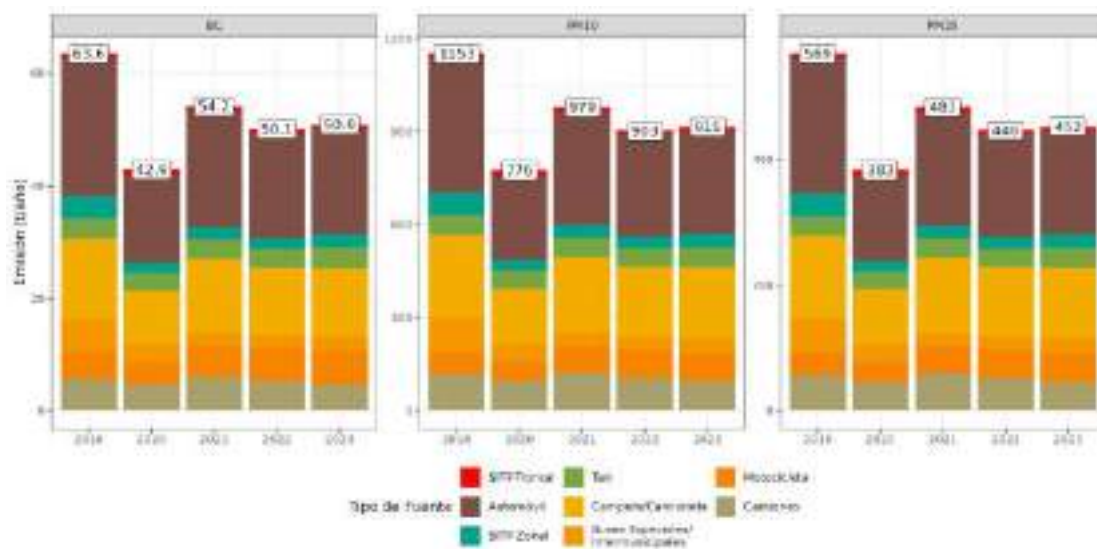
6.1.2. Resultados históricos de los inventarios de emisiones generadas por desgaste de frenos y llantas

Como se ha mencionado anteriormente, las emisiones por desgaste de frenos y llantas se encuentra condicionados a flujos vehiculares, especialmente de automóviles, camperos y camionetas, categorías que tuvieron la mayor reducción de actividad durante los años de pandemia. Esto se ve reflejado en las series temporales presentadas en la Figura 93. En la Tabla 27 se presentan los valores totales de emisiones para estos años, en donde se observa una similitud entre los años 2018 a 2022 y una reducción de emisiones entre los años 2020 y 2021 por el efecto COVID-19, así mismo, en el año 2023 se mantiene una reducción en las emisiones en todos los contaminantes, comparados con el año 2022.

Tabla 27. Emisiones de PM_{2.5} por el desgaste de frenos y llantas para los años 2018, 2020, 2021, 2022 y 2023.

Contaminante	Categoría Vehicular	Emisiones (t/año)				
		2018	2020	2021	2022	2023
BC	SITP-Troncal	0.7	1.0	0.9	0.8	0.9
	Automóvil	24.7	15.4	20.6	18.5	18.5
	SITP-Zonal	3.8	1.8	2.1	1.9	2.3
	Taxi	3.7	3.3	3.6	3.4	3.8
	Campero/Camioneta	14.5	9.5	13.1	12.0	12.2
	Buses Especiales/Intermunicipales	5.9	3.1	2.4	2.4	2.6
	Motocicleta	4.6	3.9	5.5	5.8	6.0
	Camiones	5.7	4.7	6.0	5.3	4.7
	Total	63.6	42.9	54.2	50.1	50.9
PM ₁₀	SITP-Troncal	11.2	16.8	15.7	13.4	15.1
	Automóvil	437.7	273.5	364.8	327.6	328.0
	SITP-Zonal	70.9	34.1	39.0	36.5	42.4
	Taxi	64.7	58.5	63.4	60.5	67.1
	Campero/Camioneta	270.2	177.6	244.1	224.2	228.3
	Buses Especiales/Intermunicipales	110.6	58.8	45.2	44.9	48.8
	Motocicleta	70.2	59.4	82.7	87.9	90.1
	Camiones	117.7	97.1	123.9	107.6	95.3
	Total	1153.3	775.7	978.8	902.6	915.0
PM _{2.5}	SITP-Troncal	5.6	8.4	7.9	6.7	7.6
	Automóvil	217.3	135.8	181.1	162.7	162.8
	SITP-Zonal	34.7	16.7	19.0	17.8	20.7
	Taxi	32.1	29.0	31.4	30.0	33.3
	Campero/Camioneta	132.4	87.0	119.6	109.9	111.9
	Buses Especiales/Intermunicipales	53.9	28.7	22.0	21.9	23.8
	Motocicleta	36.2	30.6	42.6	45.3	46.4
	Camiones	56.4	46.5	59.3	51.5	45.6
	Total	568.7	382.6	483.0	445.8	452.1

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 93. Perfiles horarios de emisiones de material particulado para fuentes móviles por desgaste de llantas y frenos

7. EMISIONES POR MANIPULACIÓN DE MATERIALES.

Dentro de Bogotá se han identificado tres grandes actividades económicas generadoras de este tipo de emisiones, las cuales son: actividades industriales, actividades de construcción y actividades de cantería, cuyos detalles de estimación de emisiones se encuentran en la Tabla 28.

Tabla 28. Fuentes de procesos y manipulación de materiales para el año 2023 identificadas en Bogotá

<i>Fuente de Emisión</i>	<i>Año de actualización</i>	<i>Observaciones</i>
Manipulación de Materiales en construcciones	2023	Se actualiza emisión en este documento
Manipulación de Materiales en Canteras	2023	Se actualiza emisión en este documento
Manipulación de Materiales en Agricultura	2014	Estimación tomada de Universidad de la Salle y otros (2018).
Manipulación de Materiales en el sector industrial	Aún no estimado	No se ha definido la metodología de estimación de emisiones para este tipo de fuente
Otras Emisiones asociadas a procesos industriales	Aún no estimado	No se ha definido la metodología de estimación de emisiones para este tipo de fuente

Fuente: Elaboración propia

7.1. Inventario de emisiones por manipulación de materiales en construcciones

El inventario debido a la manipulación de materiales en construcciones para el año 2023 se clasifican principalmente según su finalidad, donde los grupos principales son la construcción de vías y de edificaciones. Estas emisiones son generadas por todas aquellas operaciones que con llevan el tratamiento de terreno, la excavación, la demolición y otros procesos inherentes al desarrollo de esta actividad; aunque en las construcciones se emplea maquinaria amarilla para realizar estas operaciones, la cuantificación de las emisiones por combustión de este tipo de fuentes ya fue abordado en la sección 4.4 de este documento. La metodología utilizada se detalla en la sección E del Anexo 1.

7.1.1. Inventario de emisiones Bottom-up

Para el análisis de emisiones provenientes por manipulación de materiales en construcciones se realiza la clasificación en cinco (5) categorías como se evidencia en la Tabla 29.

Tabla 29. Emisiones del año 2023 generadas por construcciones

<i>Tipo de construcción</i>	<i>Cantidad de construcciones</i>	<i>Emisiones (t/año)</i>	
		<i>PM_{2.5}</i>	<i>PM₁₀</i>
Dotacionales	616	47	154
Edificación (proyectos de vivienda)	523	199	648
Otro	123	1	1
Remodelación	347	40	131
Vías	373	132	427
Total	1982	419	1361

Fuente: Elaboración propia

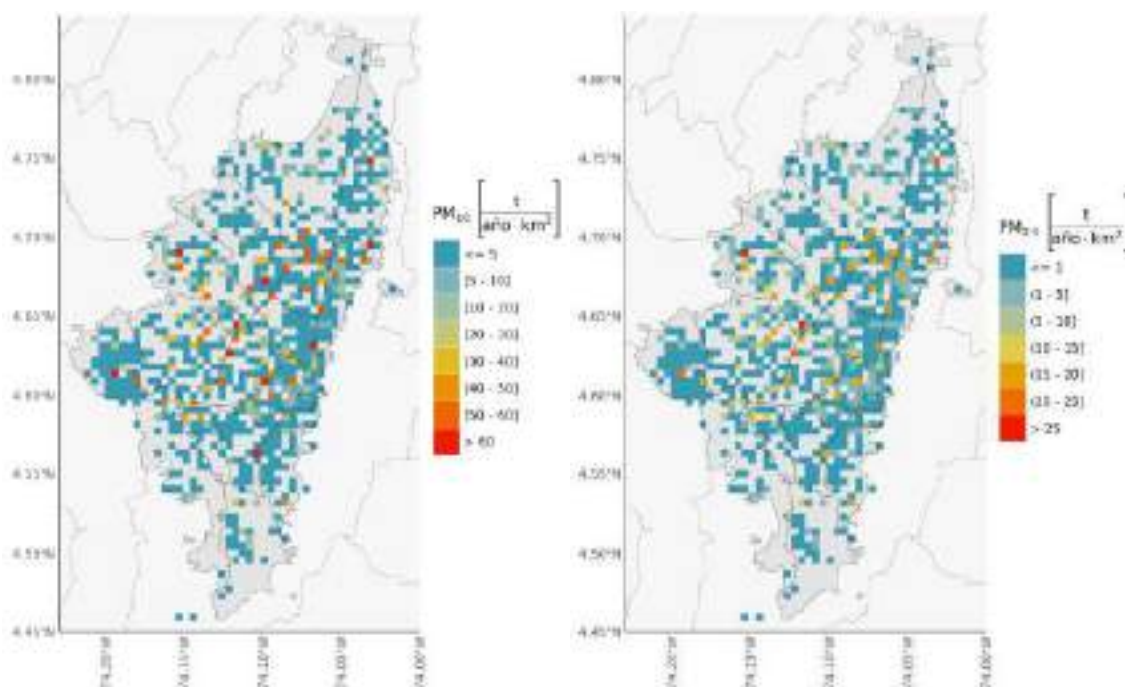
Desagregación espacial de emisiones

La distribución espacial de las emisiones por material manipulado de las construcciones se presenta en los mapas de la Figura 94, donde se evidencia que las emisiones de material particulado generado por construcciones se concentran principalmente en las zonas oriental,

central y occidental de la ciudad. Estas emisiones están relacionadas con obras viales y edificaciones en desarrollo, lo que explica los altos niveles de concentración observados en localidades como Usaquén, Chapinero, Suba y Bosa.

La relación directa entre las concentraciones de material particulado y las obras en curso es evidente, ya que estas actividades contribuyen significativamente a la emisión de $PM_{2.5}$ y PM_{10} debido al movimiento de tierra, transporte de materiales y polvo resuspendido en zonas urbanas.

La distribución espacial de las emisiones provenientes por construcciones para el año 2023 se representan en la Figura 94. Esta distribución presenta las emisiones por manipulación de materiales generadas por las diferentes construcciones realizadas en la ciudad.

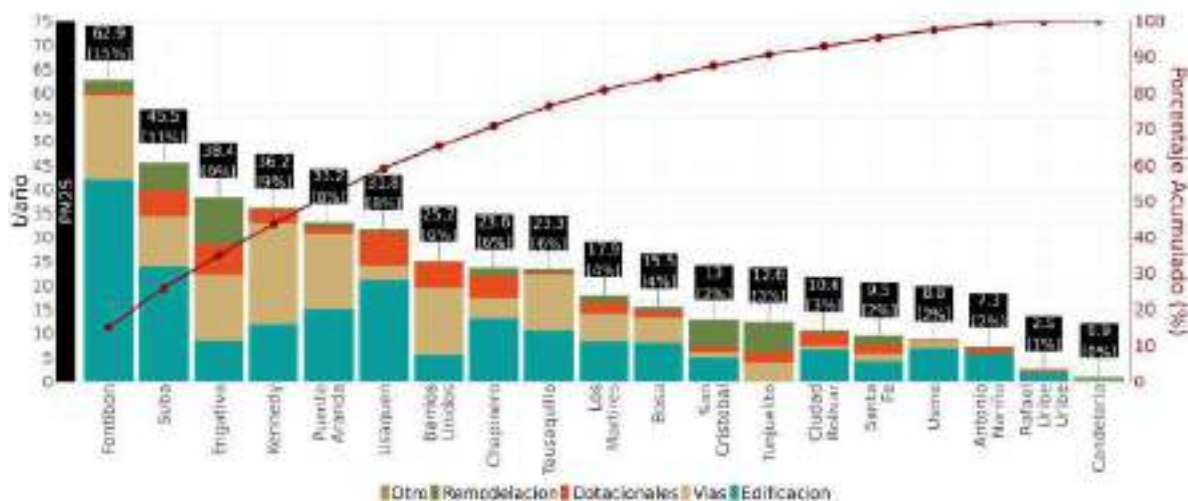


Fuente: Elaboración propia

Figura 94. Distribución espacio temporal de las PM_{10} (izquierda) y $PM_{2.5}$ (derecha) por resuspensión de construcciones

La participación de emisiones de $PM_{2.5}$ de la Figura 95, evidencia que las localidades con mayor participación es Fontibón que lidera las emisiones con 62.9 t/año (15%), seguido de Suba con 45.5 t/año (11%), Engativá con 38.4 t/año (9%) y Kennedy con 36.2 t/año (9%). Estas cuatro localidades representan el 44% de las emisiones acumuladas de $PM_{2.5}$.

Las edificaciones y vías son las fuentes con mayor participación, destacándose en localidades como Fontibón y Suba. Mientras que las remodelaciones y otras construcciones también tienen un impacto considerable en localidades con un menor tamaño.

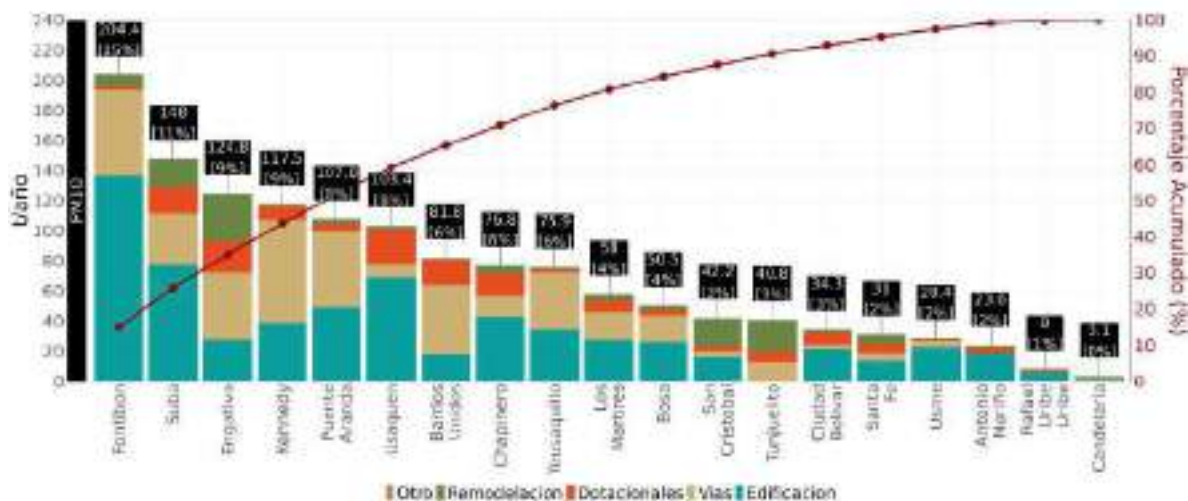


Fuente: Elaboración propia

Figura 95. Participación por localidad de las emisiones de PM_{2.5} generas por construcciones.

En la Figura 96, se evidencia que la localidad de Fontibón es la mayor emisora con 204.4 t/año (15%), seguida por Suba con 148 t/año (11%), Engativá con 124.8 t/año (9%) y finalmente Kennedy con 117.5 t/año (9%). Estas localidades representan el 44% de las emisiones acumuladas de PM₁₀, reflejando el mismo patrón que en PM_{2.5}.

Las edificaciones y vías son nuevamente predominantes, mientras que las remodelaciones tienen mayor peso en algunas localidades de menor densidad como Barrios Unidos o Chapinero.



Fuente: Elaboración propia

Figura 96. Participación por localidad de las emisiones de PM₁₀ generas por construcciones

7.1.2. Resultados Históricos de los inventarios de emisiones generadas por construcciones

Como se ha mencionado anteriormente, las emisiones generadas por la manipulación de materiales en las actividades constructivas tienen un aporte significativo en la resuspensión de material particulado. Entre los años 2018 y 2023, se observa un crecimiento continuo de estas emisiones, a excepción de un descenso registrado en 2020, atribuido a las restricciones

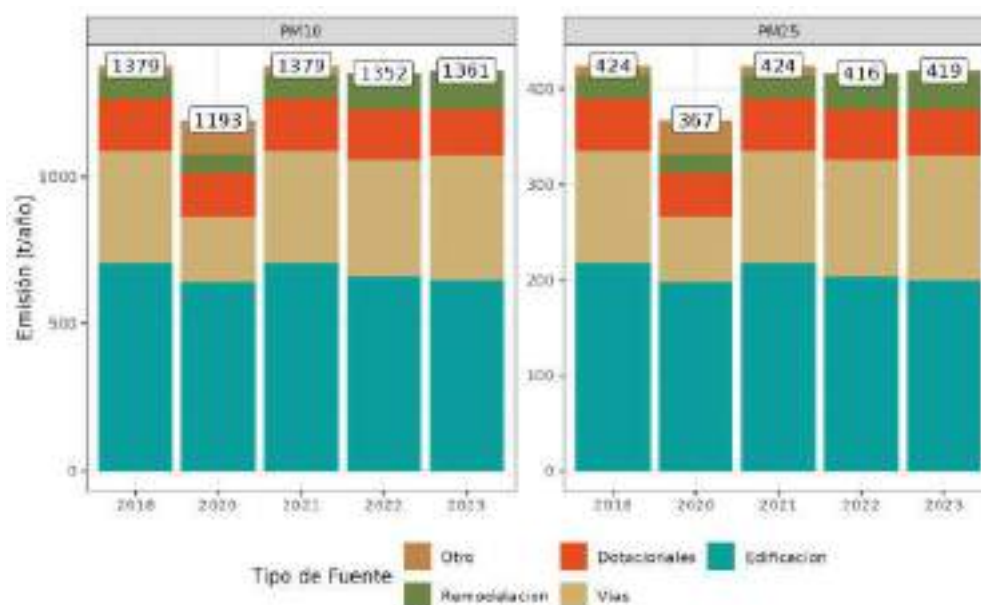
implementadas durante la pandemia por COVID-19, que paralizaron temporalmente las actividades constructivas en la ciudad.

En el periodo más reciente, entre 2022 y 2023, las áreas de intervención de las construcciones presentaron una reducción del 4%, como se refleja en la Tabla 30 y en la Figura 97. A pesar de esta disminución en la extensión de áreas intervenidas, las emisiones continúan siendo significativas debido a la intensidad de las actividades en edificaciones y vías, identificadas como las principales fuentes de emisión.

Tabla 30. Emisiones históricas 2018, 2020, 2021, 2022 y 2023 generadas por construcciones

Año	Área (km ²)	Emisiones (t/año)	
		PM _{2.5}	PM ₁₀
2018	12.2	424.2	1378
2020	13.9	368.78	1199
2021	15.8	425.61	1383
2022	15.7	416.10	1352
2023	15.1	418.68	1360

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 97. Emisiones PM2.5 y PM10 entre 2018 a 2023, generadas por manipulación de materiales en construcciones

7.2. Inventario de emisiones por manipulación de materiales en canteras

Para el inventario de emisiones del año 2023, se realizó la actualización de estimación de emisiones generadas por la manipulación de materiales en las canteras utilizando la metodología de la sección F del Anexo 1. Como se presentó en la sección 3.7, este tipo de fuente ha tenido una mayor restricción de funcionamiento dentro de la ciudad, considerando los cambios de las zonas aptas para minería adoptaron en los últimos años, de ahí la importación de su actualización.

7.2.1. Inventario de emisiones Bottom-up

Los resultados del total de emisiones de canteras estimadas en este inventario para el año 2023, 2022, 2021 y las estimaciones realizadas por la Universidad de La Salle del año 2012, se presentan en la Tabla 31, en donde se observa el comportamiento de las emisiones para cada uno de estos años. Finalmente, el área total de canteras reportadas en la ciudad de Bogotá para el año 2023 disminuyó 167370.5 m² pasando de 1.60 km² en el 2022 a 1.44 km² en el 2023, lo cual se verá reflejado en el impacto de emisiones de estas fuentes.

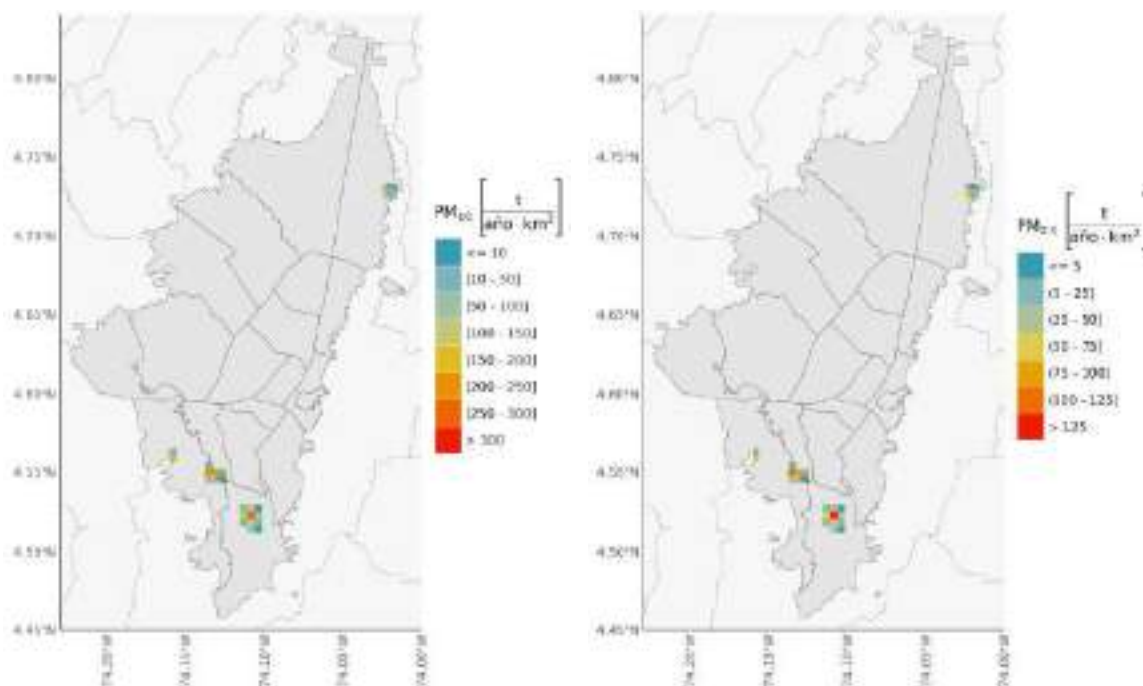
Tabla 31. Histórico de cantidades y áreas de canteras

Año	Área (km ²)	Cantidad de canteras
2021	1.01	7
2022	2.34	13
2023	1.55	7

Fuente: Elaboración propia a partir de información de la Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá

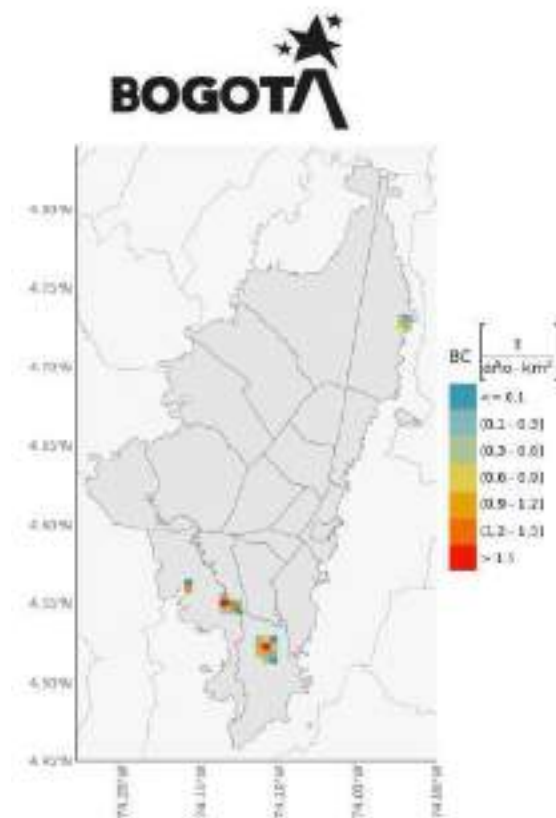
Desagregación espacial de emisiones

En los mapas de las Figura 98 y Figura 99, se presenta la distribución espaciotemporal de las emisiones de PM_{2.5}, PM₁₀ y carbono negro (BC) asociadas a la resuspensión de partículas por actividades de canteras. Los resultados evidencian que las mayores emisiones se concentran en la zona sur de la ciudad, específicamente en la localidad de Usme, donde se ubica la mayoría de estas actividades extractivas. Durante el año 2023, Usme se consolidó como la principal localidad emisora, contribuyendo 113.26 t/año de PM_{2.5}, y 245.25 t/año de PM₁₀, cifras que representan las más altas entre las localidades analizadas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 98. Distribución espacio temporal de las emisiones de PM₁₀ (izquierda) y PM_{2.5} (derecha) por manipulación de materiales en canteras



Fuente: Elaboración propia

Figura 99. Distribución espacio temporal de las emisiones de BC por manipulación de materiales en canteras

El análisis por localidades se presenta en la Tabla 32, destacando tres localidades principales como los mayores contribuyentes de emisiones en la ciudad de Bogotá. Usme se posiciona como la mayor emisora de $PM_{2.5}$, con un total de 113.26 toneladas por año, resultado directamente relacionado con la presencia de canteras dedicadas a la extracción de arcillas y arenas en esta zona.

En conclusión, las emisiones con mayor impacto se concentran en el sur de la ciudad, reflejando la influencia de las actividades extractivas en la calidad del aire. La localidad con mayor contribución en términos absolutos a las emisiones totales es Usme, tanto de material particulado como de carbono negro, posiblemente debido a una mayor actividad minera. Usaquén tiene el área más pequeña y contribuye menos, lo que puede estar relacionado con una menor actividad de canteras en esa localidad. las diferencias en las áreas y emisiones sugieren que el impacto ambiental de las canteras está concentrado en Usme y Ciudad Bolívar.

Tabla 32. Emisiones por localidades provenientes de canteras 2023.

Localidad	Emisiones t/año)		
	$PM_{2.5}$	PM_{10}	BC
Ciudad Bolívar	94.83	210.74	1.39
Usaquén	31.18	69.29	0.46
Usme	113.26	245.25	1.66
Total	239.28	525.28	3.52

Fuente: Elaboración propia

7.2.2. Resultados históricos de los inventarios de emisiones generadas por canteras

En la Tabla 33 se presentan los resultados del inventario de emisiones de material particulado ($PM_{2.5}$ y PM_{10}) y BC, provenientes de las actividades de canteras en los años 2012, 2021, 2022 y 2023.

Para el caso específico de $PM_{2.5}$, las emisiones más altas se registraron en 2012, con 431 t/año. En el 2021, se observó una disminución significativa a 175.97 t/año, probablemente como resultado de las paradas de actividades a causa del COVID-19. Sin embargo, en 2022, las emisiones aumentaron nuevamente a 366.12 t/año, lo que podría estar relacionado con un incremento en las actividades extractivas y restablecimiento de actividades. En 2023, las emisiones se redujeron a 239.28 t/año, evidenciando un esfuerzo hacia la estabilización.

Estas fluctuaciones en las emisiones reflejan la interacción entre los niveles de actividad minera y las políticas de control ambiental. El año 2021 se destaca como el período con los valores más bajos para todas las categorías, debido a una reducción en el número de canteras en operación. Por otro lado, en 2023, aunque las emisiones no alcanzaron los niveles mínimos de 2021, la reducción en comparación con 2022 sugiere avances en la mitigación y una tendencia hacia la estabilización de las emisiones.

Tabla 33. Resultados de inventario de emisiones de Canteras año 2012, 2021, 2022 y 2023

Año	Emisiones (t/año)		
	$PM_{2.5}$	PM_{10}	BC
2012	431	936	6.34
2021	175.97	387.21	2.59
2022	366.12	805.98	5.38
2023	239.28	525.28	3.52

Fuente año 2012: (Universidad de La Salle & SDA, 2013)

Fuente año 2021, 2022 y 2023: Elaboración propia

7.3. Inventario de emisiones por manipulación de materiales para otras fuentes

El estudio realizado por la Universidad de la Salle y otros (2018) permitió tener una primera aproximación a las emisiones generadas por otras fuentes por manipulación de materiales, no descritas anteriormente (Terrenos agrícolas), cuyos valores se condensan en la Tabla 34. Estas estimaciones fueron realizadas con año base 2014 y para propósitos del inventario se han supuesto que la actividad se mantiene constante entre los años 2018 y 2022.

Tabla 34. Resultados de emisiones para otras fuentes de combustión en Bogotá

Fuente de Emisión	Metodología	Años del inventario	Emisiones (t/año)						
			PM_{10}	$PM_{2.5}$	NO_x	SO_2	CO	COV	BC
Manipulación de materiales en Actividades Agrícolas	Bottom-Up	2014	5.0	NE	NA	NA	NA	NA	NE

NE: No estimado, NA: No Aplica

Fuente: Adaptado de Universidad de la Salle y Otros (2018)

8. EMISIONES POR EVAPORACIÓN

Las emisiones por evaporación se producen cuando las sustancias volátiles se liberan al ambiente de forma natural o inducida por calor; este mecanismo puede ocurrir durante el almacenamiento, el manejo y el uso de productos químicos como solventes, combustibles y pinturas, en los procesos de secado de materiales y por evaporación natural de la vegetación y suelos (fuentes biogénicas). En Bogotá se han identificado las fuentes de emisión por evaporación que encuentran en la Tabla 35.

Tabla 35. Fuentes de emisión por evaporación para el año 2023 identificadas en Bogotá

<i>Fuente de Emisión</i>	<i>Año de actualización</i>	<i>Observaciones</i>
Evaporación de sustancias en fuentes biogénicas	2012	Estimación tomada de Universidad de la Salle y SDA (2013)
Evaporación en procesos comerciales asociados a operaciones en Estaciones de Servicio y Centros de Almacenamiento de Combustibles	2012	Estimación tomada de Universidad de la Salle y SDA (2013)
Evaporación de combustibles en fuentes móviles	Aún no estimado	No se ha definido la metodología de estimación de emisiones para este tipo de fuente
Evaporación en procesos industriales	Aún no estimado	No se ha definido la metodología de estimación de emisiones para este tipo de fuente
Otro tipo de evaporación en procesos comerciales	Aún no estimado	No se ha definido la metodología de estimación de emisiones para este tipo de fuente

Fuente: Elaboración propia

8.1. Emisiones asociadas a la evaporación en fuentes biogénicas

Las emisiones por evaporación de fuentes biogénicas se refieren a la liberación de compuestos orgánicos volátiles (COV) al ambiente a partir de fuentes naturales. Estas emisiones pueden ocurrir a través de varios procesos biológicos y físicos, especialmente en plantas y suelos. Las plantas emiten una variedad de COV como resultado de procesos metabólicos; ejemplos comunes incluyen el isopreno y los monoterpenos, que pueden ser liberados en respuesta a factores como la temperatura, la luz solar y el estrés hídrico. El suelo también puede ser una fuente de emisiones biogénicas, especialmente en áreas con alta actividad microbiológica, los microorganismos en el suelo pueden descomponer la materia orgánica y liberar COV en el proceso; Además de las plantas y el suelo, otras fuentes naturales como los océanos y los humedales también pueden emitir COV a través de procesos naturales.

El estudio realizado por la Universidad de la Salle y otros (2013) permitió tener una primera aproximación a las emisiones generadas por fuentes biogénicas, cuyos valores se condensan en la Tabla 36. Estas estimaciones fueron realizadas con año base 2012 y para propósitos del inventario se han supuesto que se mantienen constantes entre los años 2018 y 2023.

Tabla 36. Resultados de emisiones por evaporación en fuentes biogénicas en Bogotá

Fuente de Emisión	Metodología	Años del inventario	Emisiones (t/año)						
			PM ₁₀	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	CO	COV	BC
Fuentes Biogénicas	Bottom-Up	2012	NA	NA	NA	NA	NA	2040.0	NA

NE: No estimado, NA: No Aplica

Fuente: Adaptado de Universidad de la Salle y Otros (2013)

8.2. Emisiones asociadas a la evaporación en fuentes comerciales

Estas emisiones evaporativas se refieren a la liberación de compuestos volátiles al aire durante las operaciones comerciales y el manejo de productos. Estas emisiones típicamente provienen de las siguientes actividades: (1) Almacenamiento y manejo de combustibles, (2) Uso de productos químicos y solventes, (3) Mantenimiento de vehículos, (4) Venta de productos volátiles, (5) Operaciones de cocina y restauración.

El estudio realizado por la Universidad de la Salle y otros (2013) permitió tener una primera aproximación a las emisiones generadas por las operaciones en estaciones de servicio y centros de almacenamiento de combustibles, cuyos valores se condensan en la Tabla 36. Estas estimaciones fueron realizadas con año base 2012 y para propósitos del inventario se ha supuesto que se mantienen constantes entre los años 2018 y 2023.

Tabla 37. Resultados de emisiones por evaporación en fuentes comerciales en Bogotá

Fuente de Emisión	Metodología	Años del inventario	Emisiones (t/año)						
			PM ₁₀	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	CO	COV	BC
Fuentes Comerciales – Estaciones de Servicio y centro de almacenamiento de combustibles	Bottom-Up	2012	NA	NA	NA	NA	NA	23888.5	NA

NE: No estimado, NA: No Aplica

Fuente: Adaptado de Universidad de la Salle y Otros (2013)

9. INVENTARIO CONSOLIDADO DE EMISIONES

En la Tabla 38 se presenta la consolidación de los inventarios de emisión de las fuentes presentadas en este documento y de aquellas fuentes que no cuentan con un inventario actualizado, pero siguen activas dentro de la ciudad. Para el año 2023 se estima que se generaron 19867 toneladas de PM₁₀ y 4094 toneladas de PM_{2.5}, en la ciudad.

Tabla 38. Inventario Consolidado de emisiones para la ciudad representativo para el año 2023, en toneladas

Mecanismo de Emisión	Fuente de Emisión	Actualización	Metodología	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	CO	NO _x	SO _x	COV
Combustión	Fuentes Móviles en Carretera	2023	Top Down	824.6	697.3	249.7 ^a	86631.0	29572.9	305.0	13919.8
	Fuentes Móviles Fuera de Carretera	2023	Top Down	438.0	424.8	279.9	2782.0	5311.5	15.5	527.0
	Fuentes Fijas Industriales	2023	Bottom Up	294.0	82.4	16.5	510.6	1551.2	2222.4	66.0
	Quemas e Incendios	2023	Bottom Up	134.8	78.2	8.6	732.9	122.0	3.5	67.4
	Fuentes Fijas Comerciales	2014	Bottom Up	128.2	66.6	4.3	2534.4	67.3	190.3	104.7
	Fuentes Fijas Residenciales	2023	Top Down	2.8	2.8	0.2	315.5	602.4	4.3	25.8
Desgaste de Frenos y Llantas	Fuentes Móviles en Carretera	2023	Bottom Up	915.0	452.1	50.9	NA	NA	NA	NA
Evaporación	Fuentes Biogénicas	2012	Bottom Up	NA	NA	NA	NA	NA	NA	2040.0
	Fuentes Fijas Comerciales	2012	Bottom Up	NA	NA	NA	NA	NA	NA	23888.5
Manipulación de Materiales	Actividades de Construcción	2023	Bottom Up	1360.7	418.7	0.0	NA	NA	NA	NA
	Actividades en Canteras	2023	Bottom Up	523.0	238.2	3.5	NA	NA	NA	NA
	Actividades Agrícolas	2012	Bottom Up	5.0	NE	NE	NA	NA	NA	NA
	Fuentes Fijas Industriales	2023	Bottom Up	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Resuspensión de Material en Superficies	Tránsito en vías	2023	Bottom Up	14840.8	1632.5	4.0	NA	NA	NA	NA
Total				19466.9	4093.7	617.5	93506.4	37227.2	2741.0	40639.2

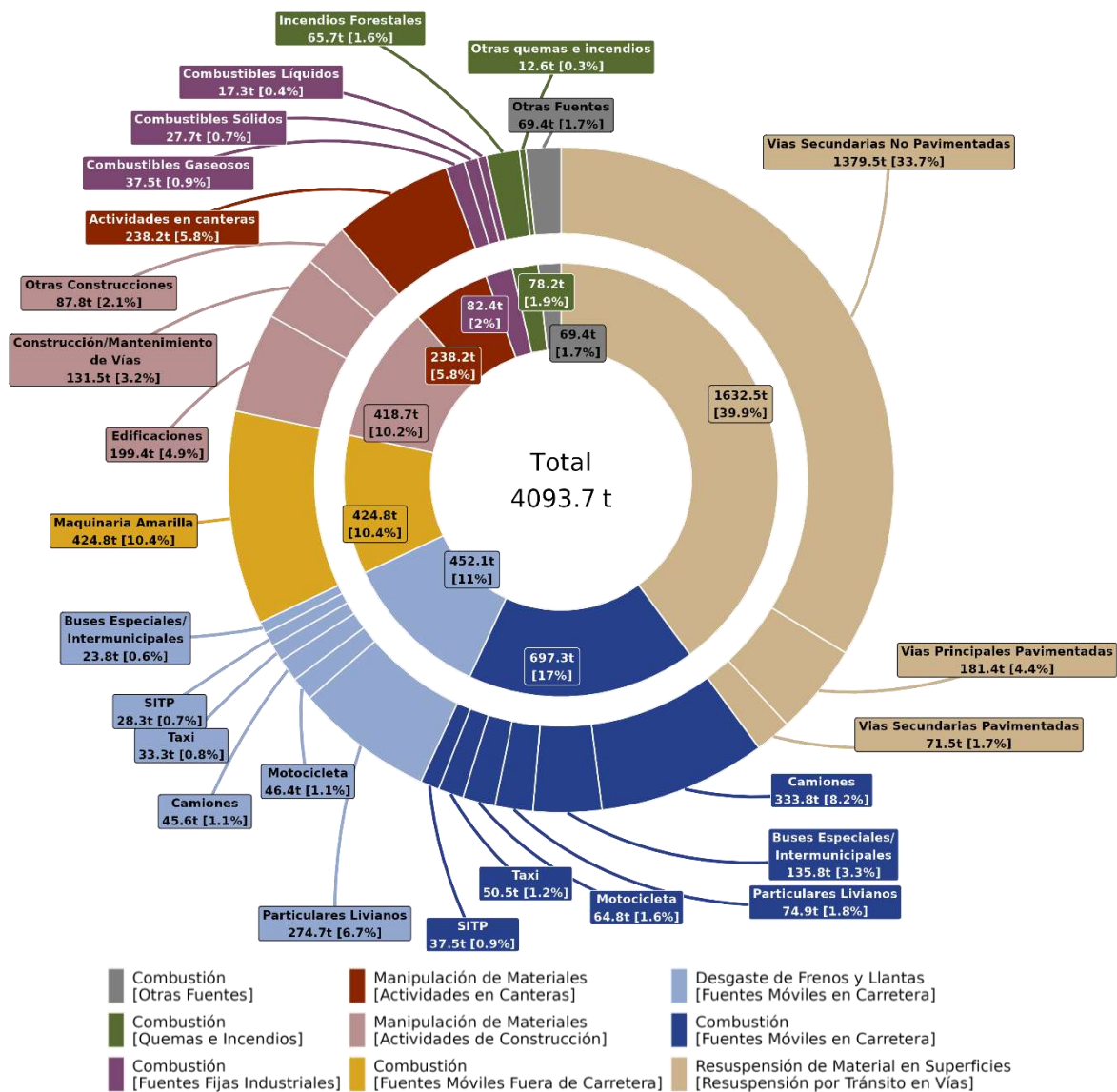
NA: No Aplica, NE: No estimado

a. BC puesto en la tabla como resultado de la estimación Bottom-Up

Fuente: Elaboración propia

En el anillo interior de la Figura 100 se presenta la participación en la generación de emisiones de PM_{2.5} de todos los grupos de fuentes analizados en la ciudad, con un total de 4093.7 t, las cuales tiene la siguiente participación porcentual: La fuente con mayor aporte corresponde aquellas emisiones generadas por la resuspensión de material particulado con un 39.9%, seguido de la combustión en fuentes móviles en carretera (17.0%) y el desgaste de frenos y llantas en las fuentes móviles en carretera (11.0%). Un análisis detallado de las emisiones de PM_{2.5} se presenta a continuación.

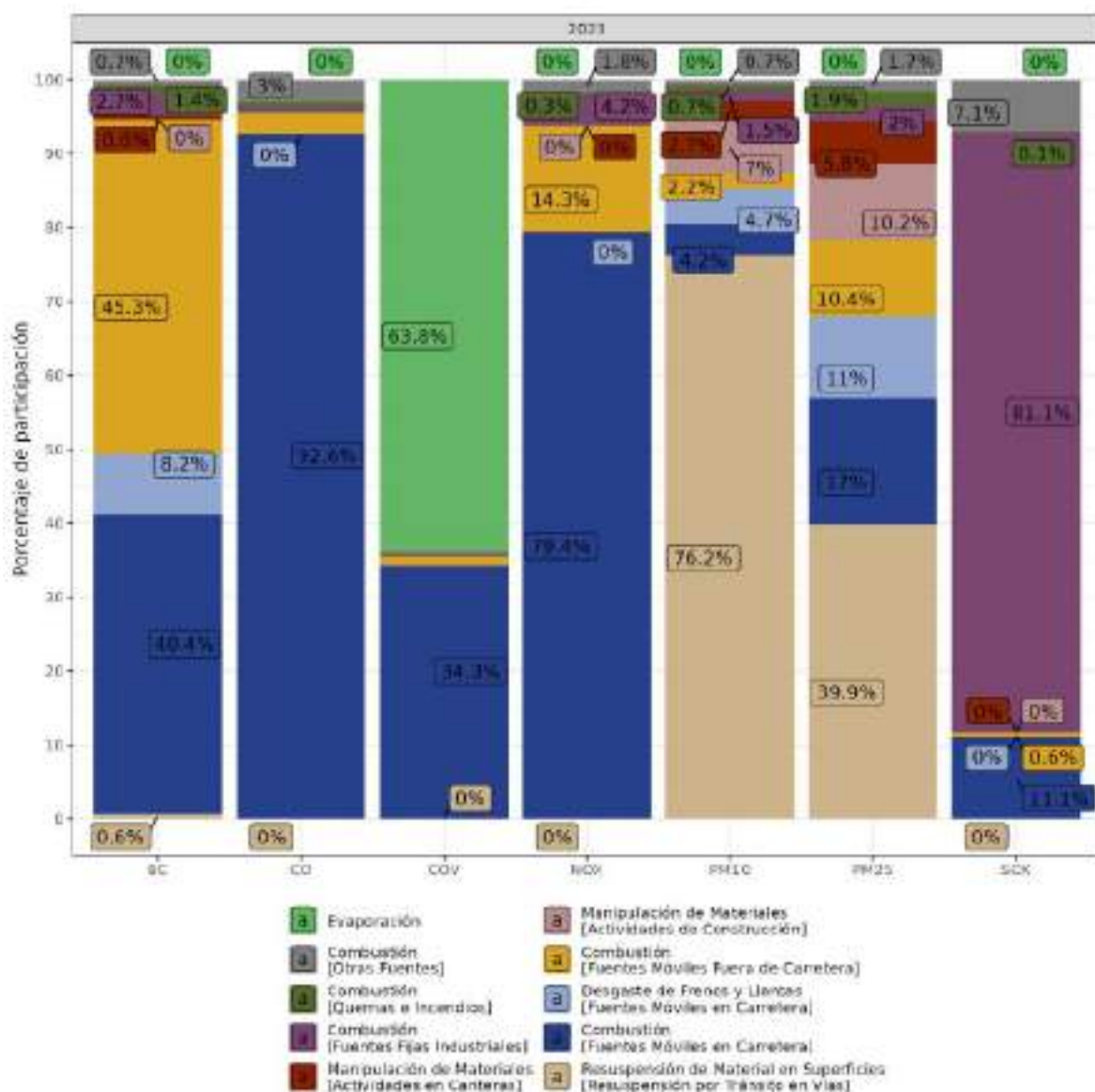
- Combustión de Otras Fuentes Fijas, su participación es del 1.7 % (69.4 t), emisiones provenientes del sector comercial y residencial.
- Combustión en Incendios y quemas a cielo abierto, su participación es del 1.9% (78.2 t), las cuales Incluye quemas de biomasa, incendios forestales y fuegos no controlados, su impacto es bajo, pero con efectos localizados importantes a una escala mensual y diaria.
- Combustión en Fuentes Fijas Industriales, su participación es de 2.0% (82.4 t), pertenecen principalmente a emisiones por uso de combustibles gaseosos y sólidos.
- Manipulación de Materiales en Canteras, su participación es de 5.8% (238.2 t).
- Manipulación de Materiales en Construcciones, su participación es de 10.2% (418.7 t), en las cuales la construcción de edificaciones y construcción y mantenimiento de vías en su conjunto aportan cerca del 8% de las emisiones de la ciudad.
- Combustión en Fuentes Móviles Fuera de Carretera, su participación es de 10.4% (424.8 t), son emisiones de maquinaria amarilla utilizada en construcción y minería.
- En cuanto al desgaste de frenos y llantas, su aporte es de 11% al total ciudad (452.1 t), en el cual los vehículos particulares livianos aportan 6.7% a las emisiones totales de la ciudad.
- Combustión en Fuentes Móviles en Carretera, su participación es 17.0% (697.3 t), es la segunda con mayor contribución y hace referencia a todas las fuentes móviles en carretera, según cada una de sus subcategorías como se expresa en el anillo exterior de la Figura 100.
 - ♦ Combustión en Vehículos particulares livianos: 1.8% del total ciudad (74.9 t)
 - ♦ Combustión en Camiones: 8.2% del total ciudad (333.8 t)
 - ♦ Combustión en Motocicletas: 1.6% del total ciudad (64.8 t)
 - ♦ Combustión en SITP: 0.9% del total ciudad (37.5 t)
 - ♦ Combustión en taxis: 1.2% del total ciudad (1.2 t)
 - ♦ Combustión en Transporte especial e intermunicipales: 3.3% (135.8 t)
- Resuspensión de Material por Tránsito Vehicular, su participación es de 39.9% (1632.5 t), a consecuencia del polvo levantado por el tránsito de vehículos en carreteras principales y secundarias.
 - ♦ Tránsito en vías no pavimentadas secundarias: 33.7% del total ciudad (1379.5 t)
 - ♦ Tránsito en vías pavimentadas principales: 4.4% del total ciudad (181.4 t)
 - ♦ Tránsito en vías pavimentadas secundarias: 1.7% del total ciudad (71.5 t)



Fuente: Elaboración propia

Figura 100. Participación porcentual en emisiones de PM_{2.5} por tipo de fuente en el 2023

En relación con los demás contaminantes criterio (ver Figura 101), se observa que las emisiones provenientes de la combustión en fuentes móviles en carretera constituyen la mayor parte de las emisiones de contaminantes NO_x y CO. En lo que respecta al SO_x, precursor de material particulado secundario en la atmósfera, las fuentes fijas industriales contribuyen aproximadamente con el 81% de las emisiones de este contaminante, principalmente debido al uso de carbón y diésel en la industria. En el caso de PM₁₀, el 76% de las emisiones están asociadas a la resuspensión de material en el tránsito en vías, mientras que BC es aportado mayoritariamente por la combustión en la maquinaria amarilla, con un 45% de participación; COV está dominado principalmente por la evaporación de hidrocarburos en fuentes fijas comerciales (estaciones de servicio y centros de almacenamiento de combustible), con un porcentaje de participación de 64%.



Fuente: Elaboración propia

Figura 101. Participación porcentual del total de emisiones de contaminantes criterio y BC por tipo de fuente para el año 2023

9.1. Desagregación espacial de las emisiones totales

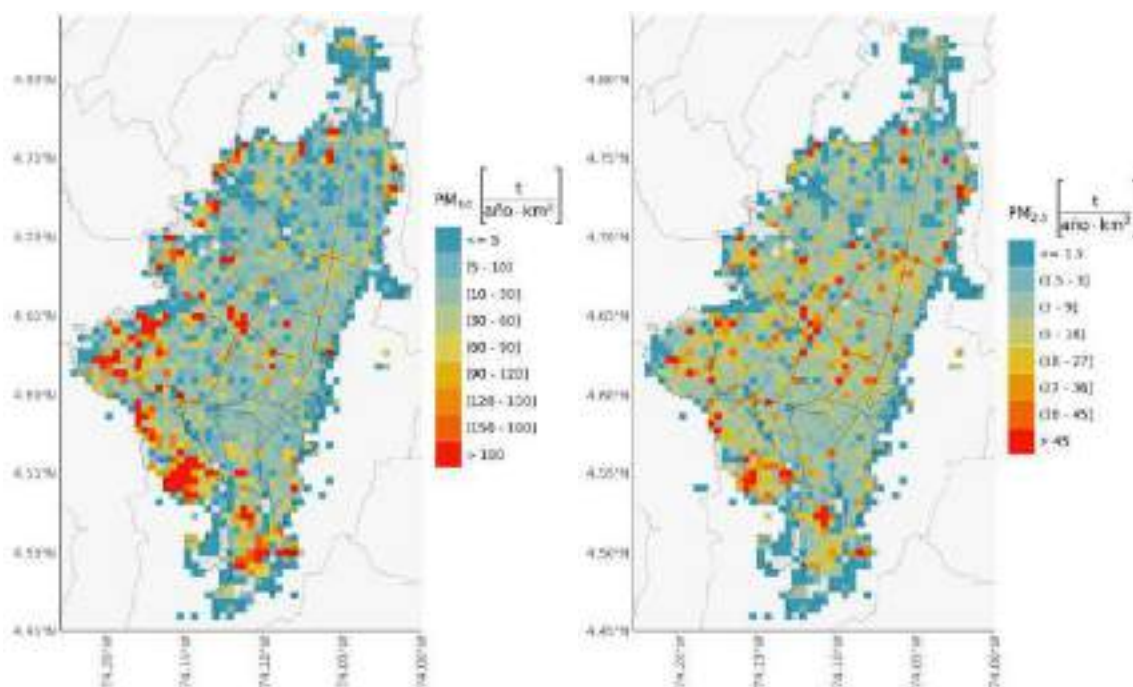
En cuanto a la desagregación espacial de emisiones para los contaminantes PM₁₀ y PM_{2.5} (Figura 102), la distribución se encuentra condicionada a lo observado en material particulado resuspendido de vías, el cual es el principal aportante de estos contaminantes en las emisiones por localidad (Figura 106 y Figura 107) en donde las localidades que cuentan con mayor participación son Kennedy, Fontibón, Suba y Ciudad Bolívar.

Por su parte, las emisiones de los contaminantes BC, NO_x y CO, se encuentran principalmente generados en cada localidad por los procesos de combustión de las fuentes móviles en carretera,

lo cual lleva a las localidades de Kennedy, Fontibón y Suba son las tres principales localidades como se observa en las Figura 108, Figura 109 y Figura 112. Es así como a distribución espacial de los contaminantes en la Figura 103 a la Figura 105, tienen una distribución en donde se observan ramificaciones correspondientes a las vías principales de la ciudad como se analizó en la sección 4.3.

En cuanto a los demás contaminantes como SO_x , se observa cómo la localidad de Kennedy y Puente Aranda son las localidades que generan las mayores emisiones de estos contaminantes (Figura 104), asociadas principalmente a alto uso de diésel en esta zona y a los centros de distribución y almacenamiento de combustible en Puente Aranda.

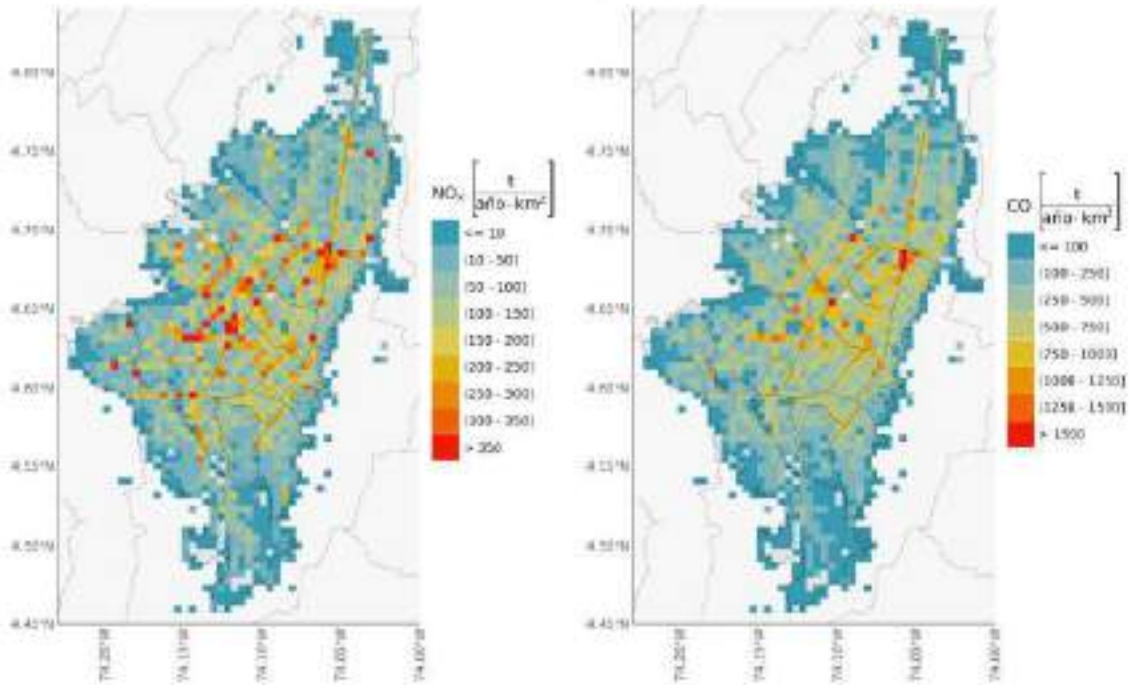
Analizando el flujo de masa de cada localidad¹⁰ (ver Figura 106 a Figura 112), Bosa y Ciudad Bolívar tienen los mayores valores para PM_{10} , con valores superiores a las 70 t/año- km^2 , mientras que en $PM_{2.5}$, las localidades de Ciudad Bolívar, Puente Aranda, Barrios Unidos y Fontibón tienen valores por encima de 12 t/año- km^2 . En cuanto a los demás contaminantes, Barrios Unidos tiene el mayor flujo de masa de NO_x , BC y CO (165 t/año- km^2 , 3.6 t/año- km^2 y 660 t/año- km^2 respectivamente), la localidad de Santa Fe tiene el mayor flujo de masa de SO_x (53 t/año- km^2) y Puente Aranda el mayor flujo de masa de COV (1100 t/año- km^2).



Fuente: Elaboración propia

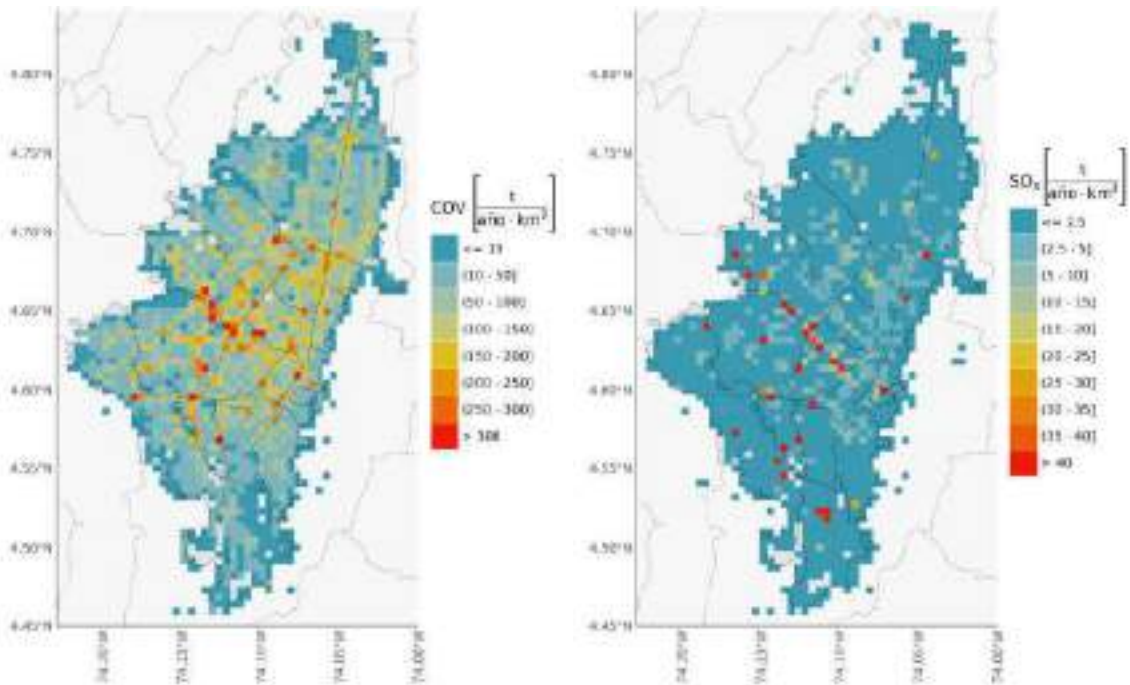
Figura 102. Distribución espacial de las emisiones totales PM_{10} (izquierda) y $PM_{2.5}$ (derecha) generadas en el año 2023

¹⁰ Flujo de masa es entendido como emisión sobre unidad de área en t/año- km^2



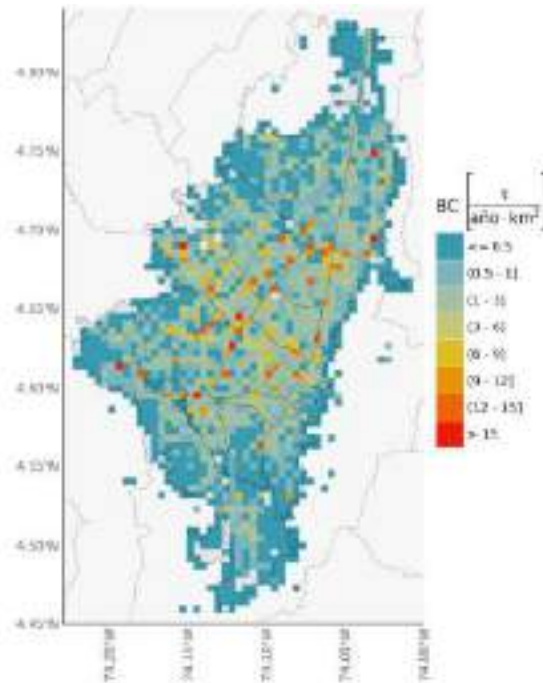
Fuente: Elaboración propia

Figura 103. Distribución espacial de las emisiones NO_x (izquierda) y CO (derecha) generadas en el año 2023



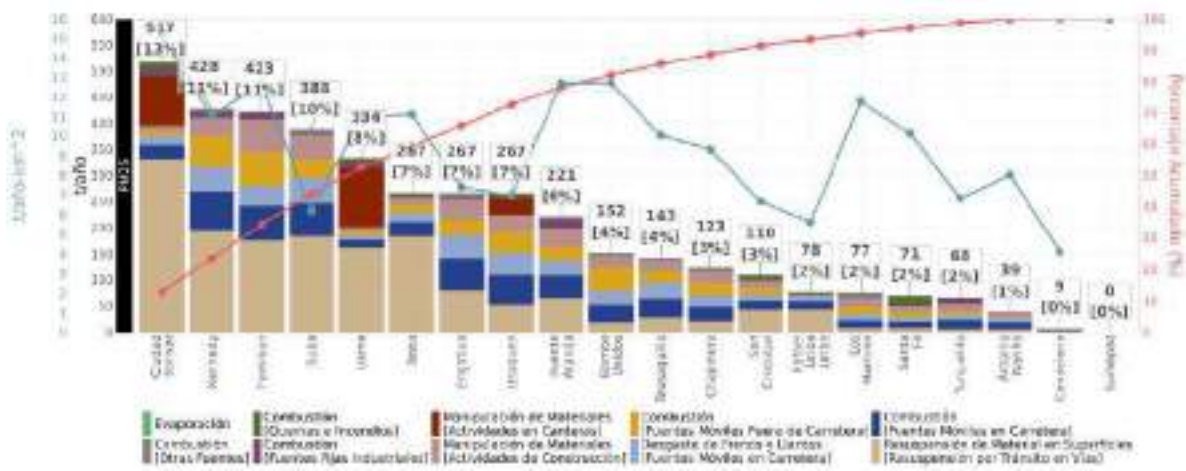
Fuente: Elaboración propia

Figura 104. Distribución espacial de las emisiones COV (izquierda) y SO_x (derecha) generadas en el año 2023



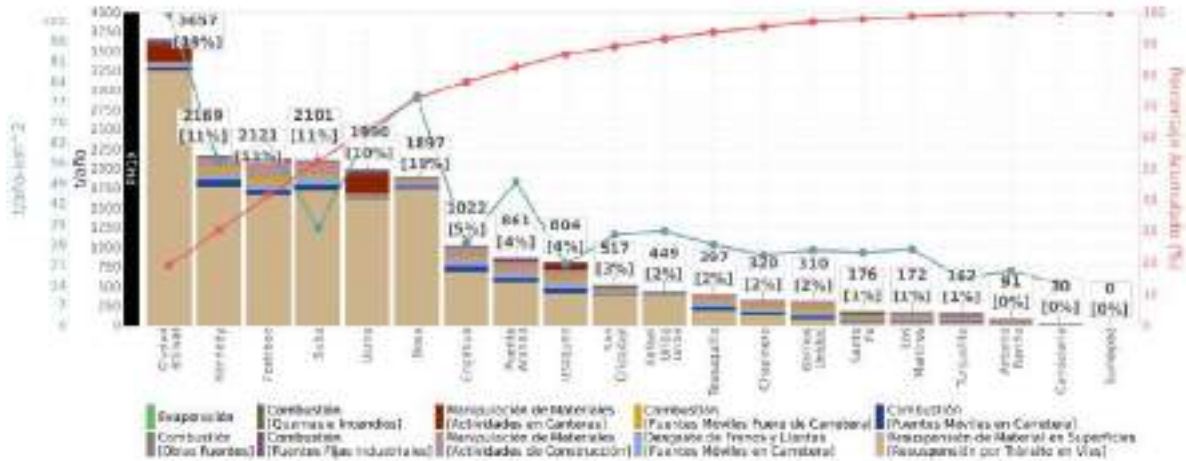
Fuente: Elaboración propia

Figura 105. Distribución espacial de las emisiones de BC generadas en el año 2023



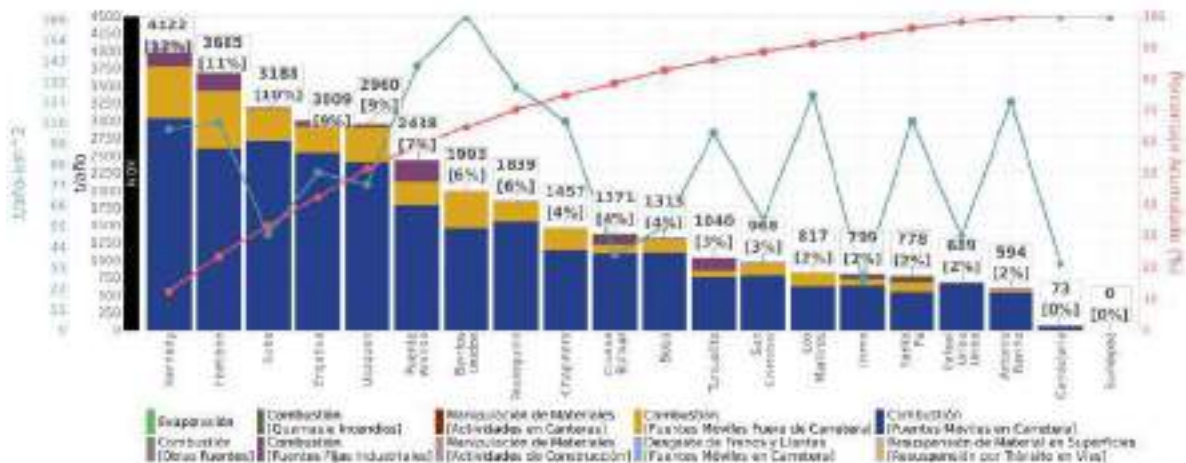
Fuente: Elaboración propia

Figura 106. Participación localidad en la emisión de PM_{2.5}



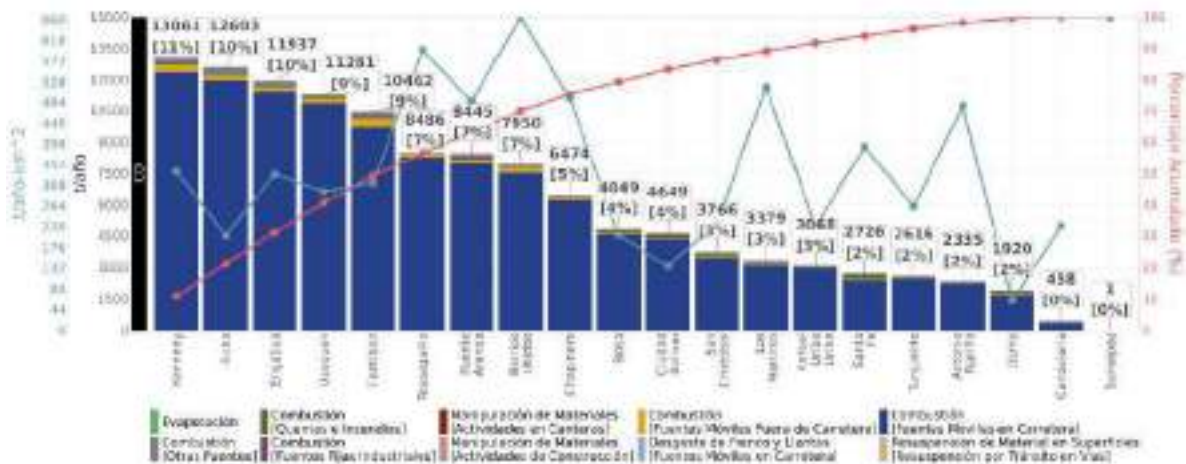
Fuente: Elaboración propia

Figura 107. Participación localidad en la emisión de PM₁₀



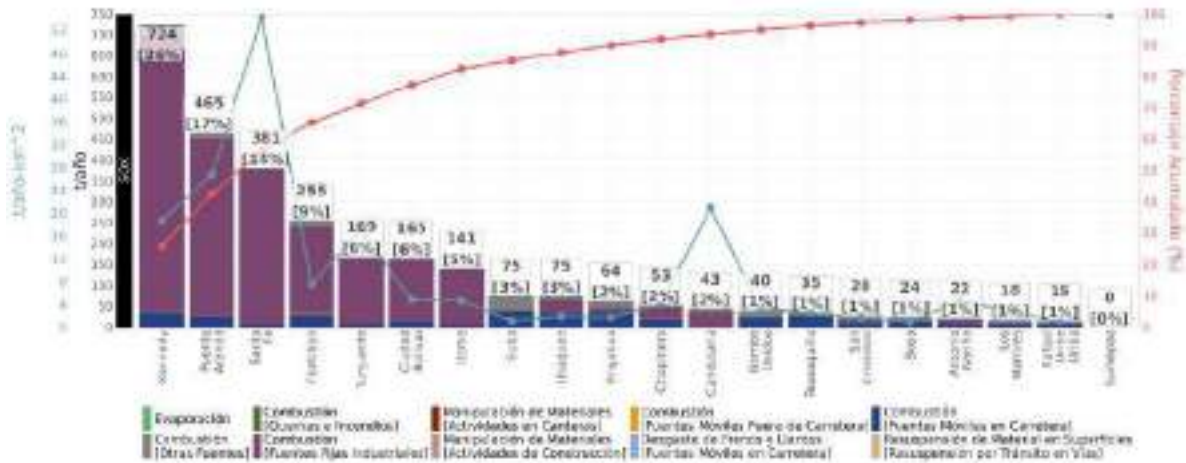
Fuente: Elaboración propia

Figura 108. Participación localidad en la emisión de NO_x



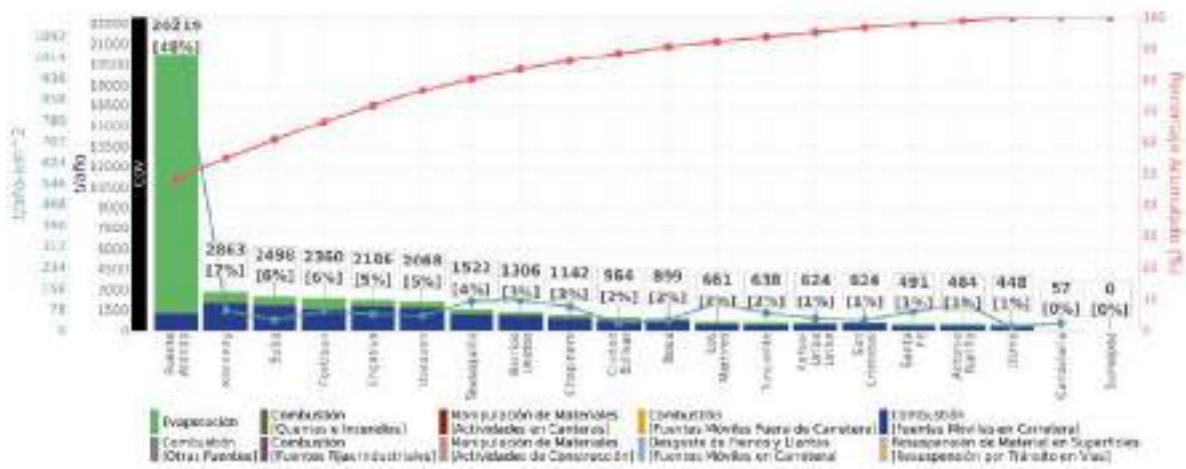
Fuente: Elaboración propia

Figura 109. Participación localidad en la emisión de CO



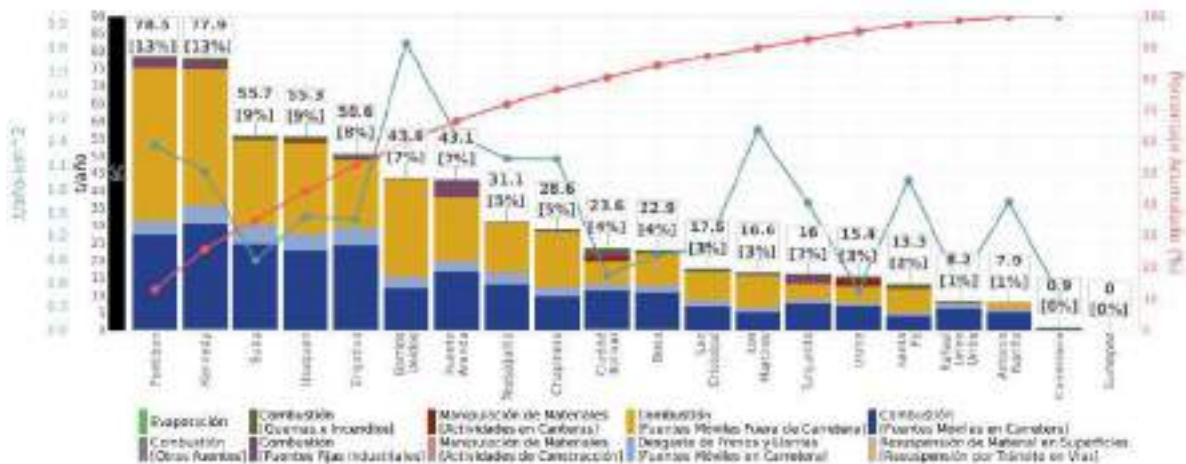
Fuente: Elaboración propia

Figura 110. Participación localidad en la emisión de SO_x



Fuente: Elaboración propia

Figura 111. Participación localidad en la emisión de COV



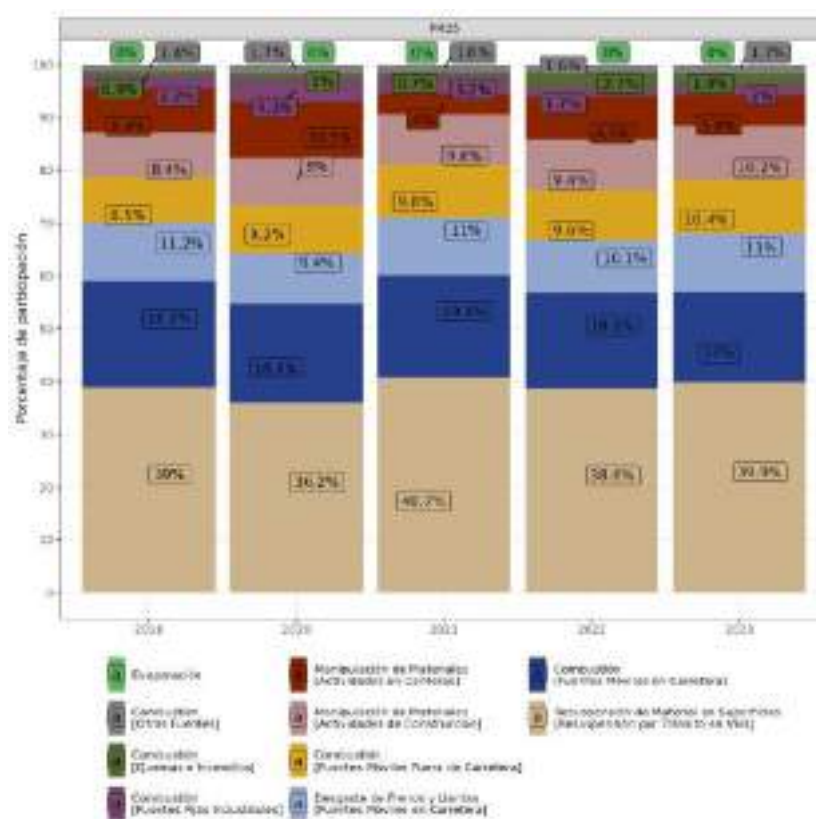
Fuente: Elaboración propia

Figura 112. Participación localidad en la emisión de BC

9.2. Resultados históricos de los inventarios de emisiones totales para PM_{2.5}

Los siguientes resultados corresponden a las emisiones estimadas y actualizadas de los años 2018, 2020, 2021, 2022 y la actualización de este inventario 2023. Las emisiones de los años 2018, 2020, 2021 y 2023, son emisiones recalculadas con ajustes metodológicos¹¹ con el fin de que sea comparable un año entre otro, por lo que estos valores pueden diferir aquellos realizados en anteriores publicaciones.

Al comparar la participación porcentual de las emisiones de PM_{2.5} presentados en la Figura 113 se observa una reducción en la participación de las fuentes móviles en carretera en el año 2020 debido principalmente a la reducción del flujo vehicular en los años de pandemia. Por otro lado, se evidencia una disminución en el año 2023 en estas fuentes, debido a la reducción de los kilómetros recorridos por vehículo para camiones y vehículos particulares livianos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 113. Comparación de la participación porcentual de las emisiones de PM_{2.5} por tipo de fuente para los años 2018 a 2023

¹¹ Entre los ajustes se encuentra: - El uso de los factores de expansión aplicados a la cantidad de vehículos para las categorías de motocicletas y transporte de carga, para considerar vehículos que transitan en Bogotá pero que su placa se encuentra registrada en municipios aledaños. - Uso de las mismas fuentes de información de factores de emisión. - Igual procesamiento de bases de datos. - Uso de la misma metodología de extrapolación de conteos vehiculares en la malla vial. - Armonización de la información de la malla vial de la ciudad- Uso de sistemas de control de emisiones en fuentes fijas industriales. - Inclusión de las emisiones de fuentes residenciales. - Corrección de actividades vehiculares en el inventario Top-Down de fuentes móviles en carretera por efecto COVID-19, ajuste de factores de emisión de fuentes móviles en carretera de IVE a COPERT y ajuste de flujos vehiculares empleando los modelos de calidad de aire de la SDA.

Adicionalmente, en la figura anterior se muestra un leve aumento en participación y en emisiones en las fuentes fijas industriales, asociado principalmente a las verificaciones de la base de datos y el aumento de cantidades de fuentes en operación en el año analizado. Para el año 2023, con la reactivación económica, el material particulado resuspendido y la combustión en fuentes móviles continúan teniendo un aporte mayoritario, principalmente por el incremento de las emisiones en las canteras, en el tránsito en vías pavimentadas y por la dinámica de las emisiones del transporte de carga.

En cuanto a las emisiones totales de $PM_{2.5}$ presentadas en la Tabla 39 y como grafica por participación de las subcategorías de fuentes de la Figura 114, entre los años 2022 y 2023 la ciudad de Bogotá registró una reducción del 7% en las emisiones de $PM_{2.5}$ pasando de 4414.9 toneladas a 4093.7 toneladas, teniendo una reducción de aproximadamente 320 t entre el 2022 y el 2023.

Las principales categorías que contribuyeron a esta reducción fueron la resuspensión de partículas por tránsito vehicular, la manipulación de materiales en actividades de cantera y la combustión asociada al transporte de carga. En particular, la disminución en los kilómetros recorridos por vehículos, tanto livianos como de carga, fue un factor determinante en la reducción de emisiones por resuspensión, desgaste de frenos y llantas, y combustión móvil.

En cuanto a las fuentes móviles en carretera, las emisiones de $PM_{2.5}$ pasaron de 768 toneladas en 2022 a 697 toneladas en 2023, lo que representa una reducción de 71 toneladas. Este cambio se explica principalmente por la disminución en la circulación de vehículos de carga. De manera complementaria, el Sistema Integrado de Transporte Público (SITP) también mostró una mejora, con una reducción de 2 toneladas de $PM_{2.5}$, al pasar de 39 toneladas en 2022 a 37 toneladas en 2023.

Por su parte, las emisiones de $PM_{2.5}$ asociadas al desgaste de frenos y llantas se incrementaron de 446 toneladas a 452 toneladas, es decir, un aumento de 6 toneladas atribuido a aportes por el cambio de kilómetros recorridos por vehículos livianos particulares, taxis y buses especiales e intermunicipales. En contraste, las emisiones asociadas a la resuspensión de material de las superficies de las vías por el tránsito en las vías se redujeron de 1706 toneladas a 1632 toneladas entre el 2022 y el 2023, dinamizado por la disminución del uso de los vehículos particulares en las vías secundarias¹².

Las emisiones de $PM_{2.5}$ generadas por incendios y quemas a cielo abierto disminuyeron de 117 toneladas en 2022 a 78 toneladas en 2023, lo que equivale a una reducción de 39 toneladas, asociada directamente a una menor ocurrencia de incendios forestales durante ese periodo.

No obstante, se identificó un incremento en las emisiones de $PM_{2.5}$ provenientes de fuentes fijas industriales. Las emisiones por combustión en este sector pasaron de 74 toneladas en 2022 a 82 toneladas en 2023, lo que representa un aumento de 8 toneladas. Este crecimiento se

¹² Se debe denotar que hasta la fecha esta dinámica no incluye el cambio del estado de la malla vial debido a la disponibilidad de información

relaciona principalmente con un mayor consumo de combustible y un incremento en el número de calderas a gas natural en operación.

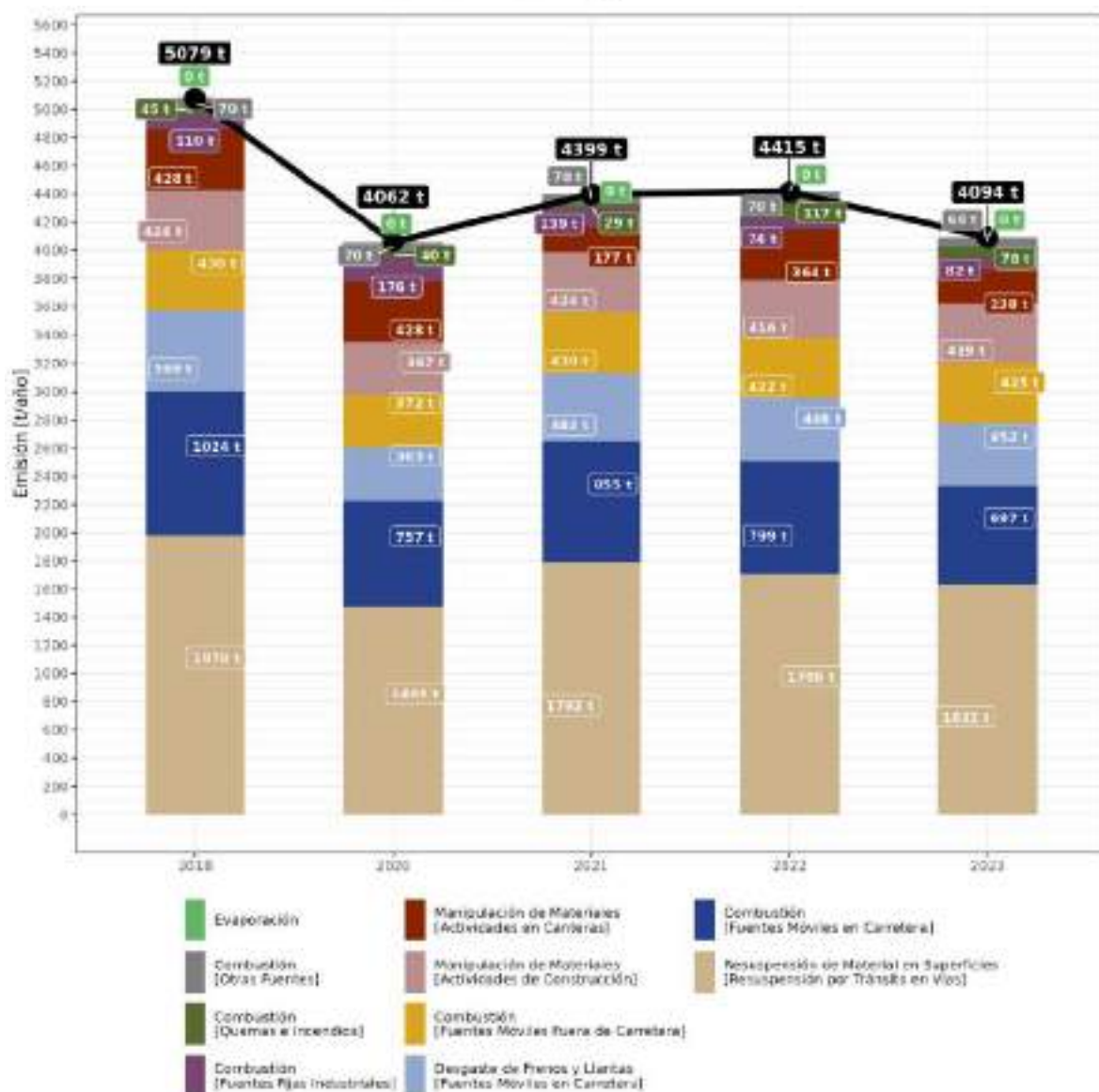
Las emisiones de PM_{2.5} asociadas a la manipulación de materiales por actividades en las canteras tuvieron un descenso de 364 toneladas a 238 toneladas entre el 2022 y el 2023, principalmente por la reducción de títulos mineros. Por otro lado, en cuanto a la manipulación de materiales en las construcciones, se estimó un incremento de 3 toneladas entre el año 2022 a 2023, pasando de 416 a 419 toneladas, principalmente por el incremento en las emisiones asociadas a la construcción y mantenimiento de vías.

Tabla 39. Consolidado de emisiones de PM_{2.5} en toneladas, por tipo de fuente para los años 2018 a 2023

Mecanismo de Emisión	Fuente de Emisión	Fuente Específica	2018	2020	2021	2022	2023
Combustión	Fuentes fijas comerciales	Otras Fuentes	66.6	66.6	66.6	66.6	66.6
	Fuentes fijas industriales	Fuentes a combustibles gaseosos	59.6	115.7	109.5	33.2	37.5
		Fuentes a combustibles líquidos	0.6	0.5	0.4	15.2	17.3
		Fuentes a combustibles sólidos	49.4	59.8	29.4	26.0	27.7
	Fuentes fijas residenciales	Otras Fuentes	3.3	2.9	3.1	2.9	2.8
	Fuentes móviles fuera de carretera	Maquinaria amarilla	430.4	372.5	430.4	422.1	424.8
	Fuentes móviles en carretera	Buses Especiales/ Intermunicipales	150.0	122.7	116.7	135.4	135.8
		Camiones	495.4	391.3	506.5	435.6	333.8
		Motocicleta	41.7	31.6	59.5	63.6	64.8
		Particulares Livianos	83.0	58.7	82.9	75.5	74.9
		SITP	207.2	110.5	43.4	39.2	37.5
		Taxi	46.5	42.0	45.7	49.8	50.5
	Quemas e incendios	Incendios Forestales	32.5	31.1	5.8	105.4	65.7
		Otras quemas e incendios	13.0	8.9	23.5	11.8	12.6
Desgaste de frenos y llantas	Fuentes móviles en carretera	Buses Especiales Intermunicipales	53.9	28.7	22.0	21.9	23.8
		Camiones	56.4	46.5	59.3	51.5	45.6
		Motocicleta	36.2	30.6	42.6	45.3	46.4
		Particulares Livianos	349.7	222.8	300.7	272.5	274.7
		SITP	40.4	25.1	26.9	24.5	28.3
		Taxi	32.1	29.0	31.4	30.0	33.3
Evaporación	Fuentes biogénicas		NA	NA	NA	NA	NA
	Fuentes fijas comerciales	Estaciones de servicio y centros de almacenamiento de combustible	NA	NA	NA	NA	NA
Manipulación de materiales y procesos	Actividades de construcción	Edificaciones	217.4	198.3	217.4	203.5	199.4
		Otras Construcciones	89.2	100.7	89.2	89.7	87.8
		Vías	117.6	68.3	117.6	122.9	131.5
	Actividades en agricultura	Otras Fuentes	NE	NE	NE	NE	NE
	Actividades en canteras		428.2	428.2	176.7	364.5	238.2
Resuspensión de material en superficies	Tránsito en vías	Vías Secundarias No Pavimentadas	1659.3	1250.8	1520.6	1454.2	1379.5
		Vías Principales Pavimentadas	233.2	156.9	191.4	180.7	181.4
		Vías Secundarias Pavimentadas	86.0	61.2	79.8	71.1	71.5
Total			5078.8	4061.8	4399.1	4414.9	4093.7

NA: No aplica, NE: No Estimado

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 114. Comparación de participación porcentual y total de emisiones de PM_{2.5} entre 2018 a 2023, por subcategorías de fuentes de emisión

9.3. Inventario de Emisiones en categorías IPCC

Como parte de la integración del inventario de contaminantes criterio y Carbono Negro con los inventarios de gases de efecto invernadero de la ciudad, se presenta en la Tabla 41 y la Tabla 42 la desagregación del inventario 2023 en las categorías de emisiones establecidas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC en sus siglas en inglés) y por el protocolo global para Inventarios de Emisión de Gases de Efecto Invernadero a escala comunitaria (GPC). Esta clasificación permite, entre otros, estandarizar los reportes de cambio climático a nivel internacional y divide las emisiones en cinco grandes categorías: (1) Energía, (2) Procesos Industriales y uso de productos, (3) Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra (4) Desechos

y (5) Otros. La homologación de las emisiones presentadas en este informe con las emisiones de las categorías IPCC se presentan a continuación:

Tabla 40. Homologación de emisiones de contaminantes criterio y *carbón negro* a las categorías IPCC

<i>Tipo de Emisión</i>	<i>Tipo de Fuente</i>	<i>Categoría IPCC asociada</i>	<i>Categoría GPC</i>	<i>Observaciones</i>
Combustión	Fuentes Fijas Industriales	1A1, 1A2, 1A3, 1A4, 1A5, 4C1	Energía Estacionaria – Construcción e Industrias Manufactureras Residuos - Incineración y quema a cielo abierto de residuos generados en la ciudad	La asignación detallada obedece a la clasificación CIU de las fuentes fijas industriales. Los incineradores son los únicos de esta categoría que entran a la sección de Residuos o 4C1
	Fuentes fijas comerciales	1A4a	Energía Estacionaria – Edificios e instalaciones comerciales e institucionales	
	Fuentes Fijas Residenciales	1A4b	Energía Estacionaria – Edificios Residenciales	
	Fuentes móviles en Carretera	1A3	Transporte – Por Carretera	1A3bi: Categorías L, ESL y TX 1A3bii: Categorías CC 1A3biii: Categorías AL, AT, BA, BS, C2, C3, C4+, ESB, INT 1A3biv: Categorías M
	Fuentes móviles fuera de carretera	1A3eii	Energía Estacionaria – Construcción e Industrias Manufactureras	Se asocia a esta categoría GCP según recomendaciones de la misma guía
	Incendios	3C1, 4C2, 4E1, 4E2	AFOLU – Emisiones distintas a CO2 Residuos - Incineración y quema a cielo abierto de residuos generados en la ciudad	3C1: Incendios Forestales y quema de biomasa 4C2: Quema de residuos, quema de llantas 4E1: Incendios en Infraestructura 4E2: Incendios en vehículos 4E1 y 4E2 se asumen que entran en Residuos dentro de GPC
Desgaste de frenos y llantas	Desgaste de frenos y llantas	1A3bvi	Transporte – Por Carretera	Clasificado según EMEP/EEA
Procesos y manipulación de materiales	Manipulación de materiales en construcción	2A5b	Procesos Industriales y Uso de Productos	Clasificado según EMEP/EEA
	Manipulación de materiales en canteras	2A5a	Procesos Industriales y Uso de Productos	Clasificado según EMEP/EEA
	Manipulación de materiales en agricultura y silvicultura	3D1	AFOLU – Emisiones distintas a CO2	Emisiones indirectas de suelos agrícolas
Resuspensión de materiales en superficies	Resuspensión por tránsito en vías	5A1	Otras Fuentes	Aunque no es una categoría específica del IPCC ni del GPC, se añade esta fuente como clasificación adicional
Evaporativas	Fuentes biogénicas	3B5a	AFOLU – Emisiones distintas a CO2	Aunque las emisiones biogénicas son asociadas a bosques forestales y pastizales, se asocia a la categoría de asentamientos por el uso de suelo principal que tiene la ciudad.
	Evaporación en estaciones de servicio y centros de almacenamiento de combustible	1B2aiii5	Energía Estacionaria - Emisiones fugitivas provenientes de los sistemas de petróleo y gas natural	

En las emisiones por categorías IPCC (ver Tabla 41) se hace la anotación que las emisiones asociadas a ganadería (3A) no se dan en el perímetro urbano de la ciudad, así como las emisiones asociadas al tratamiento de residuos sólidos (4A), y que aún no se cuenta con información para estimar emisiones de contaminantes criterio asociados al tratamiento de aguas residuales (4D). Otras fuentes relacionadas en la tabla no se encuentran disponibles según lo documentado en la Figura 115.

En cuanto a la participación porcentual de emisiones por categorías IPCC (ver Figura 115) se destaca la participación mayoritaria de las fuentes de las categorías 5A para PM₁₀ (~76%), una combinación de participación de las fuentes por combustión de transporte (1A3), Actividades de construcción (2A5) y Tránsito en Vías (5A1) en PM_{2.5} y una participación mayoritaria de las emisiones de transporte (1A3) en BC y demás gases de combustión, excepto para los SO_x, donde la participación es mayoritaria por la categoría de las Industrias manufactureras y de la construcción (1A2), finalmente se destaca la participación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles de la categoría de emisiones fugitivas asociadas a la cadena productiva del petróleo y gas natural (1B2), así como de las fuentes biogénicas en las tierras de asentamientos (3B5) y al sector transporte (1A3).

Tabla 41. Inventario de emisiones por categorías IPCC para el año 2023

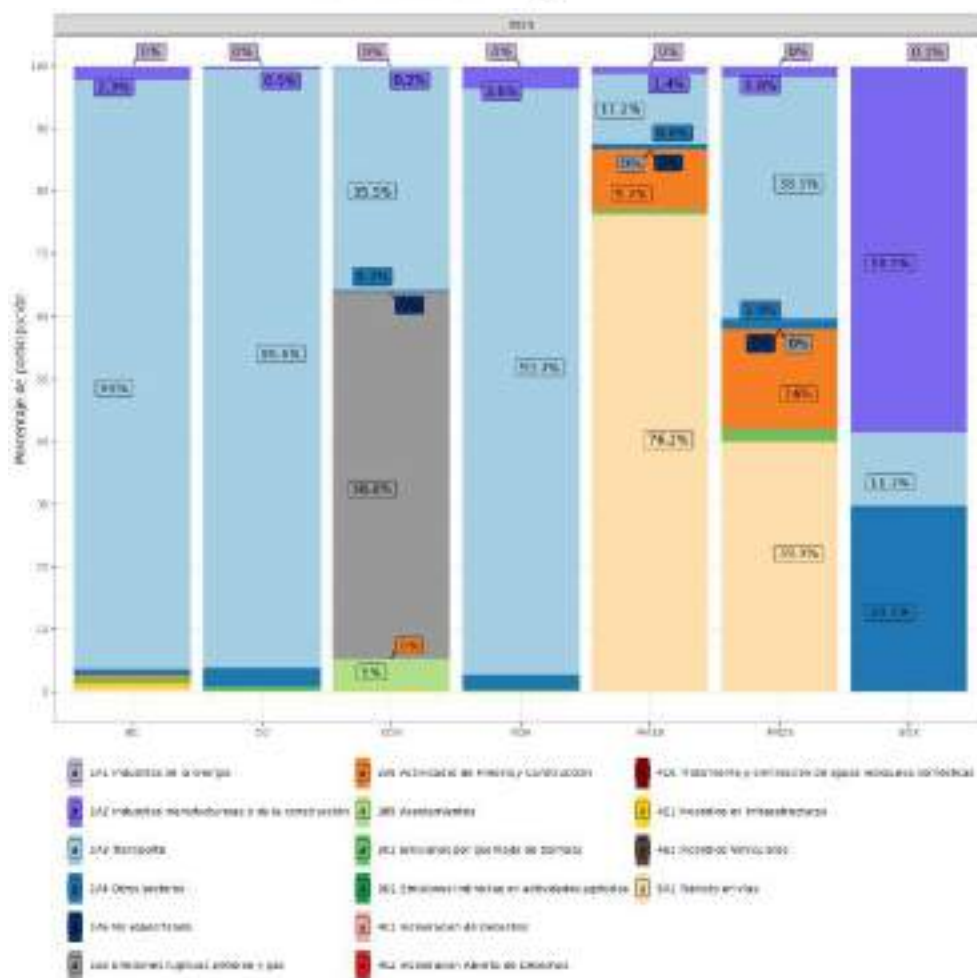
Categoría IPCC		PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	CO	NO _x	SO _x	COV
TOTAL		19466.86	4093.69	617.46	93506.40	37227.21	2741.04	40639.24
1	Energía	2602.50	1725.98	601.32	92773.15	37104.31	2737.50	38531.76
1A	Actividades de Quema de Combustibles	2602.50	1725.98	601.32	92773.15	37104.31	2737.50	14643.29
1A1	Industrias de la Energía	1.11	0.17	0.02	0.81	3.20	2.38	0.07
1A1a	Actividad principal producción de electricidad y calor	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
1A1b	Refinación de Petróleo	1.11	0.17	0.02	0.81	3.20	2.38	0.07
1A1c	Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
1A1ci	Manufactura de combustibles sólidos	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
1A2	Industrias manufactureras y de la construcción	272.65	75.21	14.44	444.01	1345.39	1602.69	61.08
1A2a	Hierro y Acero	2.8	1.0	0.2	4.3	12.7	3.0	0.6
1A2b	Metales no ferrosos	13.4	2.1	0.0	3.7	7.7	11.4	0.9
1A2c	Sustancias químicas	57.7	12.7	2.7	72.3	249.9	193.6	7.3
1A2d	Pulpa, papel e imprenta	2.9	2.1	0.7	17.8	37.2	0.2	2.4
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	48.3	20.6	5.9	125.8	570.8	282.2	27.3
1A2f	Minerales no metálicos	93.6	20.2	0.9	124.5	91.0	240.6	9.7
1A2g	Equipo de transporte	1.8	1.3	0.5	5.9	22.4	0.2	1.0
1A2h	Maquinaria	1.8	0.7	0.2	5.8	23.7	2.1	1.5
1A2i	Minería (con excepción de combustibles) y cantería	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1A2j	Madera y productos de la madera	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
1A2k	Construcción	0.0	0.0	0.0	0.4	0.8	0.0	0.1
1A2l	Textiles y Cueros	45.4	13.1	3.0	48.4	187.0	275.4	6.9
1A2m	Industria no específica	4.9	1.3	0.3	35.0	142.1	594.0	3.5
1A3	Transporte	2177.59	1574.15	580.43	89413.02	34884.35	320.52	14446.82
1A3a	Aviación Civil	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
1A3b	Transporte Terrestre	1739.62	1149.40	300.56	86631.03	29572.90	305.02	13919.83

Categoría IPCC		PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	CO	NO _x	SO _x	COV
1A3bi	Automóviles	110.40	67.80	11.73	40869.49	3950.50	135.28	5154.27
1A3bii	Camiones para servicio ligero	63.37	57.60	23.85	11790.28	2072.02	94.72	1800.04
1A3biii	Camiones para servicio pesado y autobuses	552.89	507.10	198.28	12942.56	22337.28	51.52	4027.62
1A3biv	Motocicletas	97.90	64.80	15.80	21028.70	1213.10	23.50	2937.90
1A3bvi	Desgaste de Frenos y llantas	915.05	452.10	50.89	NA	NA	NA	NA
1A3c	Ferrocarriles	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
1A3d	Navegación Marítima y fluvial	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1A3e	Otro Transporte	437.97	424.75	279.88	2782.00	5311.45	15.49	526.99
1A3ei	Transporte por gasoductos	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
1A3eii	Todo Terreno	437.97	424.75	279.88	2782.00	5311.45	15.49	526.99
1A4	Otros Sectores	151.15	76.46	6.43	2915.27	871.10	811.92	135.31
1A4a	Comercial/Institucional	148.28	73.60	6.26	2599.22	267.44	807.61	109.44
1A4b	Residencial	2.80	2.80	0.15	315.50	602.40	4.30	25.80
1A4c	Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorias	0.08	0.06	0.02	0.55	1.26	0.01	0.07
1A5	No especificado	0.00	0.00	0.00	0.05	0.26	0.00	0.01
1A5a	Estacionaria	0.00	0.00	0.00	0.05	0.26	0.00	0.01
1B	Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	0	0	0	0	0	0	23888.47
1B2	Petróleo y Gas Natural	0	0	0	0	0	0	23888.47
1B2a	Petróleo	0	0	0	0	0	0	23888.47
1B2aiii5	Distribución de productos de petróleo	0	0	0	0	0	0	23888.47
1B2b	Gas Natural	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2	Procesos Industriales y Uso de Productos	1883.68	656.91	3.50	0.00	0.00	0.00	0.00
2A	Industria de los minerales	1883.68	656.91	3.50	0	0	0	0
2A1	Producción de cemento	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2A2	Producción de cal	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2A3	Producción de vidrio	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2A4	Otros usos de carbonatos en los procesos	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2A5	Otros Proceso	1883.68	656.91	3.50	0	0	0	0
2A5a	Minería (con excepción de combustibles) y cantería	522.97	238.23	3.50	0	0	0	0
2A5b	Construcción y demolición	1360.71	418.68	0	0	0	0	0
2A5bi	Casas individuales	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2A5bii	Apartamentos	647.91	199.36	0	NA	NA	NA	NA
2A5biii	Construcciones no residenciales	285.48	87.84	0	NA	NA	NA	NA
2A5biv	Construcción de vías	427.32	131.48	0	NA	NA	NA	NA
2B	Industria Química	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2C	Industria de los metales	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2D	Uso de productos no energéticos de combustibles y de solvente	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2E	Industria electrónica	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2F	Uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2G	Manufactura y utilización de otros productos	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
2H	Otros	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
3	Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra	127.36	65.81	3.97	648.49	120.21	3.03	2040.11
3A	Ganado	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3B	Tierra	0	0	0	0	0	0	2040
3B1	Tierras Forestales	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3B2	Tierras de Cultivo	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3B3	Pastizales	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3B4	Humedales	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3B5	Asentamientos	0	0	0	0	0	0	2040

Categoría IPCC		PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	CO	NO _x	SO _x	COV
3B5a	Asentamientos que permanecen como tales	0	0	0	0	0	0	2040
3B5b	Tierras convertidas en asentamientos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3B6	Otras Tierras	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3C	Fuentes agregadas y fuentes de emisión no-CO₂ de la tierra	122.36	65.81	3.97	648.49	120.21	3.03	0.11
3C1	Emisiones por quemado de biomasa	122.36	65.81	3.97	648.49	120.21	3.03	0.11
3C1a	Emisiones por quemado de biomasa en Tierras Forestales	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3C1b	Emisiones por quemado de biomasa en Tierras de Cultivo	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3C1c	Emisiones por quemado de biomasa en Pastizales	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3C1d	Emisiones por quemado de biomasa en Otras Tierras	122.36	65.81	3.97	648.49	120.21	3.03	0.11
3D	Otras Fuentes	5	0	0	0	0	0	0
3D1	Suelos Agrícolas	5	0	0	0	0	0	0
4	Desechos	12.52	12.49	4.70	84.76	2.70	0.51	67.37
4A	Eliminación de desechos sólidos	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
4B	Tratamiento biológico de residuos sólidos	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
4C	Incineración e incineración abierta de desechos	0.45	0.42	0.17	4.61	1.24	0.28	0.88
4C1	Incineración de desechos	0.08	0.06	0.02	0.37	0.92	0.01	0.05
4C2	Incineración abierta de desechos	0.37	0.36	0.15	4.24	0.32	0.27	0.83
4D	Tratamiento y eliminación de aguas residuales	0	0	0	0	0	0	0
4D1	Tratamiento y eliminación de aguas residuales domésticas	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4D2	Tratamiento y eliminación de aguas residuales industriales	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
4E	Otras de Residuos	12.08	12.08	4.53	80.15	1.46	0.23	66.49
4E1	Incendios de Infraestructura	11.39	11.39	4.27	79.29	1.44	0.23	66.20
4E2	Incendios de Vehículos	0.69	0.69	0.26	0.86	0.03	0.00	0.29
5	Otros	14840.78	1632.50	3.98	NA	NA	NA	NA
5A	Resuspensión de Material	14840.78	1632.50	3.98	NA	NA	NA	NA
5A1	Tránsito en vías	14840.78	1632.50	3.98	NA	NA	NA	NA
5A1a	Vías Pavimentadas Principales	749.93	181.44	1.89	NA	NA	NA	NA
5A1b	Vías Pavimentadas Secundarias	295.74	71.55	0.74	NA	NA	NA	NA
5A1c	Vías No Pavimentadas Secundarias	13795.11	1379.51	1.35	NA	NA	NA	NA

ND: Información No disponible, NA: No Aplica, NE: No estimado

Elaboración propia



Elaboración propia

Figura 115. Distribución porcentual de las emisiones totales para 2023 por categorías IPCC

Al analizar el reporte de emisiones con las categorías GDC, la dinámica de emisiones atmosféricas está dominada por dos grandes grupos de fuentes: el transporte y las emisiones por resuspensión derivadas del tránsito vehicular. En particular, el sector denominado “Otras Fuentes”, asociado principalmente a resuspensión de material particulado en vías, se configura como la fuente más importante de PM_{10} , con una contribución que supera ampliamente al resto de sectores incluidos en el inventario.

El sector transporte, específicamente el transporte por carretera continúa siendo la fuente predominante de gases producto de combustión, aportando la mayor parte del CO y NO_x . Su contribución al $PM_{2.5}$ y BC es igualmente relevante, en concordancia con el uso extensivo de combustibles fósiles en motores de combustión interna.

Por su parte, el sector de Energía Estacionaria adquiere una presencia significativa en este inventario revisado. Su aporte al material particulado y a los gases de combustión es elevado en subsectores industriales, debido a que allí se contabiliza la combustión de maquinaria amarilla en

la construcción. Adicionalmente, se identifican emisiones relevantes de COV, tanto por procesos de combustión como por emisiones fugitivas asociadas a las estaciones de servicio y los centros de almacenamiento de combustibles.

El sector IPPU (Procesos Industriales y Uso de Productos) mantiene un peso destacado en las emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5} producto de procesos de manipulación de materiales. Respecto al sector Residuos, aunque su masa total emitida es baja en relación con las fuentes móviles e industriales, las emisiones asociadas a quemas a cielo abierto son las más predominantes.

Finalmente, el sector AFOLU muestra una participación menor en términos globales, pero se destaca como una fuente de COV y otros compuestos orgánicos asociados principalmente a fuentes no agregadas de origen biogénico.

Tabla 42. Inventario de emisiones por categorías GPC para el año 2023

	Subsector	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	CO	NO _x	SO _x	COV
COD	TOTAL	19466.9	4093.7	617.5	93506.4	37227.2	2741.0	40639.2
I	Energía Estacionaria	862.9	576.6	300.8	6142.1	7531.4	2432.5	24611.9
I.1	Edificios Residenciales	2.8	2.8	0.2	315.5	602.4	4.3	25.8
I.2	Edificios e Instalaciones comerciales e institucionales	148.3	73.6	6.3	2599.2	267.4	807.6	109.4
I.3	Industrias Manufactureras y de la construcción	711.8	500.2	294.4	3227.4	6661.6	1620.6	588.2
I.5	Agricultura, silvicultura y actividades pesqueras	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
I.8	Emisiones Fugitivas	NA	NA	NA	NA	NA	NA	23888.5
II	Transporte	1739.6	1149.4	300.6	86631.0	29572.9	305.0	13919.8
II.1	Transporte por carretera	1739.6	1149.4	300.6	86631.0	29572.9	305.0	13919.8
II.2	Ferroviario	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
II.4	Aéreo	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
III	Residuos	12.5	12.5	4.7	84.8	2.7	0.5	67.4
III.1	Disposición de residuos sólidos en tierra	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
III.2	Tratamiento biológico	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
III.3	Incineración	0.1	0.1	0.0	0.4	0.9	0.0	0.0
III.4	Quema	12.4	12.4	4.7	84.4	1.8	0.5	67.3
III.5	Aguas residuales domésticas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
III.6	Vertimientos Industriales	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
IV	IPPU	1883.7	656.9	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0
IV.1	Procesos Industriales	1883.7	656.9	3.5	NE	NE	NE	NE
IV.2	Uso de HFC	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
V	AFOLU	127.4	65.8	4.0	648.5	120.2	3.0	2040.1
V.1	Ganadería	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
V.2	Usos de Suelo	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
V.3	Fuentes No Agregadas	127.4	65.8	4.0	648.5	120.2	3.0	2040.1
VI	Otras Fuentes (Resuspensión por Tránsito en vías)	14840.8	1632.5	4.0	NA	NA	NA	NA

ND: Información No disponible, NA: No Aplica, NE: No estimado

Elaboración propia

9.4. Incertidumbre en las estimaciones de las emisiones de PM_{2.5}

Dado que las emisiones presentan un grado inherente de incertidumbre, la mayoría de sus mediciones o estimaciones incluyen un margen asociado. Este se representa mediante bandas de error —simétricas o asimétricas— cuyo ancho depende del intervalo de confianza seleccionado para expresar el nivel de certeza de la estimación. En sentido estricto, dichas bandas reflejan la precisión del valor estimado, más que el error absoluto, ya que en la mayoría de los casos el valor “real” permanece desconocido. Por lo tanto, lo que puede establecerse con mayor solidez es la comparabilidad entre diferentes técnicas o métodos de medición y estimación.

En el Anexo 3 de este documento se describe la metodología empleada y el procedimiento de estimación de la incertidumbre para las emisiones de PM_{2.5} en el año 2023. Los resultados se resumen en la tabla siguiente, considerando que la incertidumbre se clasifica en un rango que va desde Muy Baja (A) hasta Muy Alta (E).

Tabla 43. Incertidumbre de PM_{2.5} para 2023

Mecanismo de Emisión	Fuente de Emisión	Emisión	Incertidumbre			Coef. Ponderación
		PM _{2.5}	Emisión		Categoría	
		(t/año)	(%)	t		
Combustión	Fuentes Móviles en Carretera	697.3	38%	±264	B - Baja	1.70E-01
	Fuentes Móviles Fuera de Carretera	424.8	141%	±599	D - Alta	1.04E-01
	Fuentes Fijas Industriales	82.4	27%	±22	B - Baja	2.01E-02
	Quemas e Incendios	78.2	38%	±30	B - Baja	1.91E-02
	Fuentes Fijas Comerciales	66.6	141%	±94	D - Alta	1.63E-02
	Fuentes Fijas Residenciales	2.8	100%	±4	D - Alta	6.84E-04
Desgaste de Frenos y Llantas	Fuentes Móviles en Carretera	452.1	24%	±109	B - Baja	1.10E-01
Evaporación	Fuentes Biogénicas	NA				
	Fuentes Fijas Comerciales	NA				
Manipulación de Materiales	Actividades de Construcción	418.7	32%	±133	B - Baja	1.02E-01
	Actividades en Canteras	238.2	71%	±168	C - Media	5.82E-02
	Actividades Agrícolas	NE				
	Fuentes Fijas Industriales	NE				
Resuspensión de Material	Tránsito en vías	1632.4	95%	±1555	D - Alta	3.99E-01
Total		4093.7	42%	±1707	C - Media	

Fuente: Elaboración propia

10. BIBLIOGRAFÍA

- EPA. (s.f.). AP 42 13.2.3 Heavy Construction Operations. Obtenido de <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch13/>
- GAW Report. (2016). WMO/GAW Aerosol Measurement Procedures, Guidelines and Recommendations 2. 227.
- Gestor de mercado de gas natural en Colombia. (2023). *Tablero de Indicadores del Mercado del Gas Natural en Colombia*. Obtenido de <https://www.bmcbec.com.co/bi-gas/demanda>
- IDU. (2021). Información georreferencia de la malla vial de la ciudad de Bogotá. Bogotá.
- Janssen, N., Hoek, G., Simic-Lawson, M., Fischer, P., van Bree, L., Brink, H., . . . Cassee, F. (2011). Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with pm10 and pm2.5. *Environmental Health Perspectives*. 119(12), 1691–1699. Obtenido de <https://doi.org/10.1289/ehp.1003369>
- Krzyzanowski, M. (2005). Health effects of transport related air pollution: summary for policy - makers.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Agencia Suiza COSUDE, & Swisscontact. (2022). *Inventario de emisiones de fuentes móviles de uso de fuera de carretera en Colombia*.
- Minjares, R., Wagner, D., Baral, A., Chambliss, S., Galarza, S., Posada, F., . . . Akbar, S. (2014). Reducing Black Carbon Emissions from Diesel Vehicles: Impacts, Control Strategies, and Cost-Benefit Analysis. 79.
- NCAR/ACOM. (2023). *Fire Emission Inventory From NCAR*. Recuperado el 2022, de <https://www2.acom.ucar.edu/modeling/finn-fire-inventory-ncar>
- Secretaría de Movilidad de Bogotá. (01 de Septiembre de 2020). *Portal SIMUR*. Obtenido de <https://www.simur.gov.co/portal-simur/indicadores-2/velocidad-en-corredores/velocidad-promedimensual/>
- Secretaría Distrital de Ambiente, & Universidad de los Andes. (2010). *Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá*. Bogotá.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2022). Sistema Integrado de Información de Fuente Fijas - SIIF (versión 10)[Plataforma web de uso interno]. Bogotá.
- Steer Davies. (2015). *Actualización y ajuste de la matriz origen destino de transporte de carga en la ciudad de Bogotá D.C.* Bogotá.
- Universidad de La Salle, & SDA. (2013). *Informe estimación inventario de material particulado resuspendido, contrato 1467 de 2013*.



Universidad de La Salle, SDA, & Ecopetrol. (2018). *INFORME ACUERDO DE COOPERACIÓN N° 02 DERIVADO DEL CONVENIO N° 5224377ECP-20171354SDA*.

Universidad Nacional de Colombia, & SDA. (2012). *Informe Convenio 013/2012*.

Universidad Nacional de Colombia, & SDA. (2013). *Informe Convenio 015/2013*.

UPME. (2022). Obtenido de
https://www1.upme.gov.co/Hidrocarburos/publicaciones/Dem_Gas_Nat_Esc_Med_Nod_Sect_PAGN_Jun2020.xlsx

US-EPA. (10 de Septiembre de 2019). *SPECIATE 5.1*. Obtenido de <https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate>

US-EPA. (30 de Octubre de 2020). *MOtor Vehicle Emission Simulator (MOVES)*. Obtenido de <https://www.epa.gov/moves/latest-version-motor-vehicle-emission-simulator-moves>

US-EPA. (s.f.). *AP-42: Compilation of Air Emissions Factors*. Recuperado el 2019, de <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>

Anexo 1. Metodología de estimación de emisiones de contaminantes criterio y black carbon

CONTENIDO

A. METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE FUENTES MÓVILES EN CARRETERA	5
A.1. Estimación de emisiones Estimación de emisiones Top-Down	5
A.1.1. Factores de Actividad.....	5
A.1.2. Factores de expansión.....	22
A.1.3. Cantidad de vehículos	22
A.1.4. Factores de emisión	24
A.2. Estimación de emisiones Bottom-Up	44
A.1.5. Diagnóstico de conteos vehiculares	44
A.1.6. Análisis de conteos vehiculares.....	48
A.1.7. Distribución espacial de los conteos.....	52
A.1.8. Ajuste de Flujos y Factores de emisión empleando herramientas de modelación.....	55
A.1.9. Estimación de los flujos vehiculares.....	59
A.1.10. Estimación de emisiones por combustión desagregadas espacial y temporalmente	59
B. METODOLOGIA ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE FUENTES FIJAS INDUSTRIALES.....	68
B.1. Estimación de emisiones Bottom-Up	68
B.1.1. Factores de Emisión para las fuentes fijas industriales	68
B.1.2. Eficiencia de los sistemas de control de emisiones	71
B.1.3. Desagregación horaria de las emisiones por combustión de fuentes fijas	72
B.1.4. Desagregación espacial de las emisiones por combustión de fuentes fijas.....	72
C. ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR DESGASTE DE FRENOS Y DE LLANTAS EN FUENTES MÓVILES	73
D. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE RESUSPENSIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN VÍAS. 74	
D.1. Estimación Bottom-Up.....	74
D.1.1. Estimación de los factores de emisión.....	74
D.1.2. Variables asociadas a la estimación de factores de emisión	76
D.1.3. Estimación de las emisiones.....	81



E. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO RESUSPENDIDO POR CONSTRUCCIONES	83
F. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CANTERAS.....	85
G. ESTIMACIÓN DE EMISIONES RESIDENCIALES	86
H. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE BLACK CARBON.....	87
H.1. Black Carbon para fuentes fijas industriales	87
H.2. Black Carbon para fuentes móviles.....	87
I. ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR QUEMAS E INCENDIOS.....	89
J. REFERENCIAS.....	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura A-1. Análisis con diagrama de caja de años modelos por tipo de combustible (izquierda) y clase de servicio (derecha).....	23
Figura A-2. Perfiles de conteos vehiculares normalizados con respecto a los flujos de las 07:00 para toda la ciudad, por categorías vehiculares y día de la semana, con datos de conteos de 2014 a 2023.	47
Figura A-3. Proporciones <i>Isab</i> e <i>Idom</i> para extrapolar conteos realizados en el año 2023 para los fines de semana.....	48
Figura A-4. Nodos vehiculares analizados en los conteos vehiculares del año 2023 de SDM.....	50
Figura A-5. Comparación de promedios horarios y diarios para CO entre los datos observados (obs) y el mejor escenario modelado identificado (p03a).	57
Figura A-6. Comparación de promedios horarios y diarios para PM10 entre los datos observados (obs) y el mejor escenario modelado identificado (p03a).	57
Figura A-7. Comparación de promedios horarios y diarios para PM2.5 entre los datos observados (obs) y el mejor escenario modelado identificado (p03a).	58
Figura A-8. Factores de Corrección de Flujo (AJ) estimados con modelación de escenarios para el 2023.	58
Figura D-1. Mapa de Coberturas y puntos de medición de Cs y S.	78
Figura D-2. Distribución espacial de Cs (izquierda) y S (derecha).	79
Figura D-3. Número de días con precipitación mayor a 0.254 por estación para el año 2023 ...	80
Figura D-4. Perfiles de velocidad para la ciudad de Bogotá para el 2018, según día tipo.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla A-1. Actividad vehicular y cantidad de vehículos por categoría para el año 2023	7
Tabla A-2. Años modelos corte para filtro de la base de datos del RDA	23
Tabla A-3. Factores de emisión utilizados en metodología Top-Down	27
Tabla A-4. Categorías Vehiculares homologadas de los conteos vehiculares.....	44
Tabla A-5. Nodos vehiculares analizados en los conteos 2023 realizados por la SDM.....	48
Tabla A-6. División de categorías en subcategorías que incluyen combustibles.....	51
Tabla A-7. Atributos del archivo shape de la malla vial de la ciudad e Bogotá	53
Tabla A-8. Coeficientes de ajuste para estimar el Factor de corrección a vías secundarias.....	55
Tabla A-9. Factores de emisión empleados en la estimación Bottom-up de fuentes móviles por combustión.....	60
Tabla B-1. Factores de emisión de fuentes fijas industriales.....	69
Tabla B-2. Porcentaje de remoción del Sistema de Control de emisiones.....	71
Tabla C-1. Factores de emisión por desgaste de frenos y llantas.....	73
Tabla D-1. Cargas de sedimentos empleadas en este inventario.....	76
Tabla D-2. Porcentaje de finos empleados en este documento.	76
Tabla D-3. Pesos representativos de categorías vehiculares.	79
Tabla E-1. Factores de emisión por construcción de edificaciones y vías en la Ciudad de Bogotá.	84
Tabla F-1. Factores de emisión para extracción de material en canteras.....	85
Tabla G-1. Factores de emisiones de fuentes residenciales.....	86
Tabla H-1. Fracciones de BC presente en las emisiones de PM _{2.5} generadas por las fuentes fijas industriales.....	87
Tabla H-2. Fracciones másicas de carbón elemental para las emisiones por combustión de las fuentes móviles	88
Tabla H-3. Porcentaje para fuentes móviles por resuspensión.....	88
Tabla H-4. Porcentaje para fuentes móviles terrestres de carretera por freno y desgaste de llantas.	88
Tabla I-1 Factores de emisión para quemas e incendios	90

A. METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE FUENTES MÓVILES EN CARRETERA

A.1. Estimación de emisiones Estimación de emisiones Top-Down

El inventario de emisiones generado a partir del enfoque Top-Down para las fuentes móviles en carretera, se calcula a partir de la Ecuación A.1.

$$E_{i,j} = FE_{i,j} \cdot FA_j \cdot N_j \cdot FC \cdot K_j \quad \text{Ecuación A.1.1}$$

Dónde:

$E_{i,j}$	Emisión para cada contaminante 'i', para la categoría 'j' (t/año)
$FE_{i,j}$	Factor de emisión para cada contaminante 'i' y para la categoría 'j'. (g/veh-km)
FA_j	Factor de Actividad (rodamiento en km por año) para la categoría 'j'. (km/año)
N_j	Cantidad de vehículos para la categoría 'j'. (Veh)
FC	Factor de conversión 10^6 (g/t)
K_j	Factor de expansión para la categoría 'j' que aplique. (adimensional)

La descripción de las variables requeridas para su estimación, así como las fuentes de información, se presentan a continuación.

A.1.1. Factores de Actividad

Para la estimación del factor de actividad se utiliza información de kilometrajes que hacen parte de los reportes de los Centros Diagnóstico Automotor CDA de Bogotá, la cual se considera una muestra representativa de los vehículos que se mueven en la ciudad. De allí se hace una desagregación por categoría vehiculares y se establece el kilometraje medio anual de vehículo para cada categoría, tomando de cada vehículo el kilometraje total, proveniente de odómetros, y se divide en la cantidad de años en operación según el año modelo (asumiendo que todos los años circulan similar kilometraje), como se presenta en la siguiente ecuación:

$$KmA_j = \frac{KmT_j}{Ev_j} \quad \text{Ecuación A.1.2}$$

Donde:

KmA_j	Kilometraje anual para la categoría 'j' (km/año)
KmT_j	Kilometraje Total para la categoría 'j' (km)
Ev_j	Edad Vehicular para la categoría 'j' (años)



Para los vehículos años modelo 2023 y 2024 (registrados en el 2023) la edad vehicular se toma como 1 año. Para el caso de los vehículos correspondientes al Sistema Integrado de Transporte – SITP su factor de actividad fue estimado a partir de bases de datos suministradas directamente por Transmilenio S.A donde se reportan los kilómetros anuales recorridos para la flota. La Tabla A1 consolida los factores de actividad (km/año) para las diferentes categorizaciones utilizadas en el enfoque Top-Down.

Tabla A-1. Actividad vehicular y cantidad de vehículos por categoría para el año 2023

<i>Categoría</i>	<i>Combustible</i>	<i>Estándar</i>	<i>Año modelo</i>	<i>Cilindraje o Capacidad de Carga</i>	<i>Tipología</i>	<i>Tipo de motor</i>	<i>Cantidad de ejes</i>	<i>Servicio</i>	<i>Actividad vehicular (km/año)</i>	<i>Cantidad de vehículos</i>
Automóvil	Diésel	EURO I	1998 - 2009	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	76
Automóvil	Diésel	EURO I	1998 - 2009	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	221
Automóvil	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	203.173
Automóvil	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	162.509
Automóvil	Gas-gasolina	EURO I	1998 - 2009	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	481
Automóvil	Gas-gasolina	EURO I	1998 - 2009	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	491
Automóvil	Diésel	EURO II	2010 - 2014	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	10
Automóvil	Diésel	EURO II	2010 - 2014	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	332
Automóvil	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	259.036
Automóvil	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	402.880
Automóvil	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	479
Automóvil	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	493
Automóvil	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	12
Automóvil	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	393
Automóvil	GNV	EURO II	2010 - 2022	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	31
Automóvil	GNV	EURO II	2010 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	15
Automóvil	Híbrido (Gasolina-Eléctrico)	EURO IV	Todos	Todos	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	7.309
Automóvil	Eléctrico	NA	Todos	Todos	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	1.827
Automóvil	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	23

<i>Categoría</i>	<i>Combustible</i>	<i>Estándar</i>	<i>Año modelo</i>	<i>Cilindraje o Capacidad de Carga</i>	<i>Tipología</i>	<i>Tipo de motor</i>	<i>Cantidad de ejes</i>	<i>Servicio</i>	<i>Actividad vehicular (km/año)</i>	<i>Cantidad de vehículos</i>
Automóvil	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	27
Automóvil	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	80.576
Automóvil	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	44.230
Automóvil	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	514
Automóvil	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	7.806	459
Campero y camioneta	Diésel	EURO I	1998 - 2009	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	95
Campero y camioneta	Diésel	EURO I	1998 - 2009	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	17.404
Campero y camioneta	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	12.896
Campero y camioneta	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	7.009
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO I	1998 - 2009	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	201
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO I	1998 - 2009	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	1.895
Campero y camioneta	Diésel	EURO II	2010 - 2014	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	45
Campero y camioneta	Diésel	EURO II	2010 - 2014	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	32.183
Campero y camioneta	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	48.974
Campero y camioneta	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	307.317
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	1.877

<i>Categoría</i>	<i>Combustible</i>	<i>Estándar</i>	<i>Año modelo</i>	<i>Cilindraje o Capacidad de Carga</i>	<i>Tipología</i>	<i>Tipo de motor</i>	<i>Cantidad de ejes</i>	<i>Servicio</i>	<i>Actividad vehicular (km/año)</i>	<i>Cantidad de vehículos</i>
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	4.015
Campero y camioneta	Híbrido (Diésel - Eléctrico)	EURO IV	2015 - 2022	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	1
Campero y camioneta	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	42
Campero y camioneta	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	39.778
Campero y camioneta	Híbrido (Diésel - Eléctrico)	EURO IV	2015 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	293
Campero y camioneta	GNV	EURO II	2010 - 2022	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	7
Campero y camioneta	GNV	EURO II	2010 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	74
Campero y camioneta	Eléctrico	NA	NA	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	1.413
Campero y camioneta	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	7.978
Campero y camioneta	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	35.523
Campero y camioneta	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	341
Campero y camioneta	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	4.453
Campero y camioneta	Híbrido (Gasolina-Eléctrico)	EURO IV	Todos	Todos	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	9.887	16.230
Motocicleta	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 2009	Menor de 100 cc	Motocicleta	2T	NA	Todos	8.293	473
Motocicleta	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 2009	Entre 100 a 300 cc	Motocicleta	2T	NA	Todos	8.293	994
Motocicleta	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 2009	Mayor de 300 cc	Motocicleta	2T	NA	Todos	8.293	4
Motocicleta	Gasolina	EURO II	2010-2017	Menor de 100 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	8.325	53.526

<i>Categoría</i>	<i>Combustible</i>	<i>Estándar</i>	<i>Año modelo</i>	<i>Cilindraje o Capacidad de Carga</i>	<i>Tipología</i>	<i>Tipo de motor</i>	<i>Cantidad de ejes</i>	<i>Servicio</i>	<i>Actividad vehicular (km/año)</i>	<i>Cantidad de vehículos</i>
Motocicleta	Gasolina	EURO II	Mayor a 2017	Menor de 100 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	8.325	3.795
Motocicleta	Gasolina	EURO II	2010-2017	Entre 100 a 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	8.325	459.503
Motocicleta	Gasolina	EURO II	Mayor a 2017	Entre 100 a 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	8.325	84.885
Motocicleta	Gasolina	EURO II	2010-2017	Mayor de 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	8.325	27.520
Motocicleta	Gasolina	EURO II	Mayor a 2017	Mayor de 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	8.325	10.599
Motocicleta	Eléctrico	NA	NA	NA	Motocicleta	NA	NA	Todos	8.325	513
Otros	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	NA	Buseta	NA	NA	Particular	25.068	84
Otros	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Buseta	NA	NA	Particular	25.068	111
Otros	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	NA	Buseta	NA	NA	Particular	25.068	48
Otros	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	NA	Buseta	NA	NA	Particular	25.068	22
Otros	GNV	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Busetón	NA	NA	Particular	25.068	2
Otros	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Buseta	NA	NA	Particular	25.068	33
Otros	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	NA	Busetón	NA	NA	Particular	25.068	356
Otros	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Busetón	NA	NA	Particular	25.068	386
Otros	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	NA	Busetón	NA	NA	Particular	25.068	92
Otros	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	NA	Busetón	NA	NA	Particular	25.068	106
Otros	GNV	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Buseta	NA	NA	Público	25.068	2
Otros	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Busetón	NA	NA	Particular	25.068	482

<i>Categoría</i>	<i>Combustible</i>	<i>Estándar</i>	<i>Año modelo</i>	<i>Cilindraje o Capacidad de Carga</i>	<i>Tipología</i>	<i>Tipo de motor</i>	<i>Cantidad de ejes</i>	<i>Servicio</i>	<i>Actividad vehicular (km/año)</i>	<i>Cantidad de vehículos</i>
Otros	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	NA	Microbús	NA	NA	Particular	25.068	420
Otros	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Microbús	NA	NA	Particular	25.068	682
Otros	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	NA	Microbús	NA	NA	Particular	25.068	682
Otros	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	NA	Microbús	NA	NA	Particular	25.068	175
Otros	Eléctrico	NA	Todos	NA	Busetón	NA	NA	Público	25.068	4
Otros	GNV	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Microbús	NA	NA	Particular	25.068	3
Otros	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Microbús	NA	NA	Particular	25.068	1.248
SITP-Troncal	Diésel	EURO II	NA	NA	Articulado	NA	NA	Troncal	73.652	108
SITP-Troncal	Diésel	EURO III	NA	NA	Articulado	NA	NA	Troncal	73.652	35
SITP-Troncal	Diésel	EURO IV	NA	NA	Articulado	NA	NA	Troncal	73.551	32
SITP-Troncal	Diésel	EURO V	NA	NA	Articulado	NA	NA	Troncal	75.322	201
SITP-Troncal	Diésel	EURO V- CON FILTRO	NA	NA	Articulado	NA	NA	Troncal	72.082	199
SITP-Troncal	GNV	EURO VI	NA	NA	Articulado	NA	NA	Troncal	70.221	179
SITP-Troncal	Diésel	EURO III	NA	NA	Biarticulado	NA	NA	Troncal	66.386	5
SITP-Troncal	Diésel	EURO IV	NA	NA	Biarticulado	NA	NA	Troncal	65.394	43
SITP-Troncal	Diésel	EURO V	NA	NA	Biarticulado	NA	NA	Troncal	67.538	481

<i>Categoría</i>	<i>Combustible</i>	<i>Estándar</i>	<i>Año modelo</i>	<i>Cilindraje o Capacidad de Carga</i>	<i>Tipología</i>	<i>Tipo de motor</i>	<i>Cantidad de ejes</i>	<i>Servicio</i>	<i>Actividad vehicular (km/año)</i>	<i>Cantidad de vehículos</i>
SITP-Troncal	Diésel	EURO V- CON FILTRO	NA	NA	Biarticulado	NA	NA	Troncal	66.226	238
SITP-Troncal	GNV	EURO VI	NA	NA	Biarticulado	NA	NA	Troncal	68.799	563
SITP-Troncal	Diésel	EURO V	NA	NA	Padrón dual	NA	NA	Troncal	62.290	41
SITP-Troncal	Híbrido (Diésel - Eléctrico)	EURO V	NA	NA	Padrón dual	NA	NA	Troncal	62.256	230
SITP-Zonal	Eléctrico	NA	NA	NA	Busetón	NA	NA	Zonal-Alimentador	63.797	73
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	NA	NA	Busetón	NA	NA	Zonal-Alimentador	42.255	1
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	NA	NA	Busetón	NA	NA	Zonal-Alimentador	50.616	15
SITP-Zonal	Diésel	EURO III	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	62.409	7
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	61.149	26
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	60.669	303
SITP-Zonal	Eléctrico	NA	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	59.999	284
SITP-Zonal	GNV	EURO VI	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	60.571	142
SITP-Zonal	Diésel	EURO II	NA	NA	Buseta	NA	NA	Zonal-urbano	42.373	1.104
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	NA	NA	Buseta	NA	NA	Zonal-urbano	45.585	1.011
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	NA	NA	Buseta	NA	NA	Zonal-urbano	40.777	660
SITP-Zonal	Diésel	EURO II	NA	NA	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	36.800	123

<i>Categoría</i>	<i>Combustible</i>	<i>Estándar</i>	<i>Año modelo</i>	<i>Cilindraje o Capacidad de Carga</i>	<i>Tipología</i>	<i>Tipo de motor</i>	<i>Cantidad de ejes</i>	<i>Servicio</i>	<i>Actividad vehicular (km/año)</i>	<i>Cantidad de vehículos</i>
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	NA	NA	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	42.370	14
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	NA	NA	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	40.744	369
SITP-Zonal	Diésel	EURO VI	NA	NA	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	58.368	158
SITP-Zonal	Eléctrico	NA	NA	NA	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	32.837	867
SITP-Zonal	GNV	EURO VI	NA	NA	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	28.954	149
SITP-Zonal	Diésel	EURO II	NA	NA	Microbús	NA	NA	Zonal-urbano	42.466	99
SITP-Zonal	Diésel	EURO II	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	54.950	296
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	47.538	28
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	50.284	1.418
SITP-Zonal	Diésel	EURO VI	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	62.639	67
SITP-Zonal	Eléctrico	NA	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	45.497	261
SITP-Zonal	GNV	EURO VI	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	51.764	1.118
SITP-Zonal	Híbrido (Diesel - Eléctrico)	Híbrido (Diesel - Eléctrico)	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	62.256	20
Taxis	Diésel	EURO I	1998 - 2009	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	51.244	68
Taxis	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	51.244	11.528
Taxis	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	51.244	139
Taxis	Gas-gasolina	EURO I	1998 - 2009	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	51.244	2.901

<i>Categoría</i>	<i>Combustible</i>	<i>Estándar</i>	<i>Año modelo</i>	<i>Cilindraje o Capacidad de Carga</i>	<i>Tipología</i>	<i>Tipo de motor</i>	<i>Cantidad de ejes</i>	<i>Servicio</i>	<i>Actividad vehicular (km/año)</i>	<i>Cantidad de vehículos</i>
Taxis	Gas-gasolina	EURO I	1998 - 2009	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	51.244	40
Taxis	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	51.244	25.656
Taxis	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	51.244	3.022
Taxis	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	51.244	7.983
Taxis	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	51.244	843
Taxis	Eléctrico	NA	Todos	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	51.244	46
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	27.131	2.652
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	27.131	3.960
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	27.131	381
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	27.131	2.466
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	26.185	13
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	26.185	9
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	26.185	7
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	24.607	1.515
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	24.607	29
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	24.607	57
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	24.607	29

<i>Categoría</i>	<i>Combustible</i>	<i>Estándar</i>	<i>Año modelo</i>	<i>Cilindraje o Capacidad de Carga</i>	<i>Tipología</i>	<i>Tipo de motor</i>	<i>Cantidad de ejes</i>	<i>Servicio</i>	<i>Actividad vehicular (km/año)</i>	<i>Cantidad de vehículos</i>
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	24.607	228
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	10.076	9
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	10.076	16
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	10.076	2
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	10.076	12
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	9.724	20
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	27.131	2.223
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	27.131	3.876
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	27.131	1.221
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	26.185	11
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	26.185	11
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	26.185	9
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	26.185	2.050
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	27.131	1.526
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	24.607	29
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	24.607	29

<i>Categoría</i>	<i>Combustible</i>	<i>Estándar</i>	<i>Año modelo</i>	<i>Cilindraje o Capacidad de Carga</i>	<i>Tipología</i>	<i>Tipo de motor</i>	<i>Cantidad de ejes</i>	<i>Servicio</i>	<i>Actividad vehicular (km/año)</i>	<i>Cantidad de vehículos</i>
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes o mayor	Todos	24.607	285
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	10.076	8
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	10.076	13
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	10.076	3
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	10.076	7
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	9.724	2
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	9.724	1
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	9.724	21
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	9.138	103
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	27.131	1.608
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	27.131	3.353
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	27.131	1.400
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	27.131	1.441
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	26.185	4
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	26.185	1
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	26.185	10

<i>Categoría</i>	<i>Combustible</i>	<i>Estándar</i>	<i>Año modelo</i>	<i>Cilindraje o Capacidad de Carga</i>	<i>Tipología</i>	<i>Tipo de motor</i>	<i>Cantidad de ejes</i>	<i>Servicio</i>	<i>Actividad vehicular (km/año)</i>	<i>Cantidad de vehículos</i>
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	26.185	933
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	24.607	713
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes o mayor	Todos	24.607	1.425
Transporte de carga	Híbrido (Diésel - Eléctrico)	EURO IV	2015 - 2022	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	27.131	4
Transporte de carga	Híbrido (Diésel - Eléctrico)	EURO IV	2015 - 2022	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	27.131	4
Transporte de carga	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	32.761	478
Transporte de carga	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	32.761	121
Transporte de carga	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	32.761	10
Transporte de carga	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	32.761	4
Transporte de carga	GNV	EURO IV	2010 - 2022	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	32.761	23
Transporte de carga	GNV	EURO IV	2010 - 2022	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	32.761	4
Transporte de carga	GNV	EURO IV	2010 - 2022	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	32.761	4
Transporte de carga	GNV	EURO IV	2010 - 2022	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	32.761	5
Transporte de carga	GNV	EURO IV	2010 - 2022	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	31.618	5
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	27.131	1.128
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	27.131	2.006

<i>Categoría</i>	<i>Combustible</i>	<i>Estándar</i>	<i>Año modelo</i>	<i>Cilindraje o Capacidad de Carga</i>	<i>Tipología</i>	<i>Tipo de motor</i>	<i>Cantidad de ejes</i>	<i>Servicio</i>	<i>Actividad vehicular (km/año)</i>	<i>Cantidad de vehículos</i>
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	27.131	1.896
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	26.185	8
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	26.185	7
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	26.185	8
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	26.185	643
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes o mayor	Todos	24.607	314
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	27.131	1.540
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	10.076	261
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	10.076	205
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	10.076	124
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	10.076	59
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	9.724	14
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	9.724	9
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	9.724	9
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	9.724	103
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	9.138	34

<i>Categoría</i>	<i>Combustible</i>	<i>Estándar</i>	<i>Año modelo</i>	<i>Cilindraje o Capacidad de Carga</i>	<i>Tipología</i>	<i>Tipo de motor</i>	<i>Cantidad de ejes</i>	<i>Servicio</i>	<i>Actividad vehicular (km/año)</i>	<i>Cantidad de vehículos</i>
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	NA	Buseta	NA	NA	Oficial	14.184	106
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2011 - 2022	NA	Buseta	NA	NA	Público	39.612	142
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Buseta	NA	NA	Oficial	14.184	66
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Buseta	NA	NA	Público	39.612	437
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	NA	Buseta	NA	NA	Oficial	14.184	3
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	NA	Buseta	NA	NA	Público	39.612	37
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	NA	Buseta	NA	NA	Oficial	14.184	4
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	NA	Buseta	NA	NA	Público	39.612	7
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Buseta	NA	NA	Oficial	14.184	14
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Buseta	NA	NA	Público	39.612	143
Transporte de especial	GNV	EURO IV	2010 - 2022	NA	Busetón	NA	NA	Público	39.612	34
Transporte de especial	GNV	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Busetón	NA	NA	Público	39.612	3
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	NA	Busetón	NA	NA	Oficial	14.184	207
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2011 - 2022	NA	Busetón	NA	NA	Público	39.612	756
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Busetón	NA	NA	Público	39.612	1.115
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Busetón	NA	NA	Oficial	14.184	28

<i>Categoría</i>	<i>Combustible</i>	<i>Estándar</i>	<i>Año modelo</i>	<i>Cilindraje o Capacidad de Carga</i>	<i>Tipología</i>	<i>Tipo de motor</i>	<i>Cantidad de ejes</i>	<i>Servicio</i>	<i>Actividad vehicular (km/año)</i>	<i>Cantidad de vehículos</i>
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	NA	Busetón	NA	NA	Público	39.612	8
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	NA	Busetón	NA	NA	Oficial	14.184	34
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	NA	Busetón	NA	NA	Oficial	14.184	54
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	NA	Busetón	NA	NA	Público	39.612	15
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Busetón	NA	NA	Oficial	14.184	91
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Busetón	NA	NA	Público	39.612	663
Transporte de especial	Eléctrico	NA	Todos	NA	Busetón	NA	NA	Oficial	14.184	1
Transporte de especial	Eléctrico	NA	Todos	NA	Busetón	NA	NA	Particular	25.068	1
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	NA	Microbús	NA	NA	Oficial	14.184	187
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2011 - 2022	NA	Microbús	NA	NA	Público	39.612	950
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Microbús	NA	NA	Oficial	14.184	38
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Microbús	NA	NA	Público	39.612	1.739
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	NA	Microbús	NA	NA	Oficial	14.184	37
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	NA	Microbús	NA	NA	Público	39.612	919
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	NA	Microbús	NA	NA	Oficial	14.184	48

<i>Categoría</i>	<i>Combustible</i>	<i>Estándar</i>	<i>Año modelo</i>	<i>Cilindraje o Capacidad de Carga</i>	<i>Tipología</i>	<i>Tipo de motor</i>	<i>Cantidad de ejes</i>	<i>Servicio</i>	<i>Actividad vehicular (km/año)</i>	<i>Cantidad de vehículos</i>
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	NA	Microbús	NA	NA	Público	39.612	121
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Microbús	NA	NA	Oficial	14.184	14
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Microbús	NA	NA	Público	39.612	2.174
Transporte de especial	GNV	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Microbús	NA	NA	Público	39.612	13

*Nota Técnica: Para la actualización de este inventario no fue posible realizar el ajuste al calendario de ingreso normativo para las motocicletas, por lo que en la futura actualización deberá aplicarse el ajuste teniendo en cuenta la normatividad del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en sus respectivas vigencias (Resolución 910/2008, Resolución 762/2022).

Elaboración propia



A.1.2. Factores de expansión

Para este inventario de emisiones se consideraron algunos ajustes en la estimación de la cantidad de vehículos que pueden transitar en la ciudad. Lo anterior, debido a que algunas categorías vehiculares que transitan frecuentemente en las vías de la ciudad no registran en el RDA y tampoco realizan su revisión tecno-mecánica en los CDA de la ciudad. Por este motivo, con ayuda del “Modelo Estratégico para el Desarrollo de Inventarios de emisiones Atmosféricas - MEDINA¹”, el cual cuenta con un módulo donde se estima la actividad vehicular a partir de flujos y longitud de vías (véase sección A.2 para mayor detalle), se establecieron factores de expansión para la cantidad de vehículos de las categorías: Motocicletas, Camiones de 4 ejes o más y para las diferentes tipologías de buses que hacen parte del transporte especial e intermunicipal (Buseta, Busetón y Microbús). Las categorías previamente mencionadas, fueron identificadas como las de mayor incertidumbre en el número real de vehículos que transitan en la ciudad año a año. Los factores de ajuste adimensionales determinados son:

Motocicletas: Gasolina y Eléctricas (1.35)

Camiones de 4 ejes o más: Diésel (15.0) y Gasolina (18.0)

Microbuses, Busetas y Busetones de Transporte Especial e Intermunicipal: Diésel (2.0), Gasolina (1.4), GNV (1.6).

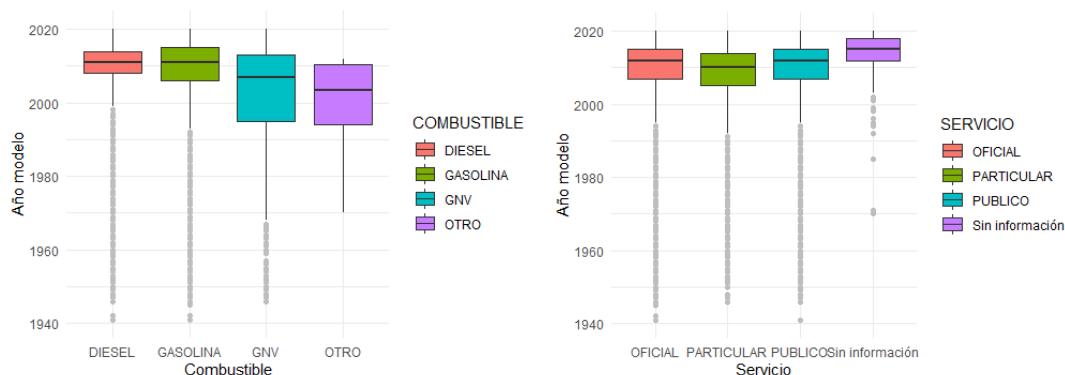
A.1.3. Cantidad de vehículos

La estimación de la cantidad de vehículos que transitan en la ciudad se realiza a través del procesamiento de información de dos principales bases de datos. Una es el RDA del año 2023, que corresponde a la base de datos de los vehículos con placa registrada en Bogotá. Esta base de datos tiene una falencia relacionada a la no depuración anual de los vehículos que ya no transitan en la ciudad, ya que la eliminación de los vehículos del sistema lo debe hacer directamente el propietario del vehículo. De esta forma, se pueden encontrar vehículos muy antiguos que no se mueven efectivamente en la ciudad y que pueden aportar mayor incertidumbre al cálculo. Con el propósito de eliminar estos registros de la cuantificación, se filtra la base con un año modelo específico para cada categoría vehicular, con el que se asume que todos los vehículos con año modelo igual o mayor se mueven de forma constante.

Este año modelo de corte se estima a partir de la segunda base de datos a procesar que corresponde a los reportes que los CDA hacen a la SDA. Esta información contiene las mismas variables que el RDA, con una adicional que corresponde a los kilometrajes de los vehículos. Los registros de los CDA no se pueden asumir como la totalidad de los vehículos que se mueven en la ciudad, pero se puede considerar una muestra representativa de ese universo. Al aceptar esta

¹ El Modelo de Emisiones MEDINA hace parte del Sistema de Modelación Atmosférica de Bogotá y permite desagregar espacial y temporalmente las fuentes de emisión de la ciudad. Este modelo está dividido en distintos módulos, entre ellos el módulo MEDINA-FM permite estimar las emisiones para fuentes móviles ‘on-road’ para Combustión, material resuspendido y desgaste de freno y llantas.

afirmación, se pueden realizar diferentes análisis estadísticos para determinar cuáles son los años modelos típicos de vehículos que se encuentran activos en la ciudad. un ejemplo de estos análisis se presenta la Figura A-1, en donde se presenta el análisis con diagrama de caja de los años modelos por tipo de combustible y tipo de servicio.



Elaboración propia

Figura A-1. Análisis con diagrama de caja de años modelos por tipo de combustible (izquierda) y clase de servicio (derecha)

Este ejercicio se hace para las tipologías vehiculares de automóviles, camperos, camionetas, motocicletas y buses especiales. En donde se calcula el valor año modelo en donde comienzan los datos atípicos como:

$$A_{ij} = Q_{1j} - 1,5 \cdot RI \quad \text{Ecuación A.1.3}$$

En donde:

- A_{ij} Es el año modelo de corte para la tipología vehicular j de la variable de análisis i
- Q_{1j} El primer cuartil del grupo de datos totales para la tipología vehicular j
- RI Es el rango intercuartílico

Los valores de año de corte para las diferentes tipologías vehiculares analizadas se presentan en la Tabla A-2.

Tabla A-2. Años modelos corte para filtro de la base de datos del RDA

Tipología vehicular	Variable de análisis	Clasificación	Año de corte
Campero o camioneta	Combustible	Diesel	1999
Campero o camioneta	Combustible	Gasolina	1986
Campero o camioneta	Combustible	GNV	1962
Motocicleta	Tipo de motor y cilindraje	Moto 4T > 150 c.c.	2006
Motocicleta	Tipo de motor y cilindraje	Moto 4T < 150 c.c.	2007
Motocicleta	Tipo de motor y cilindraje	Moto 2T	1981
Automóvil	Servicio	Oficial	1988
Automóvil	Servicio	Particular	1992
Automóvil	Servicio	Público	1998

En el caso de los camiones, volquetas y tractocamiones, que en el documento se entenderán como camiones, no se aplicaron ningún filtro de año modelo.

Para el caso de los buses de transporte público y taxis, los vehículos activos en la ciudad se identifican con la base de los registros de tarjeta de operación activa del año 2023 proporcionada por la SDM y Transmilenio S.A.

Finalmente se desagrega la información en 234 categorías y se obtiene la información de cantidad de vehículos como se presenta en la Tabla A-1. En total se estima que para el año 2023, en la ciudad de Bogotá transitaron activamente 2'533.538 según las estimaciones realizadas para este inventario.

A.1.4. Factores de emisión

Los factores de emisión utilizados en el cálculo del inventario de fuentes móviles a corte 2023 corresponden a una recopilación de los factores de emisión estimados para Bogotá por el equipo de Plan Aire de la SCAAV de la SDA con el software COPERT (versión 5.8) y aquellos medidos y ajustados por la SDA de mediciones realizadas en campo en el marco de convenios con la Universidad Nacional de Colombia para la flota del SITP (Universidad Nacional de Colombia & SDA, Informe Convenio 013/2012, 2012) (Universidad Nacional de Colombia & SDA, Informe Convenio 015/2013, 2013).

Las categorías vehiculares para las cuales se están manejando factores de emisión estimados con COPERT abarcan: automóviles, taxis, camperos, camionetas, camiones, motocicletas y buses del transporte especial e intermunicipal. Estos se han estimado usando la versión más actualizada del modelo COPERT (versión 5.8) y ajustados a las condiciones locales de la ciudad teniendo en cuenta variables meteorológicas, velocidades promedio en vía, capacidad de carga para camiones y el contenido de azúfre para 2023 en la gasolina (100 ppm) y el diésel (13 ppm).

Cabe resaltar que durante la consolidación de la nueva base de factores de emisión, se evaluó la viabilidad técnica de usar los factores generados por las mediciones directas dentro del Convenio CO1.PCCNTR.5104655 de 2023 entre UPME y Universidad de Antioquia, donde se determinaron factores de emisión de vehículos livianos, motocicletas, camiones y autobuses para Colombia. Sin embargo, al evaluar la base de datos de FE generada, se evidenció como principal conclusión que desafortunadamente ésta no logra representar totalmente el parque vehicular de la ciudad por la metodología de selección de vehículos de medición. A continuación se resumen los principales hallazgos que sustentan los referenciado:

De las 52 mediciones en motocicletas usadas en el estudio para estimar los FE, el 79% (41) fueron para años modelo superiores al 2020. El año modelo más antiguo que participó en las mediciones del estudio corresponde al 2008 con 7 mediciones (13%) seguido de 2017 con 2 mediciones (4%) medidas. De las mediciones realizadas para las motocicletas con año modelo 2008 sólo 2



vehículos fueron usados en Bogotá. Además, no se logró evidenciar que el estudio haya hecho mediciones en motocicletas con motor 2 tiempos. De acuerdo con la distribución porcentual de años modelo encontrada en el RDA y CDA, el 76% de las motocicletas que transitan en la ciudad tienen años modelo entre 2008-2017 seguido de años modelo anteriores al 2008 con un 20%. Por lo anterior, para los FE estimados se considera que para esta categoría vehicular, no representan estadísticamente la mayor cantidad de motocicletas que hay en la ciudad, en especial las motocicletas de mayor edad vehicular.

De las 36 mediciones en vehículos livianos (automóviles, camperos, camionetas), el año modelo más antiguo medido en el estudio fue 2005 y correspondió sólo para una camioneta en la ciudad de Bogotá con cilindraje de 3000 cc. En el caso de automóviles se realizó la medición de sólo un vehículo año modelo 2006 con cilindraje aproximado de 1600 cc. De acuerdo con la distribución porcentual de años modelo encontrada en el RDA y CDA, el 28% de los vehículos livianos que transitan en la ciudad, son automóviles que presentan años modelo inferiores al 2009 y con cilindraje menor a 2000 cc. Adicionalmente, la mayor proporción de vehículos livianos (58%) presenta años modelo entre 2010 y 2022 con cilindraje inferior a 3000 cc. Por lo anterior, para los FE estimados se considera que para la categoría vehículos livianos, no hay representatividad estadística para la mayor cantidad de vehículos que hay en la ciudad.

Respecto a las mediciones realizadas para camiones y tractocamiones, se evidenció lo siguiente:

No se realizaron mediciones para camiones de 2 ejes (de encendido por compresión) que operan con Diésel para estándares de emisión Pre-Euro y Euro I, los cuales de acuerdo con la composición de flota estimada a partir de RDA y CDA, son aproximadamente el 49% del total de vehículos de esta categoría.

No hay mediciones realizadas para camiones con motores de encendido por chispa que operen con gasolina o gas natural vehicular - GNV como combustible.

No se evidenciaron especificaciones técnicas de los vehículos medidos que permitan realizar una verificación lo más cercana posible del estándar de emisión que fue asignado a cada vehículo medido, para ello es necesario como mínimo conocer: Código VIN, código de motor, fecha de importación. Es importante conocer la fecha de importación de tal forma que se permita hacer una asignación del estándar acorde al calendario normativo en el país.

En algunas de las agrupaciones por “categorías” los vehículos tienen diferencias en su clasificación por su peso bruto vehicular (PBV) al realizar la verificación con las clasificaciones vehiculares establecidas en las Tablas 1 y 2 de la Resolución 762 de 2022 conforme a los ciclos de Estados Unidos y de la Unión Europea respectivamente.



Tabla A-3. Factores de emisión utilizados en metodología Top-Down

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Capacidad de Carga	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM _{2.5}
Automóvil	Diésel	EURO I	1998 - 2009	Menor de 1500 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	0,60	0,08	0,72	0,07	0,001	0,07
Automóvil	Diésel	EURO I	1998 - 2009	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	0,60	0,08	0,72	0,07	0,001	0,07
Automóvil	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	4,80	0,61	0,44	0,003	0,011	0,003
Automóvil	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	4,80	0,61	0,44	0,003	0,011	0,003
Automóvil	Gas-gasolina	EURO I	1998 - 2009	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	4,797	0,612	0,437	0,003	0,011	0,003
Automóvil	Gas-gasolina	EURO I	1998 - 2009	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	4,797	0,612	0,437	0,003	0,011	0,003
Automóvil	Diésel	EURO II	2010 - 2014	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	0,51	0,05	0,79	0,06	0,002	0,06
Automóvil	Diésel	EURO II	2010 - 2014	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	0,51	0,05	0,79	0,06	0,002	0,06
Automóvil	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	2,65	0,33	0,27	0,001	0,012	0,001
Automóvil	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	2,65	0,33	0,27	0,001	0,012	0,001
Automóvil	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	2,653	0,330	0,273	0,001	0,012	0,001
Automóvil	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	2,653	0,330	0,273	0,001	0,012	0,001
Automóvil	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	0,14	0,02	0,66	0,04	0,001	0,03
Automóvil	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	0,14	0,02	0,66	0,04	0,001	0,03
Automóvil	GNV	EURO II	2010 - 2022	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	0,53	0,06	0,09	0,001	0,000	0,001
Automóvil	GNV	EURO II	2010 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	0,53	0,06	0,09	0,001	0,000	0,001

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Capacidad de Carga	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM _{2.5}
Automóvil	Eléctrico	NA	NA	NA	Automóvil	NA	NA	Todos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Automóvil	Híbrido (Gasolina-Eléctrico)	EURO IV	Todos	Todos	Automóvil	NA	NA	Todos	0,072	0,001	0,005	0,001	0,011	0,001
Automóvil	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	0,87	0,23	0,61	0,29	0,002	0,26
Automóvil	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	0,87	0,23	0,61	0,29	0,002	0,26
Automóvil	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	4,80	0,61	0,44	0,003	0,011	0,003
Automóvil	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	4,80	0,61	0,44	0,003	0,011	0,003
Automóvil	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	4,797	0,612	0,437	0,003	0,011	0,003
Automóvil	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	4,797	0,612	0,437	0,003	0,011	0,003
Campero y camioneta	Diésel	EURO I	1998 - 2009	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,60	0,11	0,72	0,07	0,002	0,07
Campero y camioneta	Diésel	EURO I	1998 - 2009	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,60	0,11	0,72	0,07	0,002	0,07
Campero y camioneta	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	3,66	0,54	0,40	0,003	0,018	0,003
Campero y camioneta	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	3,66	0,54	0,40	0,003	0,018	0,003
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO I	1998 - 2009	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	3,660	0,536	0,404	0,003	0,018	0,003
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO I	1998 - 2009	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	3,660	0,536	0,404	0,003	0,018	0,003
Campero y camioneta	Diésel	EURO II	2010 - 2014	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,51	0,15	0,79	0,06	0,002	0,06

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Capacidad de Carga	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM ₂₅
Campero y camioneta	Diésel	EURO II	2010 - 2014	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,51	0,15	0,79	0,06	0,002	0,06
Campero y camioneta	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	1,83	0,28	0,25	0,003	0,019	0,003
Campero y camioneta	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	1,83	0,28	0,25	0,003	0,019	0,003
Campero y camioneta	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	Mayor a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	1,83	0,28	0,25	0,003	0,019	0,003
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	1,834	0,277	0,249	0,003	0,019	0,003
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	1,834	0,277	0,249	0,003	0,019	0,003
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	Mayor a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	1,834	0,277	0,249	0,003	0,019	0,003
Campero y camioneta	Híbrido (Diésel - Eléctrico)	EURO IV	2015 - 2022	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,14	0,02	0,66	0,04	0,00	0,03
Campero y camioneta	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,14	0,02	0,66	0,04	0,002	0,03
Campero y camioneta	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,14	0,02	0,66	0,04	0,002	0,03
Campero y camioneta	Híbrido (Diésel - Eléctrico)	EURO IV	2015 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,14	0,02	0,66	0,04	0,00	0,03
Campero y camioneta	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	Mayor a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,14	0,02	0,66	0,04	0,002	0,03
Campero y camioneta	GNV	EURO II	2010 - 2022	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,53	0,06	0,09	0,001	0,000	0,001
Campero y camioneta	GNV	EURO II	2010 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,53	0,06	0,09	0,001	0,000	0,001
Campero y camioneta	Eléctrico	NA	NA	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Capacidad de Carga	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM _{2.5}
Campero y camioneta	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,87	0,23	0,94	0,29	0,002	0,26
Campero y camioneta	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,87	0,23	0,94	0,29	0,002	0,26
Campero y camioneta	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	3,66	0,54	0,40	0,003	0,018	0,003
Campero y camioneta	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	3,66	0,54	0,40	0,003	0,018	0,003
Campero y camioneta	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	3,66	0,54	0,40	0,003	0,018	0,003
Campero y camioneta	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	3,66	0,54	0,40	0,003	0,018	0,003
Campero y camioneta	Híbrido (Gasolina-Eléctrico)	EURO IV	Todos	Todos	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,072	0,001	0,005	0,001	0,011	0,001
Motocicleta	Gasolina	PRE-EURO	Todos	Menor de 100 cc	Motocicleta	2T	NA	Todos	16,51	10,73	0,02	0,21	0,006	0,21
Motocicleta	Gasolina	PRE-EURO	Todos	Entre 100 a 300 cc	Motocicleta	2T	NA	Todos	16,51	10,73	0,02	0,21	0,006	0,21
Motocicleta	Gasolina	PRE-EURO	Todos	Mayor de 300 cc	Motocicleta	2T	NA	Todos	16,51	10,73	0,02	0,21	0,006	0,21
Motocicleta	Gasolina	EURO II	2010-2017	Menor de 100 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	3,96	0,53	0,23	0,02	0,004	0,01
Motocicleta	Gasolina	EURO II	Mayor a 2017	Menor de 100 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	3,96	0,53	0,23	0,02	0,004	0,01
Motocicleta	Gasolina	EURO II	2010-2017	Entre 100 a 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	3,96	0,53	0,23	0,02	0,004	0,01
Motocicleta	Gasolina	EURO II	Mayor a 2017	Entre 100 a 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	3,96	0,53	0,23	0,02	0,004	0,01
Motocicleta	Gasolina	EURO II	2010-2017	Mayor de 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	3,05	0,55	0,12	0,02	0,009	0,01
Motocicleta	Gasolina	EURO II	Mayor a 2017	Mayor de 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	3,05	0,55	0,12	0,02	0,009	0,01

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Capacidad de Carga	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM _{2.5}
Motocicleta	Eléctrico	NA	Todos	NA	Motocicleta	NA	NA	Todos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Otros	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	NA	Buseta	NA	NA	Particular	1,39	0,08	8,61	0,18	0,011	0,12
Otros	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Buseta	NA	NA	Particular	6,95	2,83	18,59	1,30	0,012	1,24
Otros	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	NA	Buseta	NA	NA	Particular	8,99	8,75	0,50	0,004	0,069	0,003
Otros	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	NA	Buseta	NA	NA	Particular	4,68	7,09	0,11	0,001	0,069	0,001
Otros	GNV	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Busetón	NA	NA	Particular	8,40	7,00	16,50	0,14	0,000	0,08
Otros	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Buseta	NA	NA	Particular	28,50	14,52	2,37	0,004	0,059	0,003
Otros	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	NA	Busetón	NA	NA	Particular	1,89	0,11	12,05	0,20	0,015	0,14
Otros	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Busetón	NA	NA	Particular	8,81	1,66	32,60	1,32	0,016	1,26
Otros	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	NA	Busetón	NA	NA	Particular	8,99	8,75	0,50	0,004	0,069	0,003
Otros	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	NA	Busetón	NA	NA	Particular	4,68	7,09	0,11	0,001	0,069	0,001
Otros	GNV	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Buseta	NA	NA	Particular	8,40	7,00	16,50	0,14	0,000	0,08
Otros	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Busetón	NA	NA	Particular	28,50	14,52	2,37	0,004	0,059	0,003
Otros	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	NA	Microbús	NA	NA	Particular	0,28	0,04	3,00	0,05	0,002	0,05
Otros	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Microbús	NA	NA	Particular	3,00	0,88	10,57	0,40	0,002	0,36

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Capacidad de Carga	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM _{2.5}
Otros	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	NA	Microbús	NA	NA	Particular	8,99	8,75	0,50	0,004	0,069	0,003
Otros	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	NA	Microbús	NA	NA	Particular	4,68	7,09	0,11	0,001	0,069	0,001
Otros	GNV	EURO IV	2010 - 2022	NA	Microbús	NA	NA	Particular	1,00	1,30	10,00	0,13	0,000	0,07
Otros	GNV	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Microbús	NA	NA	Particular	8,40	7,00	16,50	0,14	0,000	0,08
Otros	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Microbús	NA	NA	Particular	28,50	14,52	2,37	0,004	0,059	0,003
Otros	Eléctrico	NA	NA	NA	Busetón	NA	NA	Público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SITP-Troncal	Diésel	EURO II	NA	NA	Articulado	NA	NA	Troncal	28,87	0,23	21,50	0,21	0,027	0,19
SITP-Troncal	Diésel	EURO III	NA	NA	Articulado	NA	NA	Troncal	33,36	0,22	17,14	0,19	0,027	0,17
SITP-Troncal	Diésel	EURO IV	NA	NA	Articulado	NA	NA	Troncal	15,30	0,14	15,02	0,09	0,027	0,08
SITP-Troncal	Diésel	EURO V	NA	NA	Articulado	NA	NA	Troncal	10,76	0,03	15,98	0,04	0,025	0,04
SITP-Troncal	Diésel	EURO V- CON FILTRO	NA	NA	Articulado	NA	NA	Troncal	10,76	0,03	15,98	0,03	0,025	0,03
SITP-Troncal	GNV	EURO VI	NA	NA	Articulado	NA	NA	Troncal	1,79	0,07	0,00005	0,000001	0,025	0,000001
SITP-Troncal	Diésel	EURO III	NA	NA	Biarticulado	NA	NA	Troncal	33,36	0,22	17,14	0,19	0,027	0,17
SITP-Troncal	Diésel	EURO IV	NA	NA	Biarticulado	NA	NA	Troncal	16,96	0,19	16,38	0,05	0,027	0,04
SITP-Troncal	Diésel	EURO V	NA	NA	Biarticulado	NA	NA	Troncal	7,27	0,11	16,66	0,07	0,025	0,07
SITP-Troncal	Diésel	EURO V- CON FILTRO	NA	NA	Biarticulado	NA	NA	Troncal	7,27	0,11	16,66	0,06	0,025	0,05
SITP-Troncal	GNV	EURO VI	NA	NA	Biarticulado	NA	NA	Troncal	1,79	0,07	0,00005	0,000001	0,025	0,000001
SITP-Troncal	Diésel	EURO V	NA	NA	Padrón dual	NA	NA	Troncal	13,83	0,16	6,54	0,08	0,025	0,07

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Capacidad de Carga	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM ₂₅
SITP-Troncal	Híbrido (Diésel - Eléctrico)	EURO V	NA	NA	Padrón dual	NA	NA	Troncal	6,34	0,16	14,32	0,03	0,960	0,03
SITP-Zonal	Eléctrico	NA	NA	NA	Busetón	NA	NA	Zonal-Alimentado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	NA	NA	Busetón	NA	NA	Zonal-Alimentado	6,76	0,03	11,82	0,13	0,027	0,12
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	NA	NA	Busetón	NA	NA	Zonal-Alimentado	6,76	0,03	7,43	0,13	0,025	0,12
SITP-Zonal	Diésel	EURO III	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	27,89	0,21	14,14	0,14	0,027	0,13
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	13,83	0,16	10,31	0,08	0,027	0,07
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	13,83	0,16	6,54	0,08	0,025	0,07
SITP-Zonal	Eléctrico	NA	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SITP-Zonal	GNV	EURO VI	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	1,79	0,07	0,00005	0,000001	0,025	0,000001
SITP-Zonal	Híbrido (Diésel - Eléctrico)	EURO V	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	6,34	0,16	14,32	0,03	0,96	0,03

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Capacidad de Carga	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM ₂₅
SITP-Zonal	Diésel	EURO II	NA	NA	Buseta	NA	NA	Zonal-urbano	11,04	0,23	27,96	0,24	0,027	0,21
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	NA	NA	Buseta	NA	NA	Zonal-urbano	1,08	0,01	11,40	0,08	0,027	0,07
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	NA	NA	Buseta	NA	NA	Zonal-urbano	1,08	0,01	7,16	0,08	0,025	0,07
SITP-Zonal	Diésel	EURO II	NA	NA	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	24,52	0,13	23,00	0,25	0,027	0,23
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	NA	NA	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	6,76	0,03	11,82	0,13	0,027	0,12
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	NA	NA	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	6,76	0,03	7,43	0,13	0,025	0,12
SITP-Zonal	Diésel	EURO VI	NA	NA	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	6,76	0,03	11,82	0,13	0,027	0,12
SITP-Zonal	Eléctrico	NA	NA	NA	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SITP-Zonal	GNV	EURO VI	NA	NA	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	1,79	0,07	0,00	0,00	0,025	0,03
SITP-Zonal	Diésel	EURO II	NA	NA	Microbús	NA	NA	Zonal-urbano	33,79	0,44	31,65	0,49	0,022	0,44
SITP-Zonal	Diésel	EURO II	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	24,61	0,23	15,19	0,21	0,027	0,19
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	13,83	0,16	10,31	0,08	0,027	0,07
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	13,83	0,16	6,54	0,08	0,025	0,07
SITP-Zonal	Diésel	EURO VI	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	0,23	0,01	0,68	0,01	0,030	0,005
SITP-Zonal	Eléctrico	NA	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Capacidad de Carga	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM _{2.5}
SITP-Zonal	GNV	EURO VI	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	1,79	0,07	0,00	0,00	0,025	0,00
SITP-Zonal	Híbrido (Diésel - Eléctrico)	EURO V	NA	NA	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	28,87	0,23	21,50	0,21	0,027	0,19
Taxis	Diésel	EURO I	1998 - 2009	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	0,60	0,08	0,72	0,11	0,001	0,09
Taxis	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	4,80	0,61	0,44	0,03	0,011	0,02
Taxis	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	4,80	0,61	0,44	0,03	0,011	0,02
Taxis	Gas-gasolina	EURO I	1998 - 2009	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	4,797	0,612	0,437	0,034	0,011	0,019
Taxis	Gas-gasolina	EURO I	1998 - 2009	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	4,797	0,612	0,437	0,034	0,011	0,019
Taxis	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	2,65	0,33	0,27	0,03	0,012	0,02
Taxis	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	2,65	0,33	0,27	0,03	0,012	0,02
Taxis	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	2,653	0,330	0,273	0,034	0,012	0,019
Taxis	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	2,653	0,330	0,273	0,034	0,012	0,019
Taxis	Eléctrico	NA	NA	NA	Taxis	NA	NA	Todos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Taxis	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	4,80	0,61	0,44	0,03	0,011	0,02
Taxis	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	4,80	0,61	0,44	0,03	0,011	0,02
Taxis	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	4,80	0,61	0,44	0,03	0,01	0,02
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	1,36	0,33	6,99	0,25	0,006	0,23

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Capacidad de Carga	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM _{2.5}
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	1,36	0,33	6,99	0,25	0,006	0,23
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	1,36	0,33	6,99	0,25	0,006	0,23
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	2,58	0,66	14,81	0,53	0,011	0,48
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	1,36	0,33	6,99	0,25	0,006	0,23
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	1,36	0,33	6,99	0,25	0,006	0,23
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	1,36	0,33	6,99	0,25	0,006	0,23
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	4,64	1,16	26,64	0,98	0,020	0,90
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	1,36	0,33	6,99	0,25	0,006	0,23
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	1,36	0,33	6,99	0,25	0,006	0,23
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	1,36	0,33	6,99	0,25	0,006	0,23
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998 - 2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	4,64	1,16	26,64	0,98	0,020	0,90
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Capacidad de Carga	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM _{2.5}
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	1,07	0,22	7,27	0,14	0,053	0,13
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	1,07	0,22	7,27	0,14	0,053	0,13
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	1,07	0,22	7,27	0,14	0,053	0,13
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	2,00	0,43	15,16	0,28	0,011	0,25
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	1,07	0,22	7,27	0,14	0,053	0,13
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	1,07	0,22	7,27	0,14	0,053	0,13
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	1,07	0,22	7,27	0,14	0,053	0,13
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	3,56	0,76	27,15	0,45	0,019	0,45
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	1,07	0,22	7,27	0,14	0,053	0,13
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	1,07	0,22	7,27	0,14	0,053	0,13
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010 - 2014	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes o mayor	Todos	3,56	0,76	27,15	0,45	0,019	0,45
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Capacidad de Carga	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM _{2.5}
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gas-gasolina	EURO II	2010 - 2022	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	0,64	0,04	4,19	0,04	0,006	0,03
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	0,64	0,04	4,19	0,04	0,006	0,03
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	0,64	0,04	4,19	0,04	0,006	0,03
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	1,24	0,08	8,30	0,06	0,012	0,06
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	0,64	0,04	4,19	0,04	0,006	0,03
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	0,64	0,04	4,19	0,04	0,006	0,03

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Capacidad de Carga	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM ₂₅
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	0,64	0,04	4,19	0,04	0,006	0,03
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	2,19	0,14	14,89	0,10	0,020	0,10
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	0,64	0,04	4,19	0,04	0,006	0,03
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes o mayor	Todos	2,19	0,14	14,89	0,10	0,020	0,10
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	0,80	0,48	0,53	0,011	0,000	0,01
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	0,80	0,48	0,53	0,011	0,000	0,01
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	0,80	0,48	0,53	0,011	0,000	0,01
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	0,80	0,48	0,53	0,011	0,000	0,01
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	1,18	0,70	0,78	0,01	0,000	0,01
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	3,54	1,48	9,53	0,64	0,006	0,58
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	3,54	1,48	9,53	0,64	0,006	0,58
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	3,54	1,48	9,53	0,64	0,006	0,58
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	5,61	1,23	24,42	0,88	0,012	0,80
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	3,54	1,48	9,53	0,64	0,006	0,58
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	3,54	1,48	9,53	0,64	0,006	0,58

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Capacidad de Carga	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM _{2.5}
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	3,54	1,48	9,53	0,64	0,006	0,58
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	4,59	1,05	39,63	1,20	0,022	1,09
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes o mayor	Todos	4,59	1,05	39,63	1,20	0,022	1,09
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	7,34	5,11	9,91	0,001	0,064	0,001
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	NA	Buseta	NA	NA	Oficial	1,39	0,08	8,61	0,18	0,011	0,12
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2011 - 2022	NA	Buseta	NA	NA	Público	1,39	0,08	8,61	0,18	0,011	0,12
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Buseta	NA	NA	Oficial	6,95	2,83	18,59	1,30	0,012	1,24

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Capacidad de Carga	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM ₂₅
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Buseta	NA	NA	Público	6,95	2,83	18,59	1,30	0,012	1,24
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	NA	Buseta	NA	NA	Oficial	8,99	8,75	0,50	0,004	0,069	0,003
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	NA	Buseta	NA	NA	Público	8,99	8,75	0,50	0,004	0,069	0,003
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	NA	Buseta	NA	NA	Oficial	4,68	7,09	0,11	0,001	0,069	0,001
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	NA	Buseta	NA	NA	Público	4,68	7,09	0,11	0,001	0,069	0,001
Transporte de especial	GNV	EURO IV	2010 - 2022	NA	Busetón	NA	NA	Público	1,00	1,30	10,00	0,13	0,000	0,07
Transporte de especial	GNV	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Busetón	NA	NA	Público	8,40	7,00	16,50	0,14	0,000	0,08
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Buseta	NA	NA	Oficial	28,50	14,52	2,37	0,004	0,059	0,003
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Buseta	NA	NA	Público	28,50	14,52	2,37	0,004	0,059	0,003
Transporte de especial	Eléctrico	NA	NA	NA	Busetón	NA	NA	Oficial	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
Transporte de especial	Eléctrico	NA	NA	NA	Busetón	NA	NA	Particular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,000	0,00
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2015 – 2022	NA	Busetón	NA	NA	Oficial	1,89	0,11	12,05	0,20	0,015	0,14
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2011 - 2022	NA	Busetón	NA	NA	Público	1,89	0,11	12,05	0,20	0,015	0,14
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Busetón	NA	NA	Público	8,81	1,66	32,60	1,32	0,016	1,26
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Busetón	NA	NA	Oficial	8,81	1,66	32,60	1,32	0,016	1,26

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Capacidad de Carga	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM ₂₅
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	NA	Busetón	NA	NA	Público	8,99	8,75	0,50	0,004	0,069	0,003
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	NA	Busetón	NA	NA	Oficial	8,99	8,75	0,50	0,004	0,069	0,003
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	NA	Busetón	NA	NA	Oficial	4,68	7,09	0,11	0,001	0,069	0,001
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	NA	Busetón	NA	NA	Público	4,68	7,09	0,11	0,001	0,069	0,001
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Busetón	NA	NA	Oficial	28,50	14,52	2,37	0,004	0,059	0,003
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Busetón	NA	NA	Público	28,50	14,52	2,37	0,004	0,059	0,003
Transporte de especial	GNV	EURO IV	2010 - 2022	NA	Buseta	NA	NA	Público	1,00	1,30	10,00	0,13	0,000	0,07
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2015 - 2022	NA	Microbús	NA	NA	Oficial	0,28	0,04	3,00	0,05	0,002	0,05
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2011 - 2022	NA	Microbús	NA	NA	Público	0,28	0,04	3,00	0,05	0,002	0,05
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Microbús	NA	NA	Oficial	3,00	0,88	10,57	0,40	0,002	0,36
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Microbús	NA	NA	Público	3,00	0,88	10,57	0,40	0,002	0,36
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	NA	Microbús	NA	NA	Oficial	8,99	8,75	0,50	0,004	0,069	0,003
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998 - 2009	NA	Microbús	NA	NA	Público	8,99	8,75	0,50	0,004	0,069	0,003
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	NA	Microbús	NA	NA	Oficial	4,68	7,09	0,11	0,001	0,069	0,001
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 - 2022	NA	Microbús	NA	NA	Público	4,68	7,09	0,11	0,001	0,069	0,001

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Capacidad de Carga	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM ₂₅
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Microbús	NA	NA	Oficial	28,50	14,52	2,37	0,004	0,059	0,003
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Microbús	NA	NA	Público	28,50	14,52	2,37	0,004	0,059	0,003
Transporte de especial	GNV	EURO IV	2010 - 2022	NA	Microbús	NA	NA	Público	1,00	1,30	10,00	0,13	0,000	0,07
Transporte de especial	GNV	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Microbús	NA	NA	Oficial	8,40	7,00	16,50	0,14	0,000	0,08
Transporte de especial	GNV	PRE-EURO	Antes de 1998	NA	Microbús	NA	NA	Público	8,40	7,00	16,50	0,14	0,000	0,08

*Nota Técnica: Para la actualización de este inventario no fue posible realizar el ajuste al calendario de ingreso normativo para las motocicletas, por lo que en la futura actualización deberá aplicarse el ajuste teniendo en cuenta la normatividad del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en sus respectivas vigencias (Resolución 910/2008, Resolución 762/2022).

Elaboración propia

A.2. Estimación de emisiones Bottom-Up

La desagregación espacio temporal de las emisiones de fuentes móviles para el año 2023 se estimaron empleando el “Modelo Estratégico para el Desarrollo de Inventarios de emisiones Atmosféricas - MEDINA²”, que hace parte Sistema de Modelación Atmosférica de Bogotá – SMA; como parte del procesamiento de este tipo de emisiones, este modelo de emisiones realizó los siguientes análisis.

A.1.5. Diagnóstico de conteos vehiculares

El modelo de emisiones MEDINA cuenta a su vez con sub-módulos dedicados a tareas específicas. Este es el caso de la estimación de emisiones de fuentes móviles, se utilizó el sub-módulo MEDINA-FM-CATS para analizar los conteos vehiculares del año 2023 proporcionados por la Secretaría Distrital de Movilidad -SDM-. Este análisis permitió determinar las categorías vehiculares inmersas en dichos conteos, y con base en dichos resultados, se homologaron y unificaron las categorías vehiculares en las categorías establecidas en la Tabla A-4. Esta homologación fue necesaria, dado que las categorías vehiculares en las que se clasificaban los conteos variaban significativamente año a año. Para este año se realiza la consolidación de la categoría de camiones por medio de la información enviada por la SDM, donde se obtuvieron nuevos porcentajes según las categorías de camiones, las cuales fueron integradas en este inventario, realizando la multiplicación de estas categorías por el porcentaje enviado, como se evidencia para las categorías C2, C3 Y C4+.

Tabla A-4. Categorías Vehiculares homologadas de los conteos vehiculares.

Categoría en los conteos	Abreviatura de Secretaría de Movilidad	Abreviatura dentro del módulo
Camiones de 4 ejes o más.	>=C4	C4+
Camiones de 4 ejes.	>C4	C4+
Camiones > 5 ejes.	>C5	C4+
Camiones de más de 5 ejes.	>C5	C4+
Camiones de más de 6 ejes.	>C6	C4+
Alimentador.	AL	AL
Articulado.	AT	AT
Articulados.	AT	AT
Servicio troncal.	AT	AT
Bicicletas.	B	BIC
Buses.	B	BS
Biarticulados.	BA	BA
Bicicletas.	BIC	BIC
Bus padrón.	BP	BS
Buseta/Buse ton.	BT	BS
Buseta/Buseton.	BT	BS
Buses.	BUS	BS
Camiones.	C	C2
Colectivos.	C	BS
Camiones de 2 ejes.	C2	C2
Camiones de 2 ejes grandes.	C2G	C2

² El Modelo de Emisiones MEDINA hace parte del Sistema de Modelación Atmosférica de Bogotá y permite desagregar espacial y temporalmente las fuentes de emisión de la ciudad. Este modelo esta dividido en distintos módulos, entre ellos el módulo MEDINA-FM permite estimar las emisiones para fuentes móviles ‘on-road’ para Combustión, material resuspendido y desgaste de freno y llantas.

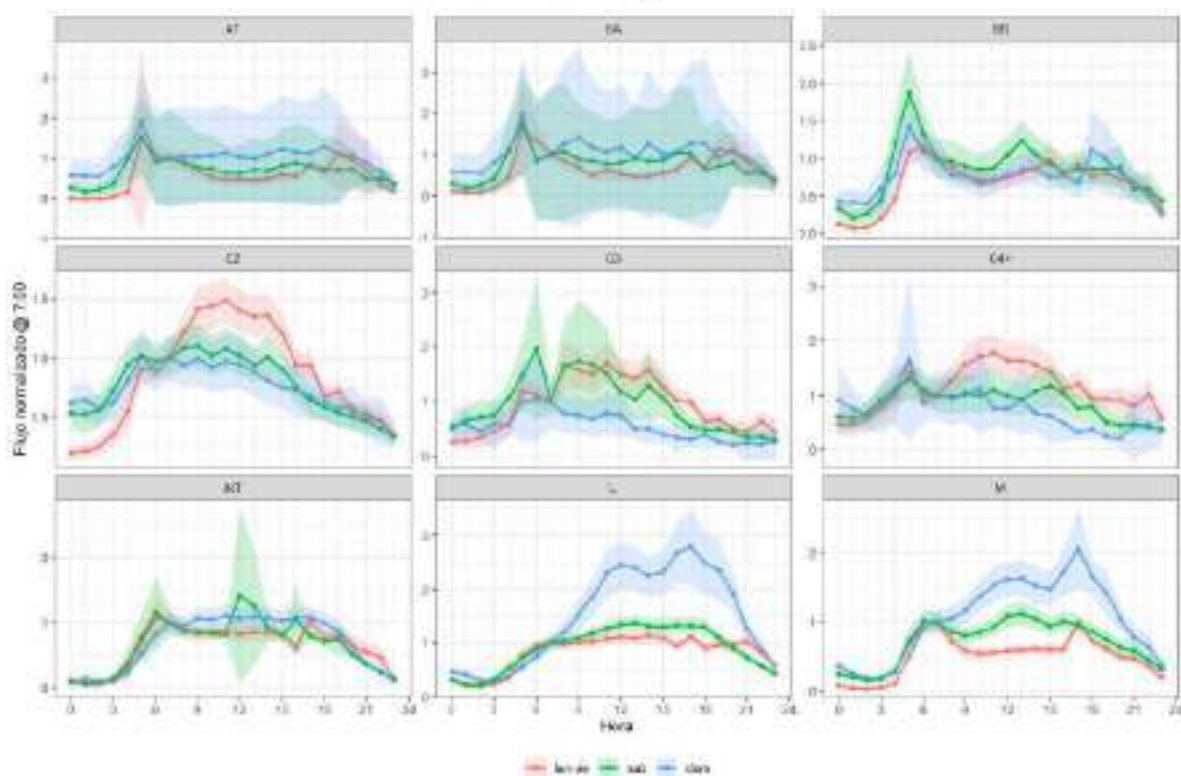
<i>Categoría en los conteos</i>	<i>Abreviatura de Secretaría de Movilidad</i>	<i>Abreviatura dentro del módulo</i>
Camiones de 2 ejes grande.	C2G	C2
Camiones de 2 ejes.	C2P	C2
Camiones de 2 ejes pequeño.	C2P	C2
Camiones de 2 ejes.	C2P Y C2G	C2
Camiones de 2 ejes pequeños y grandes.	C2P Y C2G	C2
Camiones de 3 ejes.	C3	C3
Camiones de 3 y 4 ejes.	C3-C4	C3
Camiones de 4 ejes.	C4	C4+
Camiones de 5 ejes.	C5	C4+
Camiones de 6 ejes.	C6	C4+
Camiones.	CAM	C2=0.8217·CAM C3=0.0623·CAM C4+=0.1150·CAM
Camiones.	CAM	C2=0.8217·CAM C3=0.0623·CAM C4+=0.1150·CAM
Camiones.	CAMIONES	C2=0.8217·CAMIONES C3=0.0623·CAMIONES C4+=0.1150·CAMIONES
Ciclos con motor.	CM	M
Ciclos sin motor.	CSM	BIC
Dual.	D	BS
Especial liviano de 1 a 4 pasajeros.	EL1	L
Especial liviano de 1 a 4 pasajeros.	EL1	L
Vehículos de servicio especial de pasajeros [hasta 4] tipología automóvil placa Bogotá.	EL1_BOGOTÁ	L
Vehículos de servicio especial de pasajeros [hasta 4] tipología automóvil placa otras ciudades.	EL1_OTROS	L
Especial liviano de 5 a 7 pasajeros.	EL2	L
Especial liviano de 5 a 7 pasajeros.	EL2	L
Vehículos de servicio especial de pasajeros [entre 5-7] tipología automóvil placa Bogotá.	EL2_BOGOTÁ	L
Vehículos de servicio especial de pasajeros [entre 5-7] tipología automóvil placa otras ciudades.	EL2_OTROS	L
Especial liviano de > 7 pasajeros.	EL3	L
Especial liviano de > 7 pasajeros.	EL3	L
Vehículos de servicio especial de pasajeros [mayor a 7] tipología automóvil placa Bogotá.	EL3_BOGOTÁ	L
Vehículos de servicio especial de pasajeros [mayor a 7] tipología automóvil placa otras ciudades.	EL3_OTROS	L
Especial liviano desocupado.	ELD	L
Especial liviano ocupado.	ELO	L
Bus especial.	ESP	BS
Vehículos servicio especial (placa blanca).	ESP	L
Bus intermunicipal.	INT	INT
Intermunicipales.	INT	INT
Transporte intermunicipal.	INT	INT
Automóviles.	L	L
Automóviles.	L	L
Livianos.	L	L
Livianos.	L	L
Particulares.	L	L
Liviano.	L	L
Livianos.	L	L

<i>Categoría en los conteos</i>	<i>Abreviatura de Secretaría de Movilidad</i>	<i>Abreviatura dentro del módulo</i>
Livianos.	LIV	L
Motos.	M	M
Ciclos con motor.	MOTOS	M
Vehículos servicio especial (placa blanca).	OESP	L
Otros.	OT	
Otros especiales placa Bogotá.	OT_BOGOTÁ	L
Otros especiales placa otras ciudades	OT_OTROS	L
Vehículos servicio especial (placa blanca).	OTROS ESP	L
Livianos.	P	L
Livianos.	P	L
Particulares.	P	L
Vehículos livianos particulares.	PA	L
Transporte público colectivo.	PROV	BS
Sistema integrado de transporte.	SITP	BS
Vehículos sistema integrado transporte público (sobre calzada mixta).	SITP	BS
Servicio troncal.	ST	BA=0.63·ST AT=0.37·ST
Taxis.	T	L
Taxis amarillos.	TA	L
Vehículo de transporte público individual.	TAXI	L
Sistema de transporte masivo	TM	BA=0.63·TM AT=0.37·TM
Transporte público masivo (sobre troncal Transmilenio)	TM	BA=0.63·TM AT=0.37·TM
Transporte público colectivo	TPC	BS

Elaboración propia

Un inconveniente presentado en los conteos vehiculares de la ciudad es que dichos conteos para el año 2023 no cuentan valores para las 24 horas del día, la cual es una información requerida para obtener los perfiles horarios de las emisiones. La metodología utilizada para obtener esta información faltante consiste en utilizar los valores disponibles de los conteos vehiculares y normalizarlos por categoría vehicular con respecto a los conteos de las 07:00 horas³ para el año 2023, empleado el aplicativo MEDINA-FM-PFL; posteriormente se utiliza esta información para extrapolar las horas faltantes obteniendo los perfiles horarios deseados empleando los flujos vehiculares de la hora a la cual se normalizaron los flujos. Los perfiles normalizados para las 24 horas del día se presentan en la siguiente gráfica (el área sombreada representa un intervalo de confianza de 95%).

³ Se toman los conteos de esta hora como variable para normalizar, dado que la mayoría de los conteos presentan información para esta hora del día.

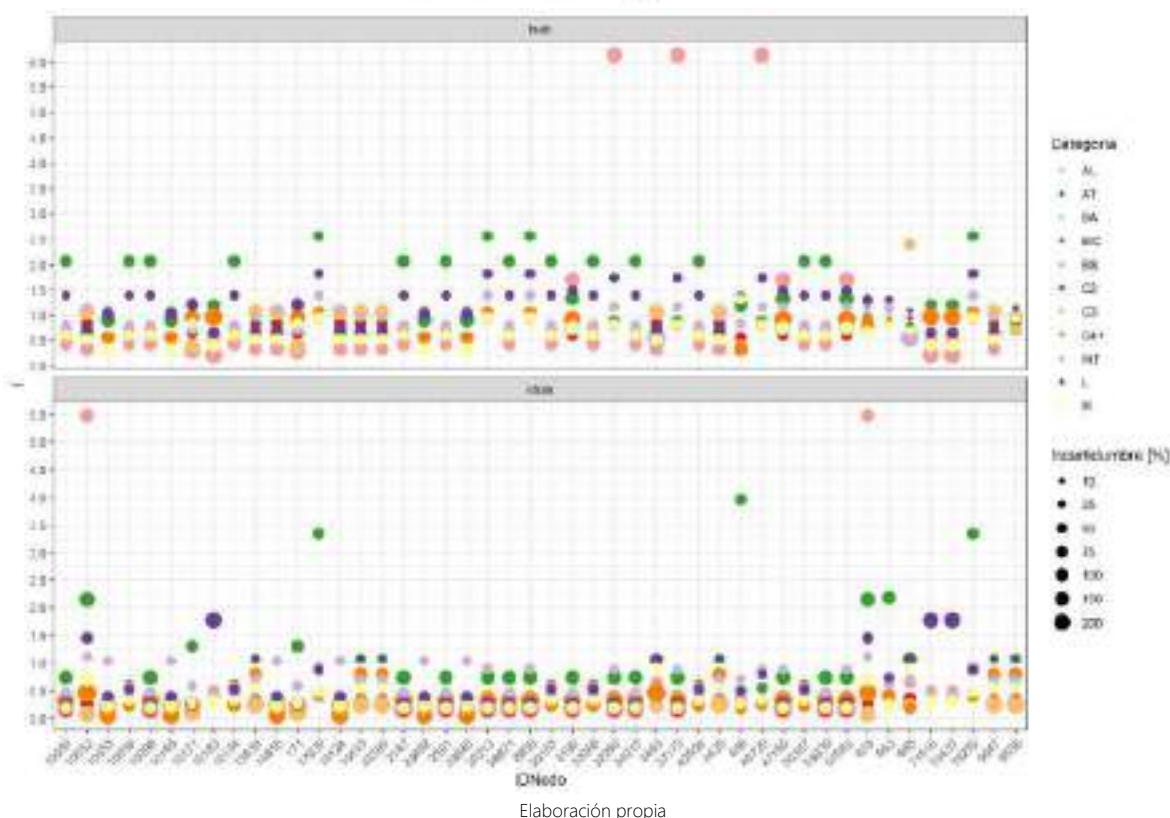


Elaboración propia basada en información de conteos vehiculares de la Secretaría Distrital de Movilidad

Figura A-2. Perfiles de conteos vehiculares normalizados con respecto a los flujos de las 07:00 para toda la ciudad, por categorías vehiculares y día de la semana, con datos de conteos de 2023.

Finalmente, dentro de este diagnóstico, se realizó la estimación de los valores para cada uno de los nodos⁴ en los días en los que no se realizaron los conteos. Este ejercicio se realiza determinando las proporciones de flujo a la hora de normalización, para cada uno de los nodos en el 2023, entre los flujos en la hora de normalización del sábado con respecto a los días hábiles (*Isab*), y las proporciones entre los flujos en la hora de normalización del domingo con respecto a los días hábiles (*Idom*); cuando el nodo no cuenta con valores de *Isab* o *Idom*, son asignados de acuerdo con la cercanía del nodo más cercano (Interpolación Voronoi). la descripción de los nodos se encuentra detallada en la siguiente sección del documento.

⁴ Punto donde se realiza el conteo vehicular



Elaboración propia

Figura A-3. Proporciones *Isab* e *Idom* para extrapolar conteos realizados en el año 2023 para los fines de semana.

A.1.6. Análisis de conteos vehiculares

Por medio del aplicativo MEDINA, del submódulo MEDINA-FM-PRE, se extrajeron de los archivos originales los conteos vehiculares para cada punto de medición o nodo realizado para el año 2023, los cuales se describen en la Tabla A-5 y son visualizados en la Figura A-4. En la Tabla A-5 se caracteriza cada uno de los nodos los carriles totales contados sin contar con los carriles de Transmilenio, ya que estos carriles son exclusivos y por la metodología planteada, se tiene en cuenta el número de carriles por donde puede pasar cualquier tipo de vehículo.

Tabla A-5 Nodos vehiculares analizados en los conteos 2023 realizados por la SDM.

ID Nodo	Latitud	Longitud	Carriles totales contados ^a
13134	4.712783055	-74.03266694	12
13635	4.711057	-74.072038	10
14816	4.706730556	-74.05387222	16
15151	4.705483333	-74.04878889	8
15703	4.703431389	-74.0328975	12
16184	4.701348	-74.11371	6
16548	4.700015278	-74.0700633	16
17698	4.6943619	-74.1689942	6
17708	4.6954111	-74.0890914	7
1800	4.578082	-74.141444	8
18701	4.691094	-74.099885	4
20399	4.68394	-74.079109	12
23282	4.672068611	-74.09506	4
23940	4.66956527	-74.0601033	10

<i>ID Nodo</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>	<i>Carriles totales contados^a</i>
24093	4.669018	-74.063374	12
24628	4.666689	-74.0785	4
25392	4.661998	-74.04704	4
26213	4.653675	-74.10341111	18
26487	4.652031	-74.078211	14
26653	4.666468	-74.061549	5
27582	4.646351	-74.130243	8
2908	4.642915	-74.119753	4
29163	4.640404722	-74.06630111	8
292246	4.640071	-74.122129	4
29246	4.640071	-74.122129	4
30049	4.63736	-74.118311	14
30932	4.63455555	-74.11480833	14
3190	4.598412	-74.107125	18
33136	4.628388	-74.116781	18
33433	4.62745	-74.10762778	8
33913	4.626334	-74.095892	4
34013	4.626002778	-74.0938	14
3493	4.751602778	-74.04660278	16
36051	4.621341	-74.067105	4
36487	4.652031	-74.078211	14
38344	4.616165	-74.085804	12
39005	4.614962	-74.114627	7
42508	4.606875	-74.07383889	10
42711	4.606426944	-74.11918528	6
466	4.809361944	-74.03681556	6
46720	4.5966425	-74.1830544	6
47160	4.594947222	-74.13775278	16
50790	4.584306	-74.109688	4
51809	4.581286	-74.102505	4
52138	4.580430555	-74.14236	12
5847	4.741792	-74.090207	6
60918	4.557719	-74.122236	4
633	4.7867111	-74.0919077	2
663	4.7867111	-74.0919078	2
695	4.783763889	-74.02801028	2
69782	4.521845	-74.123746	6
70116	4.517792	-74.121843	8
70951	4.511329	-74.121276	8
71277	4.509168	-74.116068	12
71518	4.507877778	-74.11399444	8
74350	4.484429	-74.098543	2
74437	4.484549	-74.099239	6
75270	4.659416667	-74.13586111	12
9657	4.727235	-74.125926	6

a. Dentro de los carriles contados, no se encuentran los carriles exclusivos de tránsito de SITP – Troncal (Transmilenio)
Elaboración propia

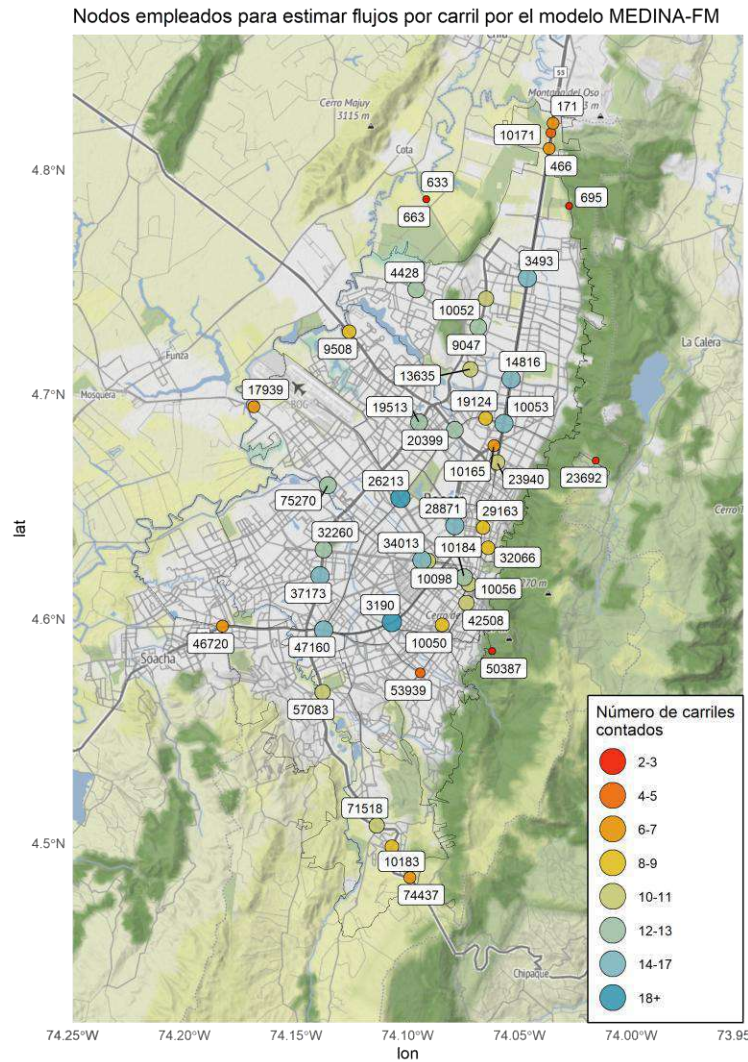
Dentro de la extracción de los conteos del 2023, se realizan las homologaciones respectivas según la Tabla A-4 y se almacenan los conteos por fecha, nodo y cantidad de vehículos por categoría y hora. Al cruzar los conteos para cada uno de los nodos con sus respectivos valores de carriles totales, excluyendo los carriles de Transmilenio, se estiman los conteos vehiculares por carril, empleando la siguiente expresión:

$$FC_{h,i,k} = \frac{F_{h,i,k}}{C_k}$$

Ecuación A.2.1

Donde:

- $FC_{h,i,k}$ Flujos vehiculares por carril para la hora 'h', de la categoría 'i', en el nodo 'k' (Veh/carril-h)
- $F_{h,i,k}$ Flujos vehiculares totales para la hora 'h', de la categoría 'i', en el nodo 'k' (Veh/-h)
- C_k Número de carriles totales en los cuales se realizaron conteos en el nodo 'k', sin incluir carriles TM (carril)



Elaboración propia

Figura A-4. Nodos vehiculares analizados en los conteos vehiculares del año 2023 de SDM.

En los casos en los cuales los conteos no registraron flujos en horas específicas, estos flujos por carril fueron extrapolados con los perfiles horarios promedio de la ciudad por categoría normalizados (ver Figura A-3), por medio de la siguiente expresión:

$$FC_{h,i,k,w} = FC_{07:00,i,k,w} \cdot FN_{h,i,w}$$

A.2.2

Ecuación

Donde:

- $FC_{h,i,k,w}$ Flujos vehiculares por carril para la hora 'h', de la categoría 'i', en el nodo 'k', en el día 'w' (Veh/carril-h)
- $FC_{07:00,i,k,w}$ Flujos vehiculares por carril para la hora 07:00, de la categoría 'i', en el nodo 'k', en el día 'w' (Veh/carril-h)
- $FN_{h,i,w}$ Flujo normalizado para la hora 'h', de la categoría 'i', en el día 'w' (-/-)

Luego de la extrapolación de las horas faltantes en los conteos, se emplearon los factores de proporcionalidad *Isab* e *Idom*, según el nodo, para extrapolar conteos a días en los cuales no se realizaron conteos.

Finalmente, los flujos por carril se dividieron en subcategorías y por tipo de combustible, empleando factores de proporcionalidad enlistados en la siguiente tabla. Esta información es obtenida del inventario de vehículos utilizado en la metodología Top-Down de la sección A.1 de este documento.

Tabla A-6. División de categorías en subcategorías que incluyen combustibles.

Categoría	Subcategoría	Nombre Subcategoría	2018	2020	2021	2022	2023
AL	AL_DSEL	Alimentador - Diesel	49.21%	49.21%	49.21%	49.21%	49.21%
	AL_ELEC	Alimentador - Eléctrico	37.38%	37.38%	37.38%	37.38%	37.38%
	AL_GNV	Alimentador - Gas Natural Vehicular	13.40%	13.40%	13.40%	13.40%	13.40%
AT	AT_DSEL	Articulados - Diesel	99.86%	84.52%	84.41%	81.45%	81.22%
	AT_ELEC	Articulados - Eléctrico	0.07%	0.09%	0.09%	0.10%	0.10%
	AT_GNV	Articulados - Gas Natural Vehicular	0.07%	15.40%	15.50%	18.44%	18.67%
BA	BA_DSEL	Biarticulados - Diesel	99.72%	57.51%	57.51%	57.48%	57.45%
	BA_ELEC	Biarticulados - Eléctrico	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	BA_GNV	Biarticulados - Gas Natural Vehicular	0.28%	42.49%	42.49%	42.52%	42.55%
BS	BS_DSEL	Buses SITP - Diesel	26.08%	24.25%	26.37%	25.52%	24.35%
	BS_ELEC	Buses SITP - Eléctrico	0.00%	1.39%	1.93%	5.81%	5.84%
	BS_GNV	Buses SITP - Gas Natural Vehicular	0.01%	2.57%	4.12%	4.91%	5.50%
	BS_HBD	Buses SITP - Diesel - Eléctrico	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	ESB_DSEL	Buses Especiales - Diesel	40.23%	36.55%	29.00%	26.04%	26.27%
	ESB_ELEC	Buses Especiales - Eléctrico	0.01%	0.02%	0.02%	0.04%	0.04%
	ESB_GAS	Buses Especiales - Gasolina	30.16%	29.29%	32.03%	31.25%	31.50%
	ESB_GNV	Buses Especiales - Gas Natural Vehicular	2.33%	4.74%	5.22%	5.14%	5.18%
	ESB_HBD	Buses Especiales - Diesel - Eléctrico	1.18%	1.19%	1.31%	1.31%	1.02%
C2	C2_DSEL	Camiones 2 Ejes - Diesel	94.50%	94.00%	94.00%	94.00%	94.00%
	C2_ELEC	Camiones 2 Ejes - Eléctrico	0.00%	0.46%	0.46%	0.46%	0.46%
	C2_GAS	Camiones 2 Ejes - Gasolina	2.10%	2.10%	2.10%	2.10%	2.10%
	C2_GNV	Camiones 2 Ejes - Gas Natural Vehicular	3.40%	3.40%	3.40%	3.40%	3.40%
	C2_HBD	Camiones 2 Ejes - Diesel - Eléctrico	0.00%	0.04%	0.04%	0.04%	0.04%

Categoría	Subcategoría	Nombre Subcategoría	2018	2020	2021	2022	2023
C3	C3_DSEL	Camiones 3 Ejes - Diesel	86.70%	86.51%	86.55%	86.54%	86.82%
	C3_GAS	Camiones 3 Ejes - Gasolina	13.17%	13.36%	13.31%	13.32%	13.11%
	C3_GNV	Camiones 3 Ejes - Gas Natural Vehicular	0.12%	0.13%	0.14%	0.15%	0.07%
C4+	C4+_DSEL	Camiones 4 Ejes o más - Diesel	90.00%	90.00%	87.50%	87.50%	87.50%
	C4+_GAS	Camiones 4 Ejes o más - Gasolina	10.00%	10.00%	12.50%	12.50%	12.50%
INT	INT_DSEL	Intermunicipal - Diesel	55.30%	51.77%	43.75%	41.69%	41.71%
	INT_ELEC	Intermunicipal - Eléctrico	0.02%	0.03%	0.03%	0.06%	0.06%
	INT_GAS	Intermunicipal - Gasolina	41.47%	41.48%	48.34%	50.03%	50.01%
	INT_GNV	Intermunicipal - Gas Natural Vehicular	3.20%	6.72%	7.88%	8.23%	8.22%
L	AUT_DSEL	Automóvil - Diesel	0.05%	0.05%	0.05%	0.05%	0.05%
	AUT_ELEC	Automóvil - Eléctrico	0.02%	0.05%	0.06%	0.08%	0.09%
	AUT_ETA	Automóvil - Etanol	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	AUT_GAS	Automóvil - Gasolina	64.62%	63.56%	62.82%	62.17%	61.73%
	AUT_GNV	Automóvil - Gas Natural Vehicular	0.24%	0.22%	0.21%	0.21%	0.20%
	AUT_H2	Automóvil - Hidrogeno	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	AUT_HBD	Automóvil - Diesel - Eléctrico	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	AUT_HBG	Automóvil - Híbrido (Gasolina - Eléctrico)	0.00%	0.04%	0.15%	0.27%	0.36%
	CC_DSEL	Campero y Camioneta - Diesel	3.79%	4.05%	4.12%	4.17%	4.22%
	CC_ELEC	Campero y Camioneta - Eléctrico	0.00%	0.01%	0.01%	0.04%	0.07%
	CC_GAS	Campero y Camioneta - Gasolina	27.67%	28.57%	28.96%	29.09%	29.23%
	CC_GLP	Campero y Camioneta - GLP	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	CC_GNV	Campero y Camioneta - Gas Natural Vehicular	0.90%	0.83%	0.79%	0.77%	0.75%
	CC_H2	Campero y Camioneta - Hidrogeno	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	CC_HBD	Campero y Camioneta - Híbrido (Diesel - Eléctrico)	0.00%	0.01%	0.01%	0.01%	0.01%
	CC_HBG	Campero y Camioneta - Híbrido (Gasolina - Eléctrico)	0.00%	0.04%	0.28%	0.59%	0.80%
	TX_DSEL	Taxis - Diesel	0.02%	0.03%	0.03%	0.03%	0.03%
	TX_ELEC	Taxis - Eléctrico	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	TX_GAS	Taxis - Gasolina	1.97%	1.91%	1.88%	1.91%	1.88%
	TX_GNV	Taxis - Gas Natural Vehicular	0.71%	0.63%	0.61%	0.60%	0.58%
M	M_ELEC	Motocicleta - Eléctrico	0.06%	0.06%	0.07%	0.08%	0.08%
	M_GAS	Motocicleta - Gasolina	99.94%	99.94%	99.93%	99.92%	99.92%

Elaboración propia

A.1.7. Distribución espacial de los conteos

Para la distribución espacial de los conteos a toda la ciudad, se empleó el módulo MEDINA-FM-GIS, el cual emplea archivos de información geográfica de las vías de Bogotá, con el atributo de número de carriles en las vías principales. El procedimiento inmerso dentro del módulo es el siguiente:

- **Atributos iniciales del archivo de información geográfica de vías:** Se empleó el archivo 'ESRI Shapefile' provisto por el Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá (IDU), el cual consta

de objetos poligonales que representan la longitud y el ancho de cada una de las vías y el cual está actualizado para el año 2021. En la siguiente tabla se describen los atributos de relevancia usados en la estimación del inventario.

Tabla A-7. Atributos del archivo shape de la malla vial de la ciudad e Bogotá

Nombre del atributo	Descripción
INDICE201	Valor numérico que va de 0 a 100 para establecer numéricamente el estado de cada una de las vías; este índice toma valor de -1 en todas aquellas secciones de vía que no ha sido posible cuantificar, por diversos motivos, el estado de cada una de las vías
CLASIFICAC	Atributo que corresponde al tipo de vía, los cuales pueden ser Troncal, Arterial, Intermedia, Local, principal rural, o secundaria rural.
SHAPE_LEN	Atributo que representa el perímetro de cada uno de los polígonos
SHAPE_AREA	Atributo que establece el área de cada uno de los polígonos.
TM	Atributo que clasifica cada polígono en SI (Polígono exclusivo de tránsito de AT y BA), MIXTO (polígono de tráfico mixto entre AT, BA y demás tipologías vehiculares) y NULL (no tiene tráfico de AT ni BA). Este atributo no hace parte del archivo original del IDU y corresponde al cruce de información a las troncales de Transmilenio provistas por Transmilenio S.A.
INT	Atributo que clasifica cada polígono en SI (polígonos por los que pasan rutas intermunicipales) y NULL (polígonos por los cuales no pasan vehículos intermunicipales). Esta información fue agregada al archivo original del IDU y corresponde al cruce de información proporcionada por la Secretaría Distrital de Movilidad.
AL	Atributo que clasifica cada uno de los polígonos en SI (polígonos por los que pasan rutas alimentadoras de Transmilenio) y NULL (polígonos por los cuales no pasan rutas alimentadoras de Transmilenio). Esta información fue agregada al archivo original del IDU y fue provista por Transmilenio S.A.
SITP	Atributo que clasifica cada uno de los polígonos en SI (polígonos por los que pasan las rutas de los buses) y NULL (polígonos por los cuales no pasan rutas de buses). Esta información fue agregada al archivo original del IDU y fue provista por Transmilenio S.A.
VSP	Atributo en el cual se establece si una vía está pavimentada (P) o no pavimentada (NP), este atributo a su vez depende de una revisión visual de la categorización de vías no pavimentadas.

Elaboración propia

- **Procesamiento inicial de información geográfica:** a la información vial se le añaden los siguientes atributos:
 - a) La ubicación de una malla de distribución de emisiones de 1 km x 1 km, el uso de suelo.
 - b) Categorización de cada una de las vías por uso de suelo, las cuales se dividen en: Central, Comercio y servicios, dotacional, industrial, minero, residencial, y urbana integral.
 - c) Se realiza la asignación de cada objeto a una celda del enmallado empleado para los modelos de calidad de aire
 - d) Con SHAPE_LEN (P) y SHAPE_AREA (A), se estima la longitud (Km) y el ancho de las vías por medio de la resolución de una ecuación cuadrática $-2x^2 + Px - 2A$; la menor de las raíces se asume como el ancho de la vía (W) y la raíz mayor como la longitud (L). Asumiendo un ancho por carril (Wc) de 3.5m, se estimó el número de carriles para cada uno de los polígonos con la relación W/Wc.
 - e) Se categorizan las vías como principales y secundarias, siendo las vías principales todas aquellas que corresponden a la clasificación del IDU (CLASIFIC dentro del

archivo geográfico) de Troncal, Arterial y Principal rural, siendo las demás clasificaciones asignadas a vías secundarias.

- f) En este análisis también se estiman los valores de Carga de Sedimentos para vías pavimentadas (Cs) y porcentaje de PM sujeto a resuspenderse (%S), proceso que se detalla en la sección D.1.2 de estimación de material particulado resuspendido en la malla vial.
- **Extrapolación de flujos por carril (FCL):** La extrapolación de flujos a cada uno de los polígonos se realizó con el módulo MEDINA-FM-FLX, en el cual se realizan los siguientes procedimientos inmersos. Para cada polígono 'k', que representa cada segmento de vía, se extrapola el flujo por carril (FCL) para cada uno de los nodos en los cuales se tienen conteos, por medio de la metodología IDW. Cuando las categorías son AT, BA, AL e INT, no se tienen en cuenta los conteos de los nodos vehiculares donde no se contabilizaron estos tipos de vehículos; por otro lado, si solo existe un nodo con conteos vehiculares para una categoría específica, estos valores se toman como fijos para toda la ciudad.
 - **Número de carriles (NC):** Se toman los valores de número de carriles estimados en el procesamiento geográfico, sin embargo, dependiendo de las categorías, se hacen las siguientes modificaciones a este valor:
 - a) Si el polígono tiene una clasificación en el atributo TM de MIXTO, el valor de NC es 1, dado que se asume que en las vías con tráfico mixto de Transmilenio y otras categorías se mueven únicamente por un carril.
 - b) Para AL, NC siempre tendrá un valor de 1, ya que se asume que solo ocupan un carril en todas las rutas de alimentación
 - c) Para BS, se asume NC=1 en las rutas de los buses que pasen por vías secundarias.
 - **Factor de corrección a vías secundarias (FD):** El valor de FD depende de la categoría vehicular y otros factores que se exponen a continuación:
 - a) FD es 1 siempre en las vías principales, independiente de la categoría
 - b) Para TM, FD siempre será 1, ya que se asume que las rutas troncales no pasan por vías secundarias
 - c) Para AL e INT, FD siempre será 1, ya que los alimentadores y buses intermunicipales recorren una ruta específica, por lo que la corrección al flujo por las vías secundarias NA
 - d) Para BS, FD tiene un valor de 1/10, este factor es estimado basado en la proporción de rutas que pasan por vías principales y rutas que pasan por vías secundarias en un área de 5 km a la redonda de cada nodo.
 - e) Para las categorías AUT, CC, TX, ESL, ESB, M, C2, C3 y C4+, se empleó la siguiente ecuación para las vías Intermedias.

$$FD_{j,k} = \max(A_j \cdot \exp(-B_j \cdot Fdt_k), C_j)$$

Ecuación A.2.3

En donde:

$FD_{j,k}$	Factor de Corrección para las vías secundarias de la subcategoría 'j', en el polígono de vía 'k' (adimensional)
A_j	Coefficiente de ajuste A para la categoría 'j' (adimensional)
B_j	Coefficiente de ajuste B para la categoría 'j' (km)
Fdt_k	Distancia del centroide del polígono de vía 'k' con respecto al centroide del polígono de vía clasificada como troncal, más cercana (km)
C_j	Coefficiente de ajuste C para la categoría 'j' (adimensional)

En el caso de vías locales, los FD toman el valor de D_j para vías pavimentadas y E_j para vías no pavimentadas. En la siguiente tabla se muestran los coeficientes A, B, C, D y E para cada una de las categorías.

Tabla A-8. Coeficientes de ajuste para estimar el Factor de corrección a vías secundarias

Categoría	A	B	C	D	E
AUT/CC/TX/ESL	0,36298	2,136	0,25	0,15	0,05
M	0,17946	1,727	0,15	0,05	0,02
C2	0,09963	1,462	0,08	0,04	0,01
C3	0,05989	3,408	0,05	0,004	0,002
C4+	0	0	0,00030	0	0
ESB	0	0	0,03	0,005	0,005

Elaboración propia

Los valores reportados en la Tabla A-8 corresponden a regresiones hechas a relaciones entre flujos de vías principales y secundarias para el barrio vital de San Felipe, sitio en el cual se realizaron conteos de vías secundarias entre febrero y marzo de 2021.

A.1.8. Ajuste de Flujos y Factores de emisión empleando herramientas de modelación

Se estimó un inventario preliminar de fuentes móviles en carretera, que incluyen las emisiones de combustión, desgaste de frenos y llantas, y material resuspendido, sin aplicar factores de ajuste (factores que se detallarán más adelante), y, en conjunto con los resultados de la estimación de emisiones de las demás fuentes, se corrió el modelo CMAQ para el periodo 2023-06-03 a 2023-06-20⁵, con la finalidad de evaluar distintos factores de ajuste (20 alternativas distintas) que acercaran las estimaciones del inventario con respecto a los resultados del modelo, de tal forma que los resultados del último se ajustaran de la mejor forma a las observaciones registradas por la red de monitoreo de calidad de aire para ese periodo.

⁵ Se escogió este periodo como el que menor tuvo incidencia de incendios forestales de gran magnitud en las mediciones de la RMCAB de la ciudad en el año 2022, empleando como información de análisis la base de datos FINN de NCAR/ACOM



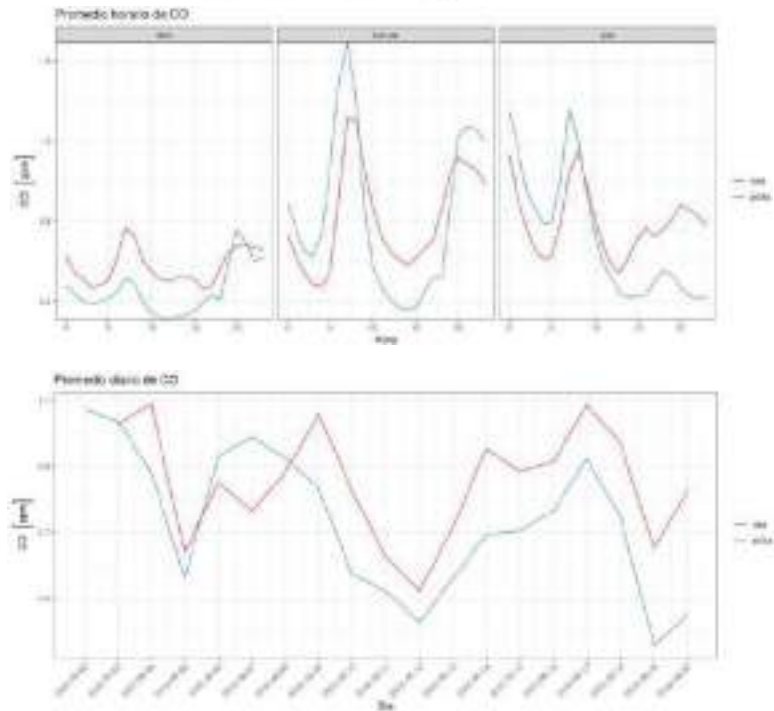
El siguiente fue el procedimiento iterativo para determinar los mejores factores de ajuste, tanto en flujos como en factores de emisión:

- **Usar el contaminante CO para estimar el comportamiento del tráfico:** Partiendo de la premisa que el CO es aportado mayoritariamente por las fuentes móviles en carretera, se analizaron los resultados de los escenarios de modelación con las observaciones de la RMCAB, y se estimó que los factores empleados inicialmente para CO con la metodología *Top-down* están sobreestimados, por lo que para que se ajusten de la mejor forma, los factores de emisión se deben ajustar en un factor de corrección de emisión de 0.3287. Una vez hecho este ajuste en el factor de emisión, se estimó el factor de ajuste para las vías principales y secundarias para los días sábado y domingo, así como los factores de ajuste de flujos para las vías secundarias en los lunes a viernes, el perfil horario de lunes a viernes en las vías principales no se modifica, ya que allí es donde se cuenta con mayor cantidad de conteos y la incertidumbre es menor.

En la Figura A-5 se muestran los promedios diarios de CO observados y modelados, empleando los factores de corrección, tanto en emisiones como en flujos.

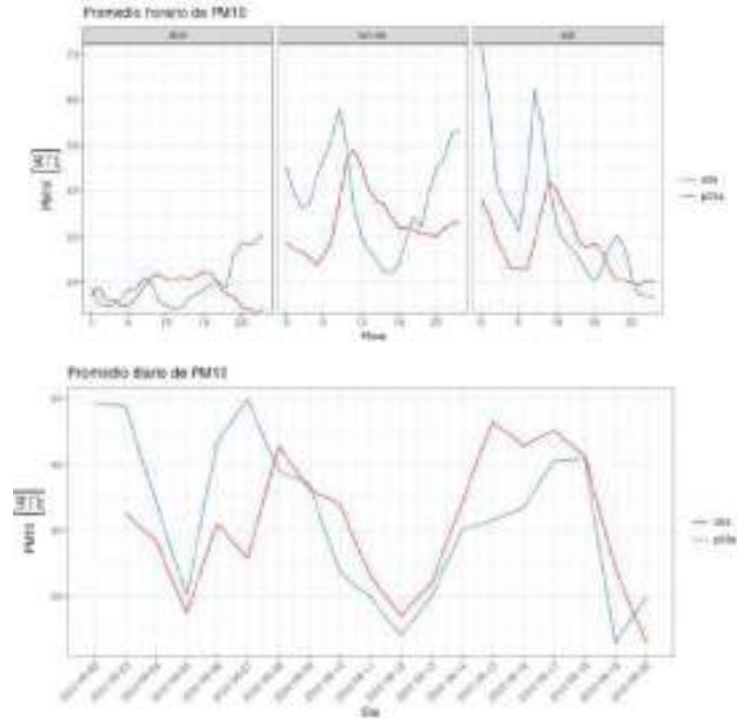
- **Usar el contaminante PM₁₀ para estimar el comportamiento del tráfico en las vías no pavimentadas:** Al igual que con CO, se estimó un factor de corrección de emisión de 0.457 en las emisiones de material resuspendido y luego de esta corrección, se compararon los resultados de las modelaciones de PM₁₀ con los registros de la RMCAB para estimar los factores de ajuste de flujos en las vías no pavimentadas, para todos los días. Se debe destacar que el factor de corrección de emisión estimado para PM₁₀ se extiende a PM_{2.5}.

En la Figura A-6 y Figura A-7, se muestran los promedios diarios de PM₁₀ y PM_{2.5}, observados y modelados, empleando los factores de corrección, tanto en emisiones como en flujos.



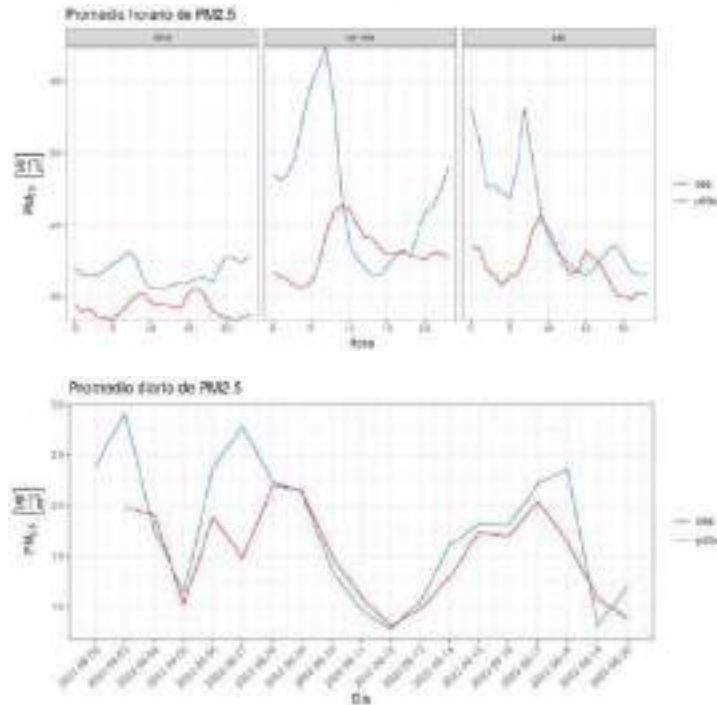
Elaboración propia

Figura A-5. Comparación de promedios horarios y diarios para CO entre los datos observados (obs) y el mejor escenario modelado identificado (p03a).



Elaboración propia

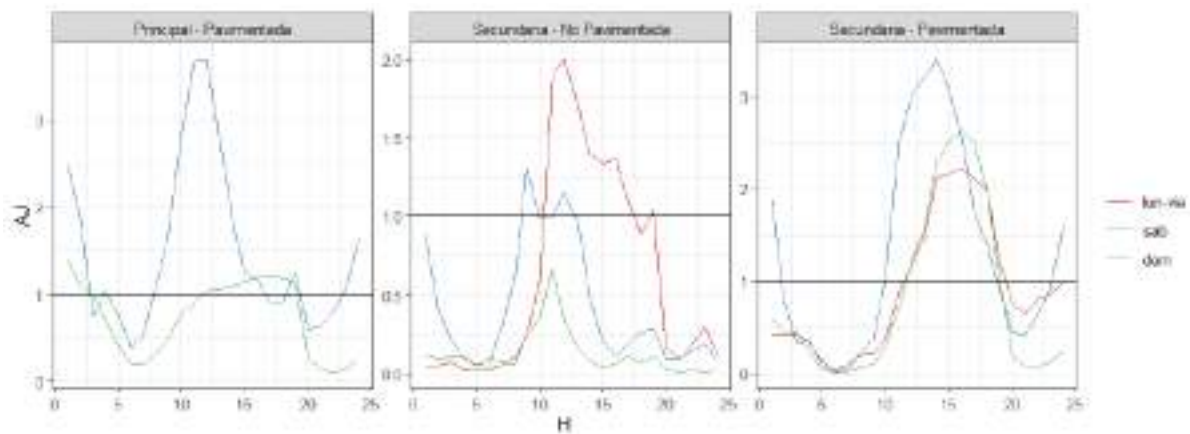
Figura A-6. Comparación de promedios horarios y diarios para PM10 entre los datos observados (obs) y el mejor escenario modelado identificado (p03a).



Elaboración propia

Figura A-7. Comparación de promedios horarios y diarios para PM2.5 entre los datos observados (obs) y el mejor escenario modelado identificado (p03a).

Luego de las iteraciones y de los resultados de modelación, se obtuvieron los siguientes factores de ajuste de flujos vehiculares, que se aplicaron a todas las categorías, excepto a las categorías AT y BA, ya que estas tienen rutas exclusivas y no se verían afectadas de una forma significativa al tráfico.



Elaboración propia

Figura A-8. Factores de Corrección de Flujo (AJ) estimados con modelación de escenarios para el 2023.

A.1.9. Estimación de los flujos vehiculares

Se estima el flujo vehicular para cada polígono que representa las vías según la siguiente expresión:

$$FT_{h,j,k,w} = FCL_{h,j,w,k} \cdot FD_k \cdot NC_k \cdot AJ_{h,j,k,w} \quad \text{Ecuación A.2.4}$$

Donde:

$FT_{h,j,k,w}$	Flujo Vehicular para la hora 'h', de la subcategoría 'j', en el polígono de vía 'k', en el día 'w' (Veh/h)
$FCL_{h,j,w,k}$	Flujo Vehicular por carril para la hora 'h', de la subcategoría 'j', en el polígono de vía 'k', en el día 'w'. (Veh/carril-h)
FD_k	Factor de corrección para vías secundarias, del polígono de vía 'k' (adimensional)
NC_k	Número de carriles del polígono de vía 'n' (Carril)
$AJ_{h,j,k,w}$	Factor de corrección a flujo estimado con escenarios de modelación, para la hora 'h', de la subcategoría 'j', en el polígono de vía 'k', en el día 'w' (adimensional)

Una vez calculados los flujos totales, se hacen las siguientes correcciones:

- Para las categorías de servicios troncales (AT y BA), todo flujo que tenga NULL en el atributo TM del archivo geográfico tendrá un valor de 0, para restringir el flujo de estas categorías únicamente a carriles exclusivos de Transmilenio y carriles mixtos
- Para INT, todo flujo que tenga NULL en el atributo INT, tendrá un valor de 0
- Para AL, todo flujo que tenga NULL en el atributo AL, tendrá un valor de 0
- Para BS, todo flujo que tenga NULL en el atributo SITP, tendrá un valor de 0
- Para todas las categorías, excepto AL, AT y BA, se le asignará un flujo de 0 a los polígonos que representan las vías exclusivas de Transmilenio (atributo TM igual a 'SI').
- Para la categoría C4+, todo flujo en vías secundarias que estén en zonas con uso de suelo distinto a minería, dotacional o industrial, se le asignará un flujo de 0.

A.1.10. Estimación de emisiones por combustión desagregadas espacial y temporalmente

Las estimaciones de emisiones se realizaron con el módulo MEDINA-FM-CMB, donde se cruzó la información de flujos y longitudes de vía de cada polígono de vía, con los factores de emisión para cada una de las subcategorías. A continuación, se muestran las ecuaciones empleadas para estimar emisiones por combustión para cada una de las vías.

$$EMcb_{h,j,w,k,c} = FT_{h,j,k,w} \cdot L_k \cdot FE_{j,c} \quad \text{Ecuación A.2.5}$$

$EMcb_{h,j,w,k,c}$	Emisiones por combustión de contaminante 'c' para la hora 'h' de la subcategoría 'j' en el día de la semana 'w' en el polígono de vía 'k' (g/h)
$FT_{h,j,k,w}$	Flujo Vehicular para la hora 'h', de la subcategoría 'j', en el polígono de vía 'k', en el día 'w' (Veh/h)

L_k Longitud del polígono de vía 'k' (km)
 $FE_{j,c}$ Factor de emisión del contaminante 'c' para la subcategoría 'j' (g/veh-km)

Los factores de emisión empleados surgen a partir de una redistribución de los factores de emisión del inventario Top-Down que se encuentran en la Tabla A-3 y se presentan en la Tabla A-9.

Tabla A-9. Factores de emisión empleados en la estimación Bottom-up de fuentes móviles por combustión, en g/km por vehículo

Contaminante	Subcategoría	2018	2020	2021	2022	2023
CO	AL_DSEL	13.7710	13.7710	13.7710	13.7710	10.7991
	AL_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AL_GNV	1.7854	1.7854	1.7854	1.7854	1.7900
	AT_DSEL	15.8138	15.8214	15.8148	15.8130	15.7898
	AT_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AT_GNV	1.7900	1.7900	1.7900	1.7900	1.7900
	AUT_DSEL	0.4147	0.4142	0.4142	0.4143	0.4139
	AUT_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AUT_ETA	3.5658	3.5651	3.5651	3.5651	3.5651
	AUT_GAS	3.5658	3.5651	3.5651	3.5651	3.5651
	AUT_GNV	4.0279	4.0266	4.0279	4.0276	4.0274
	AUT_H2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AUT_HBD	0.2073	0.2071	0.2071	0.2072	0.2070
	AUT_HBG	0.0720	0.0720	0.0720	0.0720	0.0720
	BA_DSEL	7.9590	7.9815	7.9815	7.9824	7.9833
	BA_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	BA_GNV	1.7900	1.7900	1.7900	1.7900	1.7900
	BS_DSEL	10.7865	10.7856	10.7904	10.7883	10.7991
	BS_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	BS_GNV	1.7900	1.7900	1.7900	1.7900	1.7900
	BS_HBD					6.3400
	C2_DSEL	1.3954	1.3954	1.3954	1.3953	1.3954
	C2_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	C2_GAS	7.3400	7.3400	7.3400	7.3400	7.3400
	C2_GNV	6.9877	6.9938	6.9820	6.9816	6.9772
	C2_HBD	0.6977	0.6977	0.6977	0.6977	0.6977
	C3_DSEL	4.1961	3.0813	3.0840	3.0817	3.0834
	C3_GAS	7.3400	7.3400	7.3400	7.3400	7.3400
	C3_GNV	1.1800	1.1800	1.1800	1.1800	1.1800
	C4+_DSEL	2.4477	2.4477	2.4449	2.4449	2.4449
	C4+_GAS	7.3400	7.3400	7.3400	7.3400	7.3400
	CC_DSEL	0.4358	0.4362	0.4354	0.4359	0.4358
	CC_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Contaminante	Subcategoría	2018	2020	2021	2022	2023
	CC_GAS	2.3148	2.3148	2.3148	2.3148	2.3148
	CC_GLP	3.2404	3.2461	3.2445	3.2429	3.2440
	CC_GNV	3.2404	3.2461	3.2445	3.2429	3.2440
	CC_H2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	CC_HBD	0.1400	0.1400	0.1400	0.1400	0.1400
	CC_HBG	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200
	ESB_DSEL	2.5852	3.7842	2.7186	2.7187	2.7184
	ESB_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	ESB_GAS	17.0563	17.7669	15.6761	15.6749	15.6772
	ESB_GNV	3.9020	4.0540	3.9600	4.0393	3.9860
	ESB_HBD	1.2926	1.8921	1.3593	1.3593	1.3592
	INT_DSEL	3.6488	3.6488	3.6488	3.6488	2.7184
	INT_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	INT_GAS	21.7002	21.7002	21.7002	21.7002	15.6772
	INT_GNV	4.0765	4.0765	4.0765	4.0765	3.9860
	M_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	M_GAS	3.9388	3.9388	3.9388	3.9388	3.9388
	TX_DSEL	0.6000	0.6000	0.6000	0.6000	0.6000
	TX_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	TX_GAS	4.4563	4.4569	4.4573	4.4565	4.4559
	TX_GNV	2.7550	2.7542	2.7548	2.7549	2.7559
COV	AL_DSEL	0.1529	0.1529	0.1529	0.1529	0.0983
	AL_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AL_GNV	0.0668	0.0668	0.0668	0.0668	0.0700
	AT_DSEL	0.0854	0.0855	0.0854	0.0854	0.0853
	AT_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AT_GNV	0.0700	0.0700	0.0700	0.0700	0.0700
	AUT_DSEL	0.0555	0.0553	0.0553	0.0554	0.0553
	AUT_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AUT_ETA	0.4501	0.4492	0.4492	0.4492	0.4492
	AUT_GAS	0.4501	0.4492	0.4492	0.4492	0.4492
	AUT_GNV	0.5108	0.5108	0.5110	0.5109	0.5109
	AUT_H2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AUT_HBD	0.0278	0.0277	0.0277	0.0277	0.0276
	AUT_HBG	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	BA_DSEL	0.1151	0.1152	0.1152	0.1152	0.1152
	BA_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	BA_GNV	0.0700	0.0700	0.0700	0.0700	0.0700
	BS_DSEL	0.0981	0.0981	0.0981	0.0981	0.0983
	BS_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	BS_GNV	0.0700	0.0700	0.0700	0.0700	0.0700
	BS_HBD					0.1600

Contaminante	Subcategoría	2018	2020	2021	2022	2023
	C2_DSEL	0.3424	0.3424	0.3424	0.3424	0.3424
	C2_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	C2_GAS	5.1100	5.1100	5.1100	5.1100	5.1100
	C2_GNV	4.8606	4.8649	4.8566	4.8563	4.8532
	C2_HBD	0.1712	0.1712	0.1712	0.1712	0.1712
	C3_DSEL	0.9784	0.5130	0.5124	0.5125	0.5127
	C3_GAS	5.1100	5.1100	5.1100	5.1100	5.1100
	C3_GNV	0.7000	0.7000	0.7000	0.7000	0.7000
	C4+_DSEL	0.5198	0.5198	0.5192	0.5192	0.5192
	C4+_GAS	5.1100	5.1100	5.1100	5.1100	5.1100
	CC_DSEL	0.0944	0.0943	0.0942	0.0943	0.0943
	CC_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	CC_GAS	0.3489	0.3489	0.3489	0.3489	0.3489
	CC_GLP	0.4724	0.4732	0.4730	0.4727	0.4729
	CC_GNV	0.4724	0.4732	0.4730	0.4727	0.4729
	CC_H2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	CC_HBD	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200
	CC_HBG	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100
	ESB_DSEL	0.6598	1.0004	0.6647	0.6649	0.6646
	ESB_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	ESB_GAS	11.0022	11.2734	10.6722	10.6718	10.6725
	ESB_GNV	3.5353	3.6524	3.5800	3.6411	3.6000
	ESB_HBD	0.3299	0.5002	0.3323	0.3324	0.3323
	INT_DSEL	0.8545	0.8545	0.8545	0.8545	0.6646
	INT_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	INT_GAS	12.4771	12.4771	12.4771	12.4771	10.6725
	INT_GNV	3.6853	3.6853	3.6853	3.6853	3.6000
	M_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	M_GAS	0.5504	0.5504	0.5504	0.5504	0.5504
	TX_DSEL	0.0800	0.0800	0.0800	0.0800	0.0800
	TX_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	TX_GAS	0.5652	0.5653	0.5654	0.5653	0.5652
	TX_GNV	0.3434	0.3433	0.3434	0.3434	0.3435
NOx	AL_DSEL	7.0077	7.0077	7.0077	7.0077	10.4431
	AL_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AL_GNV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AT_DSEL	17.0387	17.0392	17.0430	17.0386	17.0340
	AT_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AT_GNV	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	AUT_DSEL	0.7145	0.7147	0.7147	0.7146	0.7146
	AUT_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AUT_ETA	0.3426	0.3424	0.3424	0.3424	0.3424

Contaminante	Subcategoría	2018	2020	2021	2022	2023
	AUT_GAS	0.3426	0.3424	0.3424	0.3424	0.3424
	AUT_GNV	0.3778	0.3777	0.3779	0.3778	0.3778
	AUT_H2	0.3426	0.3424	0.3424	0.3424	0.3424
	AUT_HBD	0.3573	0.3573	0.3573	0.3573	0.3573
	AUT_HBG	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050
	BA_DSEL	16.6470	16.6475	16.6475	16.6474	16.6474
	BA_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	BA_GNV	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	BS_DSEL	10.4407	10.4409	10.4430	10.4403	10.4431
	BS_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	BS_GNV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	BS_HBD					14.3200
	C2_DSEL	7.1292	7.1291	7.1292	7.1290	7.1291
	C2_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	C2_GAS	9.9100	9.9100	9.9100	9.9100	9.9100
	C2_GNV	9.4047	9.4135	9.3966	9.3960	9.3897
	C2_HBD	3.5646	3.5645	3.5646	3.5645	3.5646
	C3_DSEL	35.2208	23.9170	23.9614	23.9321	23.9517
	C3_GAS	9.9100	9.9100	9.9100	9.9100	9.9100
	C3_GNV	0.7800	0.7800	0.7800	0.7800	0.7800
	C4+_DSEL	17.8047	17.8047	17.7842	17.7842	17.7842
	C4+_GAS	9.9100	9.9100	9.9100	9.9100	9.9100
	CC_DSEL	0.7220	0.7219	0.7219	0.7219	0.7218
	CC_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	CC_GAS	0.2897	0.2897	0.2897	0.2897	0.2897
	CC_GLP	0.3622	0.3627	0.3626	0.3624	0.3625
	CC_GNV	0.3622	0.3627	0.3626	0.3624	0.3625
	CC_H2	0.3622	0.3627	0.3626	0.3624	0.3625
	CC_HBD	0.6600	0.6600	0.6600	0.6600	0.6600
	CC_HBG	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300
	ESB_DSEL	10.8842	14.3127	11.2934	11.2928	11.2928
	ESB_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	ESB_GAS	1.2811	1.3456	1.1442	1.1441	1.1443
	ESB_GNV	12.5490	12.6825	12.6000	12.6696	12.6228
	ESB_HBD	5.4421	7.1564	5.6467	5.6464	5.6464
	INT_DSEL	14.1702	14.1702	14.1702	14.1702	11.2928
	INT_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	INT_GAS	1.7189	1.7189	1.7189	1.7189	1.1443
	INT_GNV	12.9706	12.9706	12.9706	12.9706	12.6228
	M_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	M_GAS	0.2272	0.2272	0.2272	0.2272	0.2272
	TX_DSEL	0.7200	0.7200	0.7200	0.7200	0.7200

Contaminante	Subcategoría	2018	2020	2021	2022	2023
	TX_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	TX_GAS	0.4128	0.4129	0.4129	0.4128	0.4128
	TX_GNV	0.2808	0.2807	0.2808	0.2808	0.2809
PM10	AL_DSEL	0.0824	0.0824	0.0824	0.0824	0.1360
	AL_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AL_GNV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AT_DSEL	0.0806	0.0806	0.0806	0.0805	0.0804
	AT_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AT_GNV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AUT_DSEL	0.0661	0.0659	0.0659	0.0660	0.0658
	AUT_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AUT_ETA	0.0020	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019
	AUT_GAS	0.0020	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019
	AUT_GNV	0.0025	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023
	AUT_H2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AUT_HBD	0.0331	0.0329	0.0329	0.0330	0.0329
	AUT_HBG	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	BA_DSEL	0.0664	0.0666	0.0666	0.0666	0.0666
	BA_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	BA_GNV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	BS_DSEL	0.1360	0.1360	0.1360	0.1359	0.1360
	BS_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	BS_GNV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	BS_HBD					0.0300
	C2_DSEL	0.2530	0.2530	0.2530	0.2530	0.2530
	C2_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	C2_GAS	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	C2_GNV	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0016
	C2_HBD	0.1265	0.1265	0.1265	0.1265	0.1265
	C3_DSEL	1.0729	0.5325	0.5330	0.5326	0.5330
	C3_GAS	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	C3_GNV	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100
	C4+_DSEL	0.4636	0.4636	0.4631	0.4631	0.4631
	C4+_GAS	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	CC_DSEL	0.0581	0.0581	0.0581	0.0581	0.0581
	CC_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	CC_GAS	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030
	CC_GLP	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027
	CC_GNV	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027
	CC_H2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	CC_HBD	0.0400	0.0400	0.0400	0.0400	0.0400
	CC_HBG	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010

Contaminante	Subcategoría	2018	2020	2021	2022	2023
	ESB_DSEL	0.4065	0.6080	0.4106	0.4107	0.4106
	ESB_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	ESB_GAS	0.0030	0.0034	0.0036	0.0036	0.0036
	ESB_GNV	0.1339	0.1341	0.1340	0.1341	0.1340
	ESB_HBD	0.2033	0.3040	0.2053	0.2054	0.2053
	INT_DSEL	0.5387	0.5387	0.5387	0.5387	0.4106
	INT_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	INT_GAS	0.0034	0.0034	0.0034	0.0034	0.0036
	INT_GNV	0.1378	0.1378	0.1378	0.1378	0.1340
	M_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	M_GAS	0.0183	0.0183	0.0183	0.0183	0.0183
	TX_DSEL	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100	0.1100
	TX_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	TX_GAS	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300
	TX_GNV	0.0340	0.0340	0.0340	0.0340	0.0340
PM25	AL_DSEL	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.1224
	AL_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AL_GNV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0153
	AT_DSEL	0.0750	0.0751	0.0750	0.0750	0.0749
	AT_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AT_GNV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AUT_DSEL	0.0610	0.0608	0.0608	0.0609	0.0607
	AUT_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AUT_ETA	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019
	AUT_GAS	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019	0.0019
	AUT_GNV	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023	0.0023
	AUT_H2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AUT_HBD	0.0305	0.0304	0.0304	0.0304	0.0304
	AUT_HBG	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	BA_DSEL	0.0627	0.0628	0.0628	0.0628	0.0628
	BA_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	BA_GNV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	BS_DSEL	0.1224	0.1224	0.1224	0.1224	0.1224
	BS_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	BS_GNV	0.0000	0.0032	0.0032	0.0153	0.0153
	BS_HBD					0.0300
	C2_DSEL	0.2325	0.2325	0.2325	0.2325	0.2325
	C2_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	C2_GAS	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	C2_GNV	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015
	C2_HBD	0.1163	0.1163	0.1163	0.1163	0.1163
	C3_DSEL	0.9748	0.4889	0.4894	0.4889	0.4894

Contaminante	Subcategoría	2018	2020	2021	2022	2023
	C3_GAS	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	C3_GNV	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100
	C4+_DSEL	0.4269	0.4269	0.4265	0.4265	0.4265
	C4+_GAS	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	CC_DSEL	0.0551	0.0551	0.0551	0.0551	0.0551
	CC_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	CC_GAS	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030
	CC_GLP	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027
	CC_GNV	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027	0.0027
	CC_H2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	CC_HBD	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300
	CC_HBG	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	ESB_DSEL	0.3589	0.5625	0.3724	0.3725	0.3724
	ESB_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	ESB_GAS	0.0023	0.0026	0.0027	0.0027	0.0027
	ESB_GNV	0.0739	0.0741	0.0740	0.0741	0.0740
	ESB_HBD	0.1795	0.2812	0.1862	0.1862	0.1862
	INT_DSEL	0.4958	0.4958	0.4958	0.4958	0.3724
	INT_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	INT_GAS	0.0031	0.0031	0.0031	0.0031	0.0027
	INT_GNV	0.0757	0.0757	0.0757	0.0757	0.0740
	M_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	M_GAS	0.0121	0.0121	0.0121	0.0121	0.0121
	TX_DSEL	0.0900	0.0900	0.0900	0.0900	0.0900
	TX_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	TX_GAS	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200	0.0200
	TX_GNV	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190	0.0190
SOx	AL_DSEL	0.0253	0.0253	0.0253	0.0253	0.0256
	AL_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AL_GNV	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.0250
	AT_DSEL	0.0256	0.0256	0.0256	0.0256	0.0256
	AT_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AT_GNV	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250
	AUT_DSEL	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014	0.0014
	AUT_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AUT_ETA	0.0115	0.0116	0.0116	0.0116	0.0116
	AUT_GAS	0.0115	0.0116	0.0116	0.0116	0.0116
	AUT_GNV	0.0113	0.0112	0.0112	0.0112	0.0112
	AUT_H2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	AUT_HBD	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007
	AUT_HBG	0.0110	0.0110	0.0110	0.0110	0.0110
	BA_DSEL	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251	0.0251

Contaminante	Subcategoría	2018	2020	2021	2022	2023
	BA_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	BA_GNV	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250
	BS_DSEL	0.0256	0.0256	0.0256	0.0256	0.0256
	BS_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	BS_GNV	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250	0.0250
	BS_HBD					0.0270
	C2_DSEL	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069	0.0069
	C2_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	C2_GAS	0.0640	0.0640	0.0640	0.0640	0.0640
	C2_GNV	0.0606	0.0606	0.0605	0.0605	0.0604
	C2_HBD	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035	0.0035
	C3_DSEL	0.0218	0.0208	0.0208	0.0208	0.0208
	C3_GAS	0.0640	0.0640	0.0640	0.0640	0.0640
	C3_GNV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	C4+_DSEL	0.0145	0.0145	0.0146	0.0146	0.0146
	C4+_GAS	0.0640	0.0640	0.0640	0.0640	0.0640
	CC_DSEL	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020
	CC_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	CC_GAS	0.0187	0.0187	0.0187	0.0187	0.0187
	CC_GLP	0.0157	0.0157	0.0157	0.0157	0.0157
	CC_GNV	0.0157	0.0157	0.0157	0.0157	0.0157
	CC_H2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	CC_HBD	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	CC_HBG	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100	0.0100
	ESB_DSEL	0.0101	0.0106	0.0085	0.0085	0.0085
	ESB_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	ESB_GAS	0.0641	0.0641	0.0653	0.0653	0.0653
	ESB_GNV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	ESB_HBD	0.0050	0.0053	0.0042	0.0042	0.0042
	INT_DSEL	0.0083	0.0083	0.0083	0.0083	0.0085
	INT_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	INT_GAS	0.0623	0.0623	0.0623	0.0623	0.0653
	INT_GNV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	M_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	M_GAS	0.0044	0.0044	0.0044	0.0044	0.0044
	TX_DSEL	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
	TX_ELEC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	TX_GAS	0.0112	0.0112	0.0112	0.0112	0.0112
	TX_GNV	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120

Elaboración propia

B.METODOLOGIA ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE FUENTES FIJAS INDUSTRIALES

B.1. Estimación de emisiones Bottom-Up

Las fuentes fijas industriales, corresponden aquellas fuentes de tipo industrial como hornos y calderas, principalmente, que funcionan indistintamente en diferentes actividades económicas de la ciudad, incluidas actividades del sector de manufactura y de servicios. La estimación de sus emisiones se realiza utilizando únicamente la metodología Bottom-Up, dado que al contar con la información de cada una de las fuentes (incluida su ubicación y horas de operación), además de su naturaleza estacionaria y puntual, no requiere de una estimación Top-Down para suplir los requerimientos por la Secretaría Distrital de Ambiente.

Su última estimación se desarrolló para el año 2020, en donde se utilizó la siguiente ecuación referencia en el documento AP – 42 de la EPA (US-EPA, AP-42: Compilation of Air Emissions Factors, s.f.).

$$E_{ij} = A_j \cdot FE_{ij} \cdot \left(1 - \frac{ER_k}{100}\right) \cdot FC \quad \text{Ecuación B.1.1}$$

Donde:

- E_{ij} Emisión del contaminante 'i' por la fuente de emisión 'j'. (t/año)
- A_j Tasa de actividad de la fuente 'j', expresada como consumo de combustible. (m³/año para gases y líquidos o kg para combustibles sólidos)
- FE_{ij} Factor de emisión del contaminante 'i' por la fuente de emisión 'j' (mg/m³ para gases y líquidos o g/kg para combustibles sólidos)
- ER_k Eficiencia de sistemas de control 'k' (%)
- FC Factor de conversión. (1x10⁻⁹ t/mg para gases y líquidos o 1x10⁻⁶ t/g para combustibles sólidos)

A continuación, se presenta la descripción de las variables de entrada para la estimación de este inventario de emisiones.

B.1.1. Factores de Emisión para las fuentes fijas industriales

Para el cálculo de emisiones atmosféricas la Secretaría Distrital de Ambiente cuenta con factores de emisión que fueron definidos en el proceso de formulación del Plan Decenal de Descontaminación del Aire de Bogotá, conforme a los resultados y a la identificación de otras fuentes fijas de emisión del inventario, algunos de ellos actualizados en el año 2018, conforme a los resultados y a la identificación de otras fuentes fijas de emisión del inventario. Estos factores de emisión se presentan en la Tabla B-1.

Tabla B-1. Factores de emisión de fuentes fijas industriales

Categoría	Tecnología	Combustible	Unidades	PM _{2.5}	NOX	SO ₂	CO	COV
ACD	Caldera industrial y comercial > 15 BHP	Diésel	mg/m3	840000.0	2400000.0	1800000.0	600000.0	48480.0
ACE	Caldera industrial y comercial > 15 BHP	Energía Eléctrica	g/kW					
ACF	Caldera industrial y comercial > 15 BHP	Fuel oil residual (Fuel oil No. 5 y 6)	mg/m3	1200000.0	6600000.0	2072400.0	600000.0	173100.0
AGE	Aglutinadora	Energía Eléctrica	g/kW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AGG	Aglutinadora	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
AHF	Horno	Diésel	mg/m3	476000.0	2142000.0	1704000.0	595000.0	299160.0
BOE	Bombo	Energía Eléctrica	g/kW					
BOG	Bombo	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
CBI	Caldera	Biogas						
CC1	Caldera >100 BHP	Carbón	g/kg	6.9	7.6	22.1	0.3	0.2
CC2	Caldera ≤100 BHP	Carbón	g/Kg	10.5	4.5	11.6	0.3	0.2
CEL	Calentador	Energía Eléctrica	g/kW					
CG1	Caldera >100 BHP (año de fabricación menor o igual a 1997)	Gas natural	mg/m3	589.4	6671.0	26.7	1344.0	176.0
CG2	Caldera >100 BHP (año de fabricación mayor a 1997)	Gas natural	mg/m3	237.2	695.0	0.5	1344.0	176.0
CG3	Caldera ≤100 BHP	Gas natural	mg/m3	190.3	3191.8	23.1	1380.0	176.0
CGL	Calentador	Gas licuado de petróleo	mg/m3	95871.5	1797590.5	1917.4	1006650.7	
CM	Caldera	Madera	g/kg	2.6	3.5	0.2	4.3	0.1
CRG	Calentador	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
CTA	Caldera (vapor) textiles	Aceite usado	mg/m3	6028806.2	4168764.2	26460000.0	600000.0	120000.0
CUG	Cuba	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
EGL	Estufa industrial	Gas licuado de petróleo	mg/m3	95871.5	1797590.5	1917.4	1006650.7	
ESG	Estufa industrial	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
EXE	Extrusora	Energía Eléctrica	g/kW					
EXG	Extrusora	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
GLP	Horno y caldera con aplicaciones industriales	Gas licuado de petróleo	mg/m3	24000.0	2261000.0	1200.0	381000.0	120000.0
HC	Horno	Carbón	g/kg	12.7	4.6	12.1	6.3	0.5
HE	Horno	Energía Eléctrica	g/kW					
HFA	Horno fundición	Aceite usado	mg/m3	2968843.1	1108945.2	2072400.0	600000.0	120000.0
HG1	Horno de alimentos	Gas natural	mg/m3	121.8	1039.2	0.1	640.0	176.0
HG2	Horno de secado y curado	Gas natural	mg/m3	145.8	1220.7	69.7	640.0	176.0
HG3	Horno de fundición y cremación	Gas natural	mg/m3	118.7	1504.0	9.6	640.0	176.0
HL	Horno ladrillero	Carbón	g/kg	12.7	4.6	12.1	6.3	0.5
HLG	Horno ladrillero	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
HM	Horno	Madera	g/kg	2.6	3.5	0.2	4.3	0.1
ICG	Intercambiador de calor	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
ICM	Intercambiador de calor	Madera	g/kg	3.0	4.4	5.4	0.2	
IGL	Inyectora	Gas licuado de petróleo	mg/m3	95871.5	1797590.5	1917.4	1006650.7	
IME	Impresora de gran formato	Energía Eléctrica	g/kW	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Categoría	Tecnología	Combustible	Unidades	PM _{2.5}	NOX	SO ₂	CO	COV
IMG	Impresora de gran formato	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
INE	Inyectora	Energía Eléctrica	g/kW					
ING	Inyectora	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
LAG	Lacadora	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
MGL	Marmita	Gas licuado de petróleo	mg/m3	95871.5	1797590.5	1917.4	1006650.7	
MRE	Marmita	Energía Eléctrica	g/kw					
MRG	Marmita	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
MRM	Calentador	Madera	g/kg	2.6	3.5	0.2	4.3	0.1
OTA	Otra	Aceite usado	mg/m3	6028806.2	4168764.2	26460000.0	600000.0	120000.0
OTD	Otra	Diésel	mg/m3	479357.5	2157108.6	1701719.0	599196.8	
OTE	Otra	Energía Eléctrica	g/kw					
OTG	Otra	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
PED	Planta eléctrica	Diésel	mg/m3	479357.5	2157108.6	1701719.0	599196.8	
PEL	Planta eléctrica	Gas licuado de petróleo	mg/m3	95871.5	1797590.5	1917.4	1006650.7	
PLE	Peletizadora	Energía Eléctrica	g/kw					
PLG	Peletizadora	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
PRCB	Cabina - Proceso	Energía Eléctrica	mg/m3					
PRMO	Molino - Proceso	Energía Eléctrica	g/kw					
QGL	Quemador	Gas licuado de petróleo	mg/m3	95871.5	1797590.5	1917.4	1006650.7	
QME	Quemador	Energía Eléctrica	g/kw					
QMG	Quemador	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
RTA	Rama de Termofijado	Aceite usado	mg/m3	335550.2	1318233.0	43597561.3	203726.9	
RTE	Rama de Termofijado	Energía Eléctrica	g/kw					
RTG	Rama de Termofijado	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
SEE	Secadora	Energía Eléctrica	g/kw					
SEG	Secadora	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
SEL	Secadora	Gas licuado de petróleo	mg/m3	95871.5	1797590.5	1917.4	1006650.7	
TOD	Tostadora	Diésel	mg/m3	479357.5	2157108.6	1701719.0	599196.8	
TOE	Tostadora	Energía Eléctrica	g/kw					
TOG	Tostadora	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
TSG	Torre de secado	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
VUG	Vulcanizadora	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
VUL	Vulcanizadora	Gas licuado de petróleo	mg/m3	95871.5	1797590.5	1917.4	1006650.7	
PEG	Planta eléctrica	Gas natural	mg/m3	121.8	1506.6	9.6	641.1	88.2
GRG	Caldera	Gas natural	mg/m3	237.2	695.0	0.5	1344.0	176.0

a. NE: No Establecido

Fuente: (Secretaría Distrital de Ambiente, 2018)

Así mismo, a partir del año 2018, toda la información insumo para la estimación de emisiones de las fuentes industriales por combustión y combustión+proceso que se encuentran instaladas en el área de jurisdicción de la SDA, se captura, valida y gestiona desde el Sistema Integrado de Información de Fuentes Fijas – SIUFF. Esta información corresponde a la obtenida durante las actividades de seguimiento, control y evaluación de las fuentes fijas de la SDA, por lo cual, los datos como consumo de combustible (tasa de actividad de la fuente) y tiempo de operación de las fuentes puede tener incertidumbre, por ser información suministrada por el industrial.

B.1.2. Eficiencia de los sistemas de control de emisiones

Los valores de eficiencia de los Sistemas de Control de Emisiones (SCE) que se utilizaron para la estimación de las fuentes fijas se basaron en los valores teóricos, recursos bibliográficos compilados en el Plan de Descontaminación del aire para Bogotá del 2010 (Secretaría Distrital de Ambiente & Universidad de los Andes, 2010) y en ajustes de porcentajes de remoción para el caso de PM, conforme a consultas a expertos en el tema, empleando como criterios modificación: la complejidad de los SCE, la forma de operación, frecuencia y tipo de mantenimiento que las empresas le hacen a estos SCE, así como si el tipo de SCE es elaborado por un proveedor experto o es susceptible de ser realizado de forma artesanal, sin cumplir con los estándares requeridos, entre otros.

En la Tabla B-2 se presentan los porcentajes de remoción de PM y de COV que se utilizaron para el cálculo de estimación de emisiones para cada uno de los SCE, que se tienen identificados que se encuentran instalados en fuentes fijas en el distrito.

Tabla B-2. Porcentaje de remoción del Sistema de Control de emisiones

<i>Tipo</i>	<i>Abreviatura</i>	<i>Remoción PM (%)</i>	<i>Remoción COV (%)</i>
Antorcha	ATC	0	98
Cámaras de asentamiento	CDA	0	0
Cámara postcombustión y sistema de lavado con agua	CPSA	70	0
Ciclones	CLN	50	0
Depurador con ayuda mecánica	DAM	90	0
Depurador con lecho de fibra	DLF	85	85
Depurador en húmedo	DEH	85	73
Depurador por Condensación	DPC	99	0
Depurador tipo Venturi	DTV	85	0
Filtro (aire invertido)	FAI	70	0
Filtro (sacudimiento mecánico)	FSM	70	0
Filtro de aire de alta eficiencia	FAAE	70	0
Filtros de cartucho	FDC	70	0
Filtros de aire y ventiladores	FAV	70	0
Filtro (chorro pulsante)	FCP	70	0
Filtro de manga	FM	70	0
Incinerador tipo recuperativo	IRC	85	99
Incinerador tipo regenerativo	IRG	0	97
Incinerador termal	IT	85	99
Precipitador electrostático húmedo (PEH) - Tipo tubo - alambre	PEH	95	0
Precipitador electrostático seco (PES) - Tipo placa-alambre	PES	95	0
Separadores con ayuda mecánica	SAM	30	0
Separadores de momento	SDM	5	0
Reducción catalítica selectiva	RCS	70	0
Otros	OTR	70	0

Elaboración propia a partir de Secretaría Distrital de Ambiente & Universidad de los Andes (2010)

B.1.3. Desagregación horaria de las emisiones por combustión de fuentes fijas

El registro de cada fuente fija industrial realizado por la SDA para el 2020 incluye como información el horario de funcionamiento en días hábiles, sábados y domingos, y los meses en los cuales cada fuente fija operó; teniendo en cuenta las emisiones anuales estimadas por fuente con la ecuación 7, las emisiones horarias por fuente se estimaron como:

$$E_{g,i,j} = FC \cdot \frac{E_{i,j}}{\sum_m (nd_{d,m,j} \cdot h_{d,j})} \quad \text{Ecuación B.1.2}$$

horas de operación al año

Donde:

- $E_{g,i,j}$ Emisiones del contaminante 'i' de la fuente 'j', (g/h)
- FC Factor de conversión 1×10^6 (g/ton)
- $E_{i,j}$ Emisiones del contaminante 'i' de la fuente 'j', ton/año
- $nd_{d,m,j}$ Número de días de tipo 'd' en el mes 'm'. Los valores de 'd' son días hábiles (lunes a viernes), sábados y domingos, mientras que los meses 'm' serán únicamente los meses de operación de la fuente 'j'. (días/mes)
- $h_{d,j}$ Número de horas de operación de la fuente 'j' en el día de tipo 'd'. (h/día)

Una vez estimadas las emisiones horarias por tipo de fuente, éstas son asignadas a las horas y los meses de funcionamiento de cada fuente, con la finalidad de reconstruir el perfil horario de emisiones de cada una de las fuentes. Estas estimaciones horarias fueron realizadas con el módulo MEDINA-FF-IND del SMA.

B.1.4. Desagregación espacial de las emisiones por combustión de fuentes fijas

Las fuentes fijas industriales inventariadas en el año 2023 poseen en sus metadatos la ubicación geográfica, por lo cual ya se encuentra desagregada espacialmente, sin embargo, para propósitos de agregación de las fuentes industriales con las demás fuentes detalladas en este informe, se agregaron aditivamente las emisiones de las fuentes industriales en celdas de 1×1 km, para cada tipo de contaminante; esta desagregación se realizó con el módulo MEDINA-FF-IND del SMA.

C. ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR DESGASTE DE FRENOS Y DE LLANTAS EN FUENTES MÓVILES

La estimación de las emisiones por este mecanismo requiere la estimación de flujos vehiculares para cada polígono de vía, cuya metodología se expuso en la estimación de emisiones de fuentes móviles por combustión, la longitud de las vías, cuyo atributo es inherente a los archivos geográficos manipulados, y los factores de emisión, los cuales varían según las categorías vehiculares. En términos generales, la estimación de las emisiones se lleva a cabo empleando la siguiente ecuación:

$$EM_{tb_{h,j,w,k,c,n}} = FT_{h,j,k,w} \cdot L_k \cdot FE_{j,c,n} \quad \text{Ecuación B.1.1}$$

$EM_{tb_{h,j,w,k,c,n}}$	Emisiones por combustión de contaminante 'c' para la hora 'h' de la subcategoría 'j' en el día de la semana 'w' en el polígono de vía 'k', para el tipo de emisión 'n' (desgaste de frenos o desgaste de llantas) (g/h)
$FT_{h,j,k,w}$	Flujo Vehicular para la hora 'h', de la subcategoría 'j', en el polígono de vía 'k', en el día 'w' (Veh/h)
L_k	Longitud del polígono de vía 'k' (km)
$FE_{j,c,n}$	Factor de emisión del contaminante 'c' para la subcategoría 'j', para el tipo de emisión 'n' (desgaste de frenos o desgaste de llantas) (g/veh-km)

Los factores de emisión empleados para la estimación de emisiones de desgaste de frenos y llantas se encuentran a continuación y fueron extraídos del modelo de emisiones COPERT.

Tabla C-1. Factores de emisión por desgaste de frenos y llantas.

Categoría	Desgaste de Frenos		Desgaste de llantas	
	$PM_{2.5}$ [g/km]	PM_{10} [g/km]	$PM_{2.5}$ [g/km]	PM_{10} [g/km]
AL	2.78E-02	6.99E-02	2.61E-02	3.73E-02
AT	2.78E-02	6.99E-02	2.61E-02	3.73E-02
AUT	7.31E-03	1.84E-02	6.01E-03	8.47E-03
BA	2.78E-02	6.99E-02	2.61E-02	3.73E-02
BS	2.78E-02	6.99E-02	2.07E-02	2.96E-02
C2	2.78E-02	6.99E-02	1.74E-02	2.49E-02
C3	2.78E-02	6.99E-02	2.03E-02	2.90E-02
C4+	2.73E-02	6.87E-02	2.01E-02	2.88E-02
CC	9.31E-03	2.34E-02	6.98E-03	9.84E-03
ESB	2.78E-02	6.99E-02	2.07E-02	2.96E-02
ESL	9.31E-03	2.34E-02	6.98E-03	9.84E-03
INT	2.78E-02	6.99E-02	2.07E-02	2.96E-02
M	2.41E-03	6.06E-03	2.69E-03	3.84E-03
TX	6.64E-03	1.67E-02	5.60E-03	8.01E-03

Elaboración propia a partir de MOVES (US-EPA, 2020)

D. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE RESUSPENSIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN VÍAS

La primera cuantificación de la cantidad de emisiones generada por estas fuentes se desarrolló para el año 2012, en el marco del contrato 1467 suscrito entre la Secretaría Distrital de Ambiente y la Universidad de la Salle. Esta estimación nace de la necesidad de identificar el aporte de estas emisiones en la calidad del aire de la ciudad, como insumo para la construcción del Sistema de Modelación Atmosférica para Bogotá. Una posterior actualización del inventario de material particulado resuspendido, se desarrolló para el año 2014, en el marco del convenio 1341 de 2015 suscrito entre la Secretaría Distrital de Ambiente y Ecopetrol, con la participación técnica de la Universidad de la Salle. Este inventario consideró nuevas variables para su estimación, como la precipitación, humedad y temperatura, factores que permitieron ajustar el inventario y reducir su incertidumbre.

Para el inventario del año 2023, se ajustó la metodología en cuanto a la estimación y distribución de los conteos vehiculares explicados en la sección A.1.9, se ajustaron las cargas de sedimentos (C_s) y el porcentaje de finos (S) con información satelital de vegetación, entre otras modificaciones que se detallaran en esta sección.

D.1. Estimación Bottom-Up

D.1.1. Estimación de los factores de emisión

En el caso del material particulado resuspendido, se empleó el módulo MEDINA-FM-RDST del Sistema de Modelación Atmosférica de Bogotá, el cual emplea las siguientes ecuaciones para estimar las emisiones de PM_{10} , y de $PM_{2.5}$.

Para vías pavimentadas:

$$FEVP_{p,j,k} = k_p \cdot Cs_k^{0.67} \cdot (1.10 \cdot W_j)^{0.85} \cdot \left(1 - \frac{P}{4N}\right) \quad \text{Ecuación D.1.1}$$

Donde:

$FEVP_{p,j,k}$	Factor de emisión por resuspensión para el tamaño de partícula 'p', de vías pavimentadas para la subcategoría 'j', representativo para el polígono de vía pavimentado 'k', (g/VKT)
k_p	Constante de proporcionalidad del factor de emisión con respecto a la carga de sedimentos para el tamaño de partícula 'p', para la categoría vehicular 'i', toma el valor de 0.62 g/VKT para PM_{10} y 0.15 g/VKT para $PM_{2.5}$.
Cs_k	Carga de Sedimentos en el polígono de vía pavimentada 'k', (g/m ²)
W_j	Peso promedio representativo de la subcategoría vehicular 'j', (t)



- P Número de días con al menos 0.254 mm de precipitación diaria acumulada en un periodo establecido, (días)
- N Número de días en un periodo establecido, 365 para un año típico, 30 para un mes (días)

Para vías no pavimentadas con tránsito en vías industriales

$$FEVNPI_{p,j,k} = 0.457 \cdot Ki_p \cdot \left(\frac{k}{12}\right)^{0.9} \cdot \left(\frac{1.10W_j}{3}\right)^{0.45} \cdot \frac{365-P}{365} \quad \text{Ecuación D.1.2}$$

Donde:

$FEVNPI_{p,j,k}$ Factor de emisión por resuspensión para el tamaño de partícula 'p' de vías no pavimentadas en vías industriales para la subcategoría 'j', representativo para el polígono de vía no pavimentada industrial 'k', (g/VKT)

$0.457Ki_p$ Constante de proporcionalidad del factor de emisión para el tamaño de partícula 'p', con respecto al porcentaje de finos, toma el valor de 422,85 g/VKT para PM10 y 42,28 g/VKT para PM2.5; se deja explícito el factor de corrección estimado en la sección A.2.4 de este documento

S_k Porcentaje de finos en el polígono de la vía no pavimentada industrial 'k', (%)

W_i Peso promedio representativo de la categoría vehicular 'i', (t)

P Número de días con al menos 0,254 mm de precipitación diaria acumulada en un año (días)

Para vías no pavimentadas con tránsito en vías públicas

$$FEVNPP_{p,k,w,h} = 0.457 \cdot Kp_p \cdot \left(\frac{S_k}{12}\right)^1 \cdot \left(\frac{Kv \cdot V_{w,h}}{48.249}\right)^{0.5} \cdot \left(\frac{365-P}{365}\right) \quad \text{Ecuación D.1.3}$$

Donde:

$FEVNPP_{p,k,w,h}$ Factor de emisión por resuspensión de vías no pavimentadas públicas del tamaño de partícula 'p', representativo para el polígono de vía no pavimentada pública 'k', en la hora 'h', para el día tipo 'w' (g/VKT)

$0.457Kp_p$ Constante de proporcionalidad del factor de emisión con respecto al porcentaje de finos del tamaño de partícula 'p', toma el valor de 507,42 g/VKT para PM10 y 50,74 g/VKT para PM2,5; se deja explícito el factor de corrección estimado en la sección A.2.4 de este documento

S_k Porcentaje de finos en el polígono de vía no pavimentada pública 'k', (%)

Kv Factor de corrección de velocidad promedio a vías secundarias, se asume como 1/5; se corrige la velocidad promedio, dado que las velocidades promedio de la ciudad son medidas usualmente en vías principales.

- $V_{w,h}$ Velocidad Promedio para la ciudad para la hora 'h' en el día tipo 'w', (km/h)
- P Número de días al año, con al menos 0,254 mm de precipitación diaria acumulada en el año (días)

D.1.2. Variables asociadas a la estimación de factores de emisión

Carga de Sedimentos (Cs) y Porcentaje de Finos (%)

Los valores de carga de sedimento fueron tomados del estudio (Universidad de La Salle, Ecopetrol, & SDA, 2018); por otro lado, los valores de porcentaje de finos en las vías no pavimentadas, fue tomado del estudio (Universidad de La Salle & SDA, 2013). A continuación, se enlistan los valores de Cs y S empleados en este inventario para cada punto de medición de estos, además, la ubicación de los puntos de medición se encuentra representada en la Figura D-1; en esta figura también se encuentra representados los tipos de cobertura para la ciudad, extraídos de LANDSAT 8.

Tabla D-1. Cargas de sedimentos empleadas en este inventario.

Punto	Ubicación	Latitud	Longitud	Cs (mg/m ²)
1	Avenida Calle 145 X Carrera 104	4,747	-74,096	4,81
2	Avenida Carrera 72 (Avenida Boyacá) X Avenida Calle 138	4,730	-74,069	1,67
3	Avenida Carrera 45 X Avenida Calle 127	4,706	-74,054	2,97
4	Avenida Carrera 80 X Avenida Calle 55 Sur	4,614	-74,175	21,48
5	Diagonal 78 BIS Sur X Avenida Carrera 1	4,510	-74,118	2,07
6	Avenida Calle 60 A Sur X Carrera 19C	4,565	-74,139	7,36
7	Calle 68 Sur X Carrera 51	4,580	-74,157	8,75
8	Carrera 95A X Calle 54 Sur	4,638	-74,188	10,66
9	Avenida Carrera 50 X Avenida Calle 3	4,615	-74,115	2,25
10	Avenida Carrera 72 X Avenida Calle 26 Sur	4,619	-74,139	3,92
11	Carrera 10 X Calle 17 Sur	4,578	-74,093	5,06
12	Avenida Calle 26 X Transversal 93	4,685	-74,125	28,63
13	Avenida Carrera 86 X Avenida Calle 17	4,662	-74,134	6,99
14	Avenida Carrera 7 X Avenida Calle 45	4,631	-74,064	9,22
15	Avenida Carrera 7 X Avenida Calle 85	4,665	-74,047	7,23
16	Avenida Carrera 7 X Avenida Calle 127	4,702	-74,029	1,19
17	Avenida Calle 24 (Avenida la esperanza) X Carrera 68B	4,652	-74,110	5,3
18	Avenida Calle 100 X Transversal 60 (Avenida Suba)	4,689	-74,065	7,39
19	Avenida Carrera 45 (Autopista Norte) X Avenida Calle 170	4,751	-74,047	6,57
20	Avenida Carrera 86 X Avenida Calle 80	4,703	-74,101	8,63

Elaboración propia

Tabla D-2. Porcentaje de finos empleados en este documento.

Punto	Ubicación	Latitud	Longitud	S (%)
1	Transversal 68F x Calle 36 Sur	4,607	-74,135	17,18
2	Carrera 36 X Calle 25B	4,630	-74,086	25,5
3	Carrera 53A X Calle 5C	4,622	-74,111	21,01
4	Carrera 83 X Calle 15 ^a	4,656	-74,138	25,65
5	Avenida Carrera 116 X Calle 22	4,687	-74,151	26,49
6	Avenida 1 mayo X Carrera 80	4,615	-74,175	21,03
7	Calle 140B X Carrera 96	4,740	-74,089	19,4

<i>Punto</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>	<i>S (%)</i>
8	Calle 161 X Carrera 18A	4,741	-74,042	30,25
9	Calle 78 Sur X Carrera 87J	4,619	-74,203	14,37
10	Carrera 89A BIS N° 80-98 Sur	4,623	-74,207	23,62
11	Carrera 16 X Calle 76 Sur	4,540	-74,137	19,92
12	Transversal 5J X Calle 48L Sur	4,556	-74,110	3,26
13	Diagonal 45F Sur X Transversal 16G	4,570	-74,122	18,83
14	Calle 35 Sur X Carrera 12B Este	4,551	-74,084	9,8
15	Calle 62 X Carrera 3	4,645	-74,057	17,2
41	Peaje Siberia	4,780	-74,185	22,95
43	Peaje Fusca	4,835	-74,029	30,25

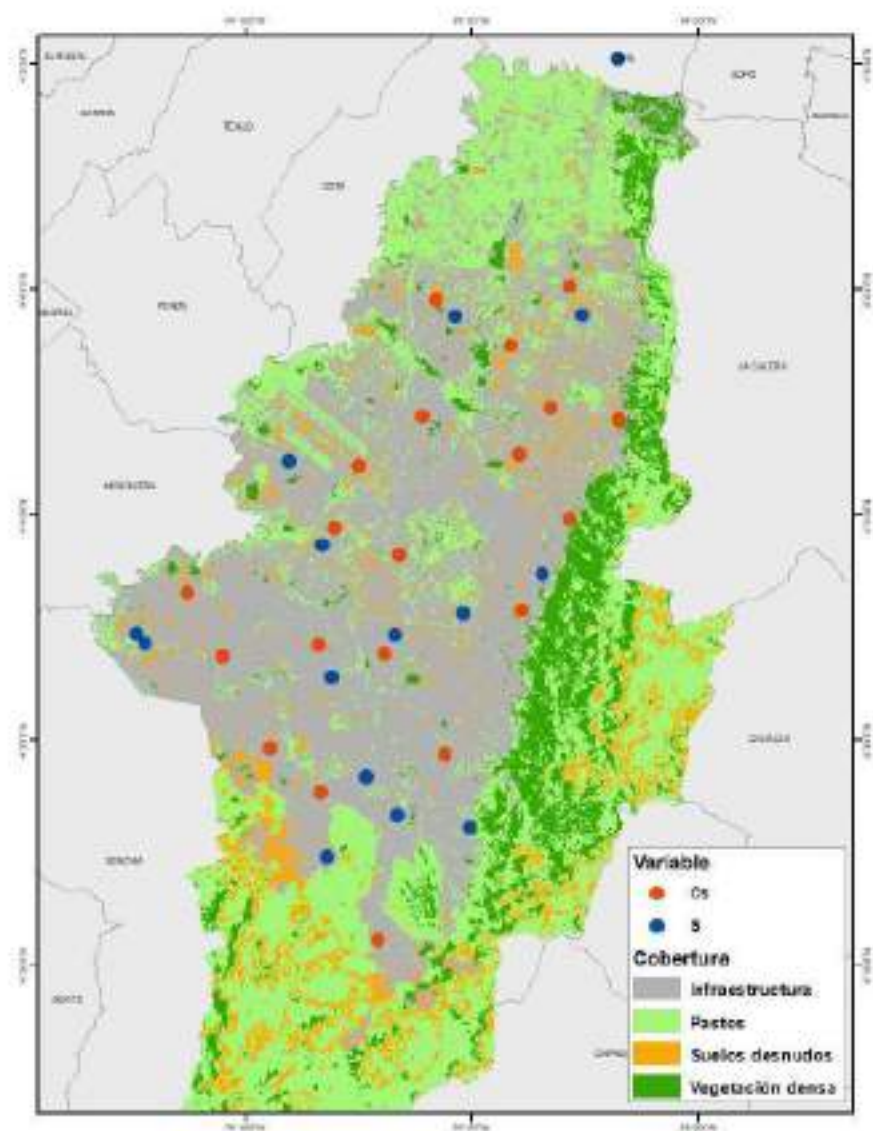
Elaboración propia

Se crearon buffers de 1 km² para cada sitio de medición, y se estimó la fracción de cobertura vegetal (FV), conformada por pastos y vegetación densa, y la fracción de suelos desnudos (FS), y se encontraron las siguientes relaciones entre las fracciones y los valores medidos de S y Cs por km², con un coeficiente de ajuste r² superior a 0.85.

$$Cs = \frac{2.2305}{FV^{0.4}}; FV > 0.001; \quad \text{Ecuación D.1.4}$$

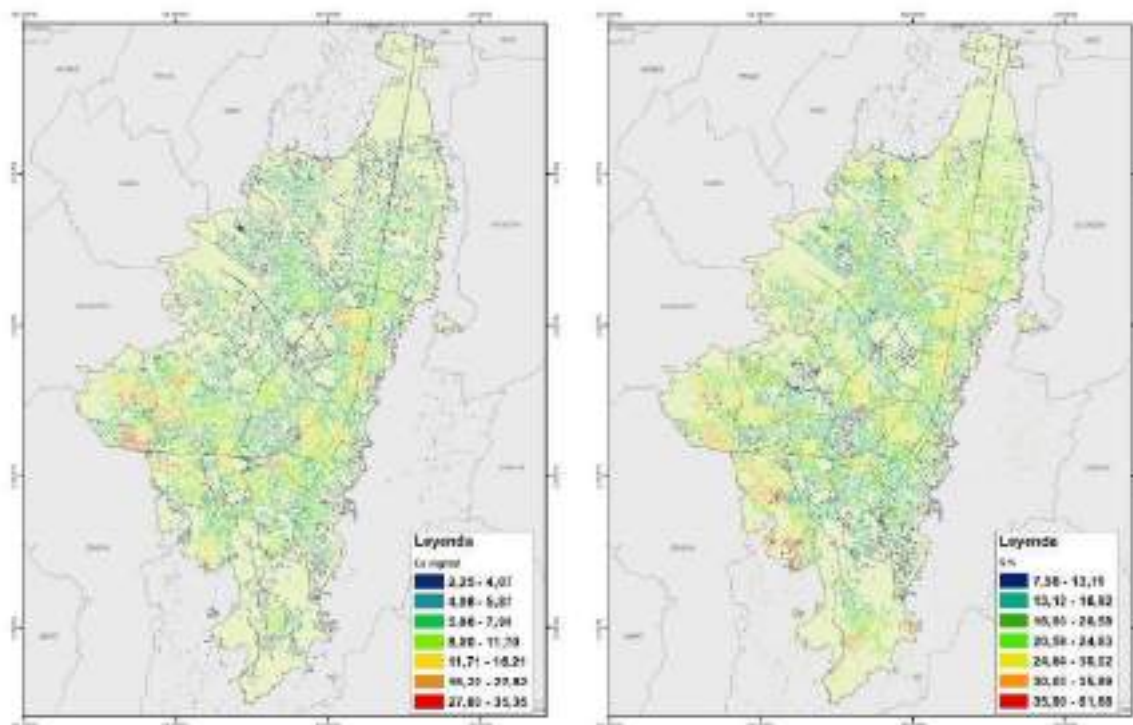
$$S = 53.455 \cdot FS^{0.7} + \frac{7.107}{FV^{0.2}}; FV > 0.001 \wedge FS > 0.001; \quad \text{Ecuación D.1.5}$$

Estas expresiones se emplearon para estimar las cargas de sedimento para cada km² y para cada vía con el aplicativo MEDINA-FM-GIS, donde se cruzaron las capas de cobertura y el enmallado que se emplea en los modelos de calidad de aire, y para cada celda del enmallado, se estimó el valor de Cs y S, según las fracciones FV y FS estimadas para dicha celda. En los casos en los cuales no se cumplen con los valores mínimos de FV y FS, se asumió valores de S=3.26% y Cs=1.19 mg/m², los cuales corresponden a los valores más bajos medidos en la ciudad; al hacer la distribución de Cs y S empleando su relación con la cobertura, se obtuvo como resultado los valores representados en la Figura D-2.



Elaboración propia

Figura D-1. Mapa de Coberturas y puntos de medición de Cs y S.



Elaboración propia

Figura D-2. Distribución espacial de Cs (izquierda) y S (derecha).

Peso representativo de las categorías vehiculares

A continuación, se muestran los pesos brutos vehiculares representativos para cada categoría vehicular empleadas en la estimación de emisiones por resuspensión

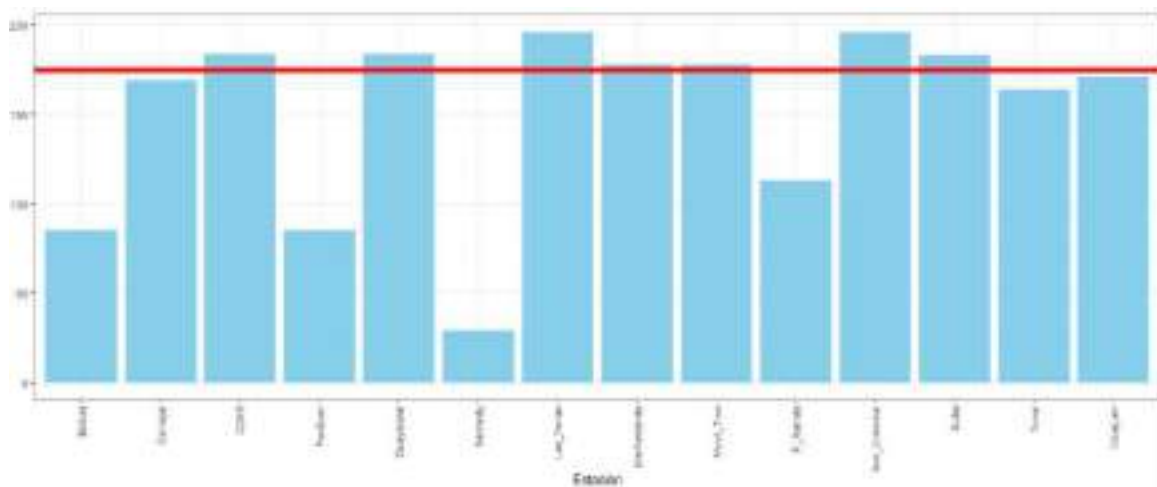
Tabla D-3. Pesos representativos de categorías vehiculares.

Categoría	Abreviatura	Peso Bruto Vehicular
Automóviles	AUT	1,6
Campero y camionetas	CC	2,4
Bus	BS	11,5
Padrón	AL	14,5
Especiales	ESP	8,2
Intermunicipal	INT	14,5
Camión pequeño de 2 ejes	C2	7
Camión entre 3 a 4 ejes	C3	28
Camión de 5 ejes	C4+	38
Motocicletas	M	0,2
Microbuses	MB	5
Articulado	AT	30
Biarticulado	BA	42
Taxi	TX	1,6
Especiales Buses	ESB	11,5
Especiales Livianos	ESL	2,4

Elaboración propia

Número de días con precipitación

Para la estimación de los días al año con precipitación diaria superior a 0,254 mm para el año 2023, se contaron a partir de los datos registrados por los pluviómetros de la Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá para dicho año, para cada estación. El valor representativo de P empleado se tomó como el valor de la mediana del número de días para cada una de las estaciones, cuyo valor es de 175 días. En la Figura D-3 se pueden visualizar el número de días húmedos por estación, y la línea roja que representa el valor P usado en este inventario.

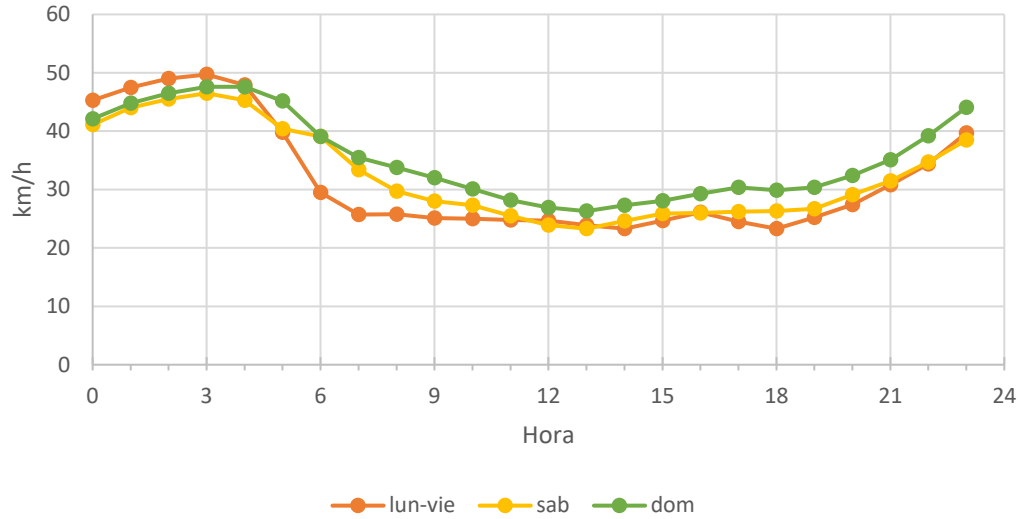


Elaboración propia

Figura D-3. Número de días con precipitación mayor a 0.254 por estación para el año 2023

Velocidad Promedio de vehículos en la ciudad

Los valores de velocidad promedio de vehículos fue estimada a partir de los indicadores del Sistema Integrado de Información sobre Movilidad Urbana Regional (SIMUR) de la Secretaría Distrital de Movilidad (Secretaría de Movilidad de Bogotá, 2020), publicados en su respectivo portal web. De dicho portal se extrajeron los perfiles horarios de velocidad promedio publicados mensualmente, y se estimaron los perfiles horarios promedio para el 2018, categorizados para los siguientes días tipo: lunes a viernes (lun-vie), sábados (sab) y domingos (dom). Dichos perfiles se encuentran representados en la Figura D-4. Se debe aclarar que se utilizaron los valores promedio de 2018 dado que no se encontró información disponible para el año 2023 de esta variable.



Fuente: Secretaría de Movilidad (2020)

Figura D-4. Perfiles de velocidad para la ciudad de Bogotá para el 2018, según día tipo

D.1.3. Estimación de las emisiones

La estimación de emisiones por resuspensión de material particulado se realizó con el aplicativo MEDINA-FM-RDST del SMA, el cual tiene en cuenta las siguientes ecuaciones:

Vías Pavimentadas:

$$EM\alpha_{p,j,h,w,k} = FEVP_{p,j,k} \cdot L_k \cdot FT_{h,j,k,w} \quad \text{Ecuación D.1.6}$$

Vías No Pavimentadas: Uso público:

$$EM\beta_{p,j,h,w,k} = FEVNPP_{p,k,w,h} \cdot L_k \cdot FT_{h,j,k,w} \quad \text{Ecuación D.1.7}$$

Vías No Pavimentadas: Uso industrial:

$$EM\gamma_{p,j,h,w,k} = FENVPI_{p,j,k} \cdot L_k \cdot FT_{h,j,k,w} \quad \text{Ecuación D.1.8}$$

Donde:

$EM\alpha_{p,j,h,w,k}$ Emisiones por material resuspendido de tamaño de partícula 'p' (PM10 o PM2.5), en vías pavimentadas para la subcategoría de vehículos 'j', en la hora 'h', para el día tipo 'w', en el polígono de vía pavimentada 'k' (g/h).

$EM\beta_{p,j,h,w,k}$ Emisiones por material resuspendido de tamaño de partícula 'p' (PM10 o PM2.5), en vías no pavimentadas de uso público, para la subcategoría de vehículos 'j', en la hora 'h', para el día tipo 'w', en el polígono de vía no pavimentada de uso público 'k' (g/h).

$EM\gamma_{p,j,h,w,k}$ Emisiones por material resuspendido de tamaño de partícula 'p' (PM10 o PM2.5), en vías no pavimentadas de uso industrial, para la subcategoría



de vehículos 'j', en la hora 'h', para el día tipo 'w', en el polígono de vía no pavimentada de uso industrial 'k' (g/h).

$FEVP_{p,j,k}$	Factor de emisión por resuspensión para el tamaño de partícula 'p', de vías pavimentadas para la subcategoría 'j', representativo para el polígono de vía pavimentada 'k', en (g/VKT).
$FEVNPP_{p,k,w,h}$	Factor de emisión por resuspensión de vías no pavimentadas públicas del tamaño de partícula 'p', representativo para el polígono de vía no pavimentada de uso público 'k', en la hora 'h', para el día tipo 'w' (g/VKT).
$FEVNPI_{p,j,k}$	Factor de emisión por resuspensión para el tamaño de partícula 'p' de vías no pavimentadas en vías industriales para la subcategoría 'j', representativo para el polígono de vía no pavimentada de uso industrial 'k' (g/VKT).
L_k	Longitud de vía 'k' (km)
$FT_{h,j,w,k}$	Flujo Vehicular para la hora 'h', de la subcategoría 'j', en el día 'w', en el polígono de vía 'k' (Veh/h)

La división de la malla vial en el estado de la vía (pavimentadas o no pavimentadas) se categorizó con el atributo INDICE201 del archivo geográfico suministrado por el Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), en donde se ha supuesto que todo valor entre 0 y 5 corresponde a una vía no pavimentada, de este índice, se asume que todo aquel valor de -1, equivalente a que no se tiene dato sobre esa vía, es vía pavimentada. Adicionalmente en aquellos polígonos de vía de mayor emisión de material particulado por resuspensión, se le realizó un tratamiento de corroboración visual a partir de las imágenes satelitales de Google Earth, para la validación y corrección (si es requerida) de la categorización de vías en pavimentadas y no pavimentadas.

Con respecto a la clasificación de las vías por uso público e industrial se cruzó la información de vías pavimentadas y no pavimentadas, con los usos de suelo para cada polígono de vía asignado con el módulo MEDINA-FM-GIS, siendo las categorías: dotacional, minería, industrial aquellas que se asignaron a vías de uso industrial, mientras que las demás clasificaciones se asignaron a uso público.

Por otro lado, al igual que con la estimación Bottom-Up de emisiones por fuentes móviles por combustión, se emplearon los conteos vehiculares del año 2023 de la Secretaría Distrital de Movilidad, los cuales fueron procesados con los módulos MEDINA-FM-DIAG, MEDINA-FM-PRE y MEDINA-FM-FLX, explicados en la sección A.2 de este documento, y se emplearon las longitudes de vía estimadas para cada uno de los polígonos de vía

E. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO RESUSPENDIDO POR CONSTRUCCIONES

Para el cálculo de las emisiones se utilizó la metodología de la AP 42 - 13.2.3 Heavy Construction Operations (EPA) que utiliza la ecuación E.1, la cual fue considerada como la metodología adecuada desde el primer inventario de emisiones de construcciones realizado por (Universidad de La Salle & SDA, 2013). Esta ecuación corresponde a la sumatoria de las emisiones de cada una de las construcciones que se identificaron funcionaron en el 2023.

$$E_k = \frac{\sum_1^n A_{c_j} \cdot FE \cdot t_j}{1\,000\,000} \quad \text{Ecuación D.1.1}$$

Donde,

E_k	Emisiones totales del contaminante k (t)
A_c	Área construida de la obra número j (m^2)
FE	Factor de emisión ($g/m^2.s$)
t	Tiempo de duración de la obra j (s) durante el año

A continuación, se describe a detalle las fuentes de información y la descripción de las variables de la ecuación de cálculo y procesos adicionales:

Base de datos de construcciones SDA: La base de datos suministrada por la Subdirección de Control Ambiental al Sector Público de las obras de construcción que se vienen desarrollando en la ciudad de Bogotá proporciona el valor de las variables principales para la estimación de las emisiones como es el área de construcción y tiempo de duración basada de en las fechas registradas A esta base de datos se le realiza una serie de filtros que se describen a continuación:

- **Filtro por fecha de inicio y finalización:** Permite seleccionar aquellas construcciones que operaron en 2023, es así como se filtra por fecha aquellas construcciones que iniciaron fuera del 2023 pero que realizaron actividades durante este año o que iniciaron en el año 2023 y que finalizaron o no durante este año.
- **Filtro por área de construcción:** Los registros de esta base de datos son diligenciados por los mismos usuarios que solicitan permisos de manejo de RCD para las obras de construcciones. Es así, que en algunos casos hay registros con información mal registrada, principalmente para variables como el área a construir. Es así como se realiza un filtro de esta variable para utilizar información con valores lógicos, descartando aquellos valores mayores a 100 000 m^2 .
- **Factor de emisión:** Con relación a esta variable, el cálculo de las emisiones de material particulado utilizó los factores de emisión estimados en el Contrato de Ciencia y Tecnología No. 1467 del 2012 por la Universidad de La Salle (Tabla 2). Los factores de



emisión estimados por obras de construcción de edificaciones (etapas de demolición, excavación y construcción) y mantenimiento y reparación de la malla vial son:

Tabla E-1. Factores de emisión por construcción de edificaciones y vías en la Ciudad de Bogotá, en g/m²-s.

<i>Tipo de obra</i>	<i>Etapas</i>	<i>PM_{2.5}</i>	<i>PM₁₀</i>
<i>Edificación</i>	Demolición / Excavación	12,56	3,52
<i>Edificación</i>	Construcción	1,77	1,36
<i>Vía</i>	Demolición, Excavación y Construcción	191,7	14,47

- Fuente: (Universidad de La Salle & SDA, 2013)

F. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CANTERAS

Las actividades de extracción de materiales en canteras hacen parte de las actividades que generan material particulado resuspendido identificadas para la ciudad. En general la ecuación implementada para la estimación de las emisiones de estas fuentes es la presentada a continuación:

$$E = FE \cdot A \cdot \left(\frac{3600}{1 \times 10^{-12}} \right) \cdot h \quad \text{Ecuación D.1.1}$$

Dónde:

- E Emisión del contaminante en (t/año)
- FE Factor de emisión ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{-s}$)
- A Área de extracción (m^2)
- h Horas del funcionamiento en el año (h)

A continuación, se hace una descripción de las fuentes de información y los valores utilizados para la estimación de las emisiones por extracción de materiales.

Horas del funcionamiento: Para esta estimación considera que el funcionamiento de las canteras corresponde a 9 horas diarias por 5 días a la semana y el sábado 4,5 horas. Por lo que el factor *h* mencionado en la ecuación tiene un valor de 1460 horas para el año 2023.

Porcentaje de área en extracción: El porcentaje de área de extracción con respecto al área total del predio se asumieron según el estado de actividad de la cantera. Aquellas que presentan ejecución de Plan de Manejo Ambiental (PMA) se asume un valor del 8% y para aquellas que presentan ejecución del Plan de Manejo de Recuperación y Rehabilitación (PMRR) se asumió un valor de 5%. Estos valores se encuentran de acuerdo con los supuestos asumidos por la Universidad de La Salle (Universidad de La Salle & SDA, 2013)

Factores de emisión: Los factores de emisión utilizados en este inventario, fueron aquellos estimados a partir de monitoreos realizados por la Universidad de la Salle en el marco de la actualización del inventario de emisiones de la ciudad para el año 2012. Estos factores de emisión locales para material particulado (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$) se encuentran discriminados por el tipo de material extraído como es la arena o arcilla. Más detalle de las campañas de campo, así como de los modelos utilizados para la estimación de los factores de emisión se presentan en el capítulo 4 del informe final del contrato 1467 de 2013. En el caso de las canteras que extraen los dos tipos de material de construcción se utilizará un valor promedio de los factores de emisión de arcilla y arena.

Tabla F-1. Factores de emisión para extracción de material en canteras

Contaminante	Factor de emisión ($\mu\text{g}/\text{m}^2\text{-s}$)	Material
PM_{10}	283,5	Arcilla
$\text{PM}_{2.5}$	143,5	
PM_{10}	1500	Arena
$\text{PM}_{2.5}$	675,2	

Fuente: (Universidad de La Salle & SDA, 2013)

G. ESTIMACIÓN DE EMISIONES RESIDENCIALES

Las emisiones residenciales se asocian a aquellas generadas por uso de gas natural en estufas en los hogares de la ciudad. La ecuación utilizada para su estimación se presenta a continuación:

$$E_i = C_{GN} \cdot FC_1 \cdot FE_i \cdot FC_2$$

Ecuación G.1.

En donde:

E_i Emisiones del contaminante 'i' generadas por las fuentes residenciales (t/año)

C_{GN} Consumo de gas natural durante el año 2023 (m^3)

FC_1 Factor de conversión de m^3 gas natural a GBTU (29,6 GBTU/ m^3)

FE_i Factor de emisión para el contaminante i (g/GJ)

FC_2 Factor de conversión de g a t ($1E-6$ t/g)

A continuación, se presentan los factores de emisión utilizados para esta estimación obtenidos de las guías de inventarios de emisiones de contaminantes del aire de la Agencia Ambiental Europea.

Tabla G-1. Factores de emisiones de fuentes residenciales

Contaminante	g/GJ
NO _x	42
CO	22
SO ₂	0,30
PM ₁₀	0,20
PM _{2.5}	0,20
COV	1,80

Fuente: (European Environment Agency, 2019)

Los valores de consumos de combustible se presentaron en la sección 3.6. del documento de actualización del inventario de emisiones del año 2023.

H. ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE BLACK CARBON

El BC es uno de los principales contaminantes climáticos a corto plazo entre ozono, algunos aerosoles y sus precursores. La compleja interacción en los trastornos climáticos y sus efectos en la salud de los seres humanos, ha llevado a la primera estimación de la distribución de BC en la ciudad de Bogotá, usando las herramientas del Grupo de Modelación Atmosférica de Bogotá por medio de los resultados de la desagregación espacio temporal realizada para las fuentes fijas industriales y las fuentes móviles por resuspensión, donde se emplearon los perfiles de especiación química por tipo de combustible de la base de datos SPECIATE (US-EPA, 2019), y para las fuentes móviles por combustión y desgaste de frenos se utilizaron fracciones estimadas con los factores de emisión de MOVES (US-EPA, 2020), para estimar la fracción másica de diversas especies químicas del $PM_{2.5}$; luego de la especiación química, se asumió como BC el carbono elemental (PEC). A continuación, se explica los factores específicos para cada uno de los módulos.

H.1. Black Carbon para fuentes fijas industriales

Las fuentes fijas industriales cuentan con 18 tipos de especies químicas, de las cuales se filtró la fracción másica del carbón elemental (PEC) por tipo de combustible y tipo de fuente usadas en la estimación de fuentes fijas industriales. En la Tabla H-1 se encuentra las especificaciones del tipo de combustible y el porcentaje que representa el PEC para cada una de estas.

Tabla H-1. Fracciones de BC presente en las emisiones de $PM_{2.5}$ generadas por las fuentes fijas industriales

Tipo de combustible	PEC/ $PM_{2.5}$
Aceite destilado	0,100
Gas natural	0,384
Calderas a Gas Natural	0,130
Quemadores a gas natural	0,063
Gas natural residencial	0,067
Aceite residual	0,010
Carbón bituminoso	0,0428
Leña	0,0371

Fuente: Base de datos SPECIATE (US-EPA, 2019)

H.2. Black Carbon para fuentes móviles

En esta sección se entenderán como las emisiones de *black carbon* por fuentes móviles como aquellas generadas en procesos de combustión, desgaste de llantas y freno (TBW) y resuspensión de vías (RDST). La estimación de estas emisiones se realiza a partir de los factores de emisión de MOVES de la US-EPA, los cuales cuentan con la fracción másica para 18 especies químicas. En las siguientes tablas se presenta la fracción másica de carbón elemental (PEC) asociada al BC.

En la Tabla H-2 se presenta la fracción másica de carbón elemental (PEC), que fueron usados para la estimación de las emisiones de BC generadas por combustión de las fuentes móviles terrestres de carretera, discriminadas por categoría vehicular y el tipo de combustible que usa cada una.

Tabla H-2. Fracciones másicas de carbón elemental para las emisiones por combustión de las fuentes móviles

<i>Categoría vehicular</i>	<i>Tipo de combustible</i>		
	<i>Diesel</i>	<i>Gasolina</i>	<i>Gas Natural vehicular</i>
AL	5,23E-01	NA	NA
AT	5,92E-01	NA	1,12E-01
AUT	NA	1,38E-01	1,12E-01
BA	3,65E-01	NA	1,12E-01
BS	5,94E-01	NA	NA
C2	5,35E-01	1,38E-01	1,12E-01
C3	4,43E-01	1,36E-01	1,12E-01
C4+	4,43E-01	1,36E-01	1,12E-01
CC	4,59E-01	1,38E-01	1,12E-01
ESB	5,99E-01	NA	NA
ESL	5,99E-01	1,36E-01	1,12E-01
INT	4,44E-01	1,36E-01	1,12E-01
M	NA	1,40E-01	
TX	NA	1,38E-01	1,12E-01

Elaboración Propia a partir de MOVES (US-EPA, 2020)

Para la estimación de material resuspendido en vías las fracciones másicas de PEC presentadas en la Tabla H-3 y categorizadas por estado de la vía.

Tabla H-3. Porcentaje para fuentes móviles por resuspensión

<i>Estado de la vía</i>	<i>Fracción de carbono elemental</i>
Vías pavimentadas	1,04E-02
Vías no pavimentadas	9,75E-04

Elaboración Propia a partir de MOVES (US-EPA, 2020)

Finalmente, para las emisiones por desgaste de frenos y llantas, (TBW) se ve presentan las fracciones usadas en la Tabla H-4.

Tabla H-4. Porcentaje para fuentes móviles terrestres de carretera por freno y desgaste de llantas.

<i>Fuente</i>	<i>Fracción de carbón elemental</i>
Desgaste de frenos	2,61E-02
Desgaste de llantas	2,20E-01

Elaboración Propia a partir de MOVES (US-EPA, 2020)

I. ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR QUEMAS E INCENDIOS

La Unidad Administrativa Especial del Cuerpo Oficial de Bomberos (UAECOB) se encarga de recopilar de forma sistemática información histórica sobre los incendios ocurridos en la ciudad de Bogotá. Para la estimación de emisiones atmosféricas asociadas a estos eventos, los datos fueron clasificados considerando dos criterios principales: el tipo de material combustible y el contexto en el que ocurre el evento. Definiendo así, los siguientes cinco grupos de emisión:

- Incendio de vehículos
- Quema de residuos sólidos
- Quema de llantas
- Quema de biomasa:
 - Quemadas agrícolas
 - Incendios forestales
- Incendios en infraestructura:
 - Industrial
 - Residencial y comercial

La Tabla I-1 muestra los factores de emisión que fueron utilizados para realizar el cálculo de emisión. Para los incendios vehiculares, se emplearon los factores de emisión de EMEP/EEA (2024) para material particulado y AQMAU (2009) para los demás contaminantes. Para la quema de residuos sólidos, se utilizaron los valores de EMEP/EEA (2024) para todos los contaminantes, excepto $PM_{2.5}$, el cual fue tomado de Christian et al. (2010) y se tuvo en cuenta la caracterización de residuos sólidos de NCU-UAESP (2018). En el caso de la quema de llantas, se emplearon los factores de emisión publicados por Downard et al. (2015) y Lemieux & Ryan (1993), en la cual se asumieron característica de quemado de las llantas de Gratkowski (2014). Para los incendios forestales y quemadas agrícolas fueron adaptados de Akagi et al. (2011), asumiendo valores de contenido de biomasa por hectárea para los distintos tipos de vegetación según información disponible para Suramérica. En los incendios de infraestructura industrial, se emplearon los factores de emisión de EMEP/EEA (2024) para PM_{10} y $PM_{2.5}$, mientras que los demás contaminantes fueron extrapolados basados en los factores de emisión de la infraestructura residencial. Por último, para el caso de los incendios de infraestructura en edificios residenciales y comerciales, se emplearon los factores de emisión de la base de datos AP-42 US-EPA (1996) asumiendo los contenidos de material combustible promedio de Claire (1999).

Tabla I-1 Factores de emisión para quemas e incendios

Fuente de emisión	Clasificación adicional	Unidades	BC	CO	COV	NO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO _x
Incendio de vehículos		g/s	1.76E-01	5.88E-01	2.00E-01	1.94E-02	4.71E-01	4.71E-01	0.00E+00
Quema de residuos sólidos		g/s	7.87E-03	1.86E-01	2.58E-02	1.06E-02	2.02E-02	1.87E-02	3.67E-04
Quema de llantas		g/s-llanta	8.75E-03	2.96E-01	6.79E-02	2.50E-02	2.23E-02	2.23E-02	2.96E-02
Quema de biomasa (Quemas agrícolas)		g/s	5.88E-02	8.00E+00	3.76E-01	2.44E-01	5.18E-01	4.91E-01	9.80E-05
Quema de biomasa (Incendios forestales)	Bosque Tropical	g/m2	7.88E+00	1.41E+03	ND	2.80E+02	2.80E+02	1.38E+02	6.06E+00
	Matorrales	g/m2	2.57E+00	1.32E+02	ND	6.44E+00	3.04E+01	2.35E+01	1.34E+00
	Pastizales	g/m2	2.63E-01	4.47E+01	ND	2.77E+00	5.09E+00	5.09E+00	3.41E-01
Incendios en infraestructura	Industrial	g/s	7.96E-01	1.13E+01	3.98E+00	7.96E-01	2.12E+00	2.12E+00	1.33E-01
	Residencial y comercial	g/s	6.00E-01	1.17E+01	1.06E+01	1.20E-01	1.60E+00	1.60E+00	1.85E-02

*Nota: ND: No disponible.

Elaboración propia, adaptada de varias fuentes especificadas en la metodología

La emisión de contaminantes en este grupo de fuentes está directamente vinculada al proceso de combustión y al tipo de material que se quema. Así, las estimaciones se realizaron con base en los datos de actividad correspondientes a cada fuente de emisión, tales como la duración del evento en incendios de vehículos, quema de residuos sólidos, quemas agrícolas e incendios en infraestructura; el número de llantas quemadas por evento registrado, en el caso de la quema de llantas; y el tipo de cobertura vegetal y el área afectada, para los incendios forestales.

Las emisiones por quema de biomasa (incendios forestales) se estimaron utilizando la Ecuación I.1. Para la quema de llantas se aplicó la Ecuación I.2, y en el caso de las demás fuentes de emisión, se empleó la Ecuación I.3.

$$E_{i,a} = \frac{(FE_{i,a} * FA_a)}{1000} \quad \text{Ecuación I.1.}$$

En donde:

- $E_{i,a}$ Emisiones del contaminante 'i' generadas por cada incendio forestal según el tipo de cobertura vegetal 'a' (kg).
- $FE_{i,a}$ Factor de emisión del contaminante 'i' establecido para cada incendio forestal según el tipo de cobertura vegetal 'a' (g/m2), tomados de la **Tabla I-1**.
- FA_a Área afectada en metros cuadrados (m²) por cada incendio forestal según el tipo de cobertura vegetal 'a'.
- 1000 Cantidad de gramos que tiene un kilogramo

$$E_{i,b} = \frac{FE_{i,b} \cdot (TQ_b \cdot 86400) \cdot LL_b}{1000}$$

Ecuación I.2.

En donde:

- $E_{i,b}$ Emisiones del contaminante 'i' generadas por cada registro de quema de llantas 'b' (kg).
 $FE_{i,b}$ Factor de emisión del contaminante 'i' establecido para cada registro de quema de llantas 'b' (g/s-llanta), tomados de la **Tabla I-1**.
 TQ_b Tiempo de ocurrencia de cada quema de llantas (día).
 LL_b Número de llantas quemadas por cada evento registrado.
86400 Número de segundos en un día (24 × 3600).
1000 Cantidad de gramos que tiene un kilogramo.

$$E_{i,c} = \frac{FE_{i,c} \cdot TQ_c \cdot 86400}{1000}$$

Ecuación I.3.

En donde:

- $E_{i,c}$ Emisiones del contaminante 'i' generadas por cada registro de incendio de vehículos, quema de residuos sólido, quemas agrícolas o incendios en infraestructura 'c' (kg).
 $FE_{i,c}$ Factor de emisión del contaminante 'i' establecido cada registro de incendio de vehículos, quema de residuos sólido, quemas agrícolas o incendios en infraestructura 'c' (g/s), tomados de la **Tabla I-1**.
 TQ_c Tiempo de ocurrencia de cada incendio o quema 'c' (día).
86400 Número de segundos en un día (24 × 3600).
1000 Cantidad de gramos que tiene un kilogramo.

Las emisiones totales del contaminante 'i', generadas por incendios y quemas durante el año, se estiman como la sumatoria de las emisiones provenientes de cada tipo de fuente por cada contaminante, obtenidas a partir de las ecuaciones descritas anteriormente.

$$E_{i,año} = \sum_{j \in (a,b,c)} E_{i,j}$$

Ecuación I.4.

- $E_{i,año}$ Emisión total anual del contaminante 'i' (kg).
 $E_{i,j}$ Emisiones del contaminante 'i' provenientes de la fuente 'j' (kg).
i Contaminante.



- j Tipo de fuente: a = quema de biomasa, b = quema de llantas, c = otras fuentes (incendio de vehículos, quema de residuos sólido, quemas agrícolas o incendios en infraestructura).

J.REFERENCIAS

- EPA. (s.f.). AP 42 13.2.3 Heavy Construction Operations. Obtenido de <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch13/>
- European Environment Agency. (2019). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019. Small combustion.
- GAW Report. (2016). WMO/GAW Aerosol Measurement Procedures, Guidelines and Recommendations 2. 227.
- Gestor de mercado de gas natural en Colombia. (2023). *Tablero de Indicadores del Mercado del Gas Natural en Colombia*. Obtenido de <https://www.bmcbec.com.co/bi-gas/demanda>
- IDU. (2019). Información georreferencia de la malla vial de la ciudad de Bogotá. Bogotá.
- Janssen, N., Hoek, G., Simic-Lawson, M., Fischer, P., van Bree, L., Brink, H., . . . Cassee, F. (2011). Black carbon as an additional indicator of the adverse health effects of airborne particles compared with pm10 and pm2.5. *Environmental Health Perspectives*. 119(12), 1691–1699. Obtenido de <https://doi.org/10.1289/ehp.1003369>
- Krzyzanowski, M. (2005). Health effects of transport related air pollution: summary for policy - makers.
- Minjares, R., Wagner, D., Baral, A., Chambliss, S., Galarza, S., Posada, F., . . . Akbar, S. (2014). Reducing Black Carbon Emissions from Diesel Vehicles: Impacts, Control Strategies, and Cost-Benefit Analysis. 79.
- NCAR/ACOM. (2023). *Fire Emission Inventory From NCAR*. Recuperado el 2023, de <https://www2.acom.ucar.edu/modeling/finn-fire-inventory-ncar>
- Secretaría de Movilidad de Bogotá. (01 de Septiembre de 2020). *Portal SIMUR*. Obtenido de <https://www.simur.gov.co/portal-simur/indicadores-2/velocidad-en-corredores/velocidad-promediomensual/>
- Secretaría Distrital de Ambiente, & Universidad de los Andes. (2010). *Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá*. Bogotá.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2018). Sistema Integrado de Información de Fuente Fijas - SIIF (versión 10)[Plataforma web de uso interno]. Bogotá.
- Steer Davies. (2015). *Actualización y ajuste de la matriz origen destino de transporte de carga en la ciudad de Bogotá D.C.* Bogotá.
- Universidad de La Salle, & SDA. (2013). *Informe estimación inventario de material particulado resuspendido, contrato 1467 de 2013*.

- Universidad de La Salle, SDA, & Ecopetrol. (2018). *INFORME ACUERDO DE COOPERACIÓN N° 02 DERIVADO DEL CONVENIO N° 5224377ECP-20171354SDA*.
- Universidad Nacional de Colombia, & SDA. (2012). *Informe Convenio 013/2012*.
- Universidad Nacional de Colombia, & SDA. (2013). *Informe Convenio 015/2013*.
- UPME. (2023). Obtenido de https://www1.upme.gov.co/Hidrocarburos/publicaciones/Dem_Gas_Nat_Esc_Med_Nod_Sect_PAGN_Jun2020.xlsx
- US-EPA. (10 de Septiembre de 2019). *SPECIATE 5.1*. Obtenido de <https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate>
- US-EPA. (30 de Octubre de 2020). *MOtor Vehicle Emission Simulator (MOVES)*. Obtenido de <https://www.epa.gov/moves/latest-version-motor-vehicle-emission-simulator-moves>
- US-EPA. (s.f.). *AP-42: Compilation of Air Emissions Factors*. Recuperado el 2019, de <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>
- Akagi, S. K., Yokelson, R. J., Wiedinmyer, C., Alvarado, M. J., Reid, J. S., Karl, T., Crounse, J. D., & Wennberg, P. O. (2011). Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(9), 4039–4072. <https://doi.org/10.5194/ACP-11-4039-2011>
- AQMAU - National Air Quality Modeling & Assessment Unit. (2009). *Review of emission factors for incident fires*.
- Christian, T. J., Yokelson, R. J., Cárdenas, B., Molina, L. T., Engling, G., & Hsu, S. C. (2010). Trace gas and particle emissions from domestic and industrial biofuel use and garbage burning in central Mexico. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 10(2), 565–584. <https://doi.org/10.5194/ACP-10-565-2010>
- "Claire, S. (1999). *Miscellaneous Emission Sources, Accidental Fires - Structural*.
- Downard, J., Singh, A., Bullard, R., Jayarathne, T., Rathnayake, C. M., Simmons, D. L., Wels, B. R., Spak, S. N., Peters, T., Beardsley, D., Stanier, C. O., & Stone, E. A. (2015). Uncontrolled combustion of shredded tires in a landfill – Part 1: Characterization of gaseous and particulate emissions. *Atmospheric Environment*, 104, 195–204. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOENV.2014.12.059>
- EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2023 | European Environment Agency's home page. (n.d.). Retrieved December 19, 2024, from <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/emep-eea-guidebook-2023>
- Gratkowski, M. T. (2014). Burning Characteristics of Automotive Tires. *Fire Technology*, 50(2), 379–391. <https://doi.org/10.1007/S10694-012-0274-9>



Lemieux, P. M., & Ryan, J. V. (1993). Characterization of Air Pollutants Emitted from a Simulated Scrap Tire Fire. *Air & Waste*, 43(8), 1106–1115.
<https://doi.org/10.1080/1073161X.1993.10467189>

NCU-UAESP. (2018). *Estudio técnico de la caracterización en la fuente de residuos sólidos generados en la Ciudad de Bogotá Distrito Capital por tipo de generador y establecer el uso de métodos alternativos de transporte para materiales aprovechables.*

US-EPA. (1996). *AP 42, Fifth Edition, Volume I Chapter 1: External Combustion Sources Sec. 1.9 Residential Fireplaces.*

ANEXO 2. Evolución histórica de emisiones

1. INTRODUCCIÓN

La evolución histórica y espacial de las emisiones se ha desarrollado como una herramienta clave en el marco de los inventarios, permitiendo visualizar de manera clara el impacto y la afectación de las emisiones a lo largo del tiempo en las distintas localidades de Bogotá.

2. HISTORICO DEL INVENTARIO DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN

2.1 Fuentes Fijas Industriales

La desagregación espacial de las emisiones, considerando su evolución histórica, nos permite llevar a cabo un seguimiento y análisis detallado año tras año para cada uno de los contaminantes criterio y BC.

En las Figura 1 a la Figura 7, se presenta una tendencia de crecimiento en las emisiones hacia 2022-2023, particularmente en $PM_{2.5}$, PM_{10} , NO_x y CO , que podrían estar relacionados con un aumento de actividades industriales, principalmente en las localidades de Puente Aranda, Fontibón y Kennedy. Finalmente, aunque con menor intensidad, las emisiones de COV y BC también muestran un incremento en los últimos años.

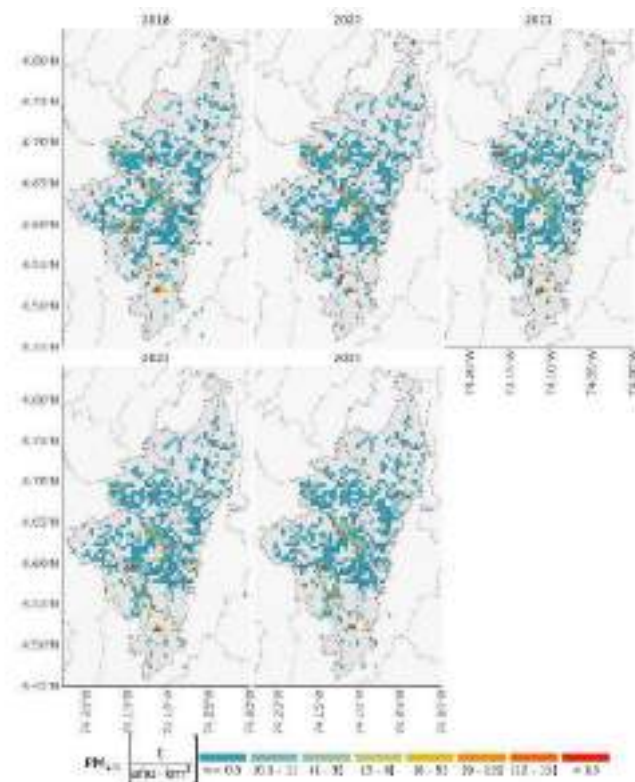


Figura 1. Distribución espacial de las emisiones totales históricas industriales por año generadas de $PM_{2.5}$.

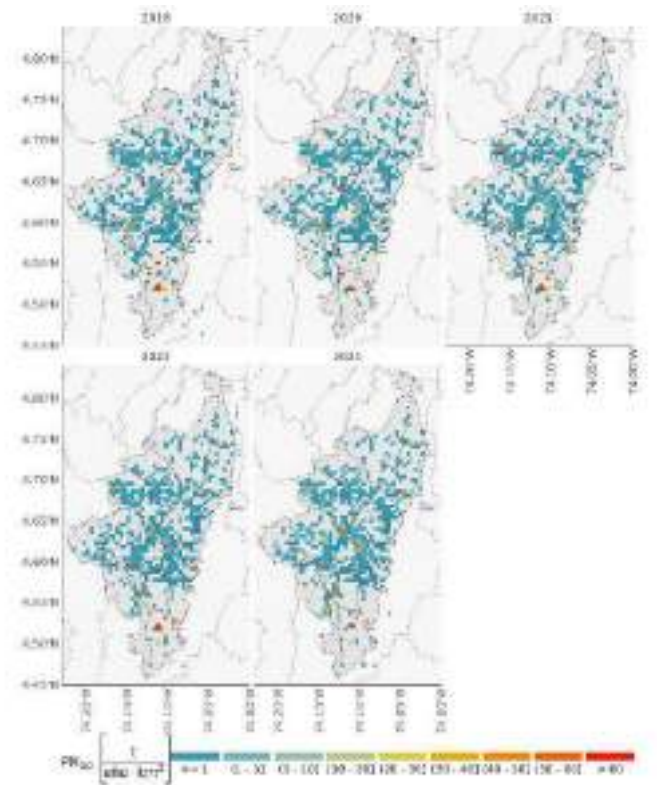


Figura 2. Distribución espacial de las emisiones totales históricas industriales por año generadas de PM10.

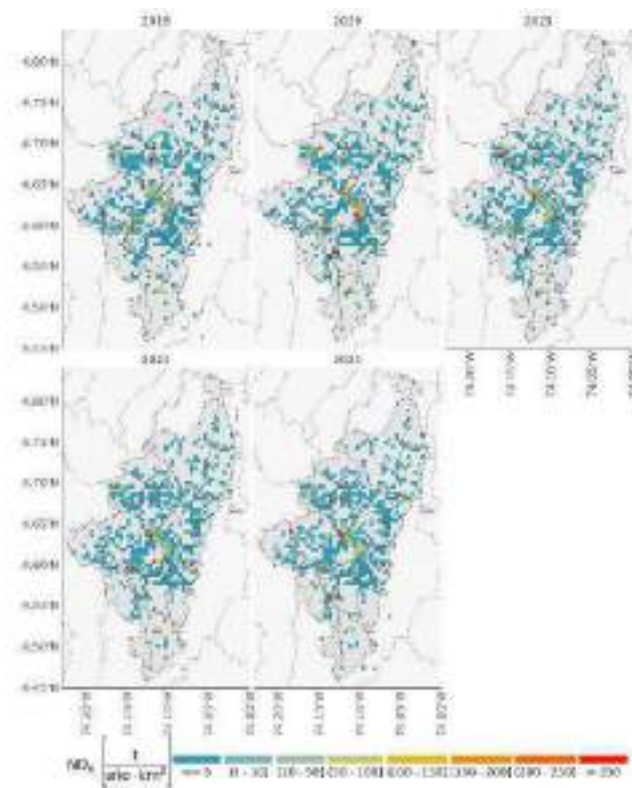


Figura 3 Distribución espacial de las emisiones totales históricas industriales por año generadas de NOx.

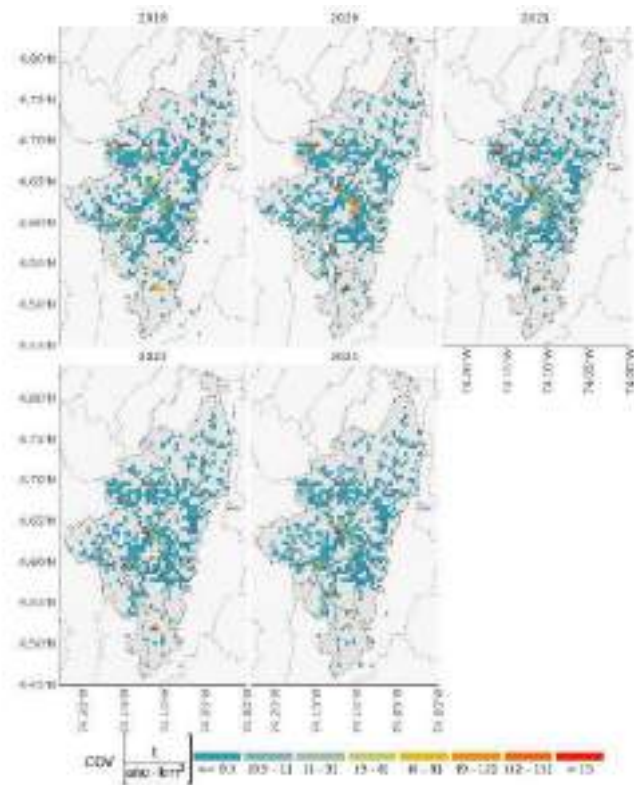


Figura 4 Distribución espacial de las emisiones totales históricas industriales por año generadas de COV.

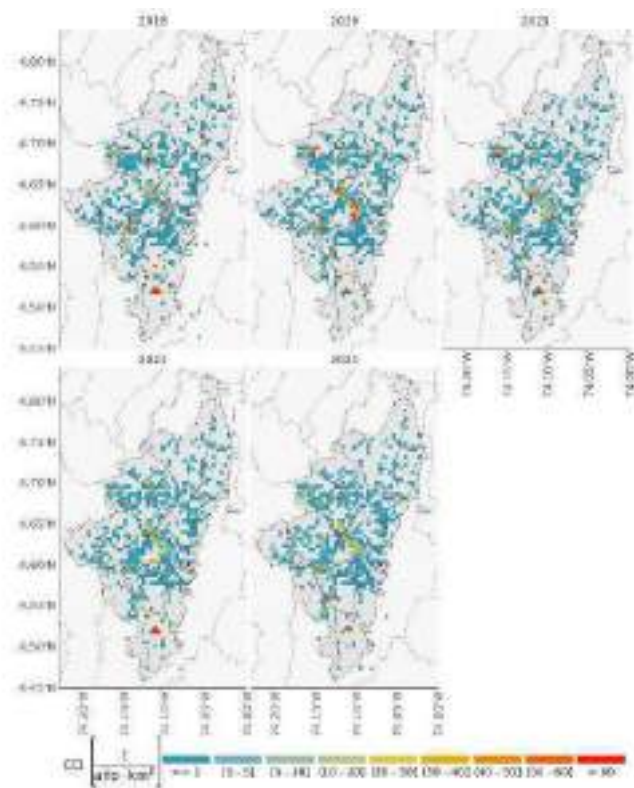


Figura 5. Distribución espacial de las emisiones totales históricas industriales por año generadas de CO.

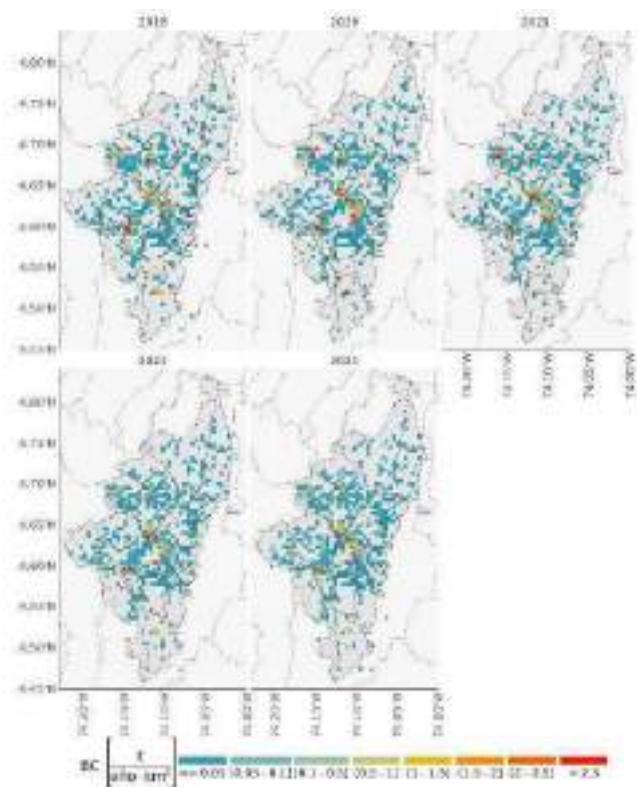


Figura 6. Distribución espacial de las emisiones totales históricas industriales por año generadas de BC.

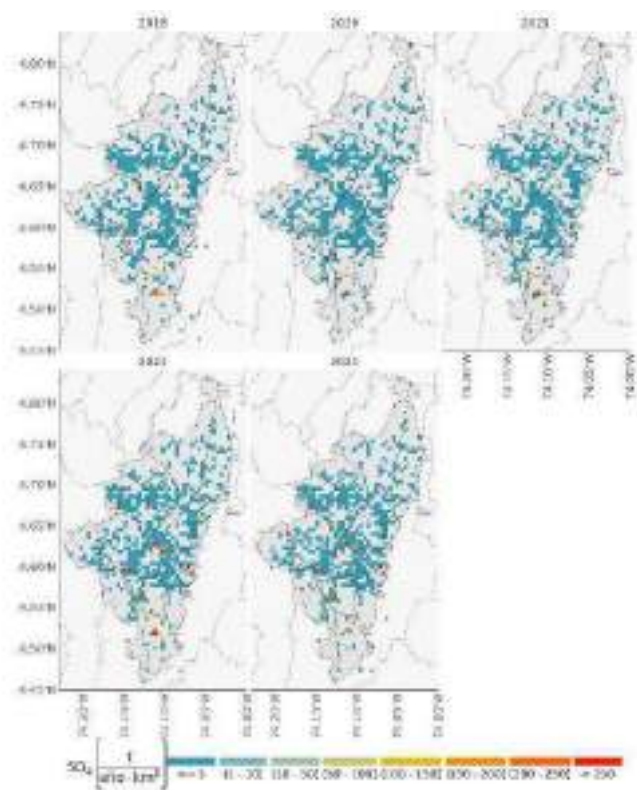


Figura 7. Distribución espacial de las emisiones totales históricas industriales por año generadas de SOx.

2.2 Fuentes Móviles

La evolución histórica para las fuentes móviles se analiza para cada uno de los contaminantes en las figuras Figura 8 a la Figura 14, en las cuales podemos determinar:

- Las emisiones de $PM_{2.5}$ son más altas en las zonas urbanas y áreas con mayor densidad vehicular, como el centro y las principales vías. A lo largo de los años, las concentraciones más altas, se mantienen en las mismas áreas.
- Las emisiones de PM_{10} siguen patrones similares a las de $PM_{2.5}$, pero con rangos de impacto ligeramente más amplios.
- Las emisiones de NO_x tienen un rango más amplio en áreas urbanas, con concentraciones mayores a 60 t/año en los centros y ejes viales principales.
- Las emisiones de CO, presenta las concentraciones más altas, en áreas urbanas con intenso tráfico vehicular.
- Las emisiones de SO_x son significativamente más bajas que otros contaminantes, con valores máximos de 1 t/año en zonas urbanas.
- Las emisiones de COV, presentan concentraciones superiores a 50 t/año en áreas urbanas y vías principales.

En general los contaminantes se concentran principalmente en las localidades con mayor población y las principales vías de transporte, donde hay mayor tránsito vehicular.

Aunque no hay cambios significativos en la distribución espacial de los contaminantes, algunos (como SO_x y PM_{10}) muestran disminuciones leves en áreas periféricas.

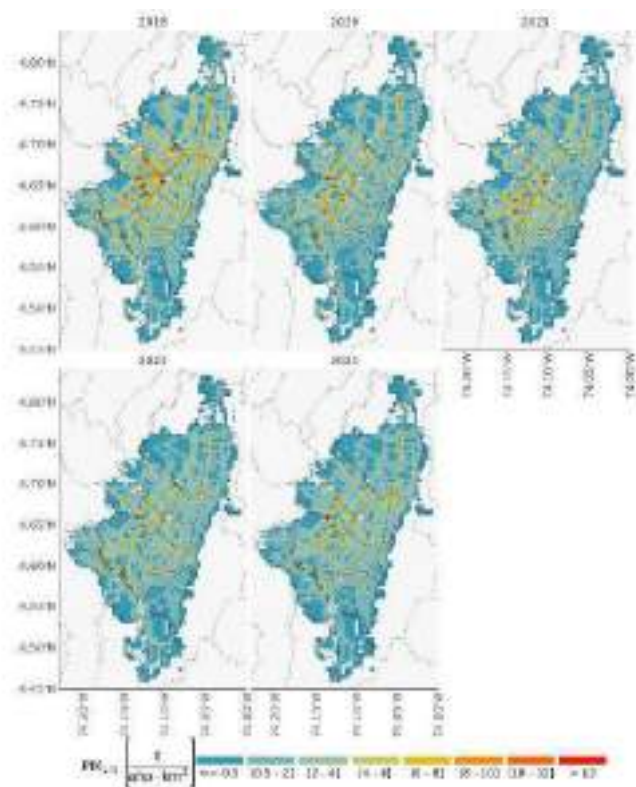


Figura 8. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de fuentes móviles por combustión por año generadas de PM_{2.5}.

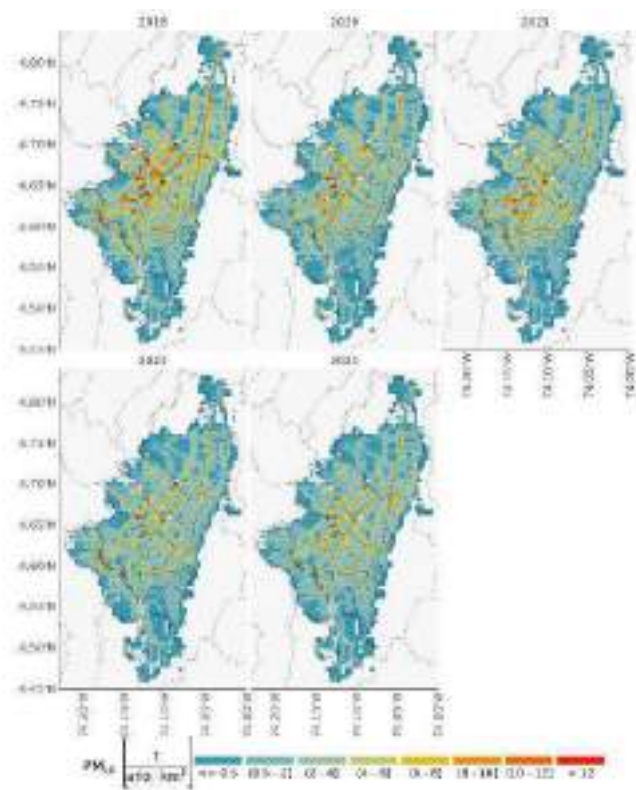


Figura 9. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de fuentes móviles por combustión por año generadas de PM₁₀.

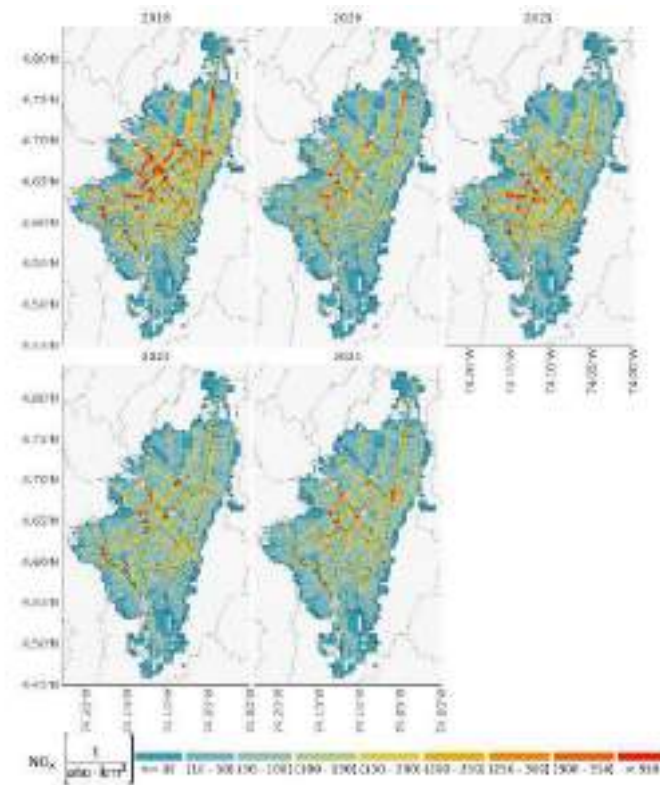


Figura 10 Distribución espacial de las emisiones totales históricas de fuentes móviles por combustión por año generadas de NO_x .

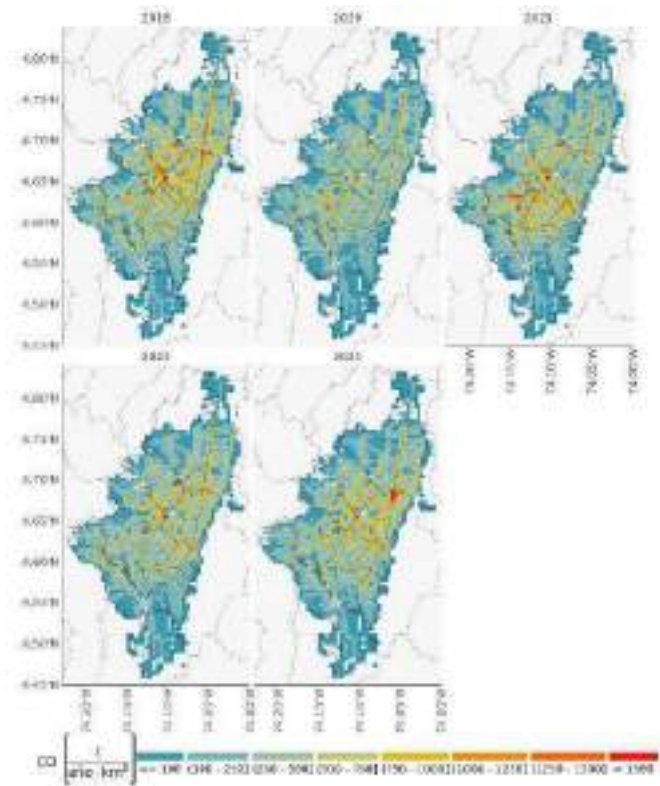


Figura 11. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de fuentes móviles por combustión por año generadas de CO .

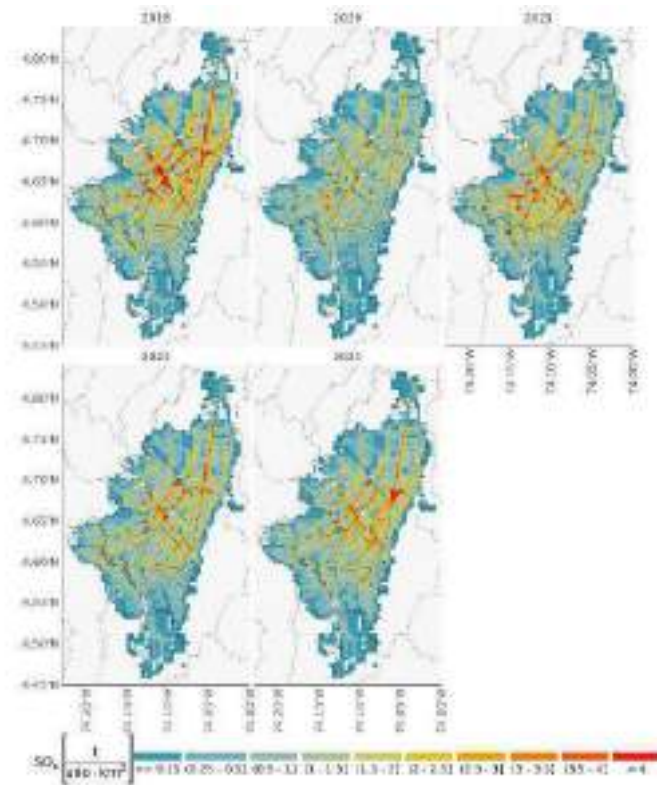


Figura 12. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de fuentes móviles por combustión por año generadas de SOx.

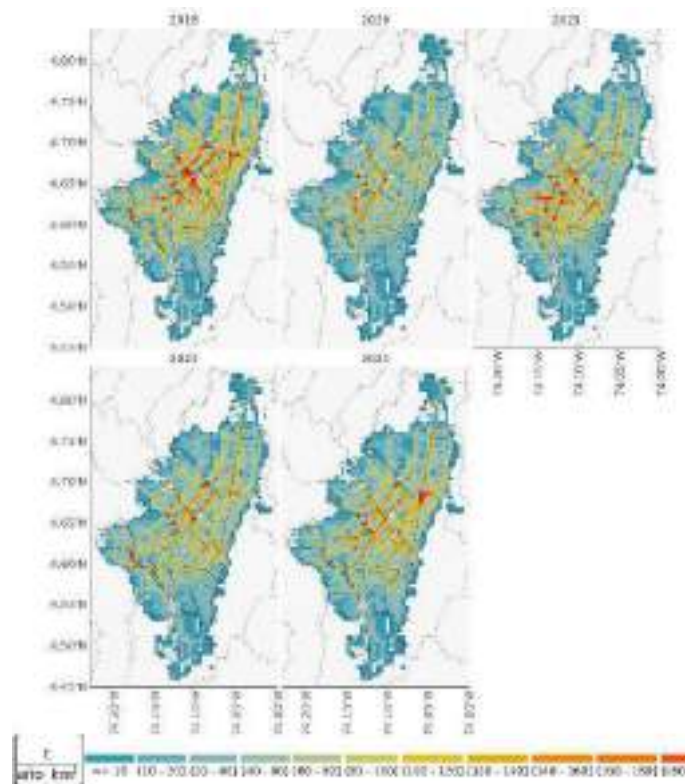


Figura 13. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de fuentes móviles por combustión por año generadas de COV.

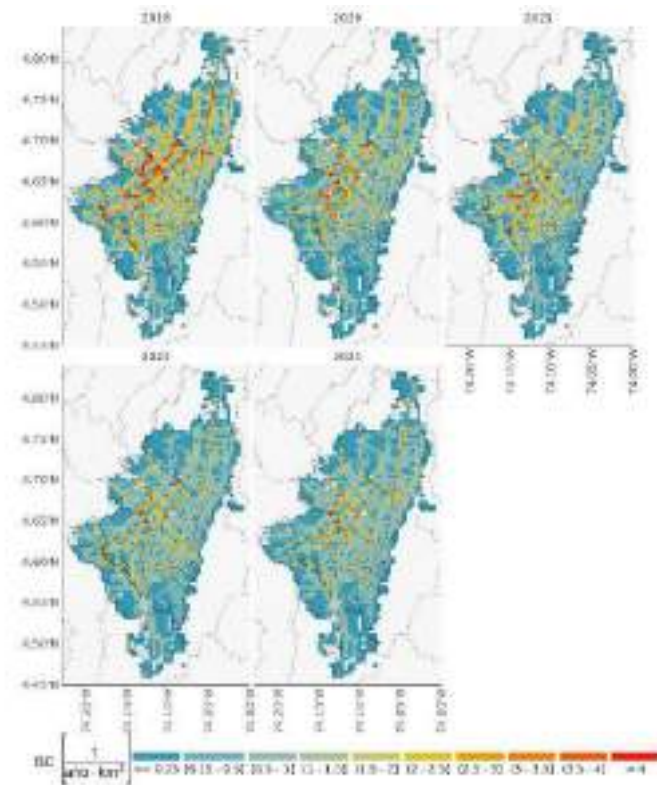


Figura 14. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de fuentes móviles por combustión por año generadas de BC.

2.3 Fuentes Incendios

El análisis histórico de las emisiones de contaminantes generadas por incendios y quemas a cielo abierto tienen una distribución espacial concentrada principalmente en el sur y centro-sur de la ciudad de Bogotá, con impactos ambientales y de salud considerables. Es fundamental implementar medidas de control y mitigación, especialmente en las zonas críticas, para proteger la calidad del aire, la salud pública y los ecosistemas.

En la Figura 15 a la Figura 21, reflejan un incremento progresivo en las emisiones generadas por incendios entre los años 2020 y 2023. Las emisiones se concentran principalmente en ciertas zonas específicas, lo que indica que estas áreas podrían estar más expuestas a fuentes de incendios, como vegetación seca, actividades agrícolas o prácticas humanas que facilitan su propagación.

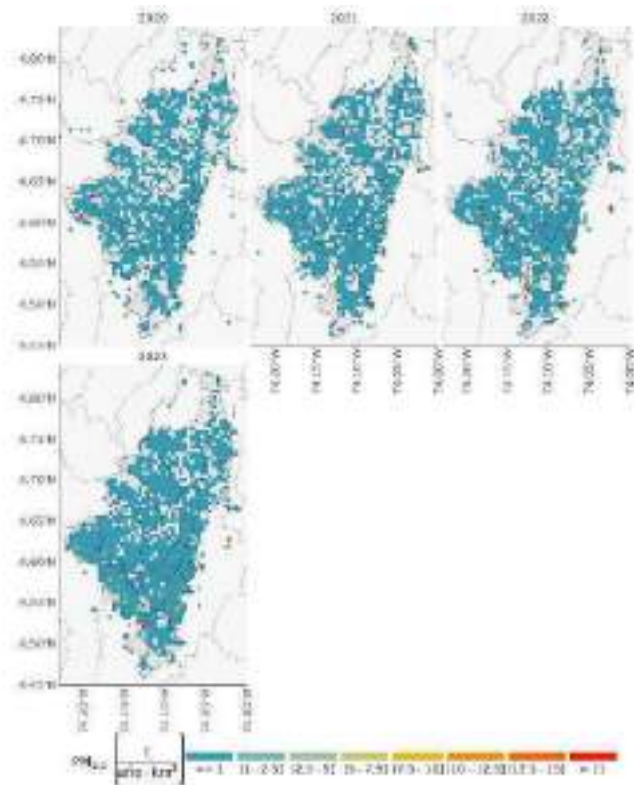


Figura 15. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de fuentes de incendios por año generadas de $PM_{2.5}$.

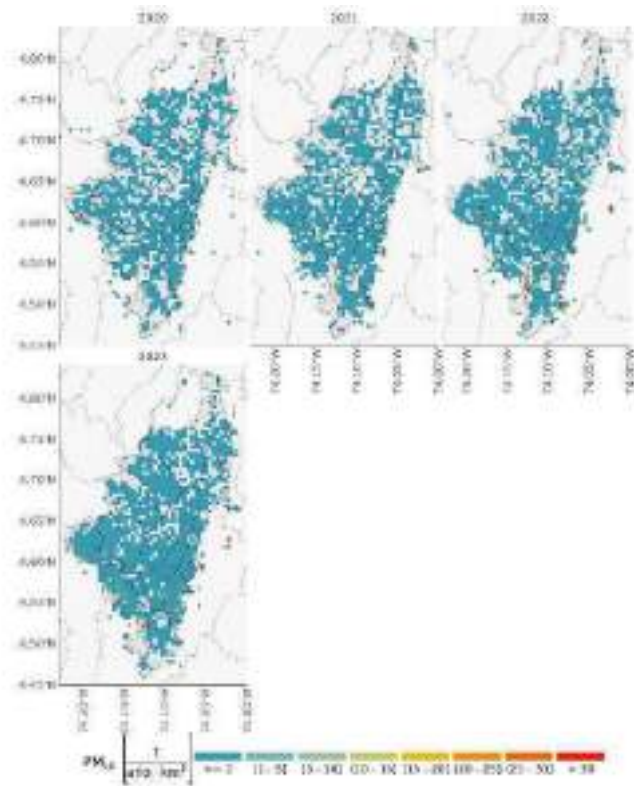


Figura 16. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de fuentes de incendios por año generadas de PM_{10} .

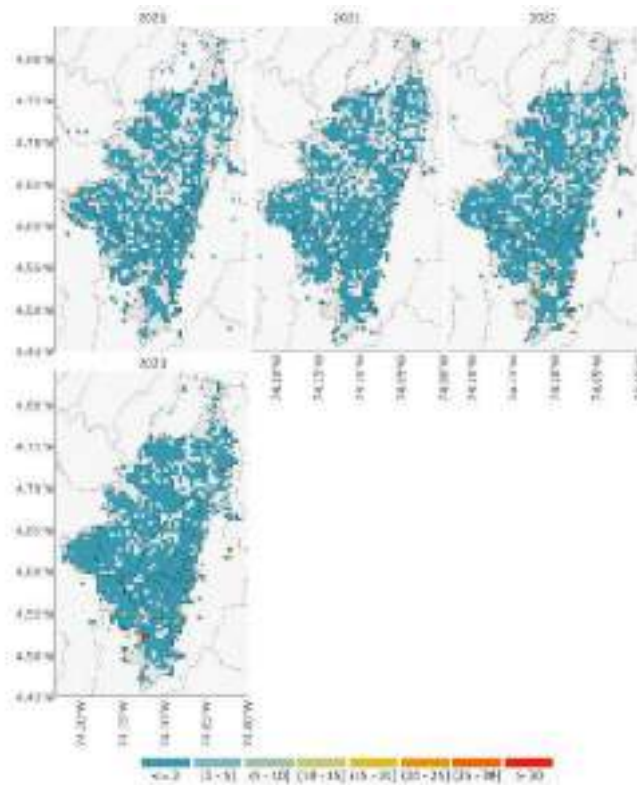


Figura 17. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de fuentes de incendios por año generadas de NOx.

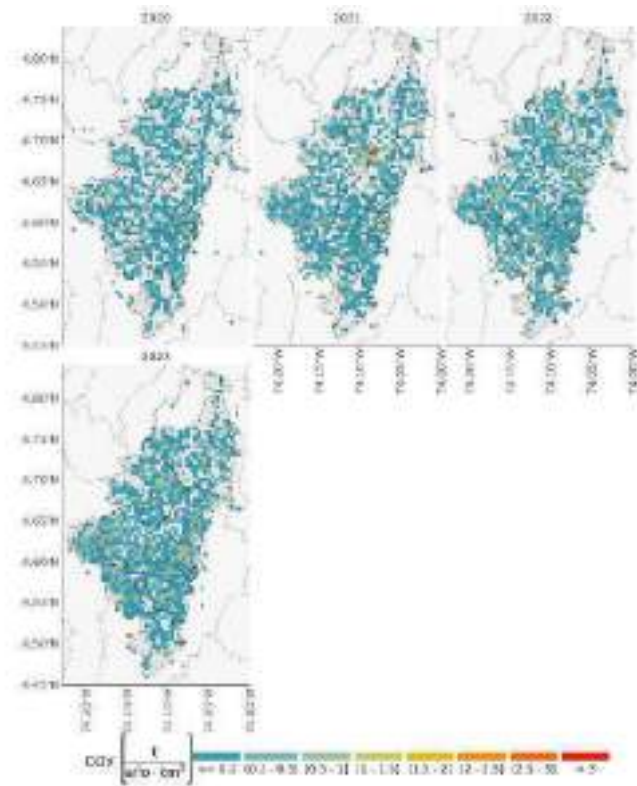
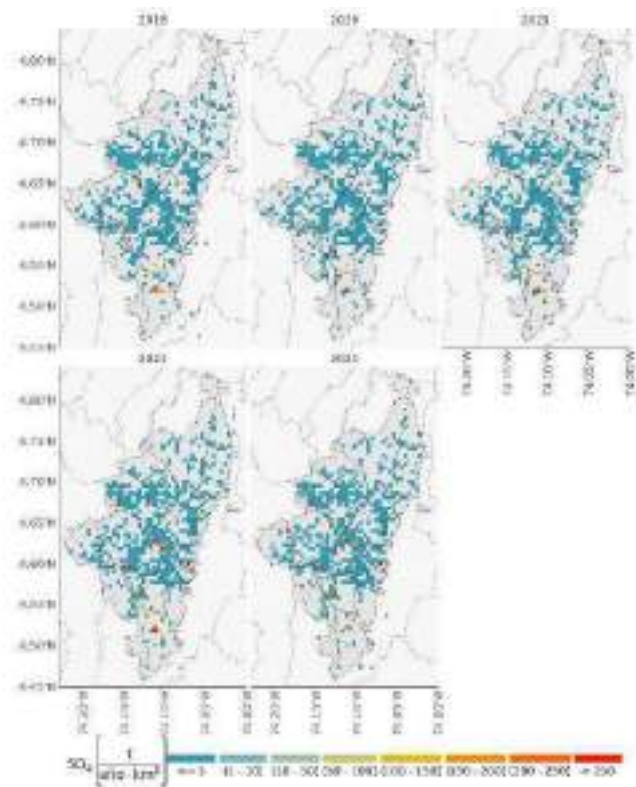


Figura 18. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de fuentes de incendios por año generadas de COV.



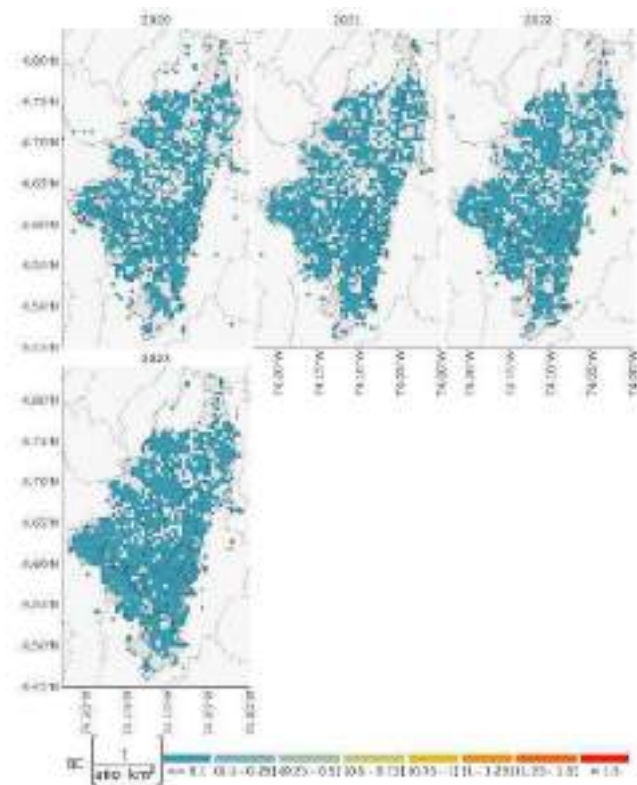


Figura 21. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de fuentes de incendios por año generadas de BC.

3. HISTORICO DEL INVENTARIO DE EMISIONES POR MANIPULACIÓN DE MATERIALES

3.1 Fuentes de Canteras

Gracias a la caracterización de fuentes por canteras, se ha realizado un seguimiento detallado de la contribución de esta actividad a la calidad del aire en Bogotá. En las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Figura 22 y Figura 23, se presenta la desagregación de las emisiones, destacándose que la localidad de Usme lidera en la generación de emisiones. Esto se debe a que, históricamente, Usme ha concentrado la mayoría de las canteras de la ciudad, y desde 2021, su número ha aumentado, incrementando su participación en las emisiones que afectan la calidad del aire en Bogotá.

- Las emisiones de $PM_{2.5}$, en el año 2021 se identifica como el de menor impacto en emisiones de $PM_{2.5}$, ya que las cantidades de canteras eran inferiores. Sin embargo, en 2023, las zonas de alta emisión permanecen y se observa una mayor concentración en áreas con valores superiores a 60 toneladas/año.
- Las emisiones de PM_{10} , su distribución espacial es similar a la de $PM_{2.5}$, aunque presenta mayores valores de emisión en las mismas zonas. En 2021, las emisiones son más bajas, mientras que en 2022 y 2023 se evidencia un incremento significativo en la intensidad de las emisiones.

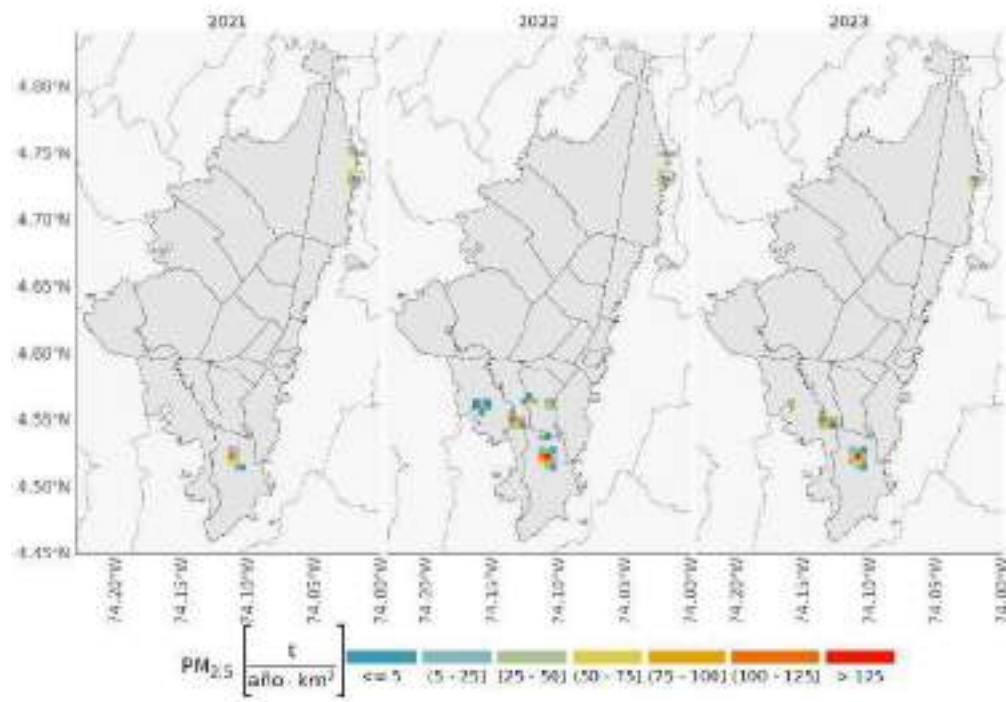


Figura 22. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de canteras por año generadas de $PM_{2.5}$

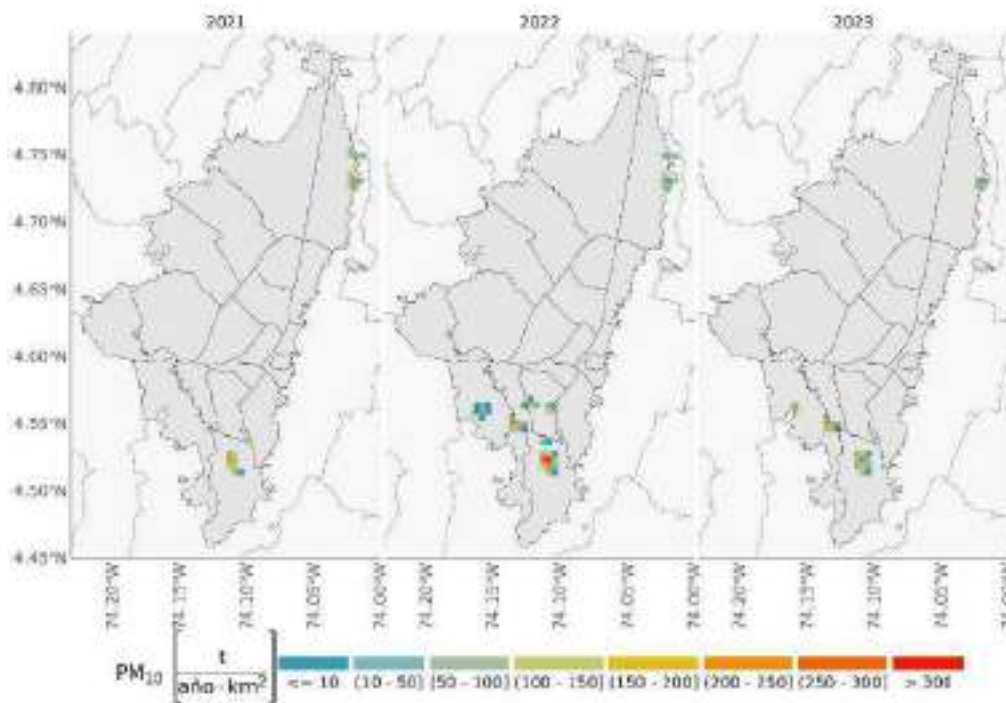


Figura 23. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de canteras por año generadas de PM_{10} .

3.2 Fuentes de Construcciones

Como se detalla en el documento de inventario, las emisiones generadas por actividades de construcción tienen un aporte significativo a la resuspensión de partículas. Este fenómeno se refleja en los mapas de emisiones correspondientes a los años 2018, 2020, 2021, 2022 y 2023, presentados en las Figura 24 y Figura 25, donde se evidencia un crecimiento continuo durante este período.

Las emisiones de PM_{10} son considerablemente más altas que las de $PM_{2.5}$ en las mismas áreas, lo que indica que las partículas gruesas tienen una mayor contribución en las actividades constructivas. Además, se observa una tendencia al alza en las emisiones totales a lo largo de los años, especialmente en áreas específicas donde se ha registrado un incremento poblacional en Bogotá.

Estas emisiones están directamente relacionadas con obras viales y proyectos de edificación en desarrollo, lo que explica los elevados niveles de concentración observados en localidades como Usaquén, Chapinero, Suba y Bosa.

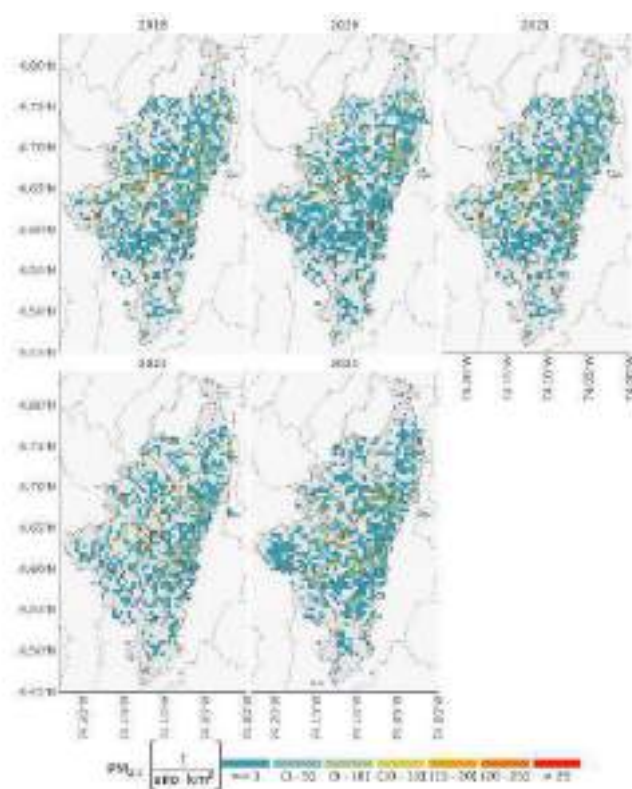


Figura 24. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de construcciones por año generadas de $PM_{2.5}$.

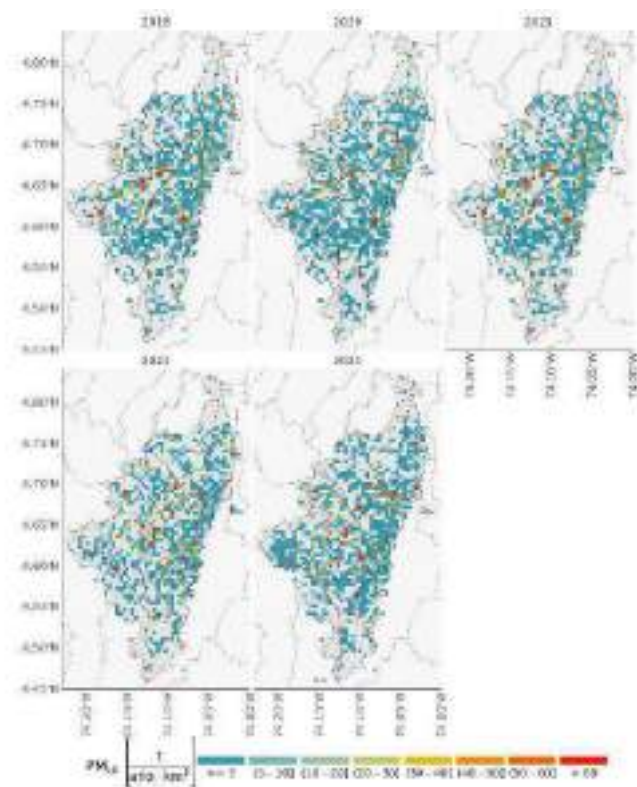


Figura 25. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de construcciones por año generadas de PM10.

4. HISTORICO DEL INVENTARIO DE EMISIONES POR DESGASTE DE FRENOS Y LLANTAS

Las emisiones por desgaste de frenos y llantas se encuentran condicionados a flujos vehiculares, especialmente de automóviles, camperos y camionetas, categorías que tuvieron la mayor reducción de actividad durante los años de pandemia. Esto se ve reflejado en los mapas de emisiones de los años 2018, 2020 y 2021 y 2022 presentados en la Figura 26 y Figura 28. en donde se observa que las partículas finas contribuyen significativamente a la contaminación del aire, representando alrededor del 60% de las partículas $PM_{2.5}$ y el 73% de las partículas PM_{10} .

En Bogotá, las emisiones de desgaste de llantas y frenos se distribuyen de manera desigual, con concentraciones más altas en áreas centrales y densamente pobladas. La calidad del aire en estas áreas puede verse afectada considerablemente por estas emisiones, lo que subraya la necesidad de estrategias de mitigación y regulación para mejorar la calidad del aire.

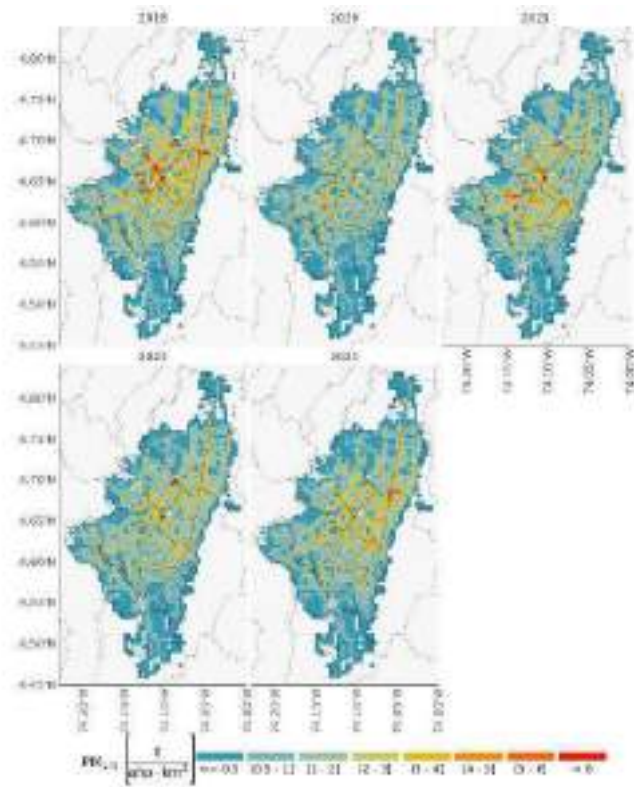


Figura 26. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de fuentes móviles por desgaste y freno de llantas por año generadas de PM_{2.5}.

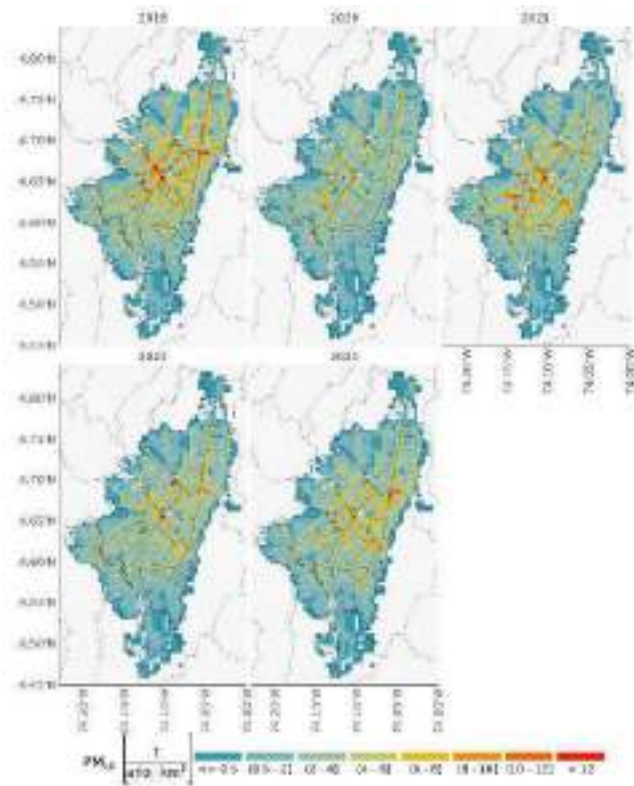


Figura 27. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de fuentes móviles por desgaste y freno de llantas por año generadas de PM₁₀.

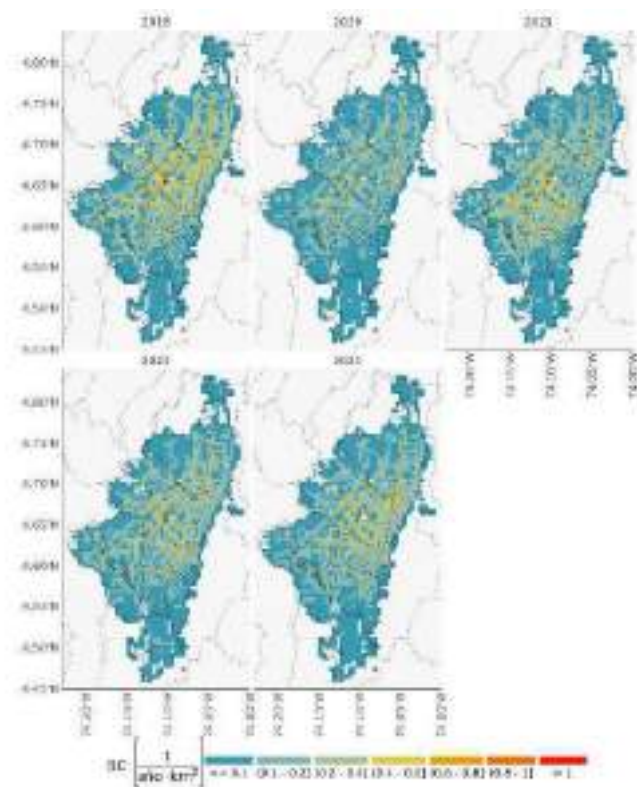


Figura 28. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de fuentes móviles por desgaste y freno de llantas por año generadas de BC.

5. HISTORICO DEL INVENTARIO DE EMISIONES POR RESUSPENSION DE MATERIALES

Los resultados generales por tipo de vía se presentan en la en donde se observa un leve repunte de emisiones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ comparados con el año 2018, debido a que para el 2023 ya se cuenta con una condición similar de tráfico comparado con el año 2018.

La distribución especial de las emisiones de material resuspendido de las vías se presenta en los mapas de la Figura 29 a la Figura 31, en donde se observa una concentración de emisiones en la zona sur y sur occidente de la ciudad, en donde Ciudad Bolívar, Suba, Kennedy, Fontibón y Usme, son las cinco localidades de mayor emisión de $PM_{2.5}$ y PM_{10} . Esto se encuentra relacionado con el estado de la malla vial, en donde se evidencia que estas eran las zonas con mayor cantidad de vías sin pavimentar. Sin embargo, en los mapas históricos se demuestra una leve disminución, gracias algunas intervenciones de pavimentación de vías en algunas localidades.

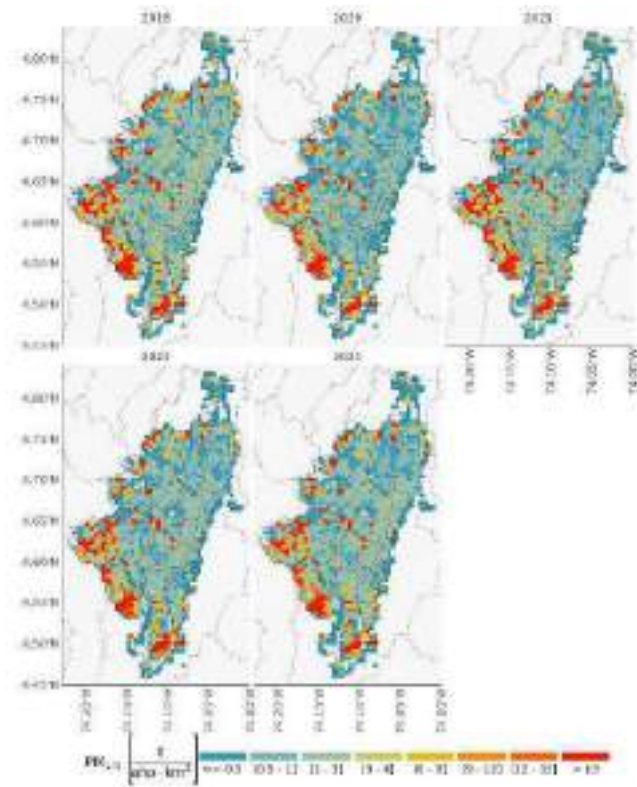


Figura 29. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de fuentes móviles por resuspensión por año generadas de $PM_{2.5}$.

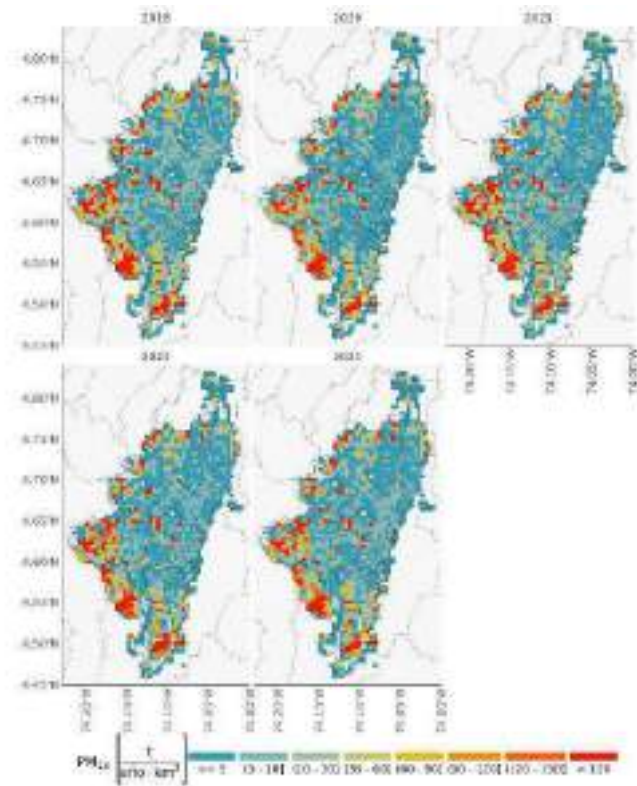


Figura 30. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de fuentes móviles por resuspensión por año generadas de PM_{10} .

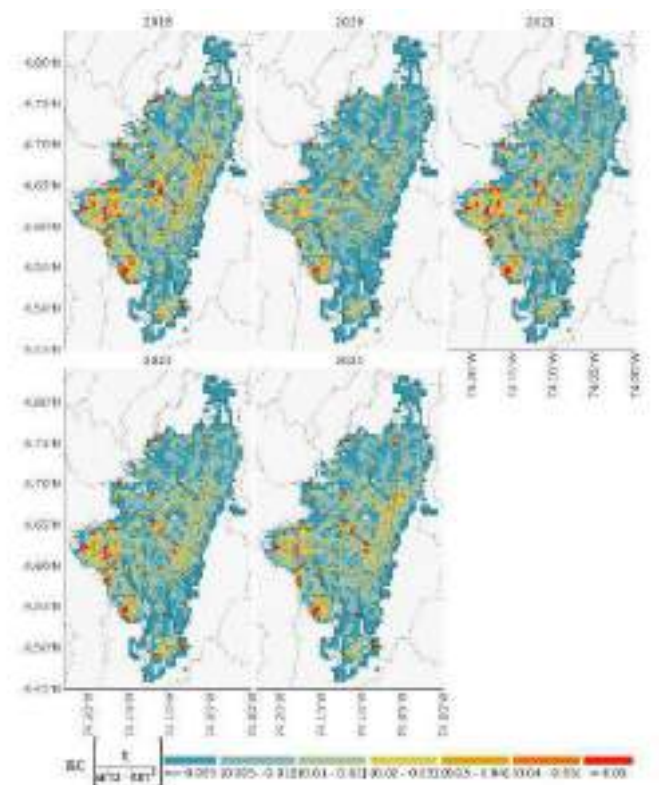


Figura 31. Distribución espacial de las emisiones totales históricas de fuentes móviles por resuspendido por año generadas de BC.

6. CONSOLIDADO DE EMISIONES

Los resultados presentados corresponden a las emisiones desagregadas espacialmente para los años 2018, 2020, 2021, 2022 y 2023. Este análisis consolidado permite evaluar las tendencias de disminución o crecimiento de las emisiones a lo largo del tiempo, con el objetivo de diseñar políticas y medidas orientadas a la mejora de la calidad del aire en la ciudad.

En cuanto al material particulado (Figura 32 y Figura 33), se ha observado una reducción en las emisiones entre 2018 y 2023. Para el caso del PM_{10} , las emisiones son más significativas en el suroccidente de la ciudad, atribuibles al alto aporte de material resuspendido por el tránsito en vías sin pavimentar presentes en esas zonas.

Por otra parte, los contaminantes como CO (Figura 37), de COV (Figura 35), y de BC (Figura 38), han mostrado una disminución progresiva a lo largo de los años. En contraste, las emisiones de NOx (Figura 34) y el SOx (Figura 36) también presentan disminuciones, asociadas principalmente con la reducción de emisiones provenientes del transporte de carga y la implementación de controles en fuentes fijas industriales.

En conclusión, los resultados muestran una tendencia general a la baja en las emisiones de contaminantes a lo largo del tiempo, gracias a la implementación de diversas estrategias y

herramientas de control en las distintas fuentes emisoras. Esto refleja el impacto positivo de las acciones encaminadas hacia una mejora continua en la calidad del aire de la ciudad.

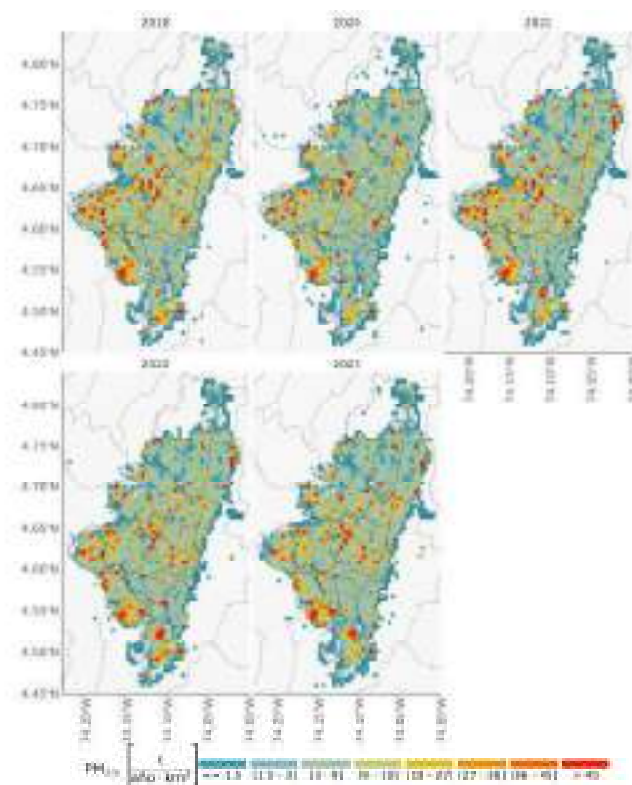


Figura 32. Distribución espacial de las emisiones totales históricas del consolidado de todas las fuentes por año generadas de PM2.5.

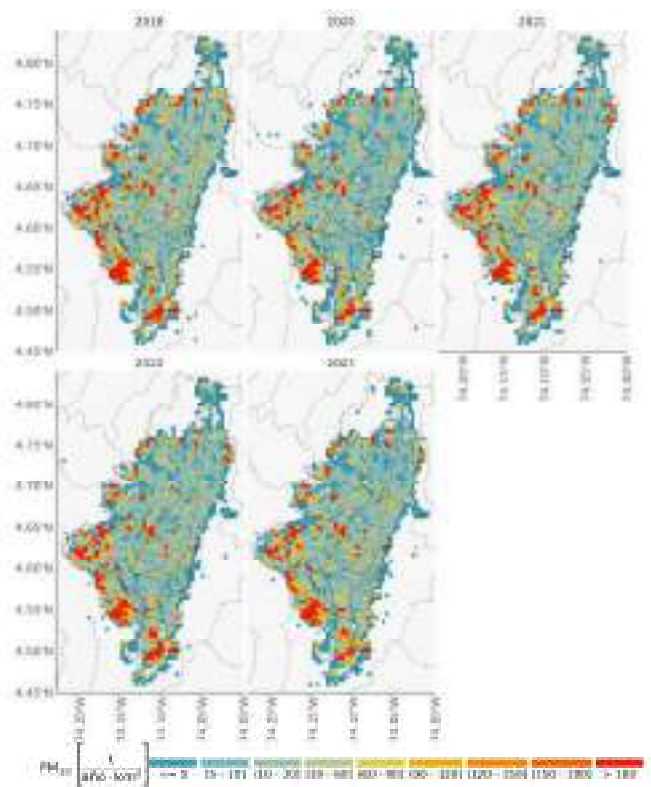


Figura 33. Distribución espacial de las emisiones totales históricas del consolidado de todas las fuentes por año generadas de PM10.

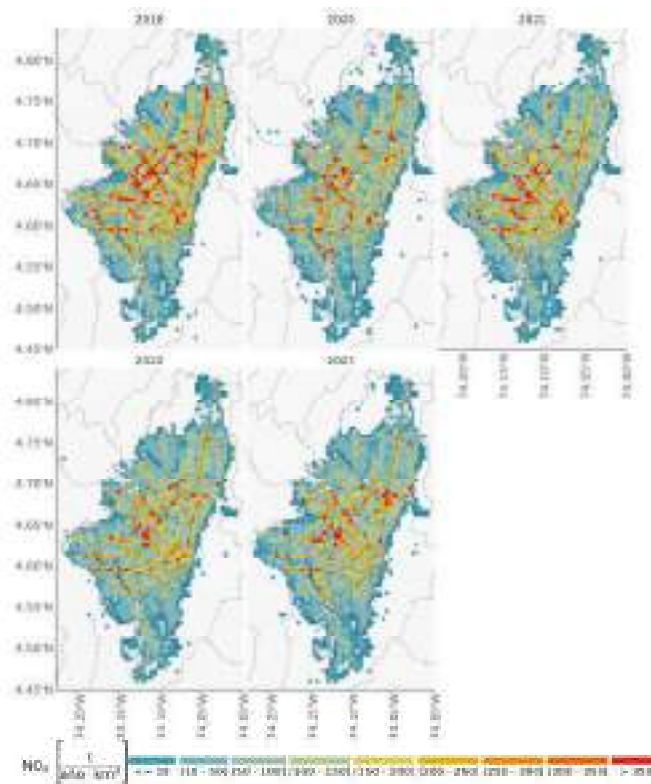


Figura 34. Distribución espacial de las emisiones totales históricas del consolidado de todas las fuentes por año generadas de NOx.

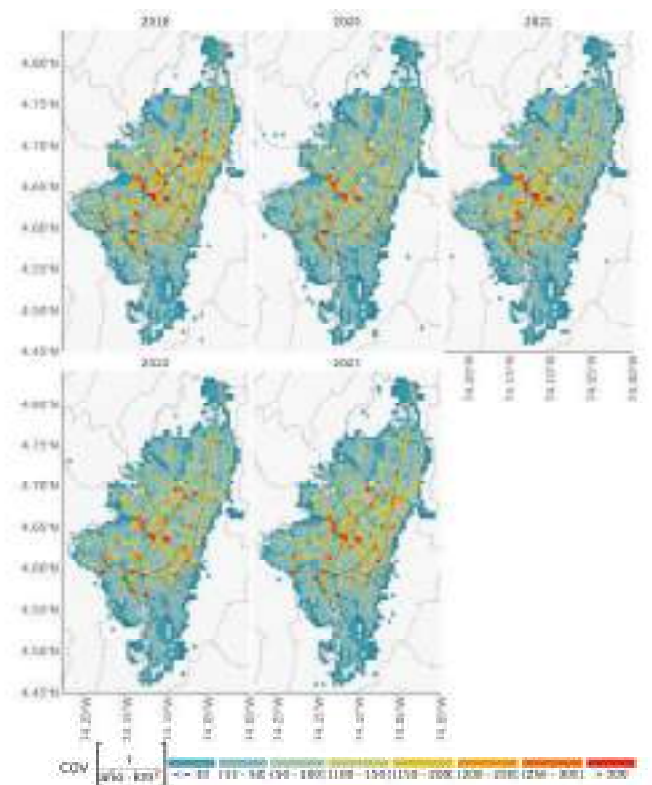


Figura 35. Distribución espacial de las emisiones totales históricas del consolidado de todas las fuentes por año generadas de COV.

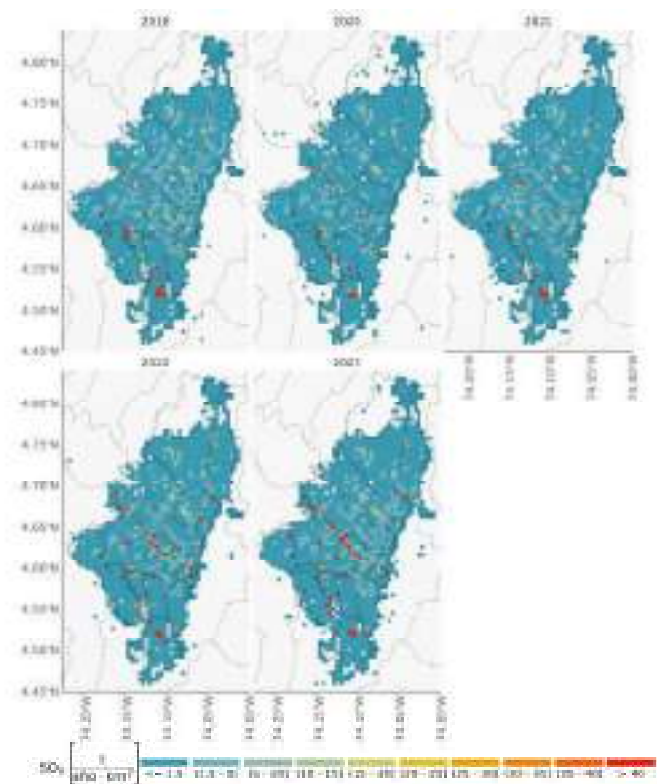


Figura 36. Distribución espacial de las emisiones totales históricas del consolidado de todas las fuentes por año generadas de SOx.

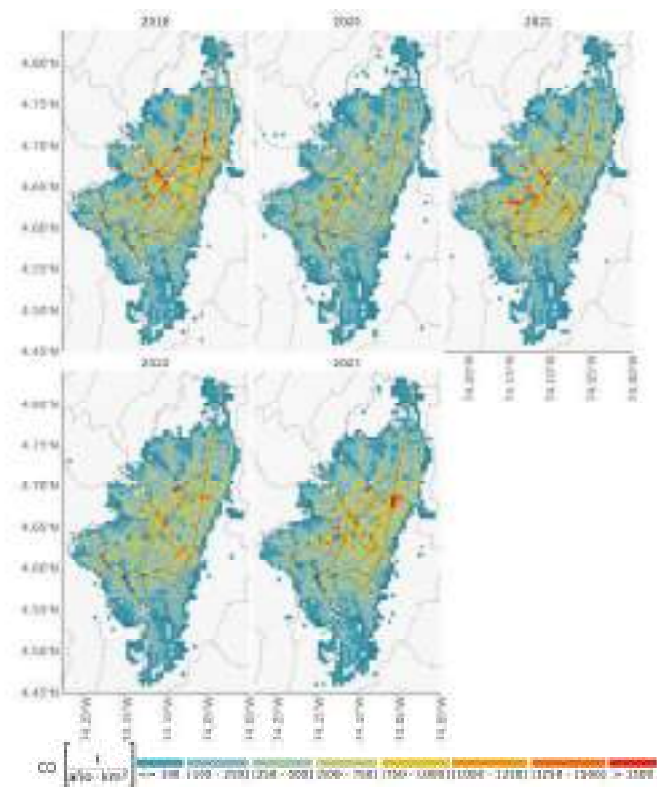


Figura 37. Distribución espacial de las emisiones totales históricas del consolidado de todas las fuentes por año generadas de CO.

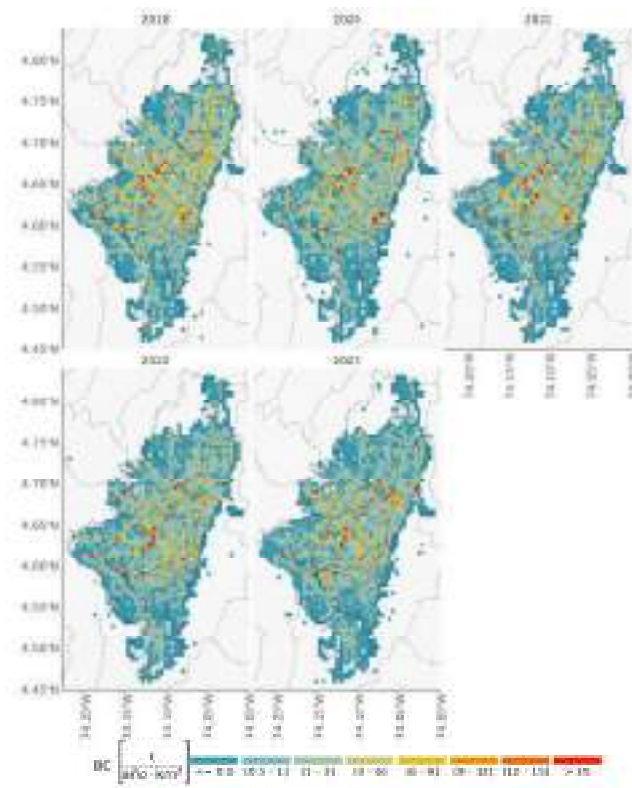


Figura 38. Distribución espacial de las emisiones totales históricas del consolidado de todas las fuentes por año generadas de BC.

Anexo 3. Incertidumbre asociada a las emisiones de PM2.5

CONTENIDO

A.	Generalidades.....	1
A.1.	Expresando la Incertidumbre.....	1
A.2.	Variables y parámetros.....	1
A.3.	Rangos por defecto de incertidumbre.....	2
A.3.1.	Factores de Emisión	2
A.3.2.	Factores de Actividad.....	3
A.4.	Incertidumbre en las emisiones.....	4
A.4.1.	Propagación de errores por expansión de series de Taylor (método 1)	5
A.4.2.	Propagación de errores por simulaciones Monte Carlo (método 2)	6
B.	Estimación de Incertidumbres asociadas a PM _{2.5} por tipo de fuente	12
B.1.	Incertidumbre en las emisiones por combustión en fuentes fijas	12
B.1.1.	Fuentes Fijas Industriales.....	12
B.1.2.	Fuentes Fijas Comerciales.....	13
B.1.3.	Fuentes Fijas Residenciales.....	13
B.2.	Incertidumbre en las emisiones por incendios y quemas a cielo abierto	14
B.3.	Incertidumbre en las emisiones en las fuentes móviles	14
B.3.1.	Combustión en fuentes móviles en carretera	14
B.3.2.	Desgaste de frenos y llantas en fuentes móviles en carretera	15
B.3.3.	Combustión en fuentes móviles fuera de carretera (maquinaria amarilla)	15
B.4.	Incertidumbre en las emisiones por resuspensión de materiales en superficies	16
B.4.1.	Resuspensión de materiales por tránsito en vías.....	16
B.5.	Incertidumbre en las emisiones por manipulación y procesamiento de materiales...16	
B.5.1.	Manipulación y procesamiento de materiales en las construcciones	16
B.5.2.	Manipulación y procesamiento de materiales en las canteras	17
C.	Estimación de Incertidumbre consolidada de PM _{2.5} para el 2023.....	18
D.	Referencias	20

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla A-1. Definición de rangos de incertidumbre asociada a factores de emisión	2
Tabla A-2. Rangos de incertidumbre asociada a factores de emisión empleados para las distintas categorías dentro de este inventario.	2
Tabla A-3. Definición de rangos de incertidumbre asociada a actividades.....	3
Tabla A-4. Rangos de Incertidumbres asociada a las distintas actividades	3
Tabla A-5. Coeficientes de ponderación para sumatoria y productoria	6
Tabla B-1. Incertidumbres asociadas a la combustión en fuentes fijas industriales para el año 2023.....	12
Tabla B-2. Incertidumbres asociadas a la combustión en fuentes fijas comerciales para el año 2023.....	13
Tabla B-3. Incertidumbres asociadas a la combustión en fuentes fijas residenciales para el año 2023.....	14
Tabla B-4. Incertidumbres asociadas a la combustión en fuentes fijas residenciales para el año 2023.....	14
Tabla B-5. Incertidumbres asociadas a la combustión en fuentes móviles en carretera para el año 2023	15
Tabla B-6. Incertidumbres asociadas al desgaste de frenos y llantas en fuentes móviles en carretera para el año 2023	15
Tabla B-7. Incertidumbres asociadas a la combustión en fuentes móviles fuera de carretera para el año 2023.....	16
Tabla B-8. Incertidumbres asociadas a la resuspensión de material por tránsito en vías para el año 2023	16
Tabla B-9. Incertidumbres asociadas a la manipulación y procesamiento de materiales en construcciones, para el año 2023	17
Tabla B-10. Incertidumbres asociadas a la manipulación y procesamiento de materiales en canteras, para el año 2023	17
Tabla C-1. Incertidumbre de la emisión total de PM _{2.5} para el año 2023.....	18
Tabla C-2. Fuentes principales de incertidumbre y su potencial reducción.....	18

A. Generalidades

Dado que las emisiones suelen ser inciertas, la mayoría de las mediciones o estimaciones de estas presentan una incertidumbre asociada. Esta se representa mediante bandas de error — simétricas o asimétricas— cuyo ancho depende del intervalo de confianza seleccionado para expresar el grado de certeza de la medición o estimación. Estrictamente hablando, dichas bandas reflejan la precisión del valor estimado, no el error propiamente dicho, ya que en la mayoría de los casos el valor “real” permanece desconocido. En consecuencia, lo que puede establecerse con mayor rigor es la comparabilidad entre distintas técnicas o métodos de medición o estimación.

Para efectos de la metodología adoptada para la estimación preliminar de la incertidumbre, se toman como referencia la metodología propuesta por Ortiz y otros (2015) para la estimación de incertidumbres asociadas a emisiones de gases de efecto invernadero en Colombia, la cual ha sido implementada en las distintas comunicaciones nacionales de cambio climático nacionales (IDEAM, y otros, 2022) (2018a) (2018b) y alineada a la metodología de estimación y propagación de incertidumbre del IPCC (2000) y de la guía de estimación de emisiones de la Unión europea (EMEP/EEA, 2023).

A.1. Expresando la Incertidumbre

Un aspecto clave del análisis de incertidumbre es cómo expresar las incertidumbres asociadas a estimaciones individuales o al inventario total. Se utiliza el mismo enfoque que en los inventarios de gases de efecto invernadero: un intervalo de confianza del 95 %.

Este intervalo se define entre los percentiles 2.5 % y 97.5 % de la función de distribución acumulada de la cantidad estimada. En otras palabras:

- Hay un 95 % de probabilidad de que el valor real esté dentro de ese intervalo.
- Si el valor real está fuera del intervalo, es igualmente probable que esté por encima o por debajo.
- En distribuciones normales, este intervalo corresponde aproximadamente a ± 2 desviaciones estándar respecto a la media.

A.2. Variables y parámetros

Aunque las emisiones tienen formas sencillas y complejas de estimar las emisiones, como se detalló en el “Anexo 1. Metodología de Estimación de emisiones criterio y black carbon”, para propósitos de este anexo se simplificará el análisis de incertidumbre teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$E_{i,j} = FE_{i,j} \cdot FA_j \quad \text{Ecuación A.2.1}$$

Dónde:

$E_{i,j}$ Emisión para cada contaminante ‘i’, para la categoría ‘j’

FE_{ij} Factor de emisión para cada contaminante 'i' y para la categoría 'j'.
 FA_j Factor de Actividad para la categoría 'j'.

A.3. Rangos por defecto de incertidumbre

A.3.1. Factores de Emisión

En muchos casos, los rangos de incertidumbre asociados a los factores de emisión son difíciles de obtener. Para abordar esta limitación, EMEP-EEA (2023) aplica esquemas cualitativos de clasificación de datos para todos los contaminantes relevantes. Es importante destacar que estas clasificaciones cualitativas son subjetivas y pueden variar según el criterio de cada experto y no siempre consideran las incertidumbres derivadas de una representatividad limitada.

Las definiciones de las calificaciones de calidad y los rangos de error predeterminados asociados provienen del *EU Guidance Report on Supplementary Assessment under EC Air Quality Directives*, donde fueron desarrollados para su uso en modelos de calidad del aire, y se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla A-1. Definición de rangos de incertidumbre asociada a factores de emisión

Calificación	Definición	Rango Típico de Error
A	Estimación basada en un gran número de mediciones realizadas en numerosas instalaciones o fuentes individuales, bajo un amplio rango de condiciones operativas que representan completamente el sector.	10% a 30%
B	Estimación basada en muchas mediciones realizadas en diversas instalaciones o fuentes individuales, bajo un rango de condiciones operativas representativo del sector.	20% a 60%
C	Estimación basada en algunas mediciones realizadas en pocas instalaciones representativas o fuentes individuales, bajo un rango limitado de condiciones operativas; o cálculo ingenieril basado en varios datos relevantes. También incluye muchas mediciones en condiciones variables para una fuente compleja.	50% a 200%
D	Estimación basada en una única medición o en un cálculo ingenieril derivado de varios datos relevantes. También incluye una medición única o un cálculo bajo condiciones variables para una fuente especialmente compleja.	100% a 300%
E	Estimación basada únicamente en suposiciones dentro de un cálculo ingenieril. También incluye estimaciones con pocas mediciones para una fuente particularmente compleja o variable.	Orden de magnitud (> 300 %)

Fuente: Tomado de EMEP-EEA (2023)

A continuación, se definen las incertidumbres de los factores de emisión, basados en la Guía EMEP-EEA (2023), asociada a las fuentes de emisión estimadas en este inventario.

Tabla A-2. Rangos de incertidumbre asociada a factores de emisión empleados para las distintas categorías dentro de este inventario.

Fuente de Emisión	Mecanismo de Emisión	PM	BC	SO _x	NO _x	CO	COV
Fuentes Fijas Industriales ^(a)	Combustión	C	C	A	B	B	C
Fuentes Fijas Comerciales	Combustión	D	D	B	D	D	D
Fuentes Fijas Comerciales	Evaporación						D
Fuentes Fijas Residenciales	Combustión	D	D	B	D	D	D
Incendios Forestales ^(b)	Combustión	B	B	B	B	B	D
Otro tipo de Incendios y quemas a cielo abierto	Combustión	C	C	D	D	E	D
Fuentes Móviles fuera de carretera (Maquinaria Amarilla)	Combustión	D	D	B	D	D	D
Fuentes Móviles en Carretera	Combustión	C	C	B	B	B	C
Fuentes Móviles en Carretera	Desgaste de Frenos y Llantas	C	C				

Fuente de Emisión	Mecanismo de Emisión	PM	BC	SOx	NOx	CO	COV
Resuspensión por tránsito en vías	Resuspensión de Material en superficies	D	D				
Construcciones	Manipulación y Procesamiento de materiales	C	C				
Canteras	Manipulación y Procesamiento de materiales	C	C				

^(a) En el caso de las fuentes fijas industriales, algunos de los factores de emisión son estimados basados en estudios locales, sin embargo, se mantienen los rangos sugeridos por la guía EMEP-EEA

^(b) La incertidumbre según la fuente empleada oscila entre 30% y 60%, por lo que se adecua la incertidumbre a los factores de emisión de incendios forestales a clasificación B, ignorando la clasificación dada por la EMEP-EEA

Fuente: Adaptado de EMEP-EEA (2023)

A.3.2. Factores de Actividad

En el caso de las actividades asociadas a cada una de las emisiones, la mayoría de información recolectada no reporta una incertidumbre asociada, en muchos casos, esta incertidumbre es derivada de un análisis cualitativo basado en criterios de experto, en cuan confiable puede ser la fuente de información o en análisis de varianza de la información, cuando esta tenga bastante robustez estadística.

Siguiendo la clasificación en 5 categorías propuesta por la Guía EMEP-EEA, se definieron los criterios para asociar incertidumbres a actividades en los mismos rangos típicos de error.

Tabla A-3. Definición de rangos de incertidumbre asociada a actividades

Calificación	Definición	Rango Típico de Error
A	Actividades recolectadas a nivel nacional, o actividades recolectadas o estimadas a nivel local con un alto grado de detalle espacial y temporal.	10% a 30%
B	Actividades recolectadas a nivel regional o local, sin desagregación espacial o temporal	20% a 60%
C	Actividades a nivel local, extrapoladas de información recolectada a nivel nacional	50% a 200%
D	Información local estimada a partir de información externa	100% a 300%
E	Información local supuesta basada en criterios de expertos, se incluyen actividades de fuentes que se presuman que tengan una alta variabilidad o ampliamente compleja.	Orden de magnitud (> 300 %)

Fuente: Definición propia basada en la definición de rangos para factores de emisión asociados

Teniendo en cuenta la tabla anterior, se establecieron las calificaciones de incertidumbre asociadas a las actividades requeridas para la estimación de emisiones.

Tabla A-4. Rangos de Incertidumbres asociada a las distintas actividades

Actividad	Fuente y mecanismo de emisión	Clasificación	Justificación
Consumo de Combustible	Combustión en Fuentes Fijas Industriales	C	Aunque la información se obtiene en una alta resolución espacial y temporal del Sistema Integrado de información de Fuentes Fijas de la Secretaría Distrital de Ambiente, estos consumos, en el caso de gas natural distan en un 30% de los consumos registrados por el gestor del mercado de gas natural, que tiene un gran detalle por centralizar las ventas de gas natural. Aunque no se ha contrastado los otros combustibles con otras fuentes de información, se presume que las diferencias encontradas en el gas natural podrían extrapolarse a los otros tipos de combustible, y catalogarse como error de registro o de completitud de información.

Actividad	Fuente y mecanismo de emisión	Clasificación	Justificación
Consumo de Combustible	Combustión en Fuentes Fijas Comerciales	D	La actividad de emisiones de fuentes comerciales fue estimada para el año 2014 basados en algunos muestreos y extrapolación de información, a la fecha no se ha actualizado la información de combustibles sólidos y la estimación no tiene en cuenta combustibles gaseosos
Cantidad de Combustible Manipulado	Evaporación en Fuentes Fijas Comerciales	C	Esta actividad no ha sido actualizada desde el año 2014, pero tuvo en cuenta registros de centros de almacenamiento y estaciones de servicio de la mayoría de los comercios asociados.
Consumo de Combustible	Combustión en Fuentes Fijas residenciales	A	La información es tomada del gestor del mercado de gas natural, que recopila toda la información de demanda en el país a nivel de domicilio facturado. GLP no está incluido en este inventario
Hectáreas consumidas por incendios forestales	Combustión en Incendios Forestales	A	La información recolectada de incendios forestales de los bomberos es muy detallada en cuanto a lugar de ocurrencia y duración del evento, incluso en el tipo de vegetación quemada
Material quemado	Combustión en otros tipos de incendios y quemas a cielo abierto	D	De la información recolectada por bomberos, se deben hacer muchos supuestos y extrapolar estudios fuera del país para estimar el material quemado por tipo de incendio
Consumo de Combustible	Combustión en Fuentes Móviles fuera de carretera	D	La información estimada por CALAC+ (MADS, COSUDE, & Swisscontact, 2022), lleva el consumo de combustible de maquinaria amarilla del nivel nacional a Bogotá, usando como <i>driver</i> la participación del PIB de Bogotá de Construcción, Industrial y agrícola con respecto al nivel nacional
Rodamiento anual en km de todos los vehículos, por categoría vehicular.	Combustión en Fuentes Móviles fuera de carretera Desgaste de frenos y llantas en Fuentes Móviles fuera de carretera Resuspensión de material en superficies por tránsito en vías	A (Bottom Up) B (Top Down – Taxis, SITP) C (Top Down – Otras Categorías)	En el caso de la estimación <i>Bottom-Up</i> , aunque las incertidumbres asociadas a los flujos horario y por vía puedan ser altos (entre 40% y 200%) producto de la extrapolación de los conteos y la representación de las vías secundarias, cuando estos flujos se llevan a rodamiento anual total por categoría, esta incertidumbre se reduce al 5% o menos (ver sección A.4.3). Se hace la aclaración que la incertidumbre en las vías secundarias puede llegar a ser mayor que en las vías principales, dado que los conteos vehiculares se realizan mayoritariamente sobre las vías principales, pero para propósitos de este análisis de incertidumbre, no se dividirá el análisis por tipo de vía. En el Caso de la estimación <i>Top-down</i> , la información recolectada para la misma es de carácter local sin desagregación espacial ni temporal, contando que muchos de los vehículos no están registrados en la ciudad, lo que conlleva a que se deba ampliar la frontera de incertidumbre para compensar este fenómeno.
Clasificación Vía Pavimentada / No pavimentada	Resuspensión de material en superficies por tránsito en vías	B	Aunque el IDU cuenta con una escala de 0 a 100 sobre el estado de la malla vial, pueden presentarse vías que tengan un error de clasificación, aunque este se minimiza revisando las vías con mayores emisiones.
Áreas intervenidas	Manipulación y Procesamiento de Materiales en la Construcción	B	Aunque la información se encuentra desagregada espacial y temporalmente en las bases de datos de la Secretaría de Ambiente, la incertidumbre se encuentra en que no se sabe del área intervenida, cuanto realmente se interviene cada año.
Área Excavada	Manipulación y Procesamiento de Materiales en canteras	D	Aunque la secretaría tiene detalladas las minas que cuentan con permiso de explotación, la metodología empleada establece una fracción explotada al año lo que constituye una estimación de la actividad basada en información externa

Fuente: Definición propia basado en las justificaciones presentadas en la tabla

A.4. Incertidumbre en las emisiones

Al calcular las emisiones se realiza un cruce entre dos o más variables con incertidumbre resultado, como resultado, la emisión estimada es influenciada por la incertidumbre de las variables contenidas en el cálculo. A dicha manipulación de incertidumbres asociadas a variables teniendo en cuenta la relación entre las distintas variables se le conoce como propagación del error.

Para la propagación del error, la estimación de emisiones la podemos generalizar matemáticamente como:

$$\mathbf{F} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2 \dots \mathbf{x}_n) \quad \text{Ecuación A.4.1}$$

Donde F es el resultado de la función matemática f que relaciona las variables x_1 a x_n . En términos de la ecuación de emisiones, F sería el resultado de la estimación de emisiones, y f sería la multiplicación FE x FA. Así mismo, x_1 corresponde al valor numérico que toma la variable ' x_1 ', etc.

A.4.1. Propagación de errores por expansión de series de Taylor (método 1)

Aunque no se entrará en el detalle de como la expansión de Taylor define la propagación de errores, luego de algunas simplificaciones en las matrices Jacobianas resultantes y otras simplificaciones, la propagación de error por este método seguirá la fórmula de la varianza:

$$s_f = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot s_{x_i}^2 \right)} \quad \text{Ecuación A.4.2}$$

Ortiz y otros (2015), luego de varias manipulaciones matemáticas generalizó la expresión de varianza, llevándola a términos de incertidumbre la cual se encuentra a continuación:

$$U_f^2 = \sum_{i=1}^n (c_i \cdot U_i)^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j(j \neq i)}^n c_i \cdot c_j \cdot \rho_{ij} \cdot U_i \cdot U_j \quad \text{Ecuación A.4.3}$$

Dónde:

U_f Incertidumbre relativa de la función 'f'

U_i Incertidumbre asociada a la variable 'i'

c_i Coeficiente de ponderación de la incertidumbre de variable 'i', definido como:

$$c_i = \frac{x_i}{F} \cdot \frac{\partial f}{\partial x_i}$$

ρ_{ij} coeficiente de correlación de Pearson entre las variables 'i' y 'j'

Para simplicidad de la propagación en este análisis, se asume que las variables dentro de la función 'f' no están correlacionadas¹, por lo que la ecuación anterior se reduce a:

$$U_f^2 = \sum_{i=1}^n (c_i \cdot U_i)^2 \quad \text{Ecuación A.4.4}$$

¹ El análisis aquí presentado es aproximado, y se asume que las variables de actividad no están correlacionadas entre sí, sin embargo, para la estimación de actividades pueden realizarse operaciones sobre variables que sí estén correlacionadas por lo que la estimación de la incertidumbre puede estar subestimada, principalmente para las categorías de fuentes móviles en carretera y resuspensión de material por tránsito en vías.

Teniendo en cuenta que existen dos operaciones principales en esta cuantificación aproximada, las cuales son las sumas de emisiones y las multiplicaciones para estimar las emisiones, para estas operaciones se definen los siguientes coeficientes de ponderación, basado en la generalización de Ortiz y otros (2015).

Tabla A-5. Coeficientes de ponderación para sumatoria y productoria

<i>Función</i>	<i>Coeficiente de ponderación c_i</i>
Sumatoria: $f = \sum_{i=1}^n k_i \cdot x_i$	$c_i = \frac{k_i \cdot X_i}{F} \forall i$
Productoria: $f = \prod_{i=1}^n x_i$	$c_i = 1 \forall i$

Fuente: Adaptado de Ortiz y otros (2015).

A continuación, un ejemplo de aplicación de la propagación de error para la estimación de emisiones anuales sobre una vía.

Estimaciones preliminares sobre un tramo vial establece que el flujo de vehículos en esa vía es de 200 veh/h, con una incertidumbre de 50%, el factor de emisión de PM2.5 para los vehículos se estima en 0.01 g/km-veh por vehículo con una incertidumbre de 50%, y la vía tiene una longitud de 0.5 km con una incertidumbre de 10%. Las emisiones asociadas por hora se estimarías como $E = 200 \cdot 0.01 \cdot 0.5 = 1$ g/h, y su incertidumbre asociada se estima como:

$$U_E^2 = (U_{\text{flujo}}^2 + U_{FE}^2 + U_{via}^2); U_E = \sqrt{(0.5^2 + 0.5^2 + 0.1^2)}; U_E = 0.714 \quad \text{Ecuación A.4.5}$$

La emisión diaria asociada a ese segmento de vía se estimará como 1 g/h * 24 h/día = 24 g/día, ahora, suponiendo que la incertidumbre también permanece constante durante todas las horas, escribimos la función de propagación de incertidumbre como:

$$U_f^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{F} \cdot 0.714 \right)^2 \quad \text{Ecuación A.4.6}$$

Sin embargo, todos los valores de X son iguales, y con esta condición $F = nX$, por lo que la ecuación anterior se reduce a:

$$U_f^2 = \frac{1}{n} \cdot 0.714^2 : U_f = \frac{0.714}{\sqrt{24}} : U_f = 0.146 \quad \text{Ecuación A.4.7}$$

El valor anual de las emisiones se estima como los valores diarios multiplicados por una constante (el número de días), razón por la cual la incertidumbre de las emisiones anuales de dicha vía tendrá la misma incertidumbre de 14.6%.

A.4.2. Propagación de errores por simulaciones Monte Carlo (método 2)

El método de Monte Carlo es una técnica estadística ampliamente utilizada para estimar la incertidumbre en sistemas complejos, especialmente cuando las variables involucradas presentan variabilidad significativa o relaciones no lineales. Su aplicación se basa en la generación de múltiples escenarios aleatorios, a partir de distribuciones de probabilidad previamente definidas para cada variable con incertidumbre.

En términos operativos, el procedimiento consiste en simular un gran número de combinaciones posibles de valores para las variables de entrada ($x_1 \dots x_n$), respetando sus respectivas distribuciones (por ejemplo, normal, uniforme o lognormal). Para cada conjunto de valores simulados (F), se

calcula el resultado del modelo, lo que permite construir una distribución empírica del resultado final. A partir de esta distribución, se pueden estimar indicadores estadísticos como la media, la desviación estándar, y los intervalos de confianza, típicamente al 95 %.

Este enfoque, aunque más robusto, no se empleó en la estimación de incertidumbre de este inventario, ya que esto ha implicado la modificación del modelo de emisiones bajo el código fuente, que aún se encuentra en modo de implementación.

Cuando las incertidumbres son simétricas y con distribución normal, las emisiones de Monte Carlo y la propagación de error tendrán el mismo valor, como puede verse en la Figura A-1, donde se emplearon los datos del ejemplo detallado en la propagación de error.

```

2 flow <- 200 # veh/s
3 fe <- 0.01 # 2/(10-20)
4 l <- 0.5 # km
5
6 u_flow <- 0.5 # %
7 u_fe <- 0.5 # %
8 u_l <- 0.1 # %
9
10 n <- 10000 # El cálculo se repite 10,000 veces
11 emis_d <- numeric(n) # Vector de emisiones diarias
12 emis_a <- numeric(n) # Vector de emisiones anuales
13 for (i in 1:n){
14   flow_h_vector <- rnorm(24, mean = flow, sd = flow*u_flow / 2) # flujos aleatorios en un día
15   fe_h_vector <- rnorm(24, mean = fe, sd = fe*u_fe / 2) # factores de emisión aleatorios en un día
16   l_h_vector <- rnorm(24, mean = l, sd = l*u_l / 2) # longitudes aleatorias en un día
17
18   emis_d[i] <- sum(flow_h_vector * fe_h_vector * l_h_vector) # Emisiones diarias
19   emis_a[i] <- emis_d[i] * 365 # Emisiones anuales
20 }
21
22 state <- tibble(metrix = c("Emision_Diaria", "Emision_Anual"),
23               media_g = c(mean(emis_d), mean(emis_a)),
24               sd_g = c(sd(emis_d), sd(emis_a)),
25               uc_pct = c(sd(emis_d)/mean(emis_d) * 2, sd(emis_a)/mean(emis_a) * 2))
26
27 #
28   uc_pct = c(sd(emis_d)/mean(emis_d)*2, sd(emis_a)/mean(emis_a)
29 # }
30 > state
31 # A tibble: 2 x 4
32   metrix      media_g      sd_g uc_pct
33   <chr>      <dbl>      <dbl> <dbl>
34 1 Emision_Diaria    24.0      1.77  0.147
35 2 Emision_Anual   8758.    645.   0.147

```

Fuente: Elaboración Propia

Figura A-1. Monte Carlo aplicado al ejemplo de emisión en una vía, realizado en el lenguaje R

A.4.3. Monte Carlo Aplicado para la estimación de la incertidumbre del Rodamiento Anual en Bottom-up

Las modificaciones del modelo de emisiones MEDINA han permitido establecer la incertidumbre de los flujos horarios para cada una de las vías, cada una de las categorías y para cada día tipo (wdy), teniendo en cuenta propagación de errores, tanto en los flujos, como en la extrapolación espacial y temporal. En términos generales las incertidumbres tienden a ser mas bajas los lunes a viernes que los domingos, dado que la frecuencia de medición de flujos en los días entre semana es mucho mayor, por otro lado, los flujos en las vías pueden tener emisiones que van desde 10% a 200% (Ver Figura A-2), dependiendo de muchos factores, la cercanía a los conteos, la

variabilidad de los flujos dentro de los conteos, la hora del día, los métodos de extrapolación, si la vía es principal o secundaria, etc.

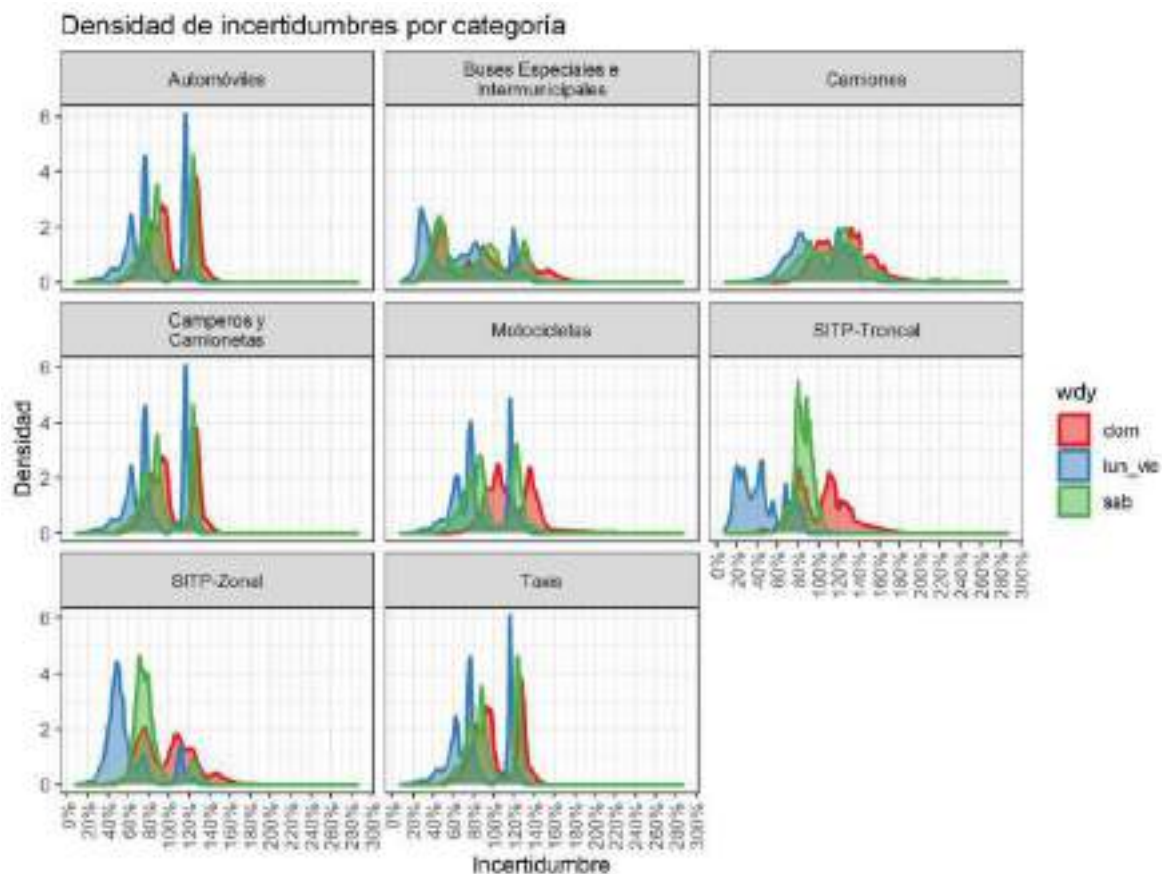


Figura A-2. Densidad de Incertidumbres en los flujos horarios por vía

La información de los flujos y su respectiva incertidumbre esta almacenadas en un netcdf que es un arreglo matricial de 4 dimensiones [ID_VIA, hora, día_tipo, categoría], como puede verse en la Figura A-3, por lo que la propagación de error para estimar la incertidumbre del rodamiento diario se realizó por medio de códigos en R, y cuyos resultados por categoría muestran incertidumbres por debajo de 1% (Ver Figura A-4).

Figura A-3. Contenido del netcdf de flujos vehiculares

Figura A-4. Propagación de error para los flujos diarios por día tipo y categoría en el 2023

Al realizar la propagación de rodamiento diario con Monte Carlo (ver Figura A-5) se obtienen valores similares al obtenido por la propagación de error, las discrepancias mínimas se deben a un bajo número de simulaciones realizadas por temas computacionales.

```

49 # Propagación Monte Carlo
50
51 # d ~ Flow ~ unc ~ 1 es desviación estándar
52
53 Flow_melt = melt(Flow)
54 sd_melt = melt(sd)
55
56 # ~ 500 son Número de simulaciones Monte Carlo
57
58 Flow_d = NULL
59
60 for (i in 1:n) {
61   print(i)
62   # Generar muestras aleatorias por elemento usando "Flow" como media y "sd" como desviación estándar
63
64   F_1 ~ Flow_melt
65   F_1_value ~ dnorm(mu = F_1$Flow_melt$value, sigma = Flow_melt$value_sd + sd_melt$value)
66
67   Flow_day_1 ~ F_1 %>% group_by(Var1, Var2) %>%
68     summarise(value = sum(value, na.rm = TRUE)) %>%
69     ungroup() %>%
70     mutate(wdy = "lun_vie",
71            wdy = ifelse(Var1 == 2, "sab", wdy),
72            wdy = ifelse(Var1 == 3, "dom", wdy)) %>%
73     left_join(sd, by = c("Var1" = "id")) %>%
74     distt(wdy ~ categoria, value.var = "value")
75   Flow_d = bind_rows(Flow_d, Flow_day_1)
76 }
77
78 Flow_d_sum ~ Flow_d %>%
79   group_by(wdy) %>%
80   summarise(across(all_of(cats), ~ sum(x, na.rm = TRUE)))
81
82 Flow_d_unc ~ Flow_d %>%
83   group_by(wdy) %>%
84   summarise(across(all_of(cats), ~ (x) %>% sd(x, na.rm = TRUE) / sqrt(n), na.rm = TRUE))) %>%
85   as.data.frame() %>% select(-All)
86
87 print(Flow_d_unc)
88
89 # as.data.frame() %>% select(-All)
90
91 print(Flow_d_unc)
92
93   wdy   AT      AUT      CA      SE      C2
94   dom 0.004415527 0.001311845 0.000788951 0.000003577 0.001862416
95   lun_vie 0.002017048 0.000781808 0.001101468 0.002121118 0.001091137
96   sab 0.004571800 0.001157615 0.000115274 0.000709900 0.001381178
97   CA      CA+      C2      SE      INT      H
98   0.003000120 0.00371208 0.001943314 0.003003129 0.003100001 0.002129444
99   0.001989657 0.001648308 0.0007134198 0.001860081 0.003823129 0.0000351184
100  0.00237645 0.00204005 0.001057111 0.001000002 0.004000007 0.0013477747
101   TX
102  0.001564322
103  0.000711118
104  0.001862316
105 }

```

Figura A-5. Simulaciones Monte Carlo para los flujos diarios por día tipo y categoría en el 2023

Como se evidenció anteriormente, los dos métodos generan resultados de incertidumbres similares en los flujos diarios totales de la ciudad. Con las incertidumbres estimadas por Monte Carlo, se propagaron el rodamiento diario por tipo de día a rodamiento total anual, multiplicando los valores de rodamiento diario por el número de días al año por día tipo (260: lun_vie, 52: sab y 23: dom) y se demuestra que el rodamiento anual tiene un valor máximo de incertidumbre de 5% para automóviles o menos para las demás categorías, por lo que la suposición de que el rodamiento anual con información Bottom-up si se puede categorizar como tipo A, según lo descrito en la Tabla A-4.

```

130 # Cuenta días por categoría (lun_vie, sab, dom) para un año dado
131 count_days_by_category <- function(year) {
132   start <- as.Date(sprintf("%04d-01-01", as.integer(year)))
133   end <- as.Date(sprintf("%04d-12-31", as.integer(year)))
134   dates <- seq.Date(start, end, by = "day")
135   wday_num <- as.POSIXlt(dates)$wday # 0=dom,1=lun,...,6=sab
136   category <- ifelse(wday_num %in% 1:5, "lun_vie",
137                     ifelse(wday_num == 6, "sab", "dom"))
138   tibble(wdy = c("lun_vie", "sab", "dom"),
139         n_days = c(sum(category == "lun_vie"),
140                   sum(category == "sab"),
141                   sum(category == "dom")))
142 }
143
144 # Ejemplo de uso y unión con el resumen existente
145 year <- 2023
146 days_count <- count_days_by_category(year)
147
148 flow_d_sum <- flow_d_sum %>%
149   left_join(days_count, by = "wdy")
150
151 # Incertidumbre anual ponderada por días y por categoría, propagada por Expansión de Taylor
152
153 flow_an <- colSums(flow_d_sum[cats[cats != "AL"]]*flow_d_sum$n_days, na.rm = TRUE)
154 ci <- flow_d_sum[cats[cats != "AL"]] * flow_d_sum$n_days / flow_an
155
156 u_ann_taylor <- sqrt(colSums((ci * flow_d_unc[cats[cats != "AL"]])^2, na.rm = TRUE))
157 print(u_ann_taylor)

```

PROBLEMS OUTPUT DEBUG CONSOLE TERMINAL PORTS

```

>
> flow_an <- colSums(flow_d_sum[cats[cats != "AL"]]*flow_d_sum$n_days, na.rm = $
> ci <- flow_d_sum[cats[cats != "AL"]] * flow_d_sum$n_days / flow_an
>
> u_ann_taylor <- sqrt(colSums((ci * flow_d_unc[cats[cats != "AL"]])^2, na.rm = $
> print(u_ann_taylor)

```

AT	AUT	BA	BS	C2	C3
0.0008895648	0.0521646680	0.0002087250	0.0002177392	0.0062909498	0.0005355243
C4+	CC	ESB	INT	M	TX
0.0001509931	0.0069084154	0.0040601875	0.0017365115	0.0171608192	0.0022941229

Figura A-6. Propagación de error en la estimación del rodamiento anual con información diaria.

B. Estimación de Incertidumbres asociadas a PM_{2.5} por tipo de fuente

La estimación de emisiones se realizó por medio de la propagación de incertidumbre por expansión de series de Taylor, tomando los límites inferiores de cada una de las categorizaciones encontradas en la Tabla A-2 y la Tabla A-4, salvo en algunos casos que son mencionados en específico al abordar cada tipo de fuente de emisión. Adicionalmente, en este análisis preliminar de incertidumbre se presenta únicamente para PM_{2.5}, por sus implicaciones en la política pública y por su impacto en la salud. Finalmente, se enfatiza que es un análisis preliminar y que el diseño detallado de la metodología de estimación de incertidumbre será abordado para el Inventario de Emisiones de contaminantes criterio y black carbon del año 2024.

B.1. Incertidumbre en las emisiones por combustión en fuentes fijas

B.1.1. Fuentes Fijas Industriales

Se estimó la incertidumbre para cada categoría y para el total de emisiones asociadas a este tipo de fuentes fijas; como resultado, las emisiones anuales para las fuentes fijas industriales pueden expresarse como $82 \text{ t} \pm 22 \text{ t}$ ó $82 \text{ t} \pm 27\%$, además, por el rango de error, se podría clasificar esta emisión con una incertidumbre de tipo B. Las fuentes fijas que más influyen en la incertidumbre de estas emisiones son CG1, HL y ACD.

Tabla B-1. Incertidumbres asociadas a la combustión en fuentes fijas industriales para el año 2023

Categoría	Tecnología – Combustible	Emisión	Incertidumbre				Coef.
		PM _{2.5}	FA	FE	Emisión		Ponderación
		(t/año)	(%)	(%)	(%)	t	ci
CG1	Caldera >100 BHP (año de fabricación menor o igual a 1997)-Gas natural	19.5	50%	50%	71%	±13.8	2.37E-01
HL	Horno ladrillero-Carbón	18.5	50%	50%	71%	±13.1	2.26E-01
ACD	Caldera industrial y comercial > 15 BHP-Diésel	10.4	50%	50%	71%	±7.3	1.26E-01
CC1	Caldera >100 BHP-Carbón	6.7	50%	50%	71%	±4.8	8.21E-02
CG3	Caldera ≤100 BHP-Gas natural	6.1	50%	50%	71%	±4.3	7.39E-02
CG2	Caldera >100 BHP (año de fabricación mayor a 1997)-Gas natural	4.5	50%	50%	71%	±3.2	5.50E-02
CTA	Caldera (vapor) textiles-Aceite usado	4.1	50%	50%	71%	±2.9	5.05E-02
GLP	Horno y caldera con aplicaciones industriales-Gas licuado de petróleo	3.1	50%	50%	71%	±2.2	3.74E-02
HC	Horno-Carbón	2.4	50%	50%	71%	±1.7	2.96E-02
HFA	Horno fundición-Aceite usado	1.9	50%	50%	71%	±1.3	2.28E-02
HG1	Horno de alimentos-Gas natural	0.6	50%	50%	71%	±0.4	7.62E-03
HG2	Horno de secado y curado-Gas natural	0.5	50%	50%	71%	±0.4	6.71E-03
PED	Planta eléctrica-Diésel	0.5	50%	50%	71%	±0.4	6.59E-03
RTG	Rama de Termofijado-Gas natural	0.4	50%	50%	71%	±0.3	4.95E-03
IMG	Impresora de gran formato-Gas natural	0.3	50%	50%	71%	±0.2	4.13E-03
AHF	Horno-Diésel	0.3	50%	50%	71%	±0.2	3.96E-03
OTG	Otra-Gas natural	0.3	50%	50%	71%	±0.2	3.46E-03
EGL	Estufa industrial-Gas licuado de petróleo	0.3	50%	50%	71%	±0.2	3.30E-03
HG3	Horno de fundición y cremación-Gas natural	0.3	50%	50%	71%	±0.2	3.26E-03
TSG	Torre de secado-Gas natural	0.3	50%	50%	71%	±0.2	3.11E-03
CRG	Calentador-Gas natural	0.2	50%	50%	71%	±0.2	2.84E-03
CGL	Calentador-Gas licuado de petróleo	0.2	50%	50%	71%	±0.1	2.38E-03
QGL	Quemador-Gas licuado de petróleo	0.2	50%	50%	71%	±0.1	2.10E-03

Categoría	Tecnología – Combustible	Emisión	Incertidumbre				Coef.
		PM _{2.5}	FA	FE	Emisión		Ponderación
		(t/año)	(%)	(%)	(%)	t	ci
IGL	Inyectora-Gas licuado de petróleo	0.2	50%	50%	71%	±0.1	2.07E-03
QMG	Quemador-Gas natural	0.2	50%	50%	71%	±0.1	2.01E-03
ICG	Intercambiador de calor-Gas natural	0.1	50%	50%	71%	±0.1	1.33E-03
TOG	Tostadora-Gas natural	0.1	50%	50%	71%	±0.1	1.08E-03
SEG	Secadora-Gas natural	0.1	50%	50%	71%	±0.1	1.06E-03
MRG	Marmita-Gas natural	0.0	50%	50%	71%	±0	5.95E-04
PEG	Planta eléctrica-Gas natural	0.0	50%	50%	71%	±0	5.56E-04
ESG	Estufa industrial-Gas natural	0.0	50%	50%	71%	±0	5.46E-04
MGL	Marmita-Gas licuado de petróleo	0.0	50%	50%	71%	±0	4.66E-04
OTD	Otra-Diésel	0.0	50%	50%	71%	±0	2.30E-04
CC2	Caldera ≤100 BHP-Carbón	0.0	50%	50%	71%	±0	9.11E-05
GRG	Caldera-Gas natural	0.0	50%	50%	71%	±0	5.12E-05
EXG	Extrusora-Gas natural	0.0	50%	50%	71%	±0	2.83E-05
CUG	Cuba-Gas natural	0.0	50%	50%	71%	±0	2.43E-05
BOG	Bombo-Gas natural	0.0	50%	50%	71%	±0	1.74E-05
CM	Caldera-Madera	0.0	50%	50%	71%	±0	1.67E-05
VUG	Vulcanizadora-Gas natural	0.0	50%	50%	71%	±0	1.51E-05
PLG	Peletizadora-Gas natural	0.0	50%	50%	71%	±0	1.42E-05
ING	Inyectora-Gas natural	0.0	50%	50%	71%	±0	1.07E-05
TOD	Tostadora-Diésel	0.0	50%	50%	71%	±0	6.31E-06
AGG	Aglutinadora-Gas natural	0.0	50%	50%	71%	±0	6.24E-06
LAG	Lacadora-Gas natural	0.0	50%	50%	71%	±0	8.56E-07
ICM	Intercambiador de calor-Madera	0.0	50%	50%	71%	±0	2.63E-07
SEL	Secadora-Gas licuado de petróleo	0.0	50%	50%	71%	±0	9.56E-09
Total		82.0			27%	±22	

FA: Factor de Actividad, FE: Factor de Emisión

Fuente: Elaboración propia

B.1.2. Fuentes Fijas Comerciales

Este tipo de fuentes de emisión no han sido actualizado desde el año 2014, como es citado en el documento del inventario; Estas emisiones se expresan como $66 \text{ t} \pm 93 \text{ t}$ o $66 \text{ t} \pm 141\%$, y puede catalogarse con incertidumbre tipo D.

Tabla B-2. Incertidumbres asociadas a la combustión en fuentes fijas comerciales para el año 2023

Tecnología – Combustible	Emisión	Incertidumbre			
	PM _{2.5}	FA	FE	Emisión	
	(t/año)	(%)	(%)	(%)	t
Fuentes Fijas Comerciales – Combustibles sólidos	66	100%	100%	141%	±93

FA: Factor de Actividad, FE: Factor de Emisión

Fuente: Elaboración propia

B.1.3. Fuentes Fijas Residenciales

Estas emisiones se estimaron con una muy buena información de actividad, sin embargo, el factor de emisión tiene una incertidumbre muy alta. Como resultado, las emisiones de combustión en fuentes fijas residenciales pueden expresarse como $3 \text{ t} \pm 4 \text{ t}$ o $3 \text{ t} \pm 141\%$, y puede clasificarse con incertidumbre tipo D.

Tabla B-3. Incertidumbres asociadas a la combustión en fuentes fijas residenciales para el año 2023

Tecnología – Combustible	Emisión	Incertidumbre			
	PM _{2.5}	FA	FE	Emisión	
	(t/año)	(%)	(%)	(%)	t
Fuentes Fijas Residenciales – Gas Natural	2.8	100%	100%	141%	±4

FA: Factor de Actividad, FE: Factor de Emisión

Fuente: Elaboración propia

B.2. Incertidumbre en las emisiones por incendios y quemas a cielo abierto

Dadas las fuentes de información para incendios forestales, se tomó directamente un valor cercano a los encontrados en el artículo de donde son tomados de Akagi y otros (2011), los demás factores siguen las recomendaciones de la guía EMEP-EEA para su incertidumbre, luego de la propagación de incertidumbre, las emisiones asociadas a incendios y quemas a cielo abierto es de $78 \text{ t} \pm 30 \text{ t}$ o $78 \text{ t} \pm 38\%$. Con este rango de incertidumbre, este tipo de emisión puede categorizarse como fuente con incertidumbre B, y las fuentes que mas aportan a la incertidumbre son los incendios estructurales y los incendios forestales.

Tabla B-4. Incertidumbres asociadas a la combustión en fuentes fijas residenciales para el año 2023

Tipo de Incendio	Quema específica	Emisión	Incertidumbre				Coef.
		PM _{2.5}	FA	FE	Emisión		Ponderación
		(t/año)	(%)	(%)	(%)	t	ci
Incendios en Infraestructuras	Estructurales	11.3	100%	50%	112%	±12.3	1.41E-01
	Sótanos	0.0	100%	50%	112%	±0	3.85E-04
Incendios Vehiculares	Vehiculares	0.7	100%	50%	112%	±0.8	8.85E-03
Quema de Biomasa	Forestales	66.0	10%	40%	41%	±27.2	8.46E-01
	Quema agrícola	0.2	10%	40%	41%	±0.1	1.92E-03
Quema de Llantas	Llantas	0.2	100%	50%	112%	±0.2	2.56E-03
Quema de Residuos Sólidos	Basuras	0.2	100%	50%	112%	±0.2	1.92E-03
	Quema de material reciclable	0.0	100%	50%	112%	±0	1.28E-04
Total		78.2			38%	±29.9	

FA: Factor de Actividad, FE: Factor de Emisión

Fuente: Elaboración propia

B.3. Incertidumbre en las emisiones en las fuentes móviles

B.3.1. Combustión en fuentes móviles en carretera (top-down)

La estimación de combustión en fuentes móviles en carretera (*Top-down*), tiene una buena incertidumbre en cuanto a su factor de actividad y su factor de emisión, razón por la cual las emisiones totales asociadas a este tipo de emisión tienen una incertidumbre baja, en comparación con otras categorías. Estas emisiones se consolidan como $697 \text{ t} \pm 264 \text{ t}$ o $697 \text{ t} \pm 38\%$ y pueden catalogarse como una fuente con incertidumbre tipo B, además, la incertidumbre de los camiones aporta mayoritariamente a la incertidumbre de esta categoría.

Tabla B-5. Incertidumbres asociadas a la combustión en fuentes móviles en carretera para el año 2023

Tipología Vehicular	Emisión	Incertidumbre				Coef.
	PM _{2.5}	FA	FE	Emisión	t	Ponderación ci
	(t/año)	(%)	(%)	(%)		
Camiones	333.80	50%	50%	71%	±236	4.79E-01
Buses Especiales/ Intermunicipales	135.80	50%	50%	71%	±96	1.95E-01
Motocicleta	64.80	50%	50%	71%	±45.8	9.29E-02
Campero/Camioneta	57.60	50%	50%	71%	±40.7	8.26E-02
Taxi	50.50	20%	50%	54%	±27.2	7.24E-02
SITP-Zonal	30.70	20%	50%	54%	±16.5	4.40E-02
Automóvil	17.30	50%	50%	71%	±12.2	2.48E-02
SITP-Troncal	6.80	20%	50%	54%	±3.7	9.75E-03
Total	697.30			38%	±264.3	

FA: Factor de Actividad, FE: Factor de Emisión

Fuente: Elaboración propia

B.3.2. Desgaste de frenos y llantas en fuentes móviles en carretera

La estimación del desgaste de frenos y llantas, al igual que en la combustión en fuentes móviles en carretera, tiene una buena incertidumbre en cuanto a su factor de actividad y su factor de emisión, teniendo en cuenta que los kilómetros rodados por año en este caso son estimados por la metodología bottom-up y tienen una menor incertidumbre. Estas emisiones se expresan como $452\ t \pm 109\ t$ o $452\ t \pm 24\%$, clasificando estas emisiones con incertidumbre tipo B, además, las categorías que más aportan a la incertidumbre son las emisiones de desgaste de frenos y llantas de automóviles y de camperos/camionetas.

Tabla B-6. Incertidumbres asociadas al desgaste de frenos y llantas en fuentes móviles en carretera para el año 2023

Tipología Vehicular	Emisión	Incertidumbre				Coef.
	PM _{2.5}	FA	FE	Emisión	t	Ponderación ci
	(t/año)	(%)	(%)	(%)		
Automóvil	163	10%	50%	51%	±83	3.60E-01
Campero/Camioneta	112	10%	50%	51%	±57	2.48E-01
Motocicleta	46	10%	50%	51%	±24	1.03E-01
Camiones	46	10%	50%	51%	±23	1.01E-01
Taxi	33	10%	50%	51%	±17	7.37E-02
Buses Especiales/ Intermunicipales	24	10%	50%	51%	±12	5.26E-02
SITP-Zonal	21	10%	50%	51%	±11	4.58E-02
SITP-Troncal	8	10%	50%	51%	±4	1.68E-02
Total	452			24%	±109	

FA: Factor de Actividad, FE: Factor de Emisión

Fuente: Elaboración propia

B.3.3. Combustión en fuentes móviles fuera de carretera (maquinaria amarilla)

Esta estimación fue realizada por CALAC+ (MADS, COSUDE, & Swisscontact, 2022) para el año 2018, y extrapolada para el año 2023 usando como *driver* el área construida en Bogotá para el año 2023, como es citado en el documento del inventario; Estas emisiones se expresan como $420\ t \pm 592\ t$ o $420\ t \pm 141\%$ y puede catalogarse con incertidumbre tipo D.

Tabla B-7. Incertidumbres asociadas a la combustión en fuentes móviles fuera de carretera para el año 2023

Fuente de Emisión	Emisión	Incertidumbre			
	PM _{2.5}	FA	FE	Emisión	
	(t/año)	(%)	(%)	(%)	t
Maquinaria Amarilla	420	100%	100%	141%	±592

FA: Factor de Actividad, FE: Factor de Emisión

Fuente: Elaboración propia

B.4. Incertidumbre en las emisiones por resuspensión de materiales en superficies

B.4.1. Resuspensión de materiales por tránsito en vías.

En este tipo de emisión, se emplea como actividad principal el rodamiento anual estimado con la metodología bottom-up, que permite dividir las emisiones por tipo de vía, sin embargo, para las vías secundarias se añade una penalización de incertidumbre de 10% adicional por la dificultad de estimar el tráfico rodado en las vías secundarias. Por otro lado, para las vías no pavimentadas se cambia el valor de incertidumbre a 50% para incluir el error de clasificación de la vía (si es pavimentada o no pavimentada), esta corrección no se realizó para las vías secundarias pavimentadas, ya que lo más común es que ocurra que una vía que se considere no pavimentada, en la actualidad ya se encuentre pavimentada. En el caso de la incertidumbre de los factores de emisión, se usó la incertidumbre recomendada por el AP-42 (categoría D). A partir de estas aclaraciones, la emisión por resuspensión de material por tránsito en vías puede expresarse como $1632\ t \pm 1555\ t$ o $1632\ t \pm 95\%$. Con este resultado, este tipo de fuentes de emisión se categoriza como tipo D, siendo las emisiones de vías secundarias no pavimentadas la fuente que más aporta incertidumbre en este tipo de fuentes.

Tabla B-8. Incertidumbres asociadas a la resuspensión de material por tránsito en vías para el año 2023

Tipo de Fuente de Emisión	Emisión	Incertidumbre				Coef.
	PM _{2.5}	FA	FE	Emisión		Ponderación
	(t/año)	(%)	(%)	(%)	t	ci
Vías Principales - Pavimentadas	181.4	10%	100%	100%	±182	1.11E-01
Vías Secundarias - Pavimentadas	71.5	20%	100%	102%	±73	4.38E-02
Vías Secundarias - No Pavimentadas	1379.5	50%	100%	112%	±1542	8.45E-01
Total	1632.4			95%	±1555	

FA: Factor de Actividad, FE: Factor de Emisión

Fuente: Elaboración propia

B.5. Incertidumbre en las emisiones por manipulación y procesamiento de materiales

B.5.1. Manipulación y procesamiento de materiales en las construcciones

A continuación, se muestra la estimación de la incertidumbre para cada uno de los tipos de construcción, y la incertidumbre total asociada a este tipo de emisiones, de tal forma que estas emisiones pueden totalizarse como $419\ t \pm 134\ t$ o $419\ t \pm 32\%$. Con este resultado, este tipo de fuentes de emisión se categoriza como tipo C.

Tabla B-9. Incertidumbres asociadas a la manipulación y procesamiento de materiales en construcciones, para el año 2023

Tipo de Construcción	Emisión	Incertidumbre				Coef. Ponderación
	PM _{2.5}	FA	FE	Emisión		
	(t/año)	(%)	(%)	(%)	t	ci
Edificación (proyectos de vivienda)	199.4	20%	50%	54%	±107	4.76E-01
Vías	131.5	20%	50%	54%	±71	3.14E-01
Dotacionales	47.3	20%	50%	54%	±25	1.13E-01
Remodelación	40.2	20%	50%	54%	±22	9.61E-02
Otro	0.3	20%	50%	54%	±0	8.09E-04
Total	418.7			32%	±134	

FA: Factor de Actividad, FE: Factor de Emisión

Fuente: Elaboración propia

B.5.2. Manipulación y procesamiento de materiales en las canteras

A continuación, se muestra la estimación de la incertidumbre para cada uno de los tipos de construcción, y la incertidumbre total asociada a este tipo de emisiones, de tal forma que estas emisiones pueden totalizarse como $238\ t \pm 168\ t$ o $238\ t \pm 71\%$. Con este resultado, este tipo de fuentes de emisión se categoriza como tipo C, y las canteras de Usme y Ciudad Bolívar son las que más aportan en la incertidumbre.

Tabla B-10. Incertidumbres asociadas a la manipulación y procesamiento de materiales en canteras, para el año 2023

Tipo de Construcción	Emisión	Incertidumbre				Coef. Ponderación
	PM _{2,5}	FA	FE	Emisión		
	(t/año)	(%)	(%)	(%)	t	ci
Canteras Ciudad Bolívar	94	100%	50%	112%	±106	3.96E-01
Canteras Usaqué	31	100%	50%	112%	±35	1.30E-01
Canteras Usme	113	100%	50%	112%	±126	4.73E-01
Total	238			71%	±168	

FA: Factor de Actividad, FE: Factor de Emisión

Fuente: Elaboración propia

C. Estimación de Incertidumbre consolidada de PM2.5 para el 2023

A continuación, se muestra la estimación de incertidumbre asociada al valor total de PM2.5 para la ciudad en el año 2023, el cual se totaliza como **4093 t ± 1707 t** o **4093 t ± 42%**. Con este resultado, la estimación de emisiones totales para la ciudad puede categorizarse con una incertidumbre tipo C.

Tabla C-1. Incertidumbre de la emisión total de PM_{2.5} para el año 2023

Mecanismo de Emisión	Fuente de Emisión	Emisión	Incertidumbre			Coef. Ponderación
		PM _{2.5}	Emisión		Categoría	
		(t/año)	(%)	t		
Combustión	Fuentes Móviles en Carretera	697.3	38%	±264	B - Baja	1.70E-01
	Fuentes Móviles Fuera de Carretera	424.8	141%	±599	D - Alta	1.04E-01
	Fuentes Fijas Industriales	82.4	27%	±22	B - Baja	2.01E-02
	Quemas e Incendios	78.2	38%	±30	B - Baja	1.91E-02
	Fuentes Fijas Comerciales	66.6	141%	±94	D - Alta	1.63E-02
	Fuentes Fijas Residenciales	2.8	100%	±4	D - Alta	6.84E-04
Desgaste de Frenos y Llantas	Fuentes Móviles en Carretera	452.1	24%	±109	B - Baja	1.10E-01
Evaporación	Fuentes Biogénicas	NA				
	Fuentes Fijas Comerciales	NA				
Manipulación de Materiales	Actividades de Construcción	418.7	32%	±133	B - Baja	1.02E-01
	Actividades en Canteras	238.2	71%	±168	C - Media	5.82E-02
	Actividades Agrícolas	NE				
	Fuentes Fijas Industriales	NE				
Resuspensión de Material	Tránsito en vías	1632.4	95%	±1555	D - Alta	3.99E-01
Total		4093.7	42%	±1707	C - Media	

Fuente: Elaboración propia

La tabla anterior también muestra la incertidumbre en términos absolutos, y de ella se destaca que la resuspensión de material por tránsito en vías, la combustión en fuentes móviles fuera de carretera, seguidas en menor proporción por las fuentes móviles en carretera y las canteras poseen las mayores incertidumbres absolutas, lo que conlleva a que sean las que participen mayoritariamente en la incertidumbre consolidada de PM_{2.5}. A continuación las fuentes más grandes de incertidumbre establecidas para las categorías mencionadas anteriormente:

Tabla C-2. Fuentes principales de incertidumbre y su potencial reducción.

Tipo de Fuente de Emisión	Fuentes de Incertidumbre Importantes
Resuspensión de Material por Tránsito en vías	<ul style="list-style-type: none"> - La categorización de lo que es vía pavimentada / no pavimentada: Aunque se hacen validaciones del estado dependiendo de la magnitud de las emisiones, la metodología de ubicación de las vías destapadas puede tener aún alta incertidumbre. - Rodamiento en vías secundarias: Dado que se emplean conteos vehiculares principalmente en vías principales, la dinámica en vías secundarias suele ser distinta. Actualmente estos ajustes se estimaron con modelación de calidad de aire inversa para acercar los perfiles horarios de las vías secundarias a resultados que cierran el modelo fotoquímico de calidad de aire de la Secretaría Distrital de Ambiente con las mediciones de la red de Monitoreo - Metodología propia de estimación de los factores: La metodología inicial tiene a sobreestimar las emisiones, sin embargo, con modelaciones inversas hechas con el modelo fotoquímico de calidad de aire, el material resuspendido ya no

Tipo de Fuente de Emisión	Fuentes de Incertidumbre Importantes
	<p>tiene un orden de magnitud de incertidumbre como lo estimado en inventarios anteriores de otras universidades. Aunque se actualicen parámetros como contenido de limo o material sujeto a resuspenderse, las expresiones con las cuales se estiman los factores de emisión son las que, en su conjunto, tienen la mayor carga de la incertidumbre.</p>
Combustión en Maquinaria Amarilla	<ul style="list-style-type: none"> - El distrito no cuenta con un mecanismo de captura de información de Maquinaria Amarilla: Actualmente la ciudad no cuenta con herramientas que permitan capturar el número de maquinaria operante en la ciudad, así como la intensidad de su uso, sin embargo, por medio de la iniciativa <i>Breathe Cities</i> y la Universidad de la Salle se está levantando información para actualizar estas emisiones y reducir la incertidumbre asociadas a la captura de información de este tipo de fuente. - Factores de emisión: Los factores de emisión para maquinaria amarilla reportados por agencias internacionales tienen una incertidumbre muy alta, la única forma de reducir esta incertidumbre es por medio de campañas de monitoreo locales para este tipo de emisiones.
Combustión en Fuentes Móviles en Carretera	<ul style="list-style-type: none"> - Rodamiento: Salvo la información de rodamiento de taxis, y el SITP, el rodamiento estimado por <i>Top-Down</i> siempre tendrá una incertidumbre importante por la metodología de extracción del kilometraje, tecnología, edad del vehículo, y representatividad de las bases de datos. - Factores de Emisión: Aún cuanto se ajustó COPERT de tal forma que representara lo mejor posible la dinámica de los vehículos en la ciudad, estos factores de emisión podrían mejorarse con campañas locales de medición de factores de emisión.
Manipulación de materiales en canteras	<ul style="list-style-type: none"> - Área intervenida por cantera: la metodología actual tiene bastantes supuestos para estimar el área intervenida, la alternativa para reducir la incertidumbre debe centrarse en el cambio metodológico que dependa directamente del material movido en los frentes de las canteras, pero aún no se ha verificado la disponibilidad de esta información. - Factor de emisión: Los factores de emisión para este tipo de fuentes de área tienden a ser difíciles de estimar, razón por la cual no se espera que se pueda mejorar la incertidumbre de estos factores en esta categoría
Manipulación de materiales en construcciones	<ul style="list-style-type: none"> - Material manipulado: la metodología actual cuenta con el área intervenida por proyecto de construcción, pero queda limitada para realmente establecer la cantidad de material manipulado, además, por la forma de registro en la Subdirección de Control Ambiental al Sector Público, no puede establecerse con claridad la dinámica de los materiales, ni cuales de las etapas de construcción son las que más remueven o manipulan material. - Factor de emisión: Los factores de emisión para este tipo de fuentes de área tienden a ser difíciles de estimar, razón por la cual no se espera que se pueda mejorar la incertidumbre de estos factores en esta categoría

Fuente: Elaboración propia

D. Referencias

- Akagi, S., Yokelson, R., Wiedinmyer, C., Alvarado, M., Reid, J., Karl, T., . . . Wennberg, P. (2011). Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(9), 4039-4072.
- EMEP/EEA. (2023). *Air Pollutant emission inventory guidebook 2023*. Luxemburgo.
- IDEAM, Fundacion Natura, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERIA. (2022). *INFORME DEL INVENTARIO NACIONAL DE GASES EFECTO INVERNADERO 1990-2018 Y CARBONO NEGRO 2010-2018 DE COLOMBIA*. Bogotá.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA. (2018a). *Informe de Inventario Nacional de GEI de Colombia*. Bogotá. Obtenido de https://unfccc.int/sites/default/files/resource/NIR_BUR2_Colombia.pdf
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA. (2018b). *Segundo Reporte Anual de Actualización de Colombia ante la CMNUCC*. Bogotá.
- IPCC. (2000). *Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories*. Suiza.
- MADS, COSUDE, A. S., & Swisscontact. (2022). *Inventario de emisiones de fuentes móviles fuera de carretera en Colombia*. Bogotá.
- Ortiz, E., Pulido, A., & Jimenez, R. (2015). Desarrollo de una metodología adaptada al contexto colombiano para la estimación de incertidumbre en emisiones de gases de efecto invernadero. *Memorias del CASAP V*, 178-187.

Anexo 4. Ficha técnica del modelo de Emisiones MEDINA

MEDINA

1. Presentación

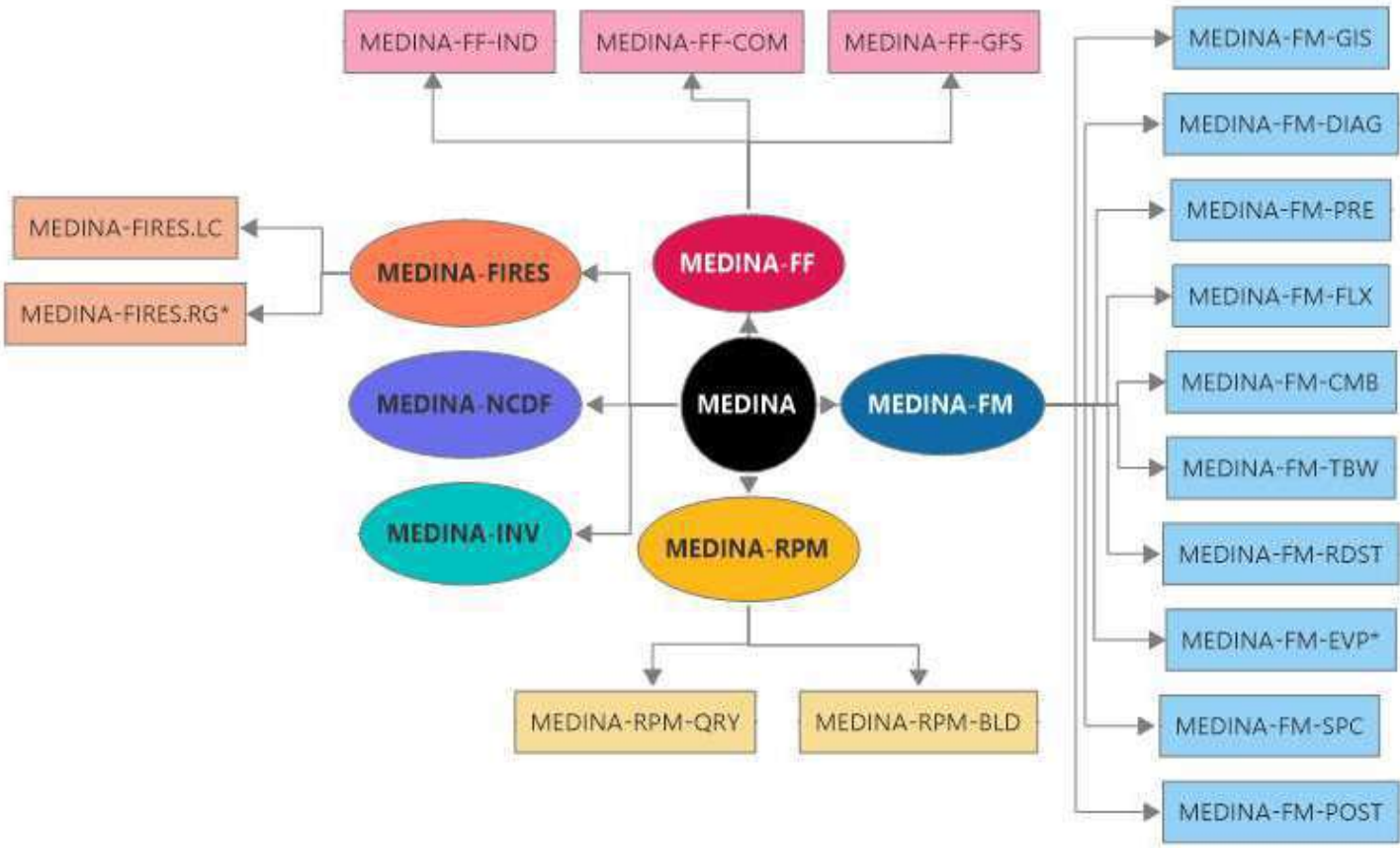
Desarrollador:	Edison Yesid Ortiz Durán
Colaboradora:	July Andrea Vasquez Ramirez
Licencia:	Para uso de la Secretaría Distrial de Ambiente y del desarrollador
Lenguaje de Programación:	bash, R
Requerimientos mínimos:	4 núcleos, 64 Gb de RAM y al menos 300 Gb de almacenamiento libre

2. Propósito del modelo de emisiones

Este modelo tiene como objetivo principal la estimación detallada de emisiones atmosféricas, desagregadas espacial y temporalmente, e incorporando especiación química de contaminantes clave. Su diseño permite generar salidas compatibles con modelos fotoquímicos de calidad del aire, facilitando la simulación de procesos atmosféricos complejos como la formación de ozono troposférico y material particulado secundario.

Además, los resultados del modelo constituyen una fuente robusta para la consolidación de información en inventarios de emisiones, permitiendo una caracterización más precisa de fuentes emisoras, patrones de emisión por hora y día, y perfiles químicos específicos por sector y compuesto. Esto fortalece la toma de decisiones en políticas públicas, planificación ambiental y evaluación de escenarios de mitigación.

3. Estructura del Modelo



* Módulos en construcción

MEDINA-FF	Módulo de Análisis de Fuentes Fijas MEDINA-FF-IND Módulo de Análisis de Fuentes Fijas Industriales MEDINA-FF-COM Módulo de Análisis de Fuentes Fijas Comerciales MEDINA-FF-GFS Módulo de Análisis de Estaciones de Servicio y Centros de Almacenamiento de Combustibles
MEDINA-FM	Módulo de Análisis de Fuentes Móviles en Carretera MEDINA-FM-GIS Módulo de Análisis Espacial de la información vial MEDINA-FM-DIAG Módulo de Diagnóstico de conteos Vehiculares MEDINA-FM-PRE Módulo de Extracción e Interpolación de conteos Vehiculares MEDINA-FM-FLX Módulo de Estimación de Flujos vehiculares por vía MEDINA-FM-CMB Módulo de Emisiones por Combustión MEDINA-FM-RDST Módulo de Emisiones por Resuspensión de Material Particulado MEDINA-FM-TBW Módulo de Emisiones por Desgaste de Frenos y Llantas MEDINA-FM-EVP Módulo de Emisiones por evaporación (En construcción) MEDINA-FM-SPC Módulo de Especiación Química de Emisiones MEDINA-FM-POST Módulo de Postprocesamiento de Emisiones
MEDINA-RPM	Módulo de Análisis de Manipulación de Materiales MEDINA-RPM-QRY Módulo de Análisis de Canteras MEDINA-RPM-BLD Módulo de Análisis de Construcciones
MEDINA-FIRES	Módulo de Análisis de Quemas e Incendios MEDINA-FIRES-LC Módulo de análisis de incendios locales MEDINA-FIRES-RG Módulo de análisis de incendios regionales (En construcción)
MEDINA-NCDF	Módulo de transformación de emisiones a formatos NetCDF
MEDINA-INV	Módulo de generación de información para los Inventarios de Emisiones

4. Descripción de los módulos dentro del modelo

MEDINA-FF																		
MEDINA-FF-IND																		
	<table><tr><th>Script Maestro</th><th>Scripts llamados / generados</th><th>Descripción</th></tr><tr><td rowspan="6">RunFF_IND.sh</td><td>run_ff_ind.tpt</td><td>Template del código que el script maestró cambiará según especificaciones dentro de este código</td></tr><tr><td>run_ff_ind.r</td><td>Script generado por RunFF_IND.sh, el cual es ejecutado por el script maestro y llama otras funciones</td></tr><tr><td>PM25FRAC.R</td><td>Funciones para estimar PM2.5 según fracciones PM2.5/PM10 por tipo de fuente</td></tr><tr><td>Speciate.R</td><td>Funciones para estimar la especiación química de las emisiones de las fuentes fijas industriales</td></tr><tr><td>proy.emis.ff.R</td><td>Funciones para proyectar espacialmente las emisiones y distribuir las en un enmallado</td></tr><tr><td>ncFFUtils.R</td><td>Funciones para analizar, desagregar y manipular la información de las fuentes fijas industriales</td></tr></table>	Script Maestro	Scripts llamados / generados	Descripción	RunFF_IND.sh	run_ff_ind.tpt	Template del código que el script maestró cambiará según especificaciones dentro de este código	run_ff_ind.r	Script generado por RunFF_IND.sh, el cual es ejecutado por el script maestro y llama otras funciones	PM25FRAC.R	Funciones para estimar PM2.5 según fracciones PM2.5/PM10 por tipo de fuente	Speciate.R	Funciones para estimar la especiación química de las emisiones de las fuentes fijas industriales	proy.emis.ff.R	Funciones para proyectar espacialmente las emisiones y distribuir las en un enmallado	ncFFUtils.R	Funciones para analizar, desagregar y manipular la información de las fuentes fijas industriales	
Script Maestro	Scripts llamados / generados	Descripción																
RunFF_IND.sh	run_ff_ind.tpt	Template del código que el script maestró cambiará según especificaciones dentro de este código																
	run_ff_ind.r	Script generado por RunFF_IND.sh, el cual es ejecutado por el script maestro y llama otras funciones																
	PM25FRAC.R	Funciones para estimar PM2.5 según fracciones PM2.5/PM10 por tipo de fuente																
	Speciate.R	Funciones para estimar la especiación química de las emisiones de las fuentes fijas industriales																
	proy.emis.ff.R	Funciones para proyectar espacialmente las emisiones y distribuir las en un enmallado																
	ncFFUtils.R	Funciones para analizar, desagregar y manipular la información de las fuentes fijas industriales																

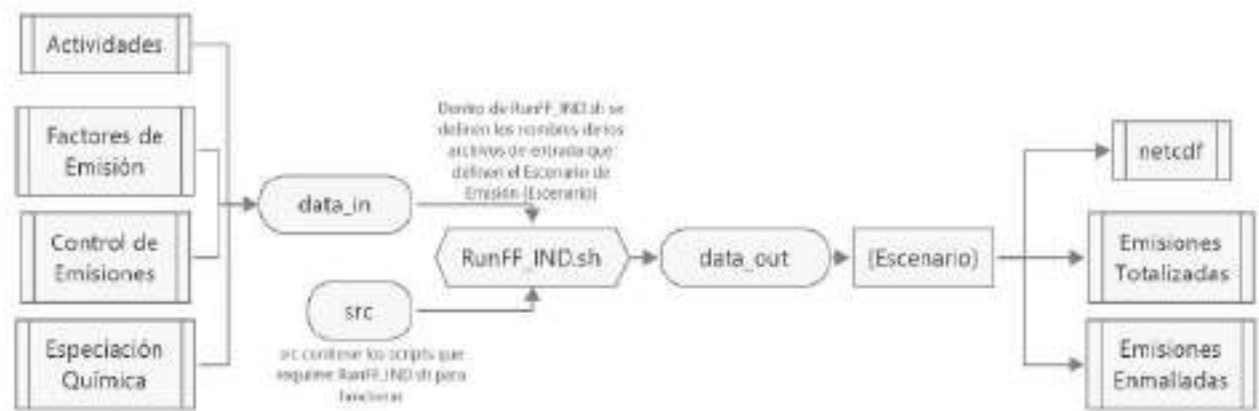
Requerimientos de Información:

- Características de las Fuentes Fijas Industriales (ID-SIIF, coordenadas, tipo de combustible, sistema de control de emisiones, entre otros).
 - Consumos anuales de combustible por fuente (m3 para líquidos / gas, kg para sólidos)
- Horas de funcionamiento, días de funcionamiento y meses de funcionamiento de cada fuente
 - Eficiencia de Sistemas de Control de Emisiones
 - Factores de Emisión y fracciones de especiación química

Información Generada

- Emisiones Anuales por fuente
 - Emisiones por fuente en otra temporalidad (horaria y diaria)
 - Resumen Anual por tipo de fuente, contaminante y comportamiento temporal
- NetCDF por industria y enmallado por contaminante y por especies químicas.
 - Shapefile con Enmallado usado por los modelos fotoquímicos

Flujo de Ejecución



Limitantes del módulo

El módulo no tiene la capacidad de validar la información de consumos de combustibles, ni la ubicación de las fuentes. Actualmente el módulo se esta ampliando para que pueda estimar la incertidumbre asociada a la estimación de las emisiones

Versiones del Módulo

Versión 1 (2020)	Diseño Inicial
Versión 2 (2022)	Generación de resultados en NetCDF, inclusión de cambio de temporalidad para estimación de escenarios de emisiones

MEDINA-FF-COM

Script Maestro	Scripts llamados / generados	Descripción
RunFF_COM.sh	run_ff_com.tpt	Template del código que el script maestró cambiará según especificaciones dentro de este código
	run_ff_com.r	Script generado por RunFF_COM.sh, el cual es ejecutado por el script maestro y llama otras funciones
	grid_com.r	Función para generar el archivo netCDF de las emisiones de fuentes fijas comerciales

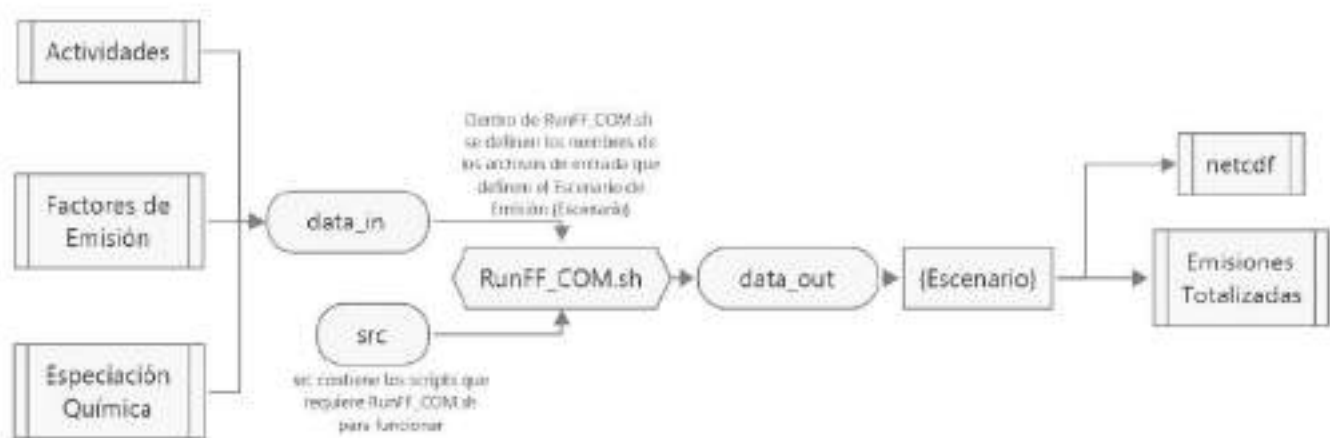
Requerimientos de Información:

- Características de las Fuentes Fijas comerciales (Coordenadas, tipo de combustible).
- Consumos anuales de combustible por fuente (m3 para líquidos / gas, kg para sólidos)
- Horas de funcionamiento, días de funcionamiento
- Factores de Emisión y fracciones de especiación química
- Shapefile con Enmallado usado por los modelos fotoquímicos

Información Generada

- Emisiones Anuales por fuente
- NetCDF enmallado por contaminante y por especies químicas.

Flujo de Ejecución



Limitantes del módulo

El módulo no tiene la capacidad de validar la información de consumos de combustibles, ni la ubicación de las fuentes. Actualmente el módulo se esta ampliando para que pueda estimar la incertidumbre asociada a la estimación de las emisiones

Versiones del Módulo

Versión 1 (2020)	Diseño Inicial, basado en herramientas hechas por la U. La Salle
Versión 2 (2022)	Generación de resultados en NetCDF

MEDINA-FF-GFS

Script Maestro	Scripts llamados / generados	Descripción
RunFF_GFS.sh	run_ff_gfs.tpt	Template del código que el script maestró cambiará según especificaciones dentro de este código
	run_ff_gfs.r	Script generado por RunFF_GFS.sh, el cual es ejecutado por el script maestro.

Requerimientos de Información:

- Características de las estaciones de servicio y centros de almacenamiento (Coordenadas, cantidad de combustible manejada de forma anual).
- Factores de Emisión y fracciones de especiación química
- Shapefile con Enmallado usado por los modelos fotoquímicos

Información Generada

- Emisiones Anuales por fuente y tipo de operación (llenado, vaciado, fugas, etc)
- NetCDF enmallado por especies químicas.

Flujo de Ejecución



Limitantes del módulo

El módulo no tiene la capacidad de validar la información de consumos de combustibles, ni la ubicación de las fuentes. Actualmente el módulo se esta ampliando para que pueda estimar la incertidumbre asociada a la estimación de las emisiones, y tiene potencial para ser actualizado

Versiones del Módulo

Versión 1 (2020)	Diseño Inicial, basado en herramientas hechas por la U. La Salle
------------------	--

MEDINA-FM

MEDINA-FM-GIS

Script Maestro	Scripts llamados / generados	Descripción
RunFM_GIS.sh	run_fm_gis.tpt	Template del código que el script maestró cambiará según especificaciones dentro de este código
	run_fm_gis.r	Script generado por RunFM_GIS.sh, el cual es ejecutado por el script maestro.

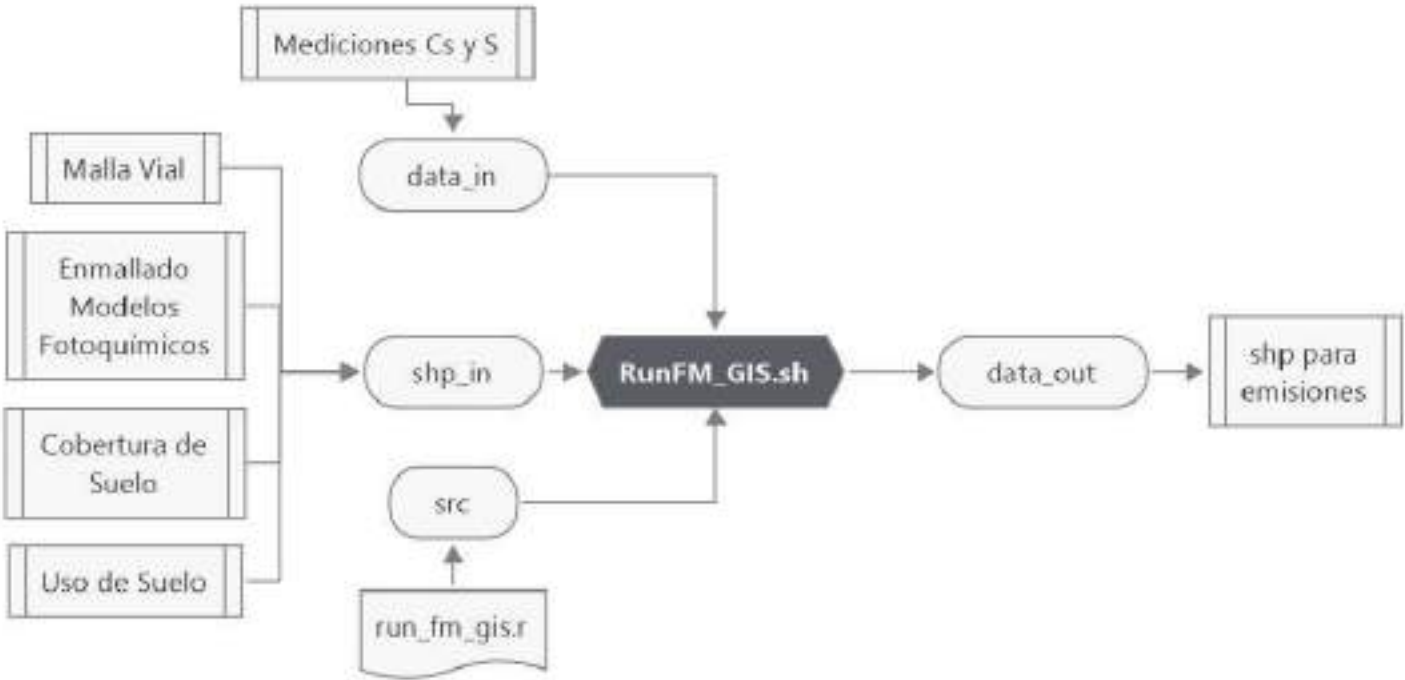
Requerimientos de Información:

- Shapefile de la malla vial con atributos mencionados en el documento metodológico
- Datos tabulados de mediciones georreferenciadas de Cs y S (metodología de resuspensión de material particulado)
- Shapefile con Enmallado usado por los modelos fotoquímicos
- Shapefile con actividades económicas del suelo
- Shapefile con cobertura de uso de Suelo de LANDSAT

Información Generada

- Shapefile base para la estimación de emisiones

Flujo de Ejecución



Limitantes del módulo

El modulo requiere que el shapefile de la malla vial ya venga preprocesado con todos los atributos requeridos, esto quiere decir que debe agregarse estos atributos por fuera del módulo con Sistemas de Información Geográfica

Versiones del Módulo

Versión 1 (2020)	Diseño Inicial
Versión 2 (2023)	Mejora de la extrapolación de Cs y S basado en la cobertura de suelo, detallado en la metodología

MEDINA-FM-DIAG			
	Script Maestro	Scripts llamados / generados	Descripción
	RunFM_CATS.sh	run_fm_cats.tpt	Template del código que el script maestró cambiará según especificaciones dentro de este código
		run_fm_cats.r	Script generado por RunFM_CATS.sh, el cual es ejecutado por el script maestro.
		read.flx.r	Función para extraer los datos de conteos de los archivos entregados por Secretaría Distrital de Movilidad
		flx.diag2.r	Función para extraer las distintas categorías vehiculares en los conteos, así como la identificación de los nodos en conteos
	RunFM_PFL.sh	run_fm_pfl.tpt	Template del código que el script maestró cambiará según especificaciones dentro de este código
		run_fm_pfl.r	Script generado por RunFM_PFL.sh, el cual es ejecutado por el script maestro.
		read.flx.r	Función para extraer los datos de conteos de los archivos entregados por Secretaría Distrital de Movilidad
		make.wdy.r	Función para estimar los coeficientes Isab e Idom en los nodos a extrapolar, según metodología
		make.profile.r	Función para estimar los perfiles normalizados por categoría vehicular, según metodología

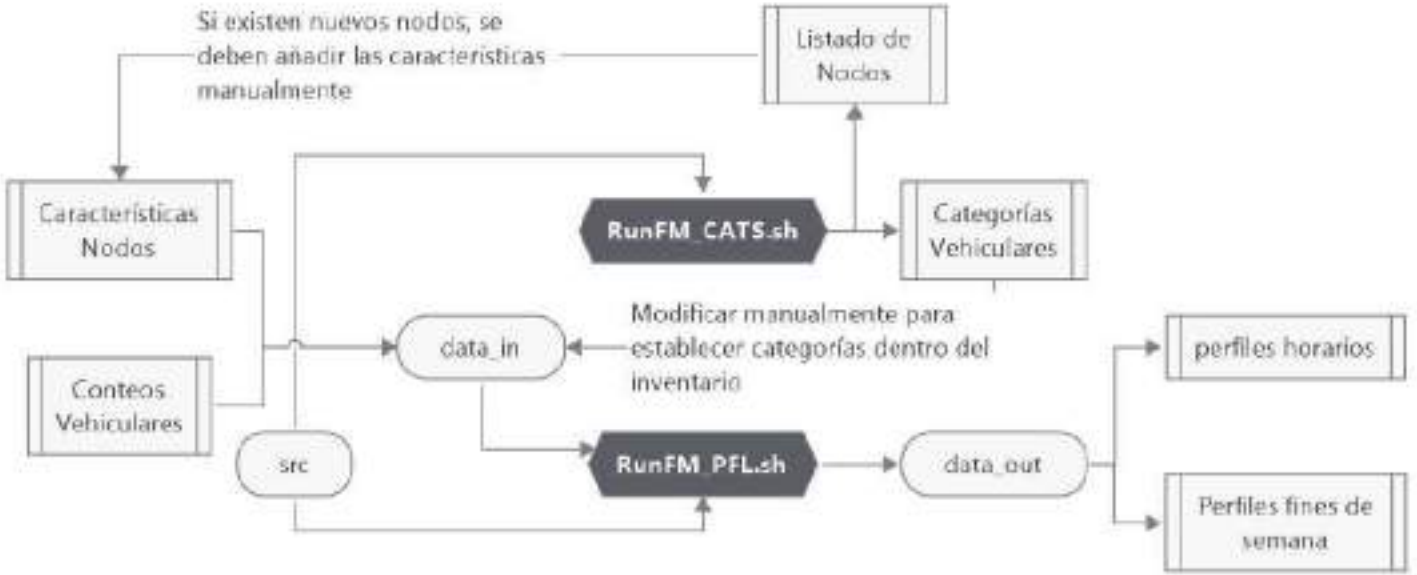
Requerimientos de Información:

- Conteos Vehiculares con formatos establecidos por Secretaría de Movilidad.
 - Categorías Vehiculares dentro de conteos (Información generada y homologada por FM-CATS)
- Características de Nodos contados (ID Nodo, Ubicación geográfica y número de carriles contados, sin contar con carriles exclusivos de Transmilenio)

Información Generada

- Listado de categorías vehiculares contenidas dentro de los conteos
 - Listado de nodos encontrados dentro de los conteos
- Perfiles Normalizados por categoría
 - Valores de extrapolación Isab e Idom para tines de semana

Flujo de Ejecución



Limitantes del módulo

El módulo tiene un alto grado de trabajo manual, homologando las categorías vehicularas a las que se usaran dentro del modelo y verificando si los nodos se encuentran en las bases de datos de las características de los nodos, por lo que primero se debe correr RunFM_CATS y luego RunFM_PFL

Versiones del Módulo

Versión 1 (2020)	Diseño Inicial
Versión 2 (2025)	Se adecúa la metodología de estimación de perfiles de fines de semana, para que ya no depende de promedio horario de los fines de semana, sino de la hora normalizada

MEDINA-FM-PRE			
	Script Maestro	Scripts llamados / generados	Descripción
	RunFM_PRE.sh	run_fm_pre.tpt	Template del código que el script maestró cambiará según especificaciones dentro de este código
		run_fm_pre.r	Script generado por RunFM_PRE.sh, el cual es ejecutado por el script maestro.
		read.flx.r	Función para extraer los datos de conteos de los archivos entregados por Secretaría Distrital de Movilidad
		complete_counts.r	Función que completa conteos vehiculares a 24 horas, y para todos los días de la semana

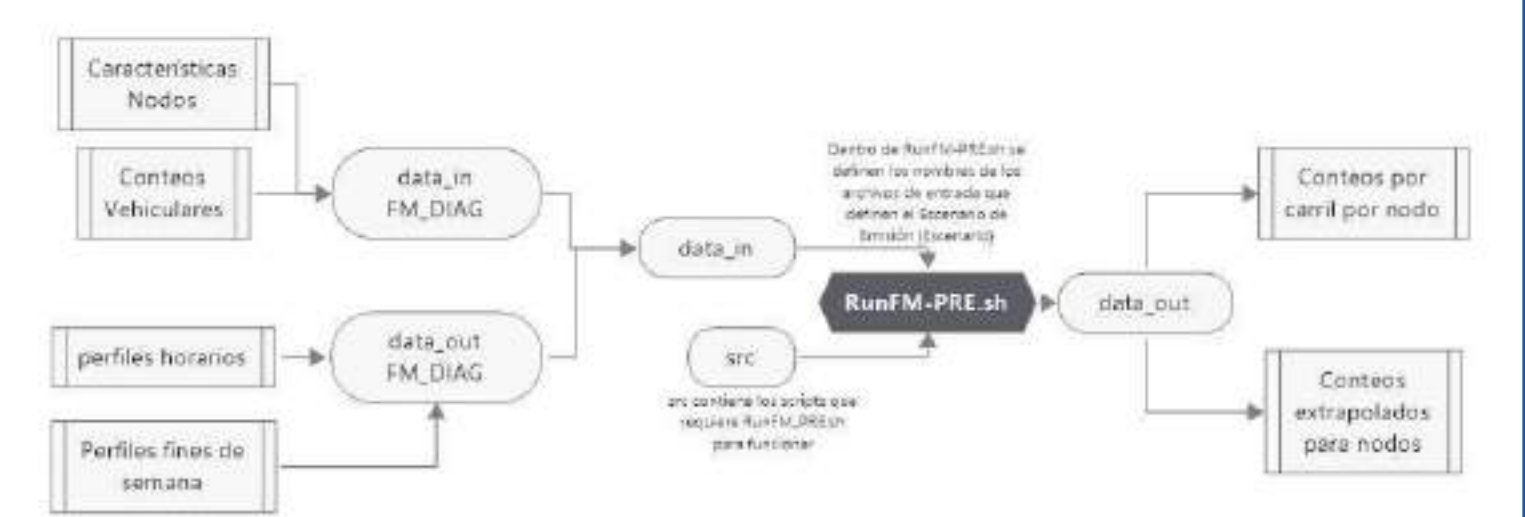
Requerimientos de Información:

- Conteos Vehiculares con formatos establecidos por Secretaría de Movilidad.
 - Categorías Vehiculares dentro de conteos (Información generada y homologada por FM-CATS)
- Características de Nodos contados (ID Nodo, Ubicación geográfica y número de carriles contados, sin contar con carriles exclusivos de Transmilenio)

Información Generada

- Conteos por Carril para los conteos analizados
- Conteos extrapolados

Flujo de Ejecución



Limitantes del módulo

Debe verificarse el comportamiento de los conteos por carril, para asegurarse que se tenga en cuenta o no los conteos vehiculares seleccionados

Versiones del Módulo

Versión 1 (2020)	Diseño Inicial
Versión 2 (2025)	Se consolida la función complete_nods.r donde se actualiza la extrapolación para los fines de semana

MEDINA-FM-FLX			
	Script Maestro	Scripts llamados / generados	Descripción
	RunFM_FLX.sh	run_fm_flx.tpt	Template del código que el script maestro cambiará según especificaciones dentro de este código
		run_fm_flx.r	Script generado por RunFM_FLX.sh, el cual es ejecutado por el script maestro.
		change_flx.r	Script que ajusta la extrapolación de los flujos con los factores estimados por modelación de calidad de aire

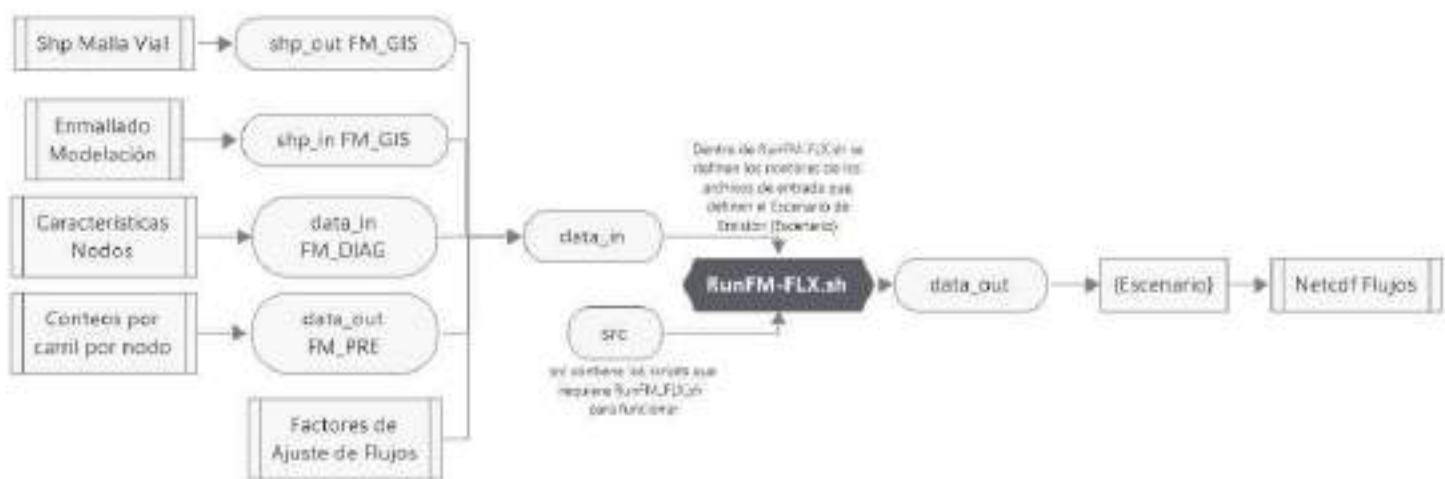
Requerimientos de Información:

- Flujos por carril por nodo (Salida FM-PRE)
 - Características de Nodos contados (ID Nodo, Ubicación geográfica y número de carriles contados, sin contar con carriles exclusivos de Transmilenio)
- Shapefile de la malla vial (salida FM-GIS)
 - Enmallado de Modelación

Información Generada

Netcdf con flujos vehiculares por hora, día de la semana, por vía y por categoría vehicular

Flujo de Ejecución



Limitantes del módulo

El módulo tiene un alto grado de trabajo manual, homologando las categorías vehicularas a las que se usaran dentro del modelo y verificando si los nodos se encuentran en las bases de datos de las características de los nodos, por lo que primero se debe correr RunFM_CATS y luego RunFM_PFL

Versiones del Módulo

Versión 1 (2020)	Diseño Inicial
Versión 2 (2022)	Se ajusta la metodología de estimación de flujos en vías secundarias, a partir de información de Movilidad
Versión 3 (2023)	Se añaden factores de corrección estimados por modelación fotoquímica
Versión 4 (2025)	Se ajusta la metodología de estimación de flujo del SITP y taxis, y se optimiza la estimación de flujos en el netcdf

MEDINA-FM-CMB			
	Script Maestro	Scripts llamados / generados	Descripción
	RunFM_CMB.sh	run_fm_cmb.tpt	Template del código que el script maestró cambiará según especificaciones dentro de este código
		run_fm_cmb.r	Script generado por RunFM_CMB.sh, el cual es ejecutado por el script maestro.
		ncUtils.r	Script que contiene las funciones que se requieren para la generación de información de emisiones

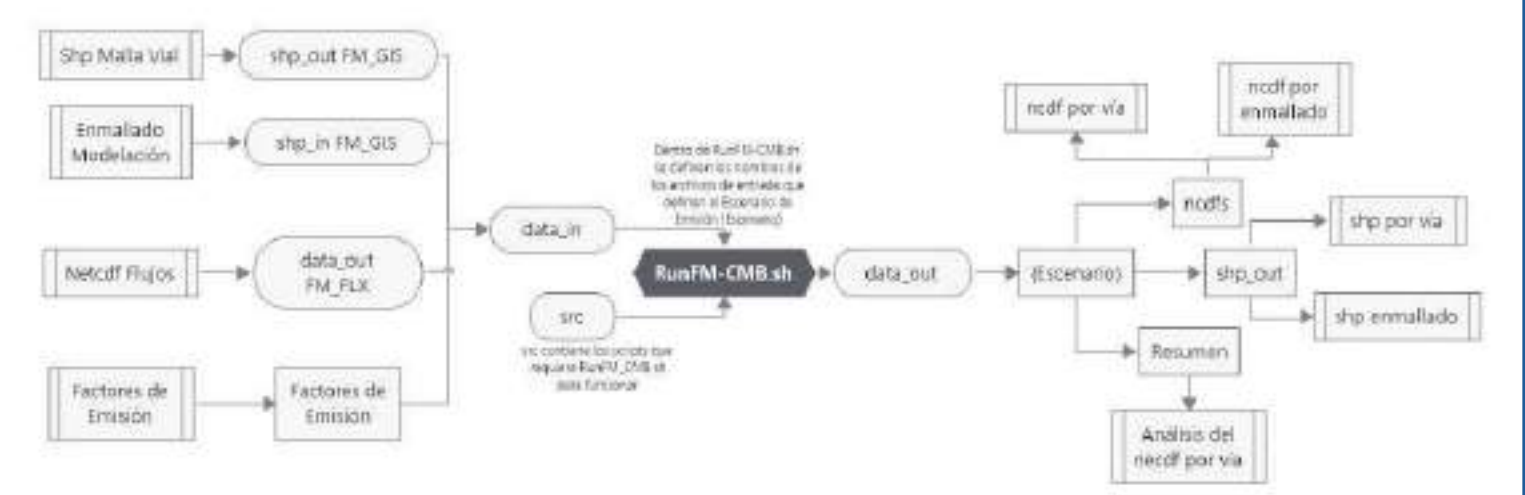
Requerimientos de Información:

- Netcdf de flujos (salida FM-FLX)
 - Factores de emisión y distribución energética de categorías
- Shapefile de la malla vial (salida FM-GIS)
 - Enmallado de Modelación

Información Generada

- Netcdf con emisiones de contaminantes criterio por hora, día de la semana, por vía y por categoría vehicular
 - Netcdf con el enmallado de los modelos fotoquímicos
- Resumen de los resultados obtenidos(totales anuales por categoría y perfiles horarios)
 - Shapefiles de emisiones anuales por vía y por enmallado

Flujo de Ejecución



Limitantes del módulo

Los factores de emisión y la distribución por energético son provistos de la estimacion de emisiones Top-Down para fuentes móviles en carretera

Versiones del Módulo

Versión 1 (2020)	Diseño Inicial
Versión 2 (2024)	Se combina la distribución de energético y los factores de emisión dentro del mismo algoritmo de cálculo

MEDINA-FM-RDST

Script Maestro	Scripts llamados / generados	Descripción
RunFM_RDST.sh	run_fm_rdst.tpt	Template del código que el script maestró cambiará según especificaciones dentro de este código
	run_fm_rdst.r	Script generado por RunFM_RDST.sh, el cual es ejecutado por el script maestro.
	ncUtils.r	Script que contiene las funciones que se requieren para la generación de información de emisiones

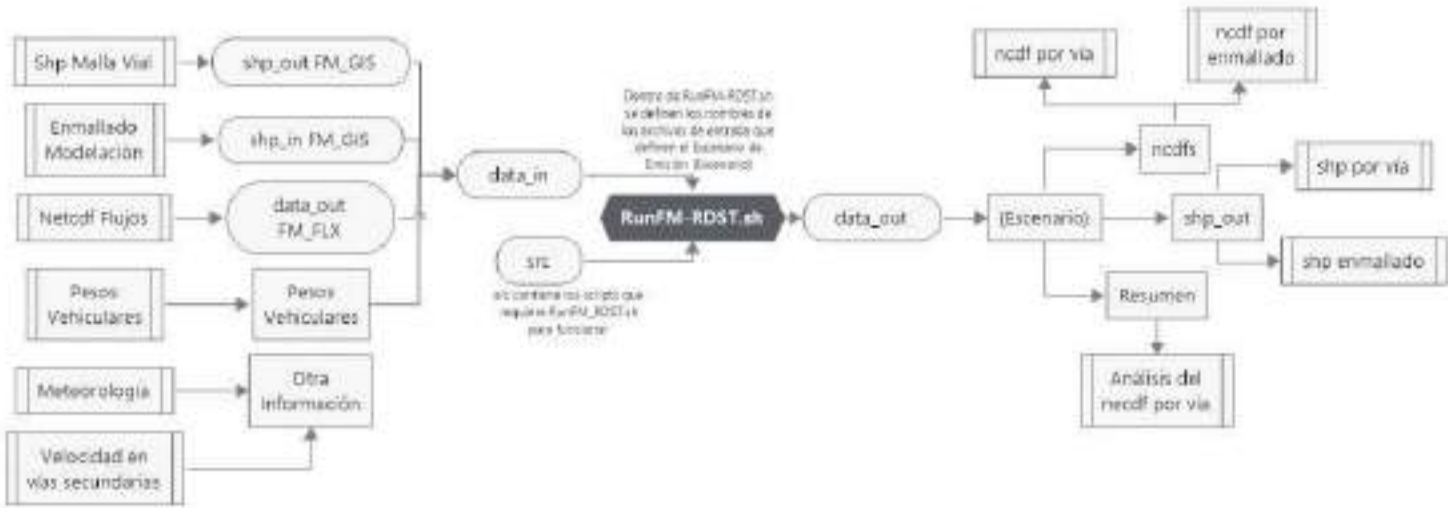
Requerimientos de Información:

- Netcdf de flujos (salida FM-FLX)
 - Pesos Vehiculares y velocidades promedio en vías destapadas
 - Precipitación anual
- Shapefile de la malla vial (salida FM-GIS)
 - Enmallado de Modelación

Información Generada

- Netcdf con emisiones de contaminantes criterio por hora, día de la semana, por vía y por categoría vehicular
 - Netcdf con el enmallado de los modelos fotoquímicos
- Resumen de los resultados obtenidos(totales anuales por categoría y perfiles horarios)
 - Shapefiles de emisiones anuales por vía y por enmallado

Flujo de Ejecución



Limitantes del módulo

Se añade un factor de ajuste al método de la EPA AP-42, de tal forma que las modelaciones fotoquímicas sean similares a las observaciones para PM10, la información requerida sobre el estado de la malla vial se encuentra contenida dentro del netcdf que se genera en FM_FLX

Versiones del Módulo

Versión 1 (2020)	Diseño Inicial
Versión 2 (2023)	Se añaden los factores de corrección de emisiones obtenido con modelaciones de calidad de aire

MEDINA-FM-TBW			
	Script Maestro	Scripts llamados / generados	Descripción
	RunFM_TBW.sh	run_fm_tbw.tpt	Template del código que el script maestró cambiará según especificaciones dentro de este código
		run_fm_tbw.r	Script generado por RunFM_TBW.sh, el cual es ejecutado por el script maestro.
		ncUtils.r	Script que contiene las funciones que se requieren para la generación de información de emisiones

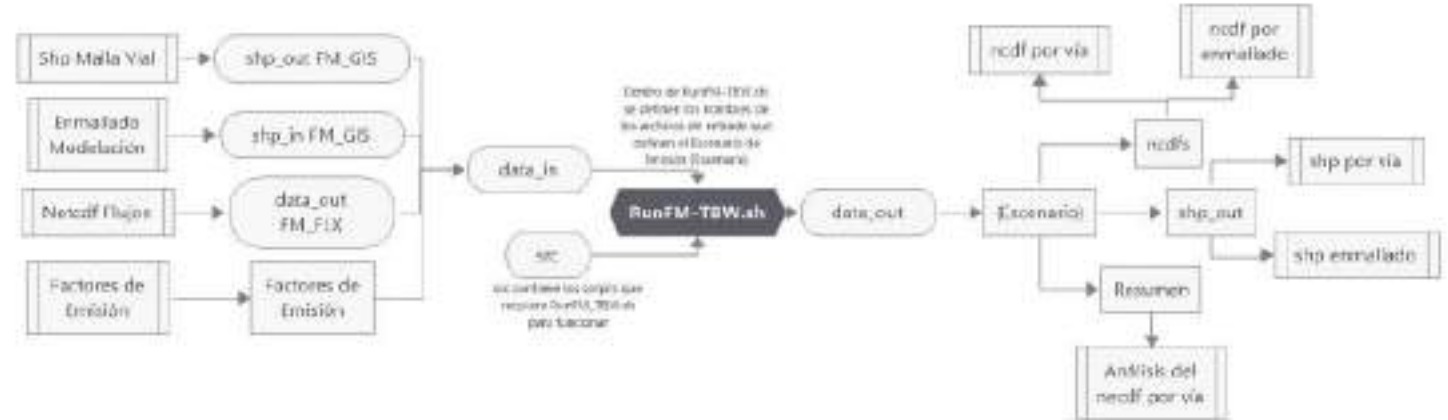
Requerimientos de Información:

- Netcdf de flujos (salida FM-FLX)
- Factores de Emision para desgaste de frenos y llantas
- Shapefile de la malla vial (salida FM-GIS)
- Enmallado de Modelación

Información Generada

- Netcdf con emisiones de contaminantes criterio por hora, día de la semana, por vía y por categoría vehicular
- Netcdf con el enmallado de los modelos fotoquímicos
- Resumen de los resultados obtenidos(totales anuales por categoría y perfiles horarios)
- Shapefiles de emisiones anuales por vía y por enmallado

Flujo de Ejecución



Limitantes del módulo

Ninguna documentada

Versiones del Módulo

Versión 1 (2020)
 Diseño Inicial

MEDINA-FM-SPC			
	Script Maestro	Scripts llamados / generados	Descripción
	RunFM_SPC.sh	run_fm_spc.tpt	Template del código que el script maestró cambiará según especificaciones dentro de este código
		run_fm_spc.r	Script generado por RunFM_SPC.sh, el cual es ejecutado por el script maestro.
		ncUtils.r	Script que contiene las funciones que se requieren para la generación de información de emisiones
		fm.speciate.R	Función que realiza la especiación química de las emisiones de combustión, desgaste de frenos y llantas y resuspendido

Requerimientos de Información:

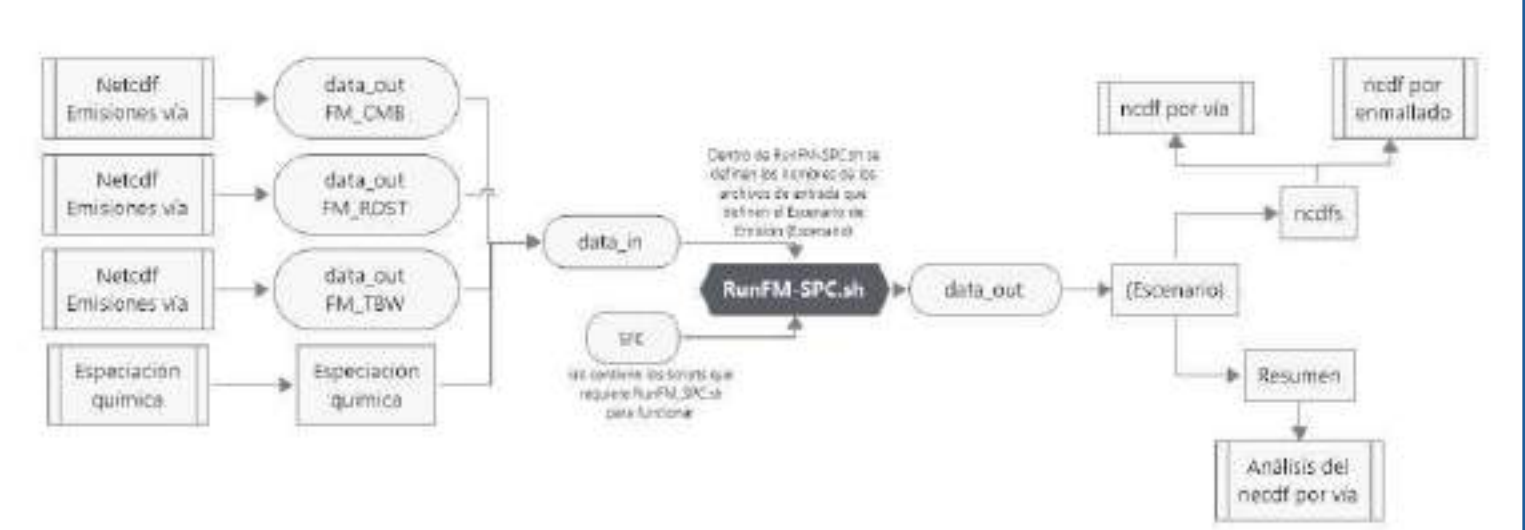
- Netcdf por vía de FM-CMB, FM-RDST y FM-TBW
- Especiación química para cada uno de los tipos de emisiones

Información Generada

- Netcdf con especies químicas por hora, día de la semana, por vía y por categoría vehicular
- Netcdf con el enmallado de los modelos con especies químicas

- Netcdf con emisiones de Black Carbon por tipo de emisión
- Resumen de resultados anuales de todos los netcdfs

Flujo de Ejecución



Limitantes del módulo

Las categorías vehiculares en la especiación química debe coincidir con las categorías dentro de los flujos vehiculares

Versiones del Módulo

Versión 1 (2020)
 Diseño Inicial

MEDINA-FM-POST			
	Script Maestro	Scripts llamados / generados	Descripción
	Ninguno	regrid_emis.r	Script para redimensionar las emisiones, a otro tamaño de grilla

	road_annual.r	Script que lleva las emisiones de los netcdfs a una métrica anual
	cambio_escenarios.r	Script que permite modificar las emisiones basado en cambios de flujos en escenarios de modelación
	bottom2top.r	Script que convierte los resultados bottom_up en top_down para cálculo rápido de emisiones

Requerimientos de Información:

- Netcdf por vía de FM-CMB, FM-RDST, FM-TBW y FM_SPC

Información Generada

- Shapefile con emisiones enmalladas en otra grilla
- factores de emisión y flujos totales para modelación top-down
- netcdfs anuales por vía de emisiones
- Salidas de Emisiones modificadas por escenario

Flujo de Ejecución

Corre a demanda, no tiene flujo de ejecución

Limitantes del módulo

Las categorías vehiculares en la especiación química debe coincidir con las categorías dentro de los flujos vehiculares

Versiones del Módulo

Versión 1 (2020)	Diseño Inicial
Versión 2 (2023)	Se crea bottom2top.r para corroborar emisiones estimadas por otros modelos de emisiones

--

MEDINA-RPM

MEDINA-RPM-BLD

--

Script Maestro	Scripts llamados / generados	Descripción
RunRPM_BLD.sh	run_rpm_bld.tpt	Template del código que el script maestró cambiará según especificaciones dentro de este código
	run_rpm_bld.r	Script generado por RunRPM_BLD.sh, el cual es ejecutado por el script maestro.
	dir_asign.r	Script que asigna coordenadas a las construcciones a partir de direcciones

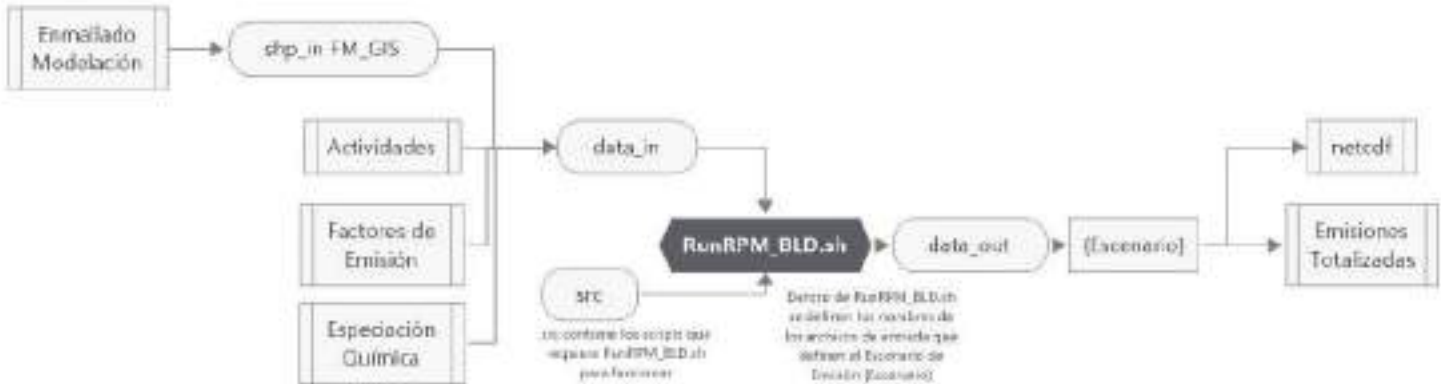
Requerimientos de Información:

- Base de datos de construcciones de SCAPS
- Especiación química
- Factores de Emisión
- Enmallado de los modelos fotoquímicos

Información Generada

- Emisiones anuales por construcción
- Netcdf con emisiones enmalladas y desagregadas temporalmente por especie química

Flujo de Ejecución



Limitantes del módulo

Debe hacerse un preprocesamiento a la informacion bajada de SCAPS para que sea reconocida por el modelo, además, muchas direcciones no serán encontradas, por lo cual toca ubicarlas manualmente

Versiones del Módulo

Versión 1 (2020)	Diseño Inicial
Versión 2 (2023)	Implementación de dir_asign.r para la asignación de coordenadas, antes se hacía de forma externa

MEDINA-RPM-QRY

	Script Maestro	Scripts llamados / generados	Descripción
	RunRPM_QRY.sh	run_rpm_qry.tpt	Template del código que el script maestro cambiará según especificaciones dentro de este código
		run_rpm_qry.r	Script generado por RunRPM_QRY.sh, el cual es ejecutado por el script maestro.

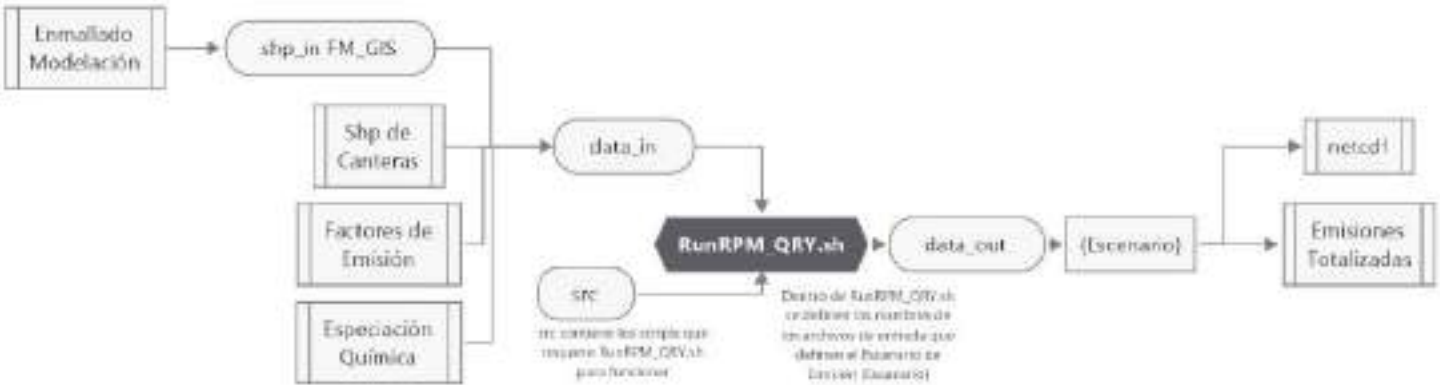
Requerimientos de Información:

- Shapefiles con canteras activas, con empresa y material
- Especiación química
- Factores de Emisión
- Enmallado de los modelos fotoquímicos

Información Generada

- Emisiones anuales por cantera
- Netcdf con emisiones enmalladas y desagregadas temporalmente por especie química

Flujo de Ejecución



Limitantes del módulo

Se debe tener en cuenta el tamaño del enmallado, y si se va a usar para crear el netcdf (1x1km) o para el inventario (500mx500m)

Versiones del Módulo

Versión 1 (2020)	Diseño Inicial
Versión 2 (2023)	Adaptación de resultados con los dos enmallados, tanto para la modelación, como para el inventario

MEDINA-FIRES

MEDINA-FIRES-LC

	Script Maestro	Scripts llamados / generados	Descripción
	RunFIRES_LC.sh	run_fires_lc.tpt	Template del código que el script maestro cambiará según especificaciones dentro de este código
		run_fires_lc.r	Script generado por RunFIRES_LC.sh, el cual es ejecutado por el script maestro.

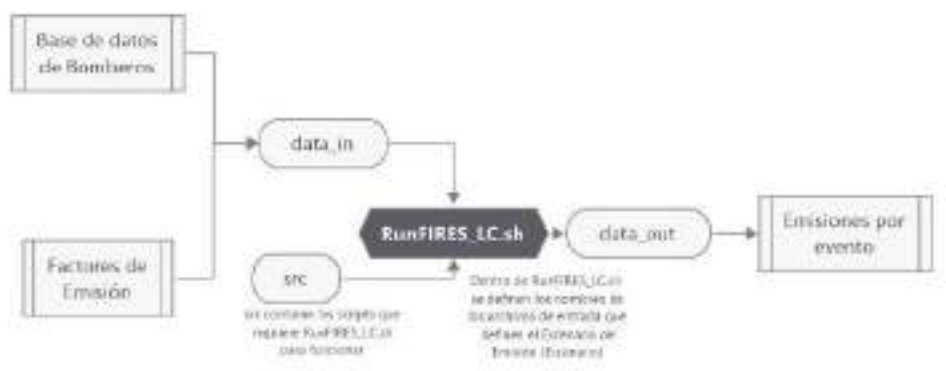
Requerimientos de Información:

- Base de datos de incendios del cuerpo de bomberos
- Factores de Emisión

Información Generada

- Emisiones por quema o incendios

Flujo de Ejecución



Limitantes del módulo

El módulo no valida la ubicación geográfica de los incendios, por lo que pueden existir algunos que no hayan sido registradas adecuadamente por Bomberos. Por otro lado estas emisiones no se especia químicamente ni se enmalla en Netcdf ya que no se usa para propositos del modelo fotoquímico

Versiones del Módulo

Versión 1 (2024) Diseño Inicial

MEDINA-NCDF

Script Maestro	Scripts llamados / generados	Descripción
Ninguno	make_ncdf.r	Script que recolecta todos los netcdfs generados por MEDINA y los consolida en un único netcdf
	run_cmaq_esc.r	Script que transforma el netcdf hecho con make_ncdf.r al formato requerido por el modelo fotoquímico CMAQ para escenarios
	run_cmaq_pron.r	Script que transforma el netcdf hecho con make_ncdf.r al formato requerido por el modelo fotoquímico CMAQ para pronóstico

Requerimientos de Información:

- Netcdfs generados de FF_IND, FF_COM, FF_GFS, FM_SPC, RPM_QRY, RPM_BLD para especies químicas

Información Generada

- Netcdf unificado de especies químicas
- netcdfs con los campos requeridos por el modelo fotoquímico CMAQ

Flujo de Ejecución

Los scripts se corren por separado y según demanda, pero siempre se debe correr primero make_ncdf.r si no se han consolidado los netcdfs

Limitantes del módulo

Ninguna Documentada

Versiones del Módulo

Versión 1 (2020) Diseño Inicial

MEDINA-INV			
	Script Maestro	Scripts llamados / generados	Descripción
	Ninguno	analisis_cmb.r	Generación de tablas, gráficas y mapas de las emisiones de combustión en fuentes móviles en carretera para el Inventario
		analisis_tbw.r	Generación de tablas, gráficas y mapas de las emisiones de TBW en fuentes móviles en carretera para el Inventario
		analisis_rdst.r	Generación de tablas, gráficas y mapas de las emisiones por resuspendido en fuentes móviles en carretera para el Inventario
		analisis_bld.r	Generación de tablas, gráficas y mapas de las emisiones por manipulación de materiales en construcciones para el Inventario
		analisis_qry.r	Generación de tablas, gráficas y mapas de las emisiones por manipulación de materiales en canteras para el Inventario
		analisis_fires.r	Generación de tablas, gráficas y mapas de las emisiones por quemas e incendios para el Inventario
		analisis_ffi.r	Generación de tablas, gráficas y mapas de las emisiones por combustión en fuentes fijas industriales
		analisis_ot.r	Generación de tablas, gráficas y mapas de las emisiones de otras categorías (maquinaria amarilla, comerciales, residenciales, etc)
		analisis_inventario.r	Generación de tablas, gráficas y mapas de las emisiones consolidadas del inventario
		funciones_analisis.r	Funciones genéricas para analizar todas las fuentes: diagramas solares, mapas, diagramas de pareto, etc
Requerimientos de Información:			
<ul style="list-style-type: none">- Todos los resultados de todos los módulos de emisiones- Shapefiles de localidades y administraciones políticas para presentación de mapas			
Información Generada			
<ul style="list-style-type: none">- Tablas usadas en el reporte del Inventario- Bases de datos unificadas de consulta, tanto por fuente como para todo el inventario- Diagramas de Pareto de emisiones por localidades- Diagramas Solares y barras de percentil- Barras de evolución histórica- Mapas de emisiones- Otros tipos de gráficos- Archivos Shapfiles enmallados			
Flujo de Ejecución			
Los scripts se corren por separado y según demanda, pero siempre se debe correr de último analisis_inventario.r, ya que los análisis por fuente generan la información requerida para este script.			
Limitantes del módulo			
Los distintos scripts tienen escalas de colores y otras variables que deben ser modificadas manualmente para garantizar que los gráficos salgan con la representación adecuada			
Versiones del Módulo			
<div><div>Versión 1 (2024)</div><div>Diseño Inicial</div></div> <div><div>Versión 2 (2025)</div><div>Reducción de Scripts al consolidar funciones requeridas para los análisis en funciones_analisis.r</div></div>			