

Inventario de Emisiones de Bogotá

Contaminantes criterio y carbono negro

2022



SECRETARÍA DE
AMBIENTE





Carlos Fernando Galán
Alcalde Mayor de Bogotá D.C.

Adriana Soto Carreño
Secretaria Distrital de Ambiente

Jerónimo Juan Diego Rodríguez Rodríguez
Subsecretario General y de Control Disciplinario

Gladys Emilia Rodríguez Pardo
Directora de Control Ambiental

Daniela García Aguirre
Subdirectora de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

AUTORES

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

Karen Ballesteros González
July Andrea Vásquez Ramírez
Sistema de Modelación Atmosférica de Bogotá

María Paula Ortiz Mantilla
Juan Sebastián Montealegre
Miguel Quirama
Grupo del Plan Estratégico para la
Gestión Integral de la Calidad del Aire de Bogotá

Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-
© Junio de 2024, Bogotá – Colombia
Inventario de emisiones de Bogotá, Contaminantes Criterio y Black Carbon
Año: 2022



CONTENIDO

1.	RESUMEN EJECUTIVO E IDEAS CLAVE	1
1.1.	Resumen del consolidado de emisiones para el año 2022	1
1.2.	Aporte de las localidades a la calidad del aire de la ciudad en el 2022	5
1.2.1.	Combustión en Fuentes Fijas industriales.....	5
1.2.2.	Combustión en Fuentes Móviles en Ruta (Vehículos en carretera).....	5
1.2.3.	Material Resuspendido provenientes de las vías y desgaste de frenos y llantas	6
1.2.4.	Material Resuspendido provenientes de manipulación de materiales en construcciones y canteras.....	7
1.3.	Ideas Clave en las fuentes por combustión.....	8
1.3.1.	Fuentes Fijas industriales	8
1.3.2.	Fuentes Fijas residenciales	8
1.3.3.	Fuentes Móviles en Ruta (Vehículos en carretera)	8
1.3.4.	Fuentes Móviles en fuera de Ruta (Maquinaria Amarilla)	9
1.4.	Ideas Clave en las fuentes por manipulación y resuspensión de materiales.....	9
1.4.1.	Material Resuspendido proveniente de las vías	9
1.4.2.	Desgaste de Frenos y llantas	9
1.4.3.	Manipulación de materiales en construcción	10
1.4.4.	Manipulación de materiales en canteras	10
2.	INTRODUCCIÓN	11
2.1.	Dinámica de la contaminación en la atmósfera	11
2.2.	Inventario de emisiones y su utilidad para la ciudad	13
2.3.	Fuentes de emisión identificadas en Bogotá	14
2.3.1.	Fuentes de emisión externas	14
2.3.2.	Fuentes de emisión internas	15
3.	CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIONES EN BOGOTÁ.....	16
3.1.	Fuentes fijas industriales.....	16
3.2.	Fuentes residenciales.....	24
3.3.	Fuentes móviles en carretera.....	24
3.3.1.	Categorías Vehiculares	24
3.3.2.	Cantidad de Vehículos	25
3.3.3.	Flujos Vehiculares.....	25
3.4.	Malla vial de la ciudad	28
3.5.	Obras de construcciones	29
3.6.	Canteras	30
3.7.	Incendios forestales	32
4.	INVENTARIO DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN	35
4.1.	Inventario de emisiones por combustión de fuentes fijas industriales	38
4.1.1.	Inventario de emisiones Bottom-Up	38
4.1.2.	Resultados históricos de los inventarios de emisiones por combustión en las fuentes fijas industriales.....	47
4.2.	Inventario de Emisiones por combustión de Fuentes Fijas Residenciales	53
4.2.1.	Inventario de emisiones Top-Down	53



4.3.	Inventario de emisiones por combustión de fuentes móviles en ruta (vehículos en carretera).....	54
4.3.1.	Inventario de emisiones Top-Down	54
4.3.2.	Inventario de emisiones Bottom-Up	56
4.3.3.	Comparación entre metodologías de estimación Top-Down y Bottom-Up.....	64
4.3.4.	Resultados históricos de inventarios de emisión por combustión de fuentes móviles en carretera.....	65
4.4.	Inventario de emisiones por combustión en fuentes móviles fuera de ruta (Maquinaria amarilla) 72	
4.4.1.	Inventario de emisiones <i>Top-Down</i>	72
4.5.	Inventario de emisiones para otras fuentes de combustión	73
5.	INVENTARIO DE EMISIONES POR MANIPULACIÓN Y RESUSPENSIÓN DE MATERIALES.....	74
5.1.	Inventario de emisiones de material resuspendido proveniente de las vías.....	76
5.1.1.	Inventario de emisiones Bottom-up	77
5.1.2.	Resultados históricos de los inventarios de emisiones por resuspensión de material particulado en vías	80
5.2.	Inventario de emisiones por desgaste de frenos y llantas.....	82
5.2.1.	Inventario de emisiones Bottom-up	82
5.2.2.	Resultados históricos de los inventarios de emisiones generadas por desgaste de frenos y llantas	86
5.3.	Inventario de emisiones por manipulación de materiales en construcciones.....	88
5.3.1.	Inventario de emisiones Bottom-up	88
5.3.2.	Resultados Históricos de los inventarios de emisiones generadas por construcciones	89
5.4.	Inventario de emisiones por manipulación de materiales en canteras.....	90
5.4.1.	Inventario de emisiones Bottom-up	91
5.4.2.	Resultados históricos de los inventarios de emisiones generadas por canteras	91
5.5.	Inventario de emisiones por manipulación de materiales para otras fuentes	93
6.	INVENTARIO CONSOLIDADO DE EMISIONES.....	94
6.1.	Desagregación espacial de las emisiones totales.....	96
6.2.	Resultados históricos de los inventarios de emisiones totales.....	101
6.3.	Resultados de Emisiones desagregadas espacialmente	104
6.4.	Inventario de Emisiones en categorías IPCC	107
7.	INVENTARIO DE EMISIONES REGIONAL DE INCENDIOS FORESTALES.....	112
7.0.	Material Particulado.....	112
7.1.	Gases	115
7.2.	Consolidado Histórico de emisiones por incendios forestales.....	118
8.	OPORTUNIDADES DE MEJORA	119
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	121



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Participación porcentual en emisiones de PM _{2.5} por tipo de fuente – Resumen Ejecutivo.	2
Figura 2. Evolución de los contaminantes en la atmósfera.....	13
Figura 3. Utilidad de los inventarios de emisiones	14
Figura 4. Fuentes de emisiones identificadas para la ciudad de Bogotá.	15
Figura 5. Distribución por tipo de fuente de combustión y combustión+proceso.	16
Figura 6. Distribución de las fuentes fijas por tipo de combustible usado.	17
Figura 7. Participación de uso de combustibles por sectores productivos.....	18
Figura 8. Distribución de fuentes y establecimientos por localidad.	21
Figura 9. Distribución de uso de combustibles por localidad.	22
Figura 10. Ubicación de las fuentes fijas industriales para el año 2022 por tipo de combustible....	23
Figura 11. Distribución independiente por tipo de combustible de fuentes fijas industriales para el año 2022. Combustibles sólidos (izquierda), combustibles líquidos (centro), combustibles gaseosos (derecha)	23
Figura 12. Consumo energético de gas natural por fuentes residenciales en la ciudad de Bogotá .	24
Figura 13. Cantidad de vehículos por categoría vehicular del inventario <i>Top-Down</i>	25
Figura 14. Cantidad de vehículos promedio por hora, por km de vía, entre los años 2018 a 2022.	27
Figura 15. Estado de la malla vial para el año 2021.	28
Figura 16. Mapa de las construcciones de edificaciones (izquierda) y de construcciones de vías (derecha), identificadas en el inventario 2022.	30
Figura 17. Distribución por tipo de construcción.....	30
Figura 18. Cantidad de construcciones por localidad	30
Figura 19. Ubicación de canteras activas en la ciudad de Bogotá para el año 2022	32
Figura 20. Comportamiento espacial de puntos calientes asociados a incendios forestales para el año 2022.....	33
Figura 21. Comportamiento temporal de puntos calientes asociados a incendios forestales para el año 2022.....	34
Figura 22. Histórico de emisiones por combustión de PM _{2.5} , por tipo de fuente.....	36
Figura 23. Participación porcentual en emisiones por combustión de PM _{2.5} , por tipo de fuente....	37
Figura 24. Participación en las emisiones de fuentes fijas industriales por cada categoría y contaminante	40
Figura 25. Participación porcentual de las emisiones por contaminante, por sectores productivos	42
Figura 26. Distribución espacial de las emisiones PM _{2.5} (izquierda) y PM ₁₀ (derecha) generadas por fuentes fijas industriales	43
Figura 27. Distribución espacial de las emisiones de NO _x (izquierda) y COV (derecha) generadas por fuentes fijas industriales	44
Figura 28. Distribución espacial de las emisiones de SO ₂ (izquierda) y CO (derecha) generadas por fuentes fijas industriales	44
Figura 29. Distribución espacial de las emisiones de BC generadas por fuentes fijas industriales ..	45
Figura 30. Participación por localidad de las emisiones de PM _{2.5} para fuentes fijas industriales	45
Figura 31. Participación por localidad de las emisiones de PM ₁₀ para fuentes fijas industriales	46
Figura 32. Participación por localidad de las emisiones de BC para fuentes fijas industriales.....	46
Figura 33. Perfiles horarios de emisiones para fuentes fijas industriales.....	47



Figura 34. Emisiones históricas de PM ₁₀ de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, sin considerar la remoción por SCE, periodo 2008-2022	48
Figura 35. Emisiones históricas de PM ₁₀ de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, considerando la remoción por SCE, periodo 2018-2022	49
Figura 36. Emisiones históricas de PM _{2.5} de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, considerando la remoción por SCE, periodo 2018-2022.	50
Figura 37. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para PM _{2.5}	51
Figura 38. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para PM ₁₀	51
Figura 39. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para NO _x	52
Figura 40. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para CO	52
Figura 41. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para COV	52
Figura 42. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para SO ₂	53
Figura 43. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para BC	53
Figura 44. Participación porcentual por categoría vehicular de las emisiones de PM _{2.5} estimada con enfoque <i>Top-Down</i> para el año 2022	55
Figura 45. Participación porcentual en emisiones por categoría vehicular para los contaminantes criterio estimada con enfoque <i>Top-Down</i> para el año 2022.	56
Figura 46. Participación porcentual por categoría vehicular de las emisiones de PM _{2.5} , estimada con enfoque <i>Bottom-Up</i> , año 2022.	57
Figura 47. Participación porcentual en emisiones por categoría vehicular para los contaminantes criterio y Black Carbon, estimada con enfoque <i>Bottom-Up</i> para el año 2022.	58
Figura 48. Distribución espacio temporal de las emisiones PM _{2.5} (izquierda) y PM ₁₀ (derecha) generadas por las fuentes móviles por combustión para el año 2022.	58
Figura 49. Distribución espacio temporal de las emisiones de CO (izquierda) y SO _x (derecha) generadas por las fuentes móviles por combustión para el año 2022.	59
Figura 50. Distribución espacio temporal de las emisiones de NO _x (derecha) y COV (izquierda) generadas por las fuentes móviles por combustión para el año 2022.	59
Figura 51. Distribución espacio temporal de las emisiones de BC generadas por las fuentes móviles por combustión para el año 2022.	60
Figura 52. Distribución de emisiones generadas por las fuentes móviles por combustión, por localidad para las emisiones de PM _{2.5}	60
Figura 53. Distribución de emisiones generadas por las fuentes móviles por combustión, por localidad para las emisiones de PM ₁₀	61
Figura 54. Distribución de emisiones generadas por las fuentes móviles por combustión, por localidad para las emisiones de COV	61
Figura 55. Distribución de emisiones generadas por las fuentes móviles por combustión, por localidad para las emisiones de SO _x	61



Figura 56. Distribución de emisiones generadas por las fuentes móviles por combustión, por localidad para las emisiones de NO_x	62
Figura 57. Distribución de emisiones generadas por las fuentes móviles por combustión, por localidad para las emisiones de CO	62
Figura 58. Distribución de emisiones generadas por las fuentes móviles por combustión, por localidad para las emisiones de BC	62
Figura 59. Distribución horaria de emisiones generadas por las fuentes móviles por combustión del año 2022 por categoría vehicular	64
Figura 60. Emisiones de $\text{PM}_{2.5}$ entre 2018, 2020, 2021 y 2022 de $\text{PM}_{2.5}$ estimadas con enfoque <i>Top-Down</i>	66
Figura 61. Emisiones de 2018, 2020, 2021 y 2022 de $\text{PM}_{2.5}$ estimadas con enfoque <i>Bottom-Up</i>	67
Figura 62. Emisiones de 2018, 2020, 2021 y 2022 de PM_{10} estimadas con enfoque <i>Bottom-Up</i>	68
Figura 63. Emisiones de 2018, 2020, 2021 y 2022 de BC estimadas con enfoque <i>Bottom-Up</i>	69
Figura 64. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para SO_x en los años 2018, 2020, 2021 y 2022.....	69
Figura 65. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para PM_{10} en los años 2018, 2020, 2021 y 2022.	70
Figura 66. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para $\text{PM}_{2.5}$ en los años 2018, 2020, 2021 y 2022.	70
Figura 67. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para COV en los años 2018, 2020, 2021 y 2022.	70
Figura 68. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para CO en los años 2018, 2020, 2021 y 2022.	71
Figura 69. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para NO_x en los años 2018, 2020, 2021 y 2022.	71
Figura 70. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para BC en los años 2020, 2021 y 2022.....	71
Figura 71. Histórico de emisiones por resuspensión y manipulación de material para $\text{PM}_{2.5}$, por tipo de fuente.	75
Figura 72. Participación porcentual en emisiones de $\text{PM}_{2.5}$ por resuspensión y manipulación de materiales, por tipo de fuente.	76
Figura 73. Distribución espacial de las emisiones de PM_{10} (izquierda) y $\text{PM}_{2.5}$ (derecha) por resuspensión de material particulado en vías.	78
Figura 74. Distribución espacial de las emisiones de BC por resuspensión de material particulado en vías.....	78
Figura 75. Participación por localidad de las emisiones de PM_{10} para resuspensión de material particulado en vía.....	79
Figura 76. Participación por localidad de las emisiones de $\text{PM}_{2.5}$ para resuspensión de material particulado en vía.....	79
Figura 77. Participación por localidad de las emisiones de BC para resuspensión de material particulado en vía.....	79
Figura 78. Perfiles horarios de emisiones de material particulado para fuentes móviles por material resuspendido.....	80
Figura 79. Histórico de emisiones de PM_{10} por material resuspendido en vías.....	81



Figura 80. Histórico de emisiones de PM _{2.5} por material resuspendido en vías	82
Figura 81. Histórico de emisiones de BC por material resuspendido en vías	82
Figura 82. Distribución espacial de las emisiones PM ₁₀ (izquierda) y PM _{2.5} (derecha) generadas por desgaste de frenos y llantas.	83
Figura 83. Distribución espacial de las emisiones de BC generadas por desgaste de frenos y llantas.	84
Figura 84. Participación por localidad de las emisiones de PM ₁₀ generas por desgaste de frenos y llantas	84
Figura 85. Participación por localidad de las emisiones de PM _{2.5} generas por desgaste de frenos y llantas	84
Figura 86. Participación por localidad de las emisiones de BC generas por desgaste de frenos y llantas	85
Figura 87. Perfiles horarios de emisiones de material particulado para fuentes móviles por desgaste de llantas y frenos.	85
Figura 88. Distribución espacial de emisiones histórico por desgaste de llantas y frenos para PM ₁₀	87
Figura 89. Distribución espacial de emisiones histórico por desgaste de llantas y frenos para PM _{2.5}	87
Figura 90. Distribución espacial de emisiones histórico por desgaste de llantas y frenos para BC..	87
Figura 91. Distribución espacio temporal de las PM ₁₀ (izquierda) y PM _{2.5} (derecha) por resuspensión de construcciones.	89
Figura 92. Distribución histórica espacio temporal de PM ₁₀ por resuspensión de construcciones..	90
Figura 93. Distribución histórica espacio temporal de PM _{2.5} por resuspensión de construcciones.	90
Figura 94. Distribución espacio temporal de las PM ₁₀ (izquierda) y PM _{2.5} (derecha) por resuspensión de canteras.	92
Figura 95. Histórico de emisiones por canteras para PM _{2.5}	92
Figura 96. Histórico de emisiones por canteras para PM ₁₀	93
Figura 97. Participación porcentual en emisiones de PM _{2.5} por tipo de fuente.	95
Figura 98. Participación porcentual del total de emisiones de contaminantes criterio y BC por tipo de fuente para el año 2022.	96
Figura 99. Distribución espacial de las emisiones totales PM ₁₀ (izquierda) y PM _{2.5} (derecha) generadas en el año 2022.	97
Figura 100. Distribución espacial de las emisiones NO _x (izquierda) y CO (derecha) generadas en el año 2022.	97
Figura 101. Distribución espacial de las emisiones COV (izquierda) y SO _x (derecha) generadas en el año 2022.	98
Figura 102. Distribución espacial de las emisiones de BC generadas en el año 2022.	98
Figura 103. Participación localidad en la emisión de PM _{2.5}	99
Figura 104. Participación localidad en la emisión de PM ₁₀	99
Figura 105. Participación localidad en la emisión de NO _x	99
Figura 106. Participación localidad en la emisión de CO	100
Figura 107. Participación localidad en la emisión de SO _x	100
Figura 108. Participación localidad en la emisión de COV	100
Figura 109. Participación localidad en la emisión de BC.	101



Figura 110. Comparación de la participación porcentual de las emisiones de $PM_{2.5}$ por tipo de fuente para los años 2018, 2020, 2021 y 2022.	102
Figura 111. Comparación de participación porcentual y total de emisiones de $PM_{2.5}$ para 2018, 2020 y 2021, por subcategorías de fuentes de emisión	103
Figura 112. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de $PM_{2.5}$	105
Figura 113. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de PM_{10}	105
Figura 114. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de $CO...$	106
Figura 115. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de NO_x .	106
Figura 116. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de COV .	106
Figura 117. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de SO_x .	107
Figura 118. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de $BC...$	107
Figura 119. Distribución porcentual de las emisiones totales para 2022 por categorías IPCC.....	111
Figura 120. Emisiones $PM_{2.5}$ de incendios para el año 2022.	112
Figura 121. Emisiones de $PM_{2.5}$ departamentales de incendios forestales para el año 2021.	113
Figura 122. Emisiones BC de incendios para el año 2022	114
Figura 123. Emisiones de BC departamentales de incendios forestales para el año 2022.....	114
Figura 124. Emisiones CO de incendios para el año 2022.....	115
Figura 125. Emisiones de CO departamentales de incendios forestales para el año 2022	116
Figura 126. Emisiones SO_2 de incendios para el año 2022.....	116
Figura 127. Emisiones de SO_2 departamentales de incendios forestales para el año 2022	117
Figura 128. Emisiones de NO_2 de incendios para el año 2022	117
Figura 129. Emisiones de NO_2 departamentales de incendios forestales para el año 2022	118



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Inventario Consolidado de emisiones para la ciudad representativo para el año 2022 – Resumen Ejecutivo	3
Tabla 2. Emisiones históricas totales de PM _{2.5} para los años 2018 a 2022 – Resumen Ejecutivo.....	4
Tabla 3. Porcentaje de Participación (%) de emisiones por combustión, por localidad para las fuentes fijas industriales – Resumen Ejecutivo.....	5
Tabla 4. Porcentaje de Participación (%) de emisiones por combustión, por localidad para los vehículos en carretera – Resumen Ejecutivo	6
Tabla 5. Porcentaje de Participación (%) de emisiones por localidad por resuspensión en vías y desgaste de frenos y llantas – Resumen Ejecutivo	6
Tabla 6. Porcentaje de Participación (%) de emisiones por localidad por resuspensión en la manipulación de materiales en canteras y construcciones – Resumen Ejecutivo.....	7
Tabla 7. Participación porcentual de uso de combustibles por sectores productivos.	18
Tabla 8. Categorías Vehiculares homologadas dentro del inventario.	24
Tabla 9. Longitud de polígonos por tipo de vía, en km.	29
Tabla 10. Caracterización de las canteras activas para el año 2022	31
Tabla 11. Fuentes de Combustión en la ciudad de Bogotá para el año 2022	35
Tabla 12. Histórico de emisiones por Combustión en la ciudad de Bogotá para PM _{2.5}	35
Tabla 13. Inventario Consolidado de emisiones por combustión para la ciudad, representativo para el año 2022.....	37
Tabla 14. Inventario de emisiones por fuentes fijas por categoría 2022.....	38
Tabla 15. Emisiones históricas de PM ₁₀ de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, sin considerar la remoción por SCE, periodo 2008-2022	49
Tabla 16. Emisiones históricas de PM ₁₀ y PM _{2.5} de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, considerando la remoción por SCE, periodo 2018-2022.	50
Tabla 17. Emisiones residenciales de los años 2018, 2020, 2021 y 2022.	54
Tabla 18. Inventario de emisiones de combustión por las fuentes móviles en carretera por categoría vehicular para el año 2022 con enfoque <i>Top-Down</i>	55
Tabla 19. Inventario de emisiones de combustión por las fuentes móviles en carretera por categoría vehicular para el año 2022 con enfoque <i>Bottom-Up</i>	56
Tabla 20. Comparación de emisiones de fuentes móviles en carretera del año 2022 estimadas enfoques Top-Down y Bottom-Up.	65
Tabla 21. Histórico de emisiones de PM _{2.5} y participación por categoría vehicular estimadas con metodología <i>Top-Down</i>	66
Tabla 22. Emisiones de PM _{2.5} y participación por categoría vehicular estimadas con metodología <i>Bottom-Up</i>	67
Tabla 23. Emisiones de PM ₁₀ y participación por categoría vehicular estimadas con metodología <i>Bottom-Up</i>	68
Tabla 24. Emisiones de BC y participación por categoría vehicular estimadas con metodología <i>Bottom-Up</i>	68
Tabla 25. Resultados de emisiones de maquinaria amarilla en el 2018 por sector para Bogotá	72
Tabla 26. Resultados de emisiones para otras fuentes de combustión en Bogotá	73
Tabla 27. Fuentes por manipulación y resuspensión de materiales en la ciudad de Bogotá para el año 2022.....	74



Tabla 28. Histórico de emisiones por manipulación y resuspensión de materiales en la ciudad de Bogotá para PM _{2.5}	74
Tabla 29. Inventario Consolidado de emisiones por resuspensión y manipulación de materiales para la ciudad, representativo para el año 2022	76
Tabla 30. Inventario de emisiones de material particulado resuspendido en vías por estado de la malla vial	77
Tabla 31. Inventario de emisiones de material particulado resuspendido en vías por categoría vehicular	77
Tabla 32. Emisiones de material resuspendido en vías para los años 2018, 2020, 2021 y 2022.....	81
Tabla 33. Emisiones por desgaste de frenos y llantas para el año 2022 por categoría vehicular	83
Tabla 34. Emisiones de PM _{2.5} por el desgaste de frenos y llantas para los años 2018, 2020, 2021 y 2022.....	86
Tabla 35. Emisiones de PM ₁₀ por el desgaste de frenos y llantas para los años 2018, 2020, 2021 y 2022.....	86
Tabla 36. Emisiones de BC por el desgaste de frenos y llantas para los años 2018, 2020, 2021 y 2022.....	86
Tabla 37. Emisiones del año 2022 generadas por construcciones.....	88
Tabla 38. Participación por localidad en generación de emisiones de PM _{2.5} y PM ₁₀ resuspendido por construcciones	88
Tabla 39. Emisiones históricas 2018, 2020, 2021 y 2022 generadas por construcciones.	90
Tabla 40. Resultados de inventario de emisiones de Canteras año 2012, 2021 y 2022	91
Tabla 41. Resultados de emisiones para otras fuentes de combustión en Bogotá	93
Tabla 42. Inventario Consolidado de emisiones para la ciudad representativo para el año 2022 ...	94
Tabla 43. Consolidado de emisiones de PM _{2.5} por tipo de fuente para los años 2018, 2020, 2021 y 2022.....	104
Tabla 44. Homologación de emisiones de contaminantes criterio y black carbon a las categorías IPCC	108
Tabla 45. Inventario de emisiones por categorías IPCC para el año 2022, en toneladas	108
Tabla 46. Consolidado de emisiones de PM _{2.5} por tipo de fuente para los años 2018, 2020, 2021 y 2022.....	118



LISTA DE ACRÓNIMOS

ACOM	<i>Atmospheric Chemistry Observations & Modeling</i> (división del NCAR)
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
COV	Compuestos orgánicos volátiles
EDS	Estaciones de Servicio
EPA	por sus siglas en ingles <i>Environmental Protection Agency</i>
FINN	<i>Fire Inventory form NCAR</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>
MEDINE	Módulo de Estimación De Inventarios de Emisiones
MOVES	por sus siglas en ingles <i>Motor Vehicle Emission Simulator</i>
NCAR	<i>National Center of Atmospheric Research</i>
RDA	Registro Distrital Automotor
RM CAB	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
SIIF	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
SVCA	Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire
TBW	Desgaste de frenos y llantas (por sus siglas en inglés <i>Tire & Brake Wearing</i>)



ANEXOS

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



1. RESUMEN EJECUTIVO E IDEAS CLAVE

1.1. Resumen del consolidado de emisiones para el año 2022

Los inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos son una herramienta de gestión que cuantifica las emisiones en una zona específica, como una ciudad, originadas por diversas fuentes. Estos inventarios ofrecen información de diagnóstico para la gestión de la calidad del aire en la jurisdicción de autoridades ambientales, respaldo técnico para la formulación de políticas y estrategias de mitigación, datos de entrada para evaluar la efectividad de acciones a través de la modelación de calidad del aire, generación periódica de pronósticos de calidad del aire, entre otros usos que respaldan decisiones de políticas públicas.

El inventario de emisiones abarca las fuentes de acuerdo a la disponibilidad de información. Estas fuentes incluyen fuentes de combustión móviles y fijas como vehículos en ruta (vehículos), maquinaria amarilla, maquinaria agrícola y maquinaria industrial (fuentes móviles fuera de ruta), instalaciones industriales (fuentes fijas industriales), establecimientos comerciales (fuentes fijas comerciales), residencias (fuentes fijas residenciales), áreas específicas (centros de almacenamiento de combustibles como fuentes fijas de área); y fuentes de resuspensión de material particulado en la red vial debido al tráfico vehicular, actividades de construcción, canteras, entre otras.

Para este inventario, las emisiones se han calculado utilizando dos enfoques: (1) el enfoque Bottom-Up, que utiliza información desglosada espacial y temporalmente sobre la ciudad como insumo para las estimaciones, y (2) el enfoque Top-Down, que utiliza valores representativos de la ciudad para llevar a cabo las estimaciones con una resolución temporal anual.

El inventario de emisiones contenido en este documento actualiza la información entre los años 2018 al 2022 para diversas fuentes, esto debido a cambios metodológicos en la estimación de emisiones, principalmente en fuentes móviles en carretera y en la estimación de material resuspendido por el tránsito en las vías. Dentro de las fuentes actualizadas en este periodo se encuentran las fuentes fijas industriales y residenciales, la combustión en vehículos en ruta, las emisiones por resuspensión de polvo en vías y por el desgaste de frenos y llantas, así como las provenientes de construcciones y canteras. Las demás fuentes, como las móviles fuera de carretera, fuentes fijas comerciales, incendios forestales, estaciones de servicio, terrenos agrícolas y emisiones biogénicas, se basan en inventarios realizados en los años 2014 o 2018.

Como resultado de diversas estimaciones, se presenta a continuación (Tabla 1) el inventario representativo para el año 2022 de las emisiones de diferentes contaminantes, incluyendo material particulado con diámetro igual o menor a 10 micrómetros (PM_{10}), 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 *black carbon* (BC).

La principal fuente de emisiones de $PM_{2.5}$ para el año 2022 corresponde a la resuspensión de material particulado en vías y el desgaste de frenos y llantas (40%) que en vías secundarias es corresponde al 31% y principales al 7%), asociadas al flujo vehicular y a la falta de pavimentación. Por otro lado, las emisiones de fuentes móviles por combustión contribuyen con el 31% de las

emisiones, destacando la mayor participación de camiones (16%), seguida de camperos y camionetas (5%), motocicletas (5%) y automóviles (3%). Las emisiones de maquinaria amarilla representan el 9% del total, aunque estos valores corresponden a estimaciones de 2018 y se actualizarán en futuros inventarios. Por otro lado, las fuentes fijas industriales, residenciales y comerciales contribuyen con el 2% de las emisiones, y fuentes de material resuspendido provenientes de canteras y construcciones tuvieron un aporte de 15% de las emisiones.

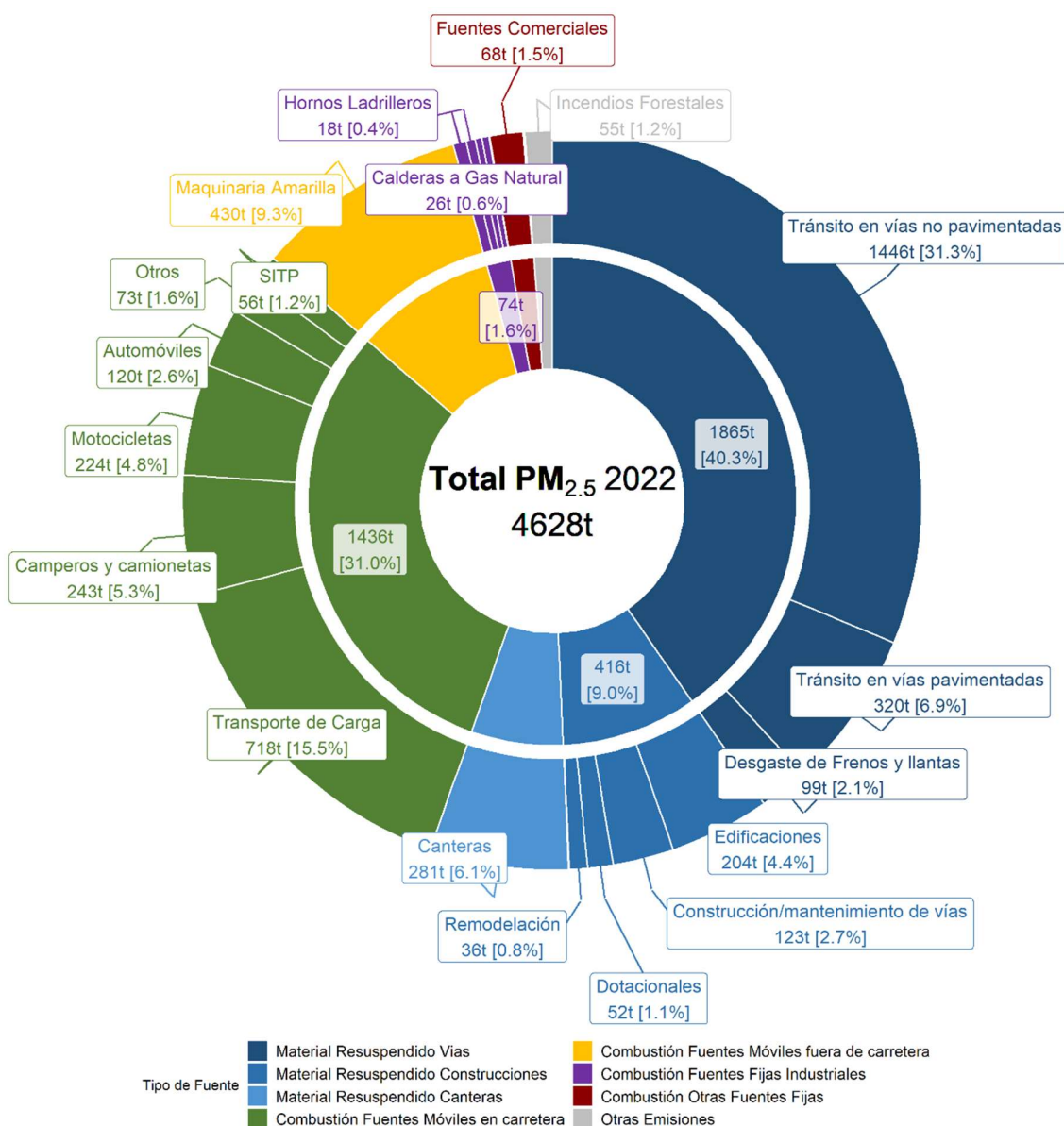


Figura 1. Participación porcentual en emisiones de PM_{2.5} por tipo de fuente – Resumen Ejecutivo.

En relación con los demás contaminantes criterio, se observa que las emisiones provenientes de las fuentes móviles en carretera constituyen la mayor parte de las emisiones de contaminantes

gaseosos (NO_x, COV y CO). En lo que respecta al SO_x¹, precursor de material particulado secundario en la atmósfera, las fuentes fijas industriales contribuyen aproximadamente con el 55% de las emisiones de este contaminante, principalmente debido al uso de carbon en la industria. En el caso del BC, un contaminante climático de vida corta, el 93% de sus emisiones provienen de la combustión en fuentes móviles en carretera.

Tabla 1. Inventario Consolidado de emisiones para la ciudad representativo para el año 2022 – Resumen Ejecutivo

Fuente de Emisión		Metodología	Años de Actualización	Emisiones (t/año) ^a						
				PM ₁₀	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	CO	COV	BC
MÓVILES	En carretera	Top- Down	2022	1.361,0	1.235,0	45.274,0	453,0	136.450,0	53.889,0	NE
		Bottom-Up	2022	1.576,9	1.435,8	41.037,6	1.060,4	150.307,6	64.859,5	501,8
	Fuera de carretera ^b	Top- Down	2018	443,8	430,4	5.382,1	15,7	2.819,0	534,0	283,6
FIJAS	Industriales	Bottom-Up	2022	265,2	74,0	1.357,5	1.523,2	459,8	62,2	23,9
	Comerciales	Bottom-Up	2014	130,0	67,6	67,0	190,0	2.529,0	105,0	NE
	EDS Y CAC	Bottom-Up	2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25.586,0	0,0
	Residenciales	Top- Down	2022	2,9	2,9	622,9	4,4	326,3	26,7	NE
FUENTES NATURALES Y FORESTALES	Incendios Forestales	Bottom-Up	2014	61,0	55,0	14,0	0,0	500,0	0,0	0,0
	Biogénicas	Bottom-Up	2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2.037,0	0,0
RESUSPENDIDO	Desgaste de frenos y llantas	Bottom-Up	2022	755,5	99,0	NA	NA	NA	NA	7,9
	Vías pavimentadas	Bottom-Up	2022	1321,6	319,7	NA	NA	NA	NA	3,3
	Vías no pavimentadas	Bottom-Up	2022	14.462,1	1.446,2	NA	NA	NA	NA	1,4
	Rehabilitación de vías	Bottom-Up	2022	399,4	122,9	NA	NA	NA	NA	NE
	Terrenos Agrícolas	Bottom-Up	2012	5,0	NE	NA	NA	NA	NA	NE
	Canteras	Bottom-Up	2022	617,3	280,7	NA	NA	NA	NA	NE
	Construcciones de edificaciones	Bottom-Up	2022	952,9	293,2	NA	NA	NA	NA	NE
TOTAL				20.993,5	4.627,5	48.481,1	2.793,7	156.941,7	93.210,4	822,0

a. NA: No Aplica, NE: No estimado

b. El inventario de emisiones de fuentes móviles fuera de carretera correspondiente a la maquinaria utilizada en la ciudad corresponde al estimado por el programa Clima y Aire limpio en Ciudades de América Latina CALAC+. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Agencia Suiza COSUDE, & Swisscontact, 2022)

c. Las emisiones totales suman únicamente las emisiones de las fuentes móviles en carretera estimadas a partir de la metodología Bottom-Up

Fuente: Elaboración propia

Los resultados históricos para PM_{2.5} se detallan en la Tabla 2, evidencian una reducción de las emisiones del año 2018 al 2020, aproximadamente del 29% con respecto al 2018, relacionada con el impacto de la pandemia, que se tradujo en una mejora de la calidad del aire. Entre 2020 y 2022,

¹ NO_x hace referencia a óxidos de nitrógeno (NO y NO₂ principalmente) y SO_x hace referencia a óxidos de azufre (SO₂ y SO₃ principalmente), en algunas fuentes se puede estimar únicamente NO₂ y SO₂ (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 NO₂ o NO_x, por ejemplo, según la metodología de estimación.



se observa un incremento de alrededor de 3,6% por año en las emisiones de PM_{2.5} (~130 t_{PM2.5}/año).

Tabla 2. Emisiones históricas totales de PM_{2.5} para los años 2018 a 2022 – Resumen Ejecutivo

Tipo de Fuente	Emisiones (t/año)			
	2018	2020	2021	2022
Material Resuspendido en vías y desgaste de Frenos y llantas	2.921	1.593	1.824	1.865
Manipulación de Materiales en construcciones	431	431	173	281
Manipulación de Materiales en canteras	331	369	426	416
Combustión en Fuentes móviles en carretera	1.741	1.222	1.459	1.436
Combustión en Fuentes móviles fuera de carretera	430	430	430	430
Combustión en Fuentes Fijas Industriales	111	158	66	74
Combustión en otras Fuentes Fijas	71	71	71	71
Otras Fuentes	55	55	55	55
Total	6.091	4.328	4.504	4.628

Fuente: Elaboración propia

En el caso de la combustión en las fuentes fijas industriales, las emisiones de PM_{2.5} mostraron un aumento de 66 t a 74 t (+12%) entre los años 2021 y 2022, sin embargo, salvo las emisiones del año 2020, este tipo de fuentes ha mostrado un descenso generalizado desde el año 2014, con un valor de 66% comparados con dicho año para el contaminante PM₁₀ (PM_{2.5} se empezó a estimar desde el año 2018). Por otro lado, en la combustión de fuentes fijas residenciales, no hay una variación histórica significativa de las emisiones desde el año 2018.

En cuanto a los valores históricos de emisiones de PM_{2.5} para combustión en fuentes móviles en carretera, resuspensión de material en vías y desgaste de frenos y llantas, alcanzaron emisiones mínimas en el año 2020 por las restricciones del COVID19. En el caso de la combustión en fuentes móviles, las emisiones se han mantenido relativamente constantes entre el año 2021 y 2022, donde se destaca la reducción de emisiones en el transporte de carga, en los camperos y camionetas y los taxis, compensado con un aumento de emisiones en motocicletas y automóviles; en el caso de desgaste de frenos y llantas, después del 2020 se destaca el aumento de emisiones en motocicletas y automóviles; finalmente, en el caso de resuspensión de material particulado, las emisiones de PM_{2.5} se han mantenido relativamente constantes entre el año 2021 y 2022, sin embargo, dado a que no se ha podido actualizar la categorización del estado de la malla vial, la dinámica de las emisiones está asociada únicamente al comportamiento de los flujos vehiculares, y no a la mejora del estado de la malla vial.

Las emisiones por manipulación de materiales en la construcción tuvieron valores similares entre 2021 y 2022 para PM_{2.5} y PM₁₀, sin embargo, los estos valores comparados con el año 2018 han mostrado una tendencia a aumentar con el paso de los años. Por otro lado, las emisiones por la manipulación de materiales en las canteras tuvieron un aumento de cerca de 40% en PM_{2.5} y PM₁₀ entre los años 2021 y 2022.

1.2. Aporte de las localidades a la calidad del aire de la ciudad en el 2022

1.2.1. Combustión en Fuentes Fijas industriales

- En general las localidades que aportan más emisiones de fuentes fijas industriales son, en orden, Usme, Puente Aranda, Tunjuelito, Fontibón y Kennedy, pese a que en Kennedy y Puente Aranda es donde se encuentra concentradas las fuentes fijas (Ver celdas sombreadas en Tabla 3).
- Usme se posiciona como la localidad que más emite PM_{10} , $PM_{2.5}$, BC y CO, en dicha localidad se encuentran mayoritariamente los hornos que emplean combustibles líquidos y sólidos.
- En Puente Aranda se encuentran las mayores emisiones de NO_x y una de las mayores de COV, producto principalmente de las calderas que emplean gas natural y GLP.
- En Santa Fe se encuentran las mayores emisiones de SO_2 , debido al alto uso de combustibles líquidos en fuentes distintas a hornos y calderas.

Tabla 3. Porcentaje de Participación (%) de emisiones por combustión, por localidad para las fuentes fijas industriales
– Resumen Ejecutivo

Localidad	PM_{10}	$PM_{2.5}$	BC	COV	NO_x	SO_2	CO
Usme	29,5	22,9	22,4	15,5	6,7	16	27,2
Puente Aranda	17,2	20,2	20,5	19	21,5	22,5	16,3
Tunjuelito	12,1	13,8	13,7	6,2	10,5	10,8	4,7
Fontibón	11,1	12,2	12,1	15	16,7	13,3	13,2
Kennedy	5,1	7,1	7,4	20,4	15,7	1,7	11,8
Ciudad Bolívar	4,6	4,7	4,7	3,2	2,4	1,2	3,9
Usaquén	5,1	3,2	3,2	2,2	3,5	1,9	2,8
Engativá	1,9	3	3	8,5	6,8	0,5	4,8
San Cristóbal	4,2	2,7	2,6	1,5	1	0,5	1,2
Chapinero	1,2	2,4	2,4	1,7	2,2	2,3	1,9
Candelaria	4,1	2,2	2,2	1	2,6	3,8	2
Santa Fe	0,8	1,2	1,3	0,6	4,4	24,1	3,9
Suba	0,4	1,1	1,1	1,2	1,2	0	1,4
Barrios Unidos	1	0,9	0,9	0,5	1	0,3	1,2
Teusaquillo	0,5	0,8	0,8	0,8	1	0,2	1,3
Antonio Nariño	0,5	0,7	0,6	1,8	1,7	0,8	1,1
Bosa	0,3	0,5	0,5	0,5	0,7	0,1	0,9
Los Mártires	0,2	0,4	0,4	0,3	0,3	0	0,3
Rafael Uribe Uribe	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,1

Fuente: Elaboración propia

1.2.2. Combustión en Fuentes Móviles en Ruta (Vehículos en carretera)

- Las localidades que aportan más emisiones por combustión en los vehículos en carretera son, en orden, Kennedy, Fontibón, Engativá, Suba, Puente Aranda y Usaquén (Ver celdas sombreadas en Tabla 4).
- En el caso de las emisiones de PM_{10} , $PM_{2.5}$ y BC, las emisiones provenientes de la combustión de transporte de carga son las que más aportan en la localidad de Kennedy, la cual es la localidad que más emite estos contaminantes.
- Para SO_x y CO, las emisiones provenientes de las motocicletas son las que más aportan en la localidad de Kennedy, la cual es la localidad que más emite estos contaminantes.

- En cuanto a NOx y COV, las emisiones provenientes de los vehículos livianos (automóviles, camperos y camionetas) son las que más aportan en la localidad de Kennedy, la cual es la localidad que más emite estos contaminantes.

Tabla 4. Porcentaje de Participación (%) de emisiones por combustión, por localidad para los vehículos en carretera – Resumen Ejecutivo

Localidad	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	COV	NOx	SOx	CO
Kennedy	12,9	12,9	12,9	11,3	10,8	11,5	11,7
Fontibón	11,2	11,2	11,3	8,9	8,4	8,9	9,2
Engativá	9,9	9,9	9,9	10,5	9,5	9,8	10,2
Suba	9,1	9,1	9,2	10,4	10,3	8,8	10
Puente Aranda	8,3	8,3	8,2	7,6	7,5	8,1	7,7
Usaquén	7,1	7,1	7,2	8,3	7,9	6,5	7,9
Teusaquillo	6,5	6,5	6,5	7	7,3	7,5	7
Barrios Unidos	5,1	5,1	5,1	6,2	6,9	6,7	6
Bosa	4,3	4,3	4,3	4,3	4,1	4,5	4,3
Ciudad Bolívar	4,2	4,2	4,2	3,7	3,3	3,8	3,8
Chapinero	3,4	3,4	3,3	4,4	4,1	4,2	4,1
Usme	3	2,9	3	1,8	2	1,7	1,9
Los Mártires	2,7	2,7	2,7	3	3,2	3,3	3,1
Tunjuelito	2,7	2,7	2,7	2,1	2,6	2,7	2,3
San Cristóbal	2,6	2,6	2,7	2,9	3,3	3,2	2,9
Rafael Uribe Uribe	2,5	2,5	2,5	2,8	2,9	3	2,8
Antonio Nariño	2,2	2,2	2,2	2,4	2,5	2,8	2,6
Santa Fe	2	2	2,1	2,2	3	2,7	2,4
Candelaria	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4

Fuente: Elaboración propia

1.2.3. Material Resuspendido provenientes de las vías y desgaste de frenos y llantas

- Las localidades que aportan más emisiones por resuspensión en vías son, en orden, Ciudad Bolívar, Usme, Kennedy, Suba, Bosa y Fontibón, por otro lado, las localidades que más aportan en el desgaste de frenos y llantas son, en orden, Kennedy, Suba, Engativá, Fontibón y Usaquén (Ver celdas sombreadas en Tabla 5).
- En la localidad de Ciudad Bolívar es donde más se encuentran vías destapadas secundarias, que son las mayores causantes de resuspensión de PM₁₀, PM_{2.5} y BC en vías.
- En la localidad de Kennedy se encuentran las mayores emisiones por desgaste de frenos y llantas, donde los automóviles, camperos y camionetas son los que más aportan en esta localidad.

Tabla 5. Porcentaje de Participación (%) de emisiones por localidad por resuspensión en vías y desgaste de frenos y llantas – Resumen Ejecutivo

Localidad	Resuspendido en vías			Desgaste de Frenos y Llantas		
	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC
Ciudad Bolívar	19,5	17,8	8,8	3,5	3,5	3,5
Usme	14,9	13,5	6	2	2	1,9
Kennedy	11,9	12	12,5	11,1	11,1	11
Suba	11,5	11,1	8,9	10,6	10,6	10,8
Bosa	11,5	10,9	7,8	4,1	4,1	4,1
Fontibón	11	10,6	8,4	8,7	8,7	8,6
Engativá	4,6	5	7	10	10	10,2
Puente Aranda	3,6	4,1	6,7	7,5	7,5	7,4
Usaquén	2,5	2,9	5	8,3	8,3	8,6
Rafael Uribe Uribe	2,4	2,5	2,9	2,8	2,8	2,8
San Cristóbal	2,4	2,5	2,8	3,1	3,1	3
Teusaquillo	1,3	1,8	4,9	7,1	7,1	7,1
Barrios Unidos	0,7	1,4	5,4	6,4	6,4	6,4

Localidad	Resuspendido en vías			Desgaste de Frenos y Llantas		
	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC
Chapinero	0,9	1,3	3,4	4,2	4,2	4,3
Los Mártires	0,4	0,8	2,9	3	3	3
Santa Fe	0,5	0,8	2,2	2,5	2,5	2,4
Antonio Nariño	0,3	0,6	2,2	2,4	2,4	2,4
Tunjuelito	0,3	0,5	1,8	2,3	2,3	2,1
Candelaria	0,1	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3

Fuente: Elaboración propia

1.2.4. Material Resuspendido provenientes de manipulación de materiales en construcciones y canteras

- Las localidades que aportan más emisiones por manipulación de materiales en construcciones son, en orden, Engativá, Fontibón, Kennedy, Suba, Usaquén y Barrios Unidos (Ver celdas sombreadas en Tabla 6), pese a que Usaquén, Chapinero, Suba y Engativá son las localidades con mayor número de construcciones activas.
- La localidad que más aporta en la manipulación de materiales en cantera es Usme (Ver Tabla 6).
- En la localidad de Fontibón, en la cual se presentan las mayores emisiones por construcciones, predominan las emisiones por la construcción de tipo edificación.

Tabla 6. Porcentaje de Participación (%) de emisiones por localidad por resuspensión en la manipulación de materiales en canteras y construcciones – Resumen Ejecutivo

Localidades	Construcciones	Cantaras	
	PM ₁₀ y PM _{2.5}	PM _{2.5}	PM ₁₀
Engativá	11,7	0,0	0,0
Fontibón	11,2	0,0	0,0
Kennedy	10,9	0,0	0,0
Suba	10	0,0	0,0
Usaquén	9,1	8,5	8,6
Barrios Unidos	6,2	0,0	0,0
Chapinero	5,9	0,0	0,0
Puente Aranda	5,9	0,0	0,0
Los Mártires	5,3	0,0	0,0
Teusaquillo	5,3	0,0	0,0
Santa Fe	3,7	0,0	0,0
Bosa	3,5	0,0	0,0
Usme	3,1	50,3	49,8
Ciudad Bolívar	2,6	41,2	41,6
San Cristóbal	2,2	0,0	0,0
Rafael Uribe Uribe	1,6	0,0	0,0
Antonio Nariño	1,4	0,0	0,0
Tunjuelito	0,2	0,0	0,0
Candelaria	0,2	0,0	0,0

Fuente: Elaboración propia



1.3. Ideas Clave en las fuentes por combustión

1.3.1. Fuentes Fijas industriales

- Para 2022 el Sistema Integrado de Información de Fuentes Fijas (SIIFF) de la Secretaría Distrital de Ambiente registró para la ciudad 2.171 fuentes que usan combustibles fósiles en operación, alojadas en 1.212 establecimientos.
- El 88% 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 (carbon, madera, aceite usado, etc). 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 PM_{10} (32%), BC (24%) y $PM_{2.5}$ (24%)
- Las fuentes fijas industriales que operan con GLP son los mayores aportantes de emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles y óxidos de nitrógeno mientras que las fuentes fijas que operan con diésel son las mayores aportantes de óxidos de azufre.

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 800.000 y 1'200.000 m³ al día de gas natural en el sector residencial para el año 2022, los cuales generaron, 2,9 t/año de $PM_{2.5}$. Por el tipo de información, este tipo de emisiones no puede desagregarse por localidad.

1.3.3. Fuentes Móviles en Ruta (Vehículos en carretera)

- Para el año 2022 se estimó que en la ciudad transitan 2'585.626 vehículos, de los cuales 1'135.998 son automóviles (44%), 569.992 son camperos y camionetas (22%), 730.207 son motocicletas (28%), 76.268 (3%) son camiones, 51.979 son taxis (2%) y el resto de los vehículos (1%) están asociados a transporte especial, intermunicipales y vehículos del SITP.
- Entre el 2021 y el 2022 aumentó el tránsito de los automóviles, motocicletas, camperos y camionetas en la ciudad, al igual que el tránsito del transporte intermunicipal, el SITP y el transporte especial en buses. Por el contrario, se redujo el tránsito de camiones de 2 y de 4 o más ejes.
- Las emisiones de $PM_{2.5}$ asociados a los vehículos en carretera para el 2022 fue de 1436 t/año, 31% de las emisiones totales. De las emisiones de vehículos de carretera, el transporte de carga aportó 50%, seguido de los camperos y camionetas con un aporte de 17%, las motocicletas con un aporte de 16% y los automóviles con un aporte de 8%. Se destaca de esta participación la disminución del aporte del SITP, debido a que para el año 2022 el SITP provisional dejó de operar en la ciudad y debido al ascenso tecnológico de este tipo de vehículos, cuyas emisiones de $PM_{2.5}$ pasaron de 172 t en 2018 a 30 t en 2022 (-83% con respecto a 2018).



- El transporte de carga tiene la participación mayoritaria en las emisiones de NO_x, PM₁₀ y PM_{2.5}, las motocicletas tienen su mayor aporte en las emisiones de CO, COV y SO_x, con aportes superiores al 40% de las respectivas emisiones.
- Las vías que más aportan en las emisiones de 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.

1.3.4. Fuentes Móviles en fuera de Ruta (Maquinaria Amarilla)

- Las emisiones para la maquinaria amarilla fueron estimadas para el año 2018 por el Ministerio de Ambiente, en conjunto con el programa CALAC+ por medio de metodología *Top-Down* a nivel nacional. La información para Bogotá se extrapola de acuerdo con los porcentajes de participación de la ciudad en el PIB de construcción, industria y agricultura a nivel nacional.
- Se estima que para el 2018 las emisiones de maquinaria amarilla estuvieron cerca de las 430 toneladas, donde el 80% de las emisiones están asociadas a la maquinaria amarilla empleada para la construcción.

1.4. Ideas Clave en las fuentes por manipulación y resuspensión de materiales

1.4.1. Material Resuspendido proveniente de las vías

- Para 2021 la ciudad contaba con 7.942 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
- Se emitieron 1.766 t/año de PM_{2.5} equivalentes al 55% de las emisiones totales. De las emisiones de material resuspendido, el 82% provienen de tránsito en vías secundarias sin pavimentar, 14% provienen de tránsito en vías principales pavimentadas y el 4% del tránsito en vías secundarias pavimentadas. En el caso de PM₁₀, se emitieron 15.784 t, siendo mayoritario el aporte de las vías secundarias sin pavimentar (92%). Finalmente, en el caso de BC, el 55% de las emisiones (4,7 t) 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.

1.4.2. 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 las fuentes móviles en carretera por combustión.
- Se emitieron 99 t/año de PM_{2.5}, de los cuales el 74% provienen de tránsito de automóviles, motocicletas, camperos y camionetas, el 26% restante corresponde a las demás categorías vehiculares. En el caso de PM₁₀, se emitieron 756 t, siendo mayoritario el aporte de automóviles, motocicletas, camperos y camionetas, con un aporte de 74%.



1.4.3. Manipulación de materiales en construcción

- Para 2022 se encontraron activas 1.954 construcciones, de las cuales 34% son clasificadas como dotacionales, 29% como edificaciones, 21% remodelaciones, 15% asociadas a vías y 1% a otro tipo de construcciones
- Las construcciones emitieron 418 t de $PM_{2.5}$, las cuales pueden dividirse en 123 t asociadas a construcción de vías (29%) y 293 t asociadas a Edificaciones (49%), Dotacionales (13%), Remodelaciones (9%) y otros tipos de construcción (<1%).

1.4.4. Manipulación de materiales en canteras

- Estas emisiones son generadas por todas aquellas operaciones que conllevan, la excavación, el cargue y descargue de materiales, el almacenamiento y otros procesos inherentes al procesamiento del mineral en las canteras
- Para 2022 se encontraron activas 9 canteras, ubicadas en las localidades de Ciudad Bolívar, Usaquén y Usme, en las cuales se extrae principalmente arenas y arcillas.



2. INTRODUCCIÓN

Desde 2008, la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá (SDA) ha desarrollado cada dos años 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 reales de las fuentes así como sus procesos de generación de contaminación atmosférica. Desde 2020, profesionales y contratistas se esforzaron en documentar y publicar los inventarios de emisiones de 2018, 2020, 2021 y 2022 en los informes técnicos de inventarios de emisiones, basados en consultorías previas, y desarrollo de metodologías propias estimadas para la entidad y mantener el proceso de publicación de forma anual.

Los inventarios de emisiones estimados para Bogotá contemplan las siguientes fuentes de emisión: fuentes móviles en carretera (vehículos), fuentes móviles fuera de carretera (maquinaria amarilla, maquinaria agrícola y maquinaria industrial), fuentes fijas industriales, fuentes fijas comerciales, fuentes fijas residenciales, fuentes fijas de área (centros de almacenamiento de combustibles), resuspensión de material particulado en la malla vial por el paso vehicular, construcciones, incendios forestales, entre otras.

Este documento presenta de forma detallada los inventarios de emisiones actualizados al año 2022, 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 *black carbon* (BC), y se reportan las emisiones de otros estudios cuyas emisiones no han sido actualizadas para el año 2022.

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.

Finalmente, se presenta un análisis general de las emisiones por quema de biomasa para el año 2022 en un área donde se puede establecer una influencia directa de incendios forestales en la ciudad, cuyo análisis es netamente informativo y no entra dentro de la cuantificación de emisiones para Bogotá.

2.1. Dinámica de la contaminación en la atmósfera

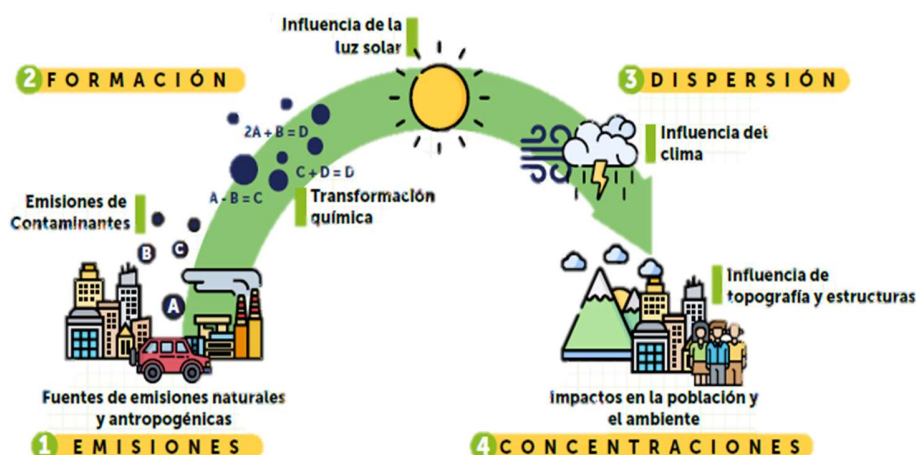
La evolución de las emisiones generadas en las fuentes y su interacción con la atmósfera (incluidos los componentes meteorológicos) permite tener claridad de cómo esta contaminación afecta directamente sobre la población y los ecosistemas de la ciudad Figura 2. A continuación, se



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 groso 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:** 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 y a nivel de suelo se encuentra influenciada por características topográficas y estructurales 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 aire² 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. A su vez, herramientas como los modelos de calidad del aire permiten calcular las concentraciones de contaminantes en escenarios específicos, en este caso, la SDA cuenta con el Sistema de Modelación Atmosférica de Bogotá (SMA) que realiza pronósticos de calidad del aire a 90 horas; para 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>.

² Establecida en la Resolución 2254 de 2017



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 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.

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 la ciudad y ser variables de entrada para procesos más complejos de modelación de calidad del aire y cuantificación de impactos en salud.

En general, los inventarios de emisiones permiten a la ciudadanía, conocer las causas principales de la contaminación atmosférica y cómo las actividades diarias de la ciudadanía impactan directa o indirectamente la calidad del aire, haciéndonos más conscientes de nuestra participación en esta problemática y permitiéndonos 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.



Figura 3. Utilidad de los inventarios de emisiones

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 Grupo 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

Las fuentes identificadas se pueden clasificar según su ubicación en internas y externas, o sea, si están dentro o fuera de la zona de análisis respectivamente. En el caso del presente inventario, las fuentes externas corresponden a aquellas que se encuentran fuera de la jurisdicción de la Secretaría Distrital de Ambiente³, 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 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

³ La jurisdicción de la SDA corresponde a la zona urbana de Bogotá.

Modelación Atmosférica de Bogotá. Actualmente la SDA y la CAR Cundinamarca llevan a cabo un trabajo en conjunto para integrar sus inventarios, buscando mejorar los diagnósticos sobre la calidad del aire de sus jurisdicciones.

2.3.2. Fuentes de emisión internas

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.

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 Bogotá⁴ o no cuentan con inventarios actualizados para el año 2022.



Fuente: Elaboración propia

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

⁴ En la Figura 3 los correspondientes a los de color gris son aquellas fuentes que aún no cuentan con inventario de emisiones oficial para la ciudad de Bogotá.



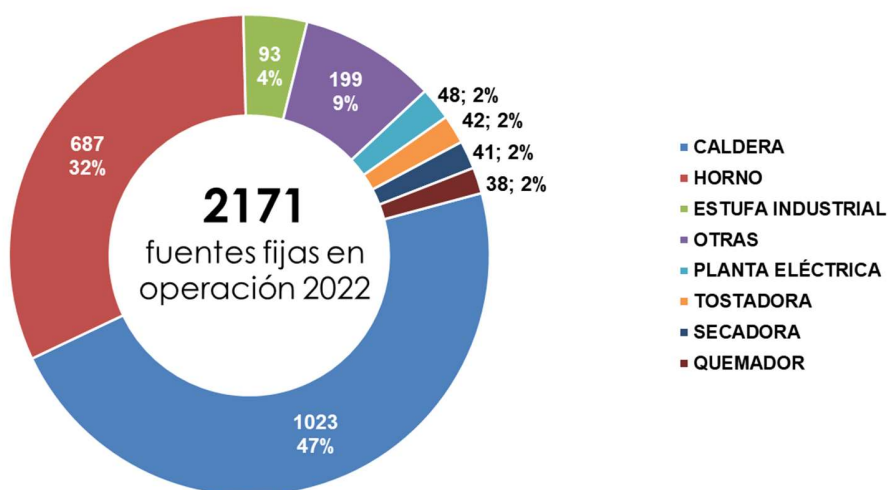
3. CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIONES EN BOGOTÁ

Este capítulo presenta una breve caracterización de las fuentes de emisión de los inventarios actualizados para el año 2022. 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 – SIUFF de la Secretaría Distrital de Ambiente - SDA (Secretaría Distrital de Ambiente, 2022), se identificaron 2.450 fuentes instaladas de combustión, proceso y de combustión+proceso, de las cuales 2.288 se encuentran en operación, teniendo que, las 162 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 2.288 fuentes en operación, 2.171 corresponden a fuente de combustión y de combustión+proceso, y 117 corresponden a fuentes únicamente de proceso.

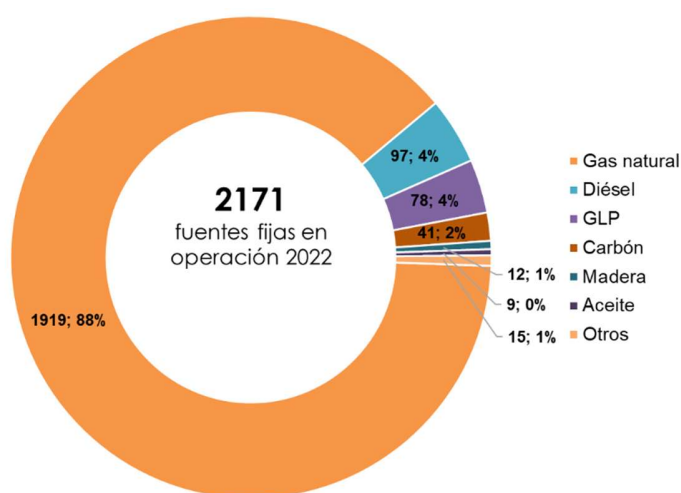
Por lo anterior, de las 2.171 fuentes fijas que efectivamente se encuentran en operación y producen combustión, se tiene que los principales tipos de fuentes corresponden a calderas y hornos (ver Figura 5), donde el 47% de éstas corresponde a calderas y el 31,6% a hornos, de los cuales se encuentra subtipos como de: alimentos, ladrilleros, de cremación, de secado, crisol, cubilote, entre otros. Otro tipo de fuentes industriales presentes en establecimientos corresponden a estufas industriales, con una participación del 4,3%, plantas eléctricas, tostadoras, secadoras y quemadores cada una con el 2% y, el 9% restante, a otro tipo de fuentes como torres de secado, impresoras de gran formato, entre otras.



Fuente: Elaboración propia

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

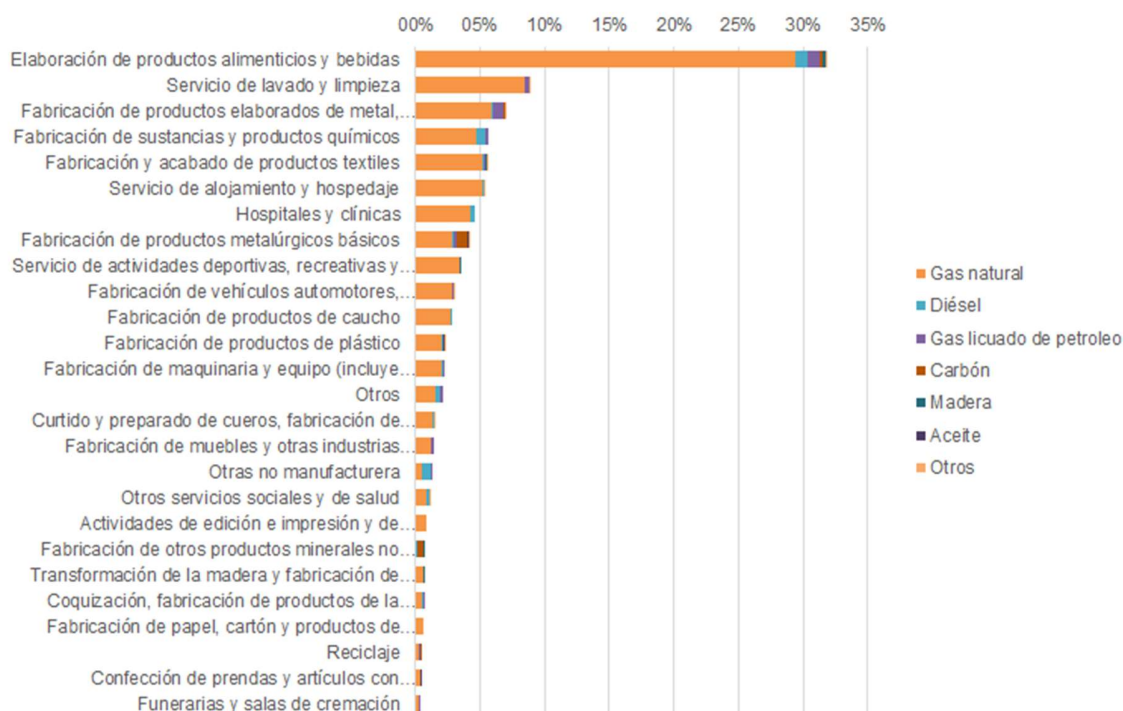
Con relación a la distribución de uso de combustibles en las fuentes fijas industriales en operación (ver Figura 6), se identifica que el gas natural es el de mayor uso, con un 88,4% de uso dentro de los procesos productivos; le sigue el diésel con un 4,5%, el gas licuado de petróleo -GLP- con 3,6% y el carbón 1,9%. Otros combustibles utilizados, con menor participación, corresponden a madera y carbón vegetal con un 0,6%, y a aceite usado y tratado con un 0,4%. Otras fuentes compuestas por biogás, mezclas de aceites y en especial fuentes que no usan combustibles de ignición (energía eléctrica), representan el 0,7% del uso del combustible en la ciudad.



Fuente: Elaboración propia

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

En la Figura 7 se presenta el uso de cada tipo de combustibles distribuido por cada sector productivo, teniendo en cuenta que el sector productivo con mayor uso de combustibles es el sector de alimentos y bebidas (31,8%), seguido por el sector de servicio de lavado y limpieza (8,9%) y el sector de fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo (7,1%). Lo anterior indica el tipo de industria con más participación en la ciudad y da un indicativo de las más activas por el uso de cada uno de los combustibles. Los valores completos y el aporte porcentual de cada uno de los combustibles en cada sector productivo se encuentran en la Tabla 7.



Fuente: Elaboración propia

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

Tabla 7. Participación porcentual de uso de combustibles por sectores productivos.

Sector Productivo	Gas natural	Diésel	GLP	Carbón	Madera	Aceite	Otros	Participación total
Elaboración de productos alimenticios y bebidas	29,4%	0,9%	1,0%	0,3%	0,2%	0,0%	0,0%	31,8%
Servicio de lavado y limpieza	8,4%	0,0%	0,3%			0,0%	0,1%	8,9%
Fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo	5,9%	0,1%	0,9%	0,1%			0,1%	7,1%
Fabricación de sustancias y productos químicos	4,7%	0,7%	0,2%					5,6%
Fabricación y acabado de productos textiles	5,3%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%		0,0%	5,6%
Servicio de alojamiento y hospedaje	5,2%	0,1%					0,0%	5,3%
Hospitales y clínicas	4,2%	0,4%						4,7%
Fabricación de productos metalúrgicos básicos	2,8%	0,1%	0,2%	0,8%		0,2%	0,1%	4,3%
Servicio de actividades deportivas, recreativas y de esparcimiento	3,4%		0,1%		0,0%			3,5%
Fabricación de vehículos automotores, carrocerías y autopartes	2,9%		0,0%				0,0%	3,0%
Fabricación de productos de caucho	2,7%	0,1%						2,9%
Fabricación de productos de plástico	2,1%	0,1%				0,1%	0,1%	2,3%
Fabricación de maquinaria y equipo (incluye médico, óptico, de oficina, y eléctrico)	2,0%	0,1%	0,1%					2,2%

Sector Productivo	Gas natural	Diésel	GLP	Carbón	Madera	Aceite	Otros	Participación total
Otros	1,6%	0,4%	0,2%					2,2%
Curtido y preparado de cueros, fabricación de calzado, fabricación de artículos de viaje	1,4%	0,0%		0,0%			0,1%	1,6%
Fabricación de muebles y otras industrias manufactureras	1,2%		0,2%					1,4%
Otras no manufacturera	0,6%	0,7%	0,1%					1,3%
Otros servicios sociales y de salud	0,8%	0,3%					0,0%	1,2%
Actividades de edición e impresión y de reproducción de grabaciones	0,9%							0,9%
Fabricación de otros productos minerales no metálicos	0,1%	0,0%		0,5%	0,1%			0,8%
Transformación de la madera y fabricación de productos de madera y de corcho	0,7%				0,1%			0,8%
Coquización, fabricación de productos de la refinación del petróleo y combustible nuclear	0,6%	0,0%	0,1%					0,7%
Fabricación de papel, cartón y productos de papel y cartón	0,6%							0,6%
Reciclaje	0,2%	0,1%	0,1%	0,0%				0,5%
Confección de prendas y artículos con materiales textiles	0,4%					0,0%		0,4%
Funerarias y salas de cremación	0,3%		0,0%					0,4%
TOTAL	88,4%	4,2%	3,5%	1,7%	0,5%	0,3%	0,5%	100%

Fuente: Elaboración propia

Por su parte, al centrarse expresamente en la participación porcentual de cada sector productivo por combustible se obtiene un indicador de que tanto un mismo combustible es usado por cada sector. El gas natural es el combustible más utilizado en todos los sectores, principalmente en el sector de alimentos y bebidas (33%), seguido de servicio de lavado y limpieza, incluso la limpieza en seco, de productos textiles y de piel (9,5%); posteriormente en los sectores de fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo (6,7%). Aunque este combustible se usa mucho en todos los sectores, la industria de producción de alimentos lidera el consumo de este.

El diésel es el segundo combustible más usado en la ciudad; se usa principalmente en la elaboración de productos alimenticios y bebidas (20,6%), en la fabricación de sustancias y productos químicos (15,5%) y otros productos de no manufactura (15,5%). Entre otros sectores, con menor participación de uso, están: hospitales y clínicas (9,3%) y otros servicios de salud (6,2%). En su mayoría estas fuentes menores que usan diésel están asociadas al uso de plantas eléctricas.

Para el caso del consumo de GLP, es usado principalmente en los sectores de alimentos y bebidas (26,9%) y de fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo (24,4%); algunos otros sectores, con menor participación de uso, corresponden a: fabricación de productos metalúrgicos básicos (6,4%), fabricación de sustancias y productos químicos (5,1%) y fabricación de



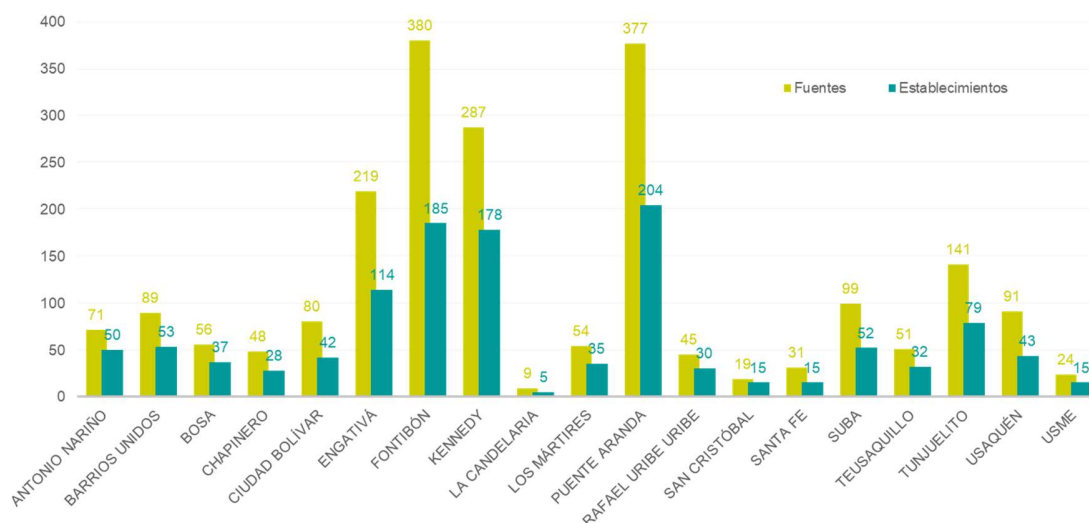
muebles y otras industrias manufactureras (5,1%). El uso de GLP varía notablemente entre múltiples sectores y actividades económicas y no hay un sector en el que predomine su uso notablemente.

Respecto al carbón, este combustible es utilizado en la fabricación de productos metalúrgicos básicos (43,9%), seguido, por el sector de fabricación de otros productos minerales no metálicos (26,8%), en los sectores de elaboración de productos alimenticios y bebidas (14,6%) y fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo (7,3%). Los demás sectores que usan carbón tienen una baja representatividad, por lo que es necesario para este tipo de combustible enfocar el accionar, principalmente, en el sector de productos minerales no metálicos.

Para el caso de la madera, este combustible es utilizado en el sector de elaboración de productos alimenticios y bebidas (33,3%), así como en el sector de fabricación de otros productos minerales no metálicos (25%). En una misma medida se usa para la transformación de la madera y fabricación de productos de madera y de corcho y, para la fabricación y acabado de productos textiles, cada uno con un 16,7%. Finalmente, el aceite usado y tratado es empleado principalmente en los sectores de fabricación de productos metalúrgicos básicos (44,4%) y de productos de plástico (22,2%).

Con relación a la localización de fuentes fijas industriales por combustión y combustión+proceso, en la Figura 8 se presenta la distribución de establecimientos y fuentes industriales por localidad. Según la información del SIIFF (Secretaría Distrital de Ambiente, 2022) se mantiene la misma dinámica de localización que se presentó en el inventario de emisiones de 2020 y 2021 teniendo que las localidades donde hay mayor presencia de fuentes son: Fontibón y Puente Aranda, donde se localizan las principales áreas industriales de la ciudad. Así mismo, se identifica la presencia de alta actividad industrial en Kennedy, Engativá y Tunjuelito.

Teniendo en consideración que se presentan establecimientos con más de una fuente para el desarrollo de sus actividades productivas, en la localidad de Fontibón se localiza el 17,5% de las fuentes fijas y el 15,3% de establecimientos que se encuentran operando en la ciudad; en Puente Aranda se localiza el 17,4% de las fuentes fijas y el 16,8% de establecimientos, en la localidad de Kennedy se encuentra el 13,2% de fuentes fijas de la ciudad y el 14,7% de establecimientos; en la localidad de Engativá se encuentra el 10,1% de fuentes fijas y el 9,4% de establecimientos y, finalmente, dentro de las localidades con mayor representatividad de cantidad de fuentes fijas está Tunjuelito, con el 6,5% de participación de fuentes fijas y el 6,5% de establecimientos. Las localidades que presentan menor cantidad de fuentes fijas y establecimientos son La Candelaria, con solo el 0,4% del total de fuentes y el 0,4% de establecimientos; San Cristóbal y Santa Fe, cada una, con 1,2% de establecimientos y el 0,9% y 1,4% de fuentes, respectivamente.

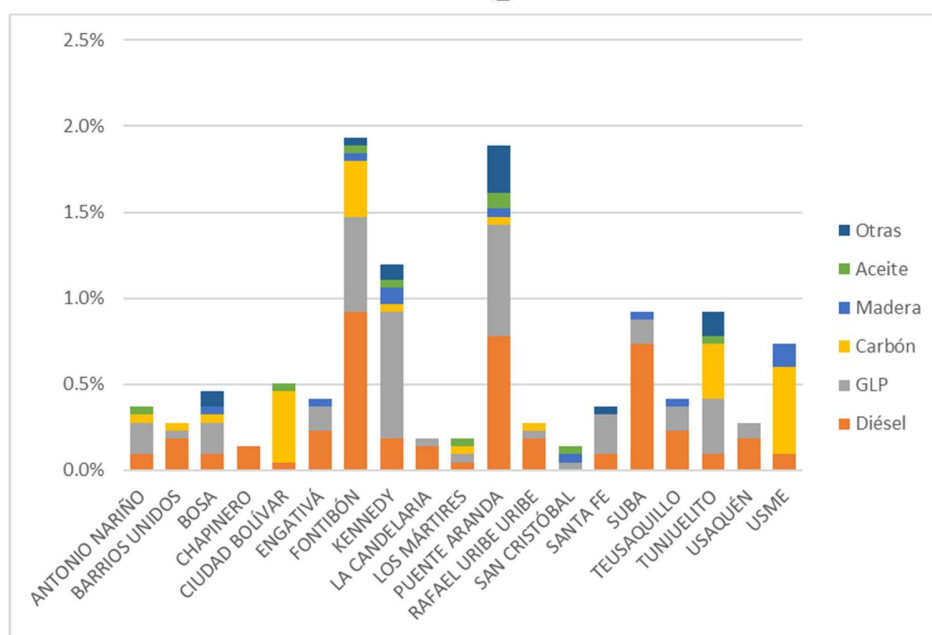


Fuente: Elaboración propia

Figura 8. Distribución de fuentes y establecimientos por localidad.

Finalmente, respecto a los usos de combustible por localidad, se determinó previamente que el gas natural es usado de una manera generalizada la ciudad, por lo cual, en la Figura 9 se presenta exclusivamente un análisis con los otros tipos de combustibles, excluyendo el gas natural, lo que permite identificar las tendencias reales de uso por localidad de estos otros combustibles. El diésel se usa en todas las localidades, a excepción de San Cristóbal, y su uso se da mayoritariamente en Fontibón, Puente Aranda y Suba. Así mismo, el GLP es mayormente usado en las localidades con mayor cantidad de fuentes y establecimientos, usualmente relacionadas a las zonas industriales de la ciudad; Fontibón, Puente Aranda y Kennedy, indicando allí el establecimiento de industria dedicada a la producción de alimentos y la elaboración de productos de metal.

El carbón por su parte presenta un comportamiento especial, puesto que se usa primordialmente en Usme, Tunjuelito, Ciudad Bolívar y Fontibón. La mayoría de los casos en los que se hace uso de dicho combustible es en la producción de metalúrgicos y productos minerales, como el ladrillo, se infiere que la industria en estas localidades difiere altamente de aquellos sectores priorizados en Puente Aranda y Kennedy.

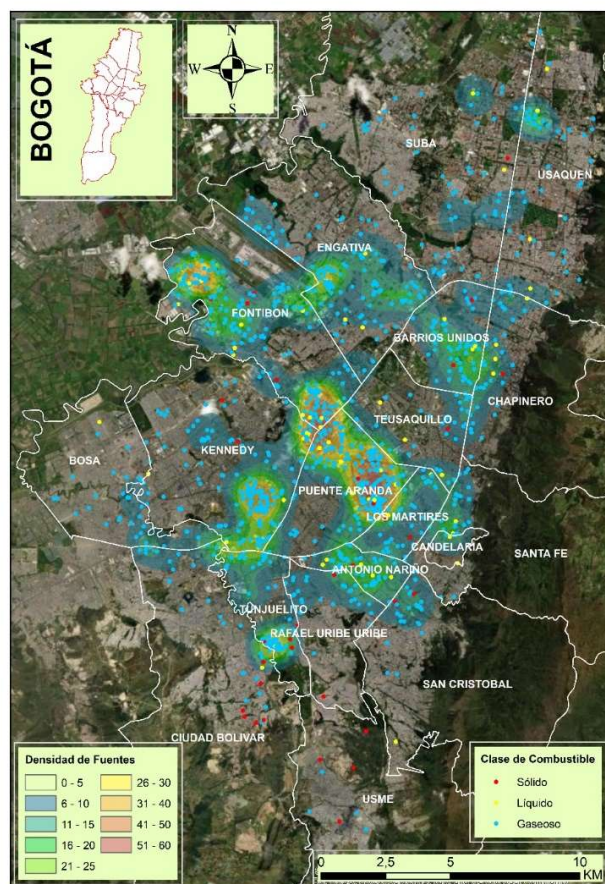


Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Distribución de uso de combustibles por localidad.

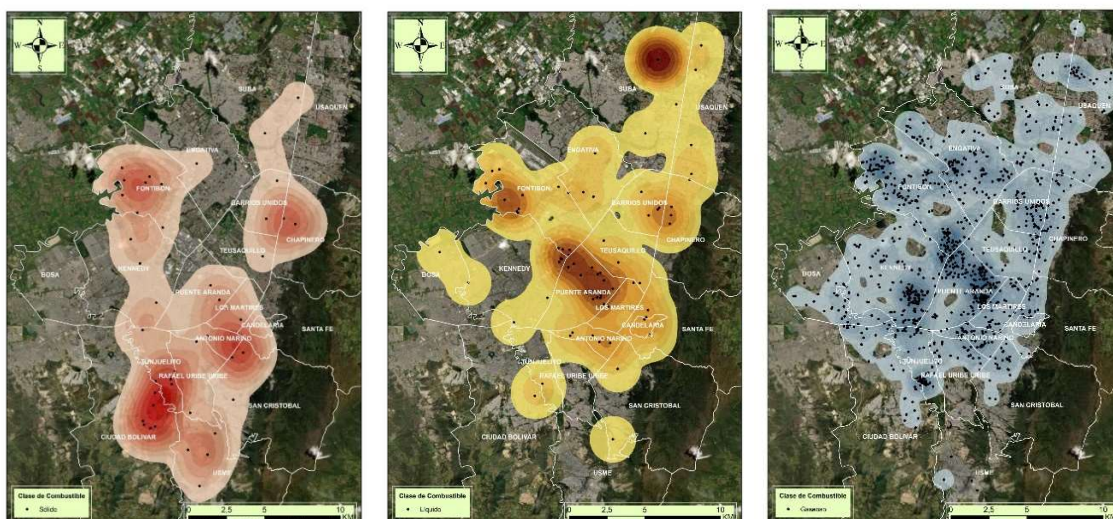
En la Figura 10 se presenta, como complemento a la anterior información, el mapa con la localización de las fuentes fijas con uso de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos. En ellos se identifica la cantidad de fuentes fijas de cada clase en la ciudad, y a partir de un mapa de calor, se describe las zonas de mayor y menor uso de combustible en la ciudad. En el mapa de calor se identifica la densidad de fuentes entendida como el número de fuentes encontradas por kilómetro cuadrado. En zonas propias dentro de Puente Aranda y Fontibón existe una mayor densidad de fuentes: más de 50 fuentes en un solo kilómetro cuadrado. Los lugares donde no se identifica presencia de mapa de calor corresponden a lugares donde hay menos de 5 fuentes por kilómetro cuadrado.

Finalmente, en la Figura 11 se identifica que los combustibles gaseosos son usados en la gran mayoría de la ciudad, los líquidos son mayoritariamente usados en las zonas industriales de la ciudad, y los combustibles sólidos tienden a ser usados en la zona sur de Bogotá, en las localidades de Tunjuelito, Usme y Ciudad Bolívar.



Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Ubicación de las fuentes fijas industriales para el año 2022 por tipo de combustible



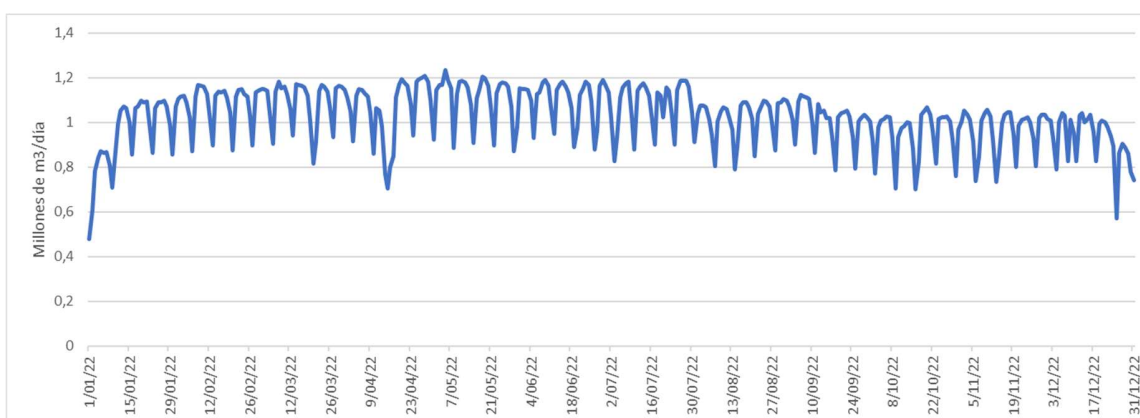
Fuente: Elaboración propia

Figura 11. Distribución independiente por tipo de combustible de fuentes fijas industriales para el año 2022. Combustibles sólidos (izquierda), combustibles líquidos (centro), combustibles gaseosos (derecha)



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 2022. La cantidad de energía consumida por el consumo de gas natural residencial para la ciudad en el año 2022 se presenta en la Figura 12, 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 12. Consumo energético de gas natural por fuentes residenciales en la ciudad de Bogotá

3.3. Fuentes móviles en carretera

Las fuentes móviles en carretera corresponden a los vehículos terrestres que se mueven sobre la malla vial de la ciudad. A continuación, se presentan una breve caracterización según la cantidad de vehículos y por flujos vehiculares, información que es empleada para la estimación de las emisiones de este tipo de fuentes por combustión, y, en el caso de los flujos vehiculares, es un insumo para la estimación de emisiones por resuspensión de material particulado por resuspensión de material de las vías y por desgaste de frenos y llantas.

3.3.1. Categorías Vehiculares

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

Tabla 8. Categorías Vehiculares homologadas dentro del inventario.

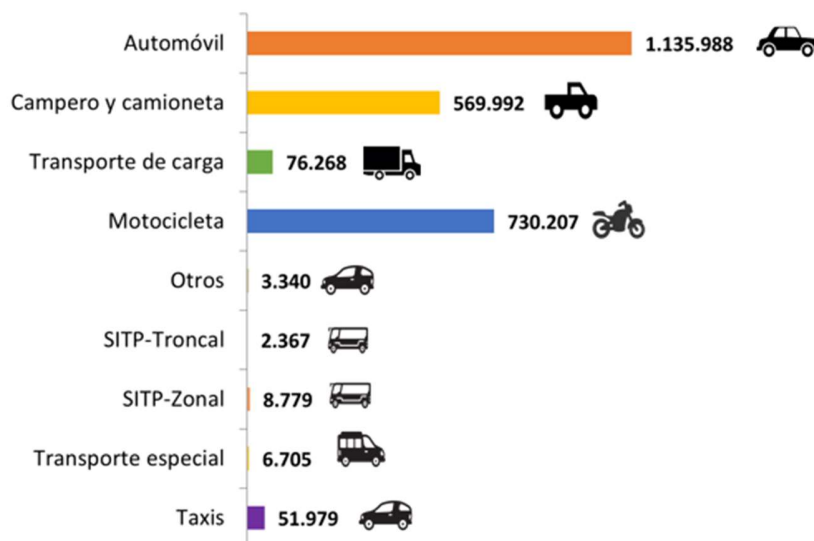
<i>Categoría Vehicular</i>	<i>Subcategoría Vehicular</i>	<i>Definición</i>
L - Livianos	AUT - Automóviles	Vehículos de uso particular con un peso menor a 2,27 t*
	CC – Camperos y Camionetas	Vehículos de uso particular con un peso entre 2,27* t y 2,99 t*
	TX – Taxis	Vehículos livianos de transporte público
	ESL – Especiales Livianos	Vehículos livianos de transporte especial
CAM - Camiones	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.
TM - Transmilenio	AT – Articulados	Buses articulados con 2 vagones.
	BA – Biarticulados	Buses articulados con 3 vagones.
	AL – Alimentadores	Buses alimentadores al Sistema Transmilenio.
BS – Buses del SITP	BS – Buses del SITP	Buses Zonales y Provisionales del SITP.
BE – Buses Especiales	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
M – Motos	M – Motos	Vehículos de dos ruedas con motor 2 tiempos o 4 tiempos.

*Definición tomada del software IVE

3.3.2. Cantidad de Vehículos

Para el año 2022, se estima que en la ciudad de Bogotá transitan activamente 2'585.625 vehículos según las estimaciones realizadas para este inventario. Una mayor especificidad de la metodología utilizada para obtener este valor se detalla en la sección A.1 del Anexo 1, en donde también se presenta en la tabla A.1.3. la cantidad de vehículos para el total de las 232 categorizaciones utilizadas en el enfoque *Top-Down*. De forma resumida, en la Figura 13 se presenta la cantidad vehículos por categorías generales vehiculares para el año 2022.



Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Cantidad de vehículos por categoría vehicular del inventario *Top-Down*

3.3.3. 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 y 2022,



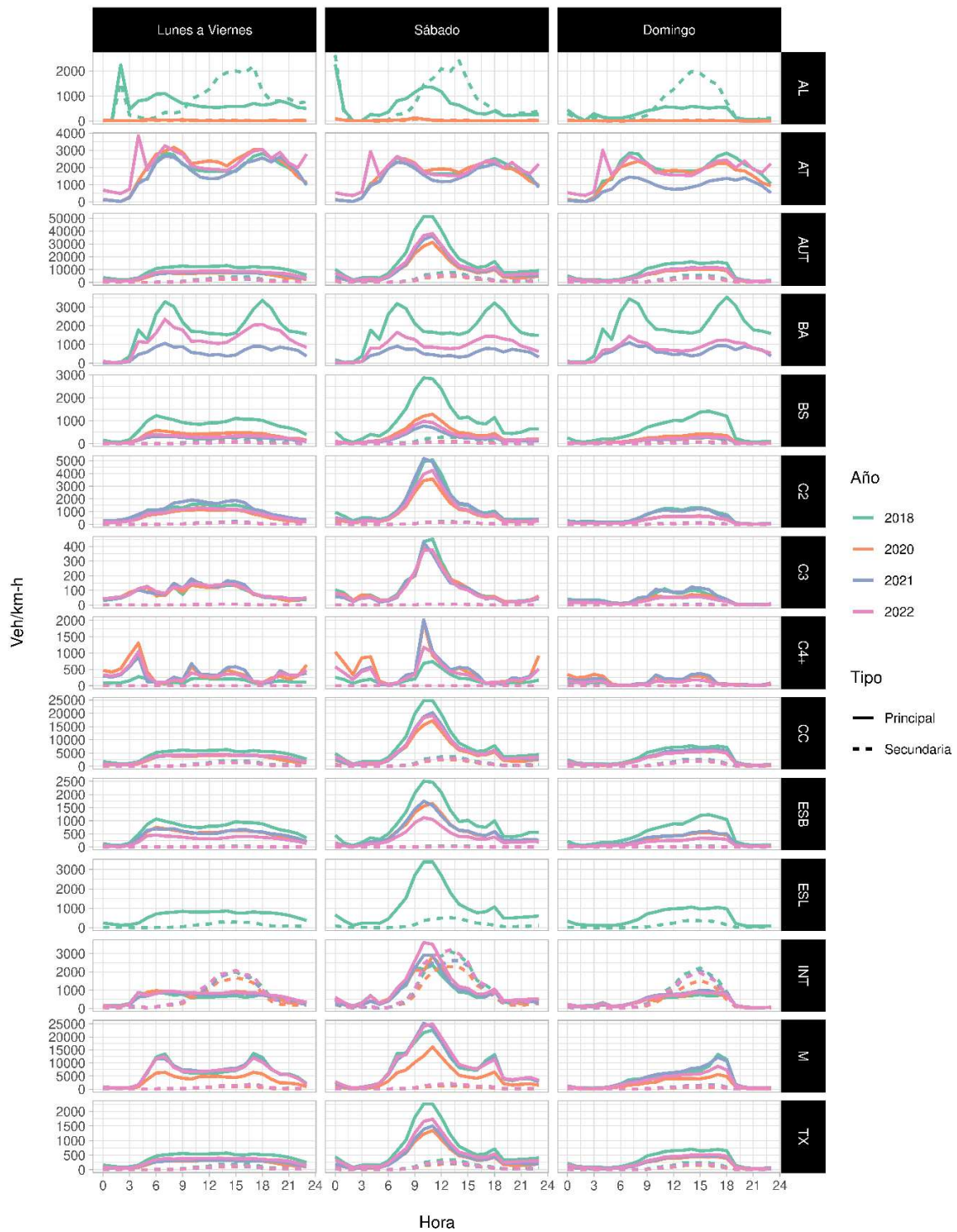
se pudo establecer el comportamiento promedio de cada una de las categorías vehiculares los cuales se representan en la Figura 14.

Uno de los cambios en la metodología de estimación de emisiones se enfocó en el ajuste de los perfiles del comportamiento horario de los flujos vehiculares a los días sábado y domingo, donde se observa un pico frecuente de flujos entre las 09:00 y las 12:00. Se debe destacar que, como producto del ajuste metodológico, 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).

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 2022 los flujos aumentaron levemente pese a la implementación del pico y placa extendido en el mismo año. Por otro lado, las motocicletas (M), pese a la reducción de flujos en el año 2020 producto del COVID-19, en el año 2022 volvió a tener flujos vehiculares similares al año 2018.

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 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 mantenido similares entre el 2021 y el 2022.

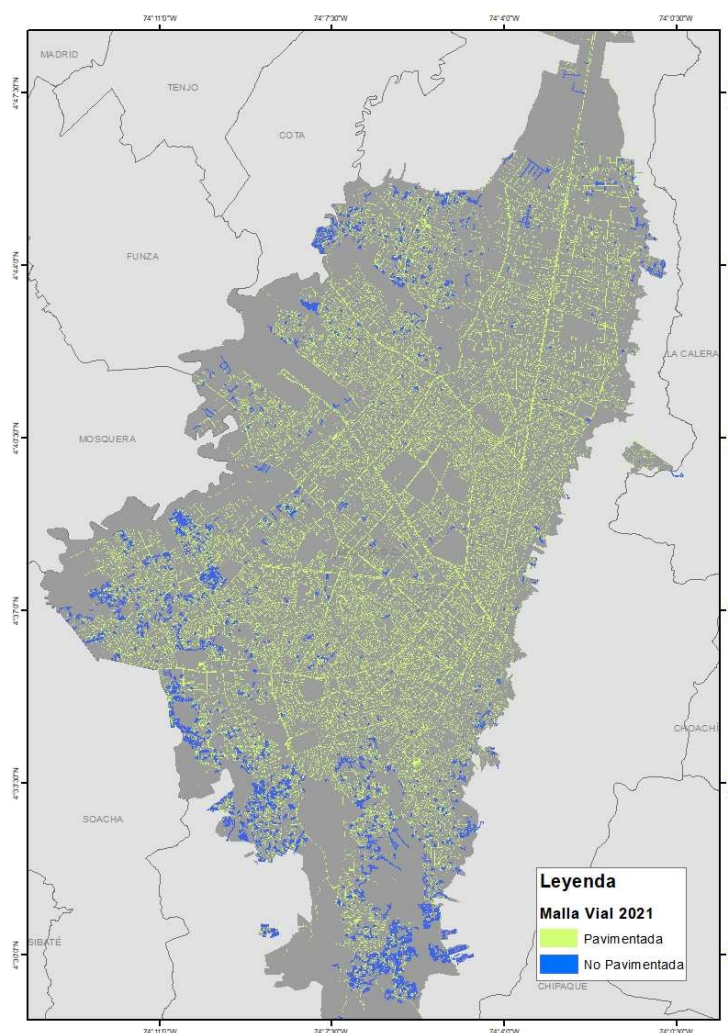


Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Cantidad de vehículos promedio por hora, por km de vía, entre los años 2018 a 2022.

3.4. 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 por el tránsito en las vías, y 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 está 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 15 se observa la distribución de vías pavimentadas y no pavimentadas, y en la Tabla 9 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.



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

Figura 15. Estado de la malla vial para el año 2021.



Tabla 9. Longitud de polígonos por tipo de vía, en km.

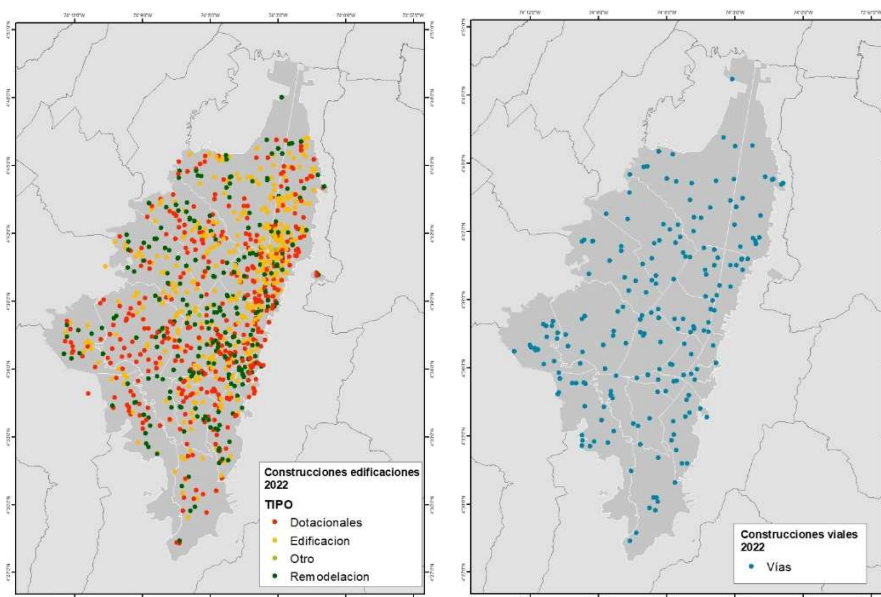
<i>Tipo</i>	<i>Clasificación IDU</i>	<i>Vía No Pavimentada</i>	<i>vía Pavimentada</i>	<i>Total</i>
Principal	Arterial	0,00	1.084,17	1.084,17
Principal	Malla Vial Principal Rural	0,00	230,13	230,13
Principal	Troncal	0,00	489,45	489,45
Secundaria	Intermedia	40,57	1.477,69	1.518,26
Secundaria	Local	418,39	3.946,64	4.365,04
Secundaria	Malla Vial Rural	8,43	714,79	723,22
Total		467,39	7.942,88	8.410,27

Fuente: Elaboración propia

3.5. Obras de construcciones

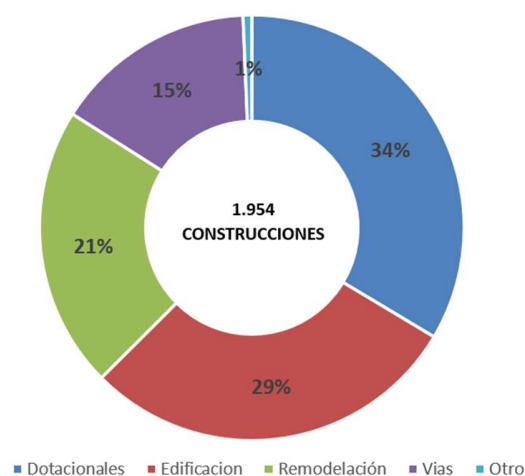
Las obras de construcción son una fuente de emisión de material particulado que pueden presentar un alto impacto durante el tiempo de ejecución en la calidad local del aire. La construcción de edificios y vías, son dos tipos de construcción con un alto potencial de emisiones difusas y directas de PM₁₀ 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 la manipulación de materiales de construcción, estas obras generan emisiones asociadas a la maquinaria empleada para las mismas, pero éstas 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 2022, se identificaron 1.954 construcciones con información viable para su cálculo de emisiones y que realizaron actividades durante el año 2022. En la Figura 16 se presentan las construcciones distribuidas en la ciudad de Bogotá, en donde se observa una mayor cantidad de construcciones en la zona oriental y nororiental de la ciudad, identificando como las localidades con mayor cantidad de construcciones (Ver Figura 18) son Usaquén, Chapinero, Suba y Engativá que en conjunto acogen cerca del 39% de las construcciones identificadas; finalmente, dentro de las construcciones del año 2022 ha predominado aquellas al tipo de edificaciones dotacionales, con un porcentaje de participación conjunto de 34%, y se destaca la participación de las obras en la infraestructura vial del 15% (ver Figura 17).



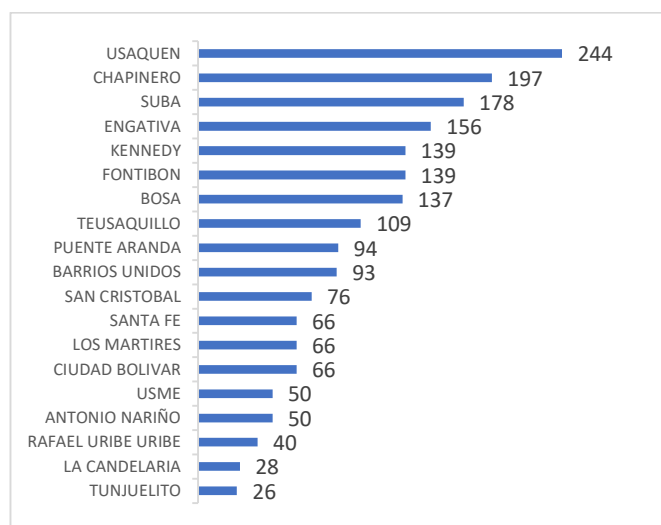
Fuente: Elaboración propia, información basada en los registros de la SDA año 2022.

Figura 16. Mapa de las construcciones de edificaciones (izquierda) y de construcciones de vías (derecha), identificadas en el inventario 2022.



Fuente: Elaboración propia basado en los registros de la SDA año 2022.

Figura 17. Distribución por tipo de construcción.



Fuente: Elaboración propia basado en los registros de la SDA año 2022.

Figura 18. Cantidad de construcciones por localidad

3.6. Canteras

Las canteras generan emisiones contaminantes como material resuspendido por procesos como excavación, transporte de material, uso de maquinaria, entre otras. Para el año 2022 se llevó a cabo la actualización del inventario de emisiones de canteras que se estimó en el año 2021. La actualización de las emisiones de esta fuente de emisión se priorizó considerando el cambio de las áreas dentro de Bogotá con permiso para desarrollar actividades de extracción de materiales como



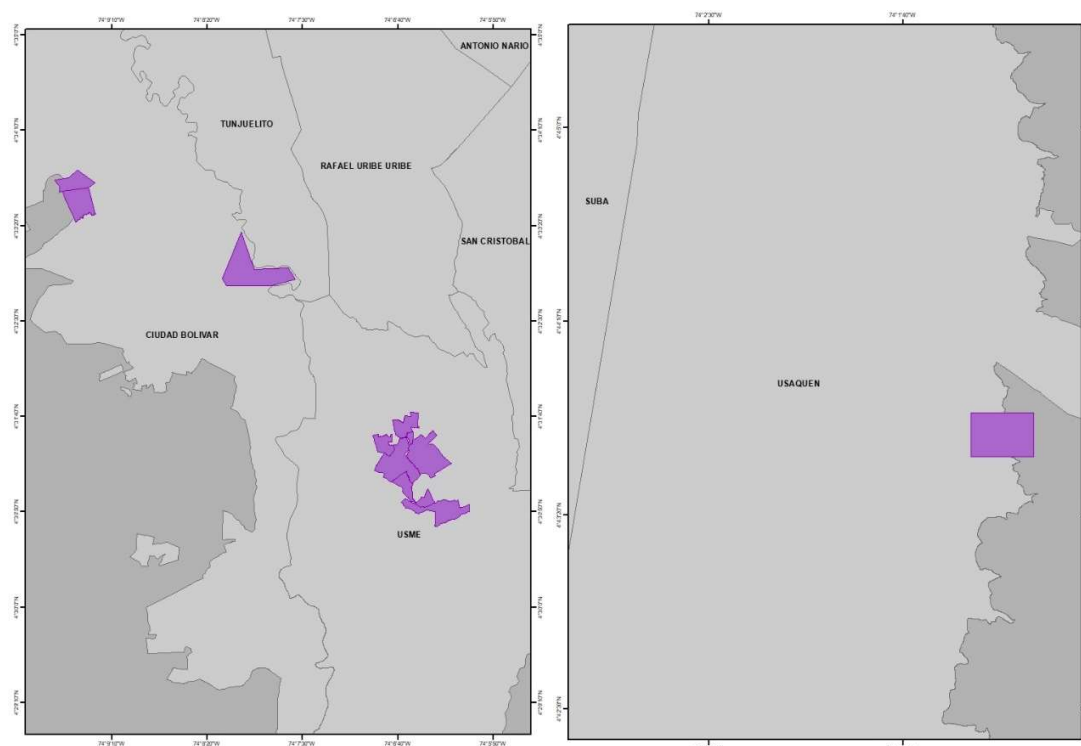
arcillas y arena. Estos cambios se respaldan tras adopción de la Resolución 1499 del 03 de agosto de 2018, en la cual se determinan 28 polígonos de zonas compatibles con las actividades mineras en la Sabana de Bogotá; de los cuales, los polígonos 1, 2, 3 y 4 se encuentran en el Distrito Capital de Bogotá.

Las actividades mineras se desarrollan en el sur y nororiente de Bogotá en las localidades de Usme, Usaquén, San Cristóbal, Ciudad Bolívar y Rafael Uribe Uribe, como se presentan en los mapas de la Figura 19. Adicionalmente, en la Tabla 10 se presentan las características de las canteras usadas en el inventario de emisiones incluyendo el área de extracción total asumidas. Se debe resaltar que no todas las canteras consideradas en este inventario realizan actividades de excavación propiamente. Solo aquellas con permiso minero y plan de manejo ambiental (PMA) activo realizan actividades mineras con fines comerciales. Las restantes para las restantes sus permisos mineros caducaron al no estar dentro de los polígonos habilitados para extracción minera, y por lo tanto se encuentran actualmente implementando planes de manejo de recuperación y rehabilitación ambiental (PMRRA), que igualmente se consideran en este inventario que dentro de estos planes se realizan actividades como de excavación que hacen parte de la recuperación de la zona; Por otro lado, en la Figura 19, se presenta la ubicación de las canteras que tienen participación en la ciudad de Bogotá para el año 2022.

Tabla 10. Caracterización de las canteras activas para el año 2022

<i>Localidad</i>	<i>Cantera</i>	<i>Area (m²)</i>	<i>Material extraído</i>	<i>Estado</i>
Ciudad Bolívar	Central de Mezclas S.A. y Cemex Colombia S.A	21.158,95	Arena	PMRRA
Ciudad Bolívar	Predio Julia Alicia Gómez de Franco - Recebera Cerro Colorado	5.474	Arena	PMRRA
Usaquén	Cantera El Cedro San Carlos	8.750	Arena	PMRRA
Usme	Ladrillera Prisma S.A.S	6.614,8	Arena y arcilla	PMA
Usme	Sociedad Ladrillera Helios S.A.	19.292,32	Arena y arcilla	PMA
Usme	Sociedad Ladrilleras Yomasa S.A.	9.335,76	Arena y arcilla	PMA
Usme	Sociedad Ladrillera Zigurat S.A.S.	24.289,44	Arena y arcilla	PMA
Usme	Predio Proyecto Hans S.A. - Ladrillera Los Tejares	4.640	Arena y arcilla	PMA
Usme	Sociedad Ladrillera Helios S.A.	7.996,96	Arena y arcilla	PMA

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 19. Ubicación de canteras activas en la ciudad de Bogotá para el año 2022

3.7. Incendios forestales

Los incendios forestales son una fuente externa de contaminantes atmosféricos que pueden afectar significativamente la calidad del aire urbano. En los últimos años, se han documentado una gran cantidad de incendios forestales que se presentan en la temporada seca entre los meses de febrero-marzo para la Orinoquia y septiembre-octubre hacia el sur del continente. Los incendios generados en la Orinoquía y la Amazonía colombo-venezolana, pueden afectar la calidad de aire en la ciudad de Bogotá, cuando las condiciones meteorológicas favorecen el arrastre de los contaminantes de estas zonas hacia la ciudad. Durante las afectaciones por este tipo de emisiones, se ha encontrado incrementos considerables en las concentraciones de material particulado en la ciudad, algunos de los cuales han llevado a declarar alertas por mala calidad de aire.

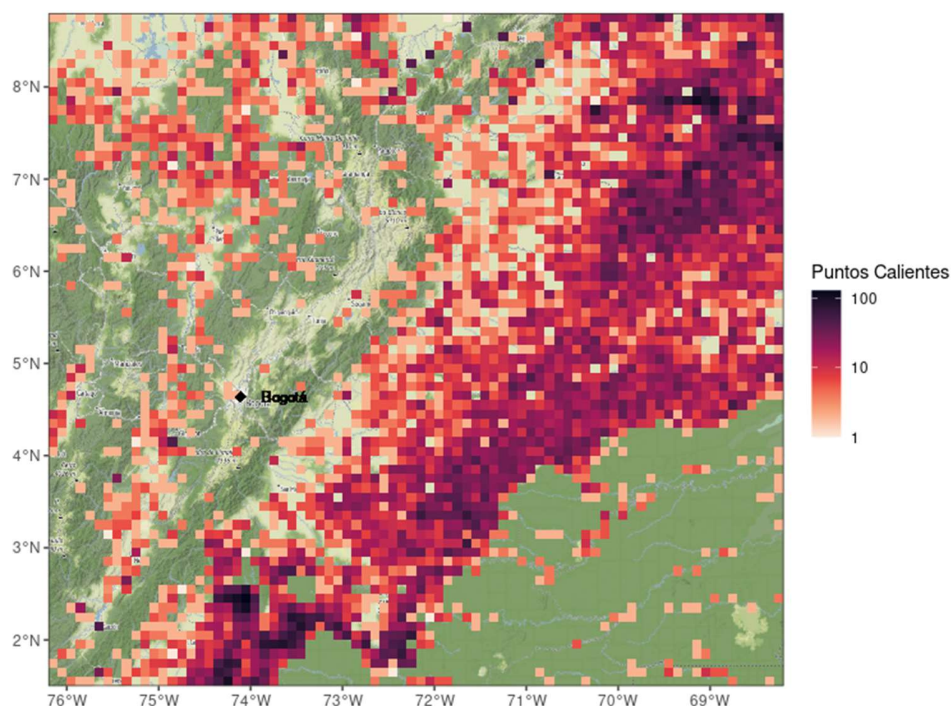
Dada la importancia de las emisiones generadas por los incendios forestales en la calidad del aire de Bogotá, en este inventario, se analizan los datos de los incendios reportados para el año 2022, con el fin de realizar un seguimiento de estos, y poder conocer con mayor veracidad su impacto sobre la calidad del aire de la ciudad.

Como parte del seguimiento a estas emisiones, el Grupo de Modelación Atmosférica de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá emplea diferentes bases de datos que permiten dimensionar las emisiones por quema de biomasa a nivel global, dentro de las cuales se encuentra el Inventario de Emisiones de Incendios de la NCAR – FINN (*Fire INventory from NCAR*)



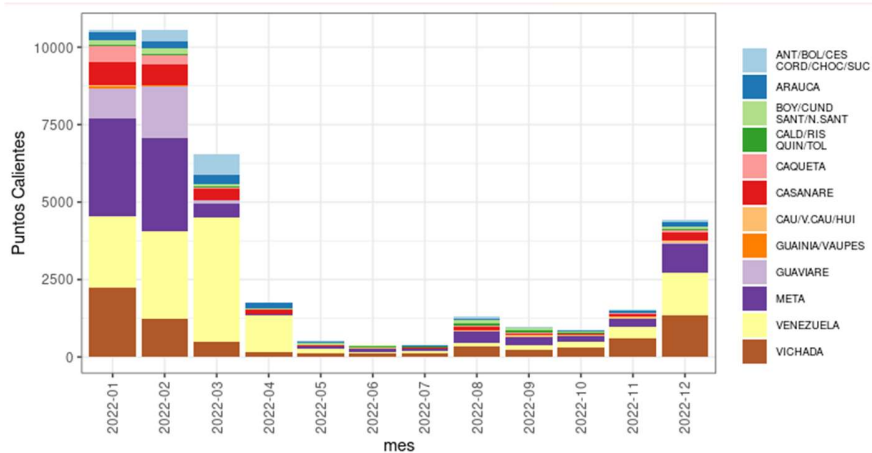
(NCAR/ACOM, 2023) y con la cual se realizó el análisis de puntos calientes asociados a incendios forestales y sus respectivas emisiones para este año, en la zona de influencia directa para la ciudad.

FINN emplea mediciones de VIIRS de alta precisión, y dichos puntos calientes fueron agrupados para cada 10 km² en la zona de influencia de la ciudad de Bogotá, los cuales están representados en la Figura 20. Adicionalmente el comportamiento temporal de los puntos calientes puede visualizarse en la Figura 21. Para el 2022, en total se presentaron 127.394 puntos calientes asociados a incendios forestales en el área de influencia de Bogotá, los cuales fueron más frecuentes en los meses de enero, febrero, marzo, y diciembre de 2022 con valores superiores a 2.500 puntos calientes por mes. Adicionalmente, las regiones en las cuales se concentraron la mayoría de los puntos calientes fueron Vichada, Meta, Guaviare, Casanare y Venezuela. Se resalta que la mayor concentración de puntos calientes se encontró en los departamentos de Caquetá y el Meta, con valores superiores a los 50 puntos calientes por cada 10 km². Aunque el seguimiento de puntos calientes es un indicador de la afectación de los incendios forestales en la ciudad, la cobertura vegetal juega un rol importante en las emisiones generadas por este tipo de fuentes, como se podrá detallar en la sección 7 de este documento.



Fuente: Elaboración propia, basada en la información proporcionada por el NCAR/ACOM (2023)

Figura 20. Comportamiento espacial de puntos calientes asociados a incendios forestales para el año 2022.



Fuente: Elaboración propia, basada en la información proporcionada por el NCAR/ACOM (2023)

Figura 21. Comportamiento temporal de puntos calientes asociados a incendios forestales para el año 2022.

4. INVENTARIO DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN

Las emisiones por combustión se refieren a los contaminantes liberados durante el proceso de quema de combustibles; en Bogotá se encuentran identificadas como fuentes de combustión las enlistadas en la Tabla 11, 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 11. Fuentes de Combustión en la ciudad de Bogotá para el año 2022

<i>Fuente de Combustión</i>	<i>Año de actualización</i>	<i>Observaciones</i>
Fuentes fijas industriales	2022	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	2022	Se actualiza emisión en este documento
Fuentes móviles en ruta (Vehículos en carretera)	2022	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)	2018	Estimación tomada 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)
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	2014	Estimación tomada de Universidad de la Salle, SDA y Ecopetrol (2018).
Incendios estructurales/quemas a cielo abierto	Información No disponible	La información requerida para la estimación de este tipo de fuentes se encuentra en estado de exploración

Fuente: Elaboración propia

A lo largo de este capítulo se detallarán las emisiones de las fuentes de emisión por combustión, sin embargo, en esta parte introductoria, en la Tabla 12 se resumen las emisiones por combustión históricas para PM_{2.5}. Dentro del comportamiento histórico se destaca la reducción de las emisiones asociadas al SITP-Zonal, el aumento de las emisiones generadas por el Transporte de Carga y las motocicletas, la reducción de emisiones en los hornos ladrilleros y hornos a gas natural.

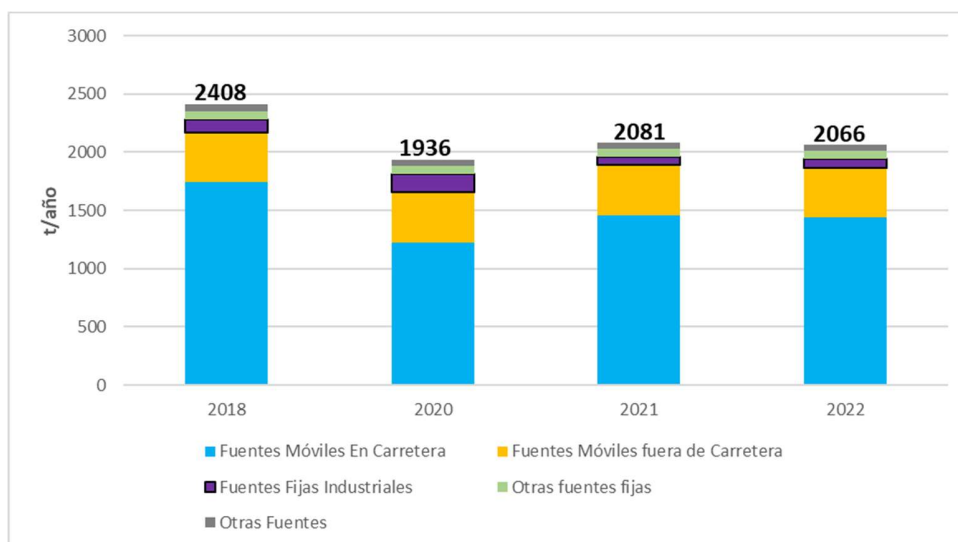
Tabla 12. Histórico de emisiones por Combustión en la ciudad de Bogotá para PM_{2.5}

<i>Tipo de Fuente</i>	<i>Fuentes de Emisión</i>	<i>Emisiones (t/año)</i>			
		2018	2020	2021	2022
Fuentes móviles en carretera	Transporte de Carga	575	561	724	718
	Campero y camioneta	306	227	268	243
	Motocicleta	181	102	180	224
	Automóvil	173	101	113	120
	Transporte Especial	264	119	122	72
	SITP-Zonal	172	62	30	30
	SITP-Troncal	62	45	18	26
	Taxi	7	4	4	1
Fuentes Fijas Industriales	Calderas a Gas Natural	44	73	28	26
	Hornos Ladrilleros	31	29	18	18
	Otras FF Industriales	18	16	13	14

Tipo de Fuente	Fuentes de Emisión	Emisiones (t/año)			
		2018	2020	2021	2022
	Calderas a Carbón y a Diesel	12	14	5	14
	Hornos a gas natural	5	27	1	1
Otras Fuentes Fijas	Fuentes Fijas Residenciales	3	3	3	3
	Fuentes fijas Comerciales	68	68	68	68
	Estaciones de servicio	0	0	0	0
Fuentes móviles fuera de carretera	Maquinaria Amarilla	430	430	430	430
Otras Fuentes Fijas	Incendios Forestales	55	55	55	55
Total Combustión		2.408	1.936	2.081	2.066

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 22 se puede observar la tendencia del histórico de las emisiones por combustión para PM_{2.5} y de ella se destaca el descenso generalizado de las emisiones de las Fuentes Fijas Industriales y la modulación de las emisiones por la actividad de los vehículos. Para el año 2020 se estimaron menores emisiones producto de la reducción de emisiones por el COVID19.

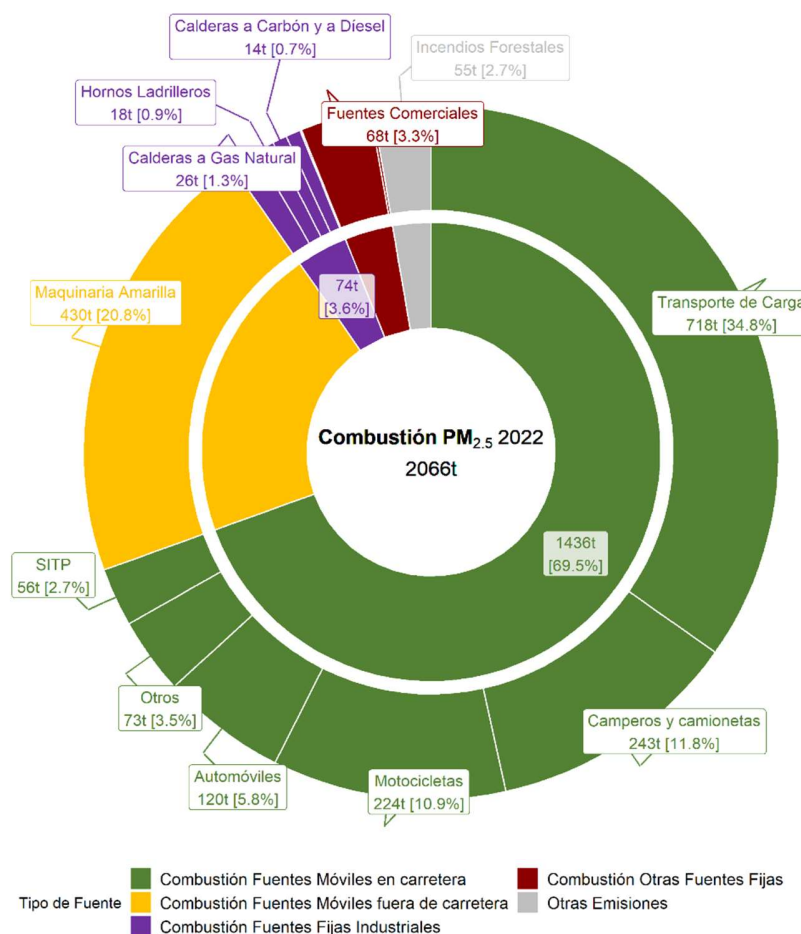


Fuente: Elaboración propia

Figura 22. Histórico de emisiones por combustión de PM_{2.5}, por tipo de fuente.

En la Figura 25 se encuentra la participación porcentual de las fuentes por combustión para el año 2022, y en esta gráfica se detalla la participación mayoritaria del transporte de carga y la maquinaria amarilla, que, en conjunto aportan 56%, las fuentes fijas industriales han reducido su participación a 4% y el SITP han reducido su participación al 3%.

Finalmente, en la Tabla 13 se presenta el inventario consolidado de emisiones por combustión para la ciudad, para cada uno de los contaminantes y representativo para el año 2022. Al comparar las magnitudes de cada uno de los contaminantes destacan las fuentes móviles en carretera, quienes aportan mayoritariamente en las emisiones de todos los contaminantes, excepto para BC, en donde la maquinaria amarilla tiene un aporte significativo, y para SO₂, donde las fuentes fijas industriales son aquellas que más emiten este contaminante.



Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Participación porcentual en emisiones por combustión de PM_{2.5}, por tipo de fuente.

Tabla 13. Inventario Consolidado de emisiones por combustión para la ciudad, representativo para el año 2022

Fuente de Emisión		Metodología	Años del inventario	Emisiones (t/año) ^a						
				PM ₁₀	PM _{2.5}	NO _x	SO _x	CO	COV	BC
MÓVILES	En carretera	Top- Down	2022	1.361,0	1.235,0	45.274,0	453,0	136.450,0	53.889,0	NE
		Bottom-Up	2022	1.577,3	1.435,8	40.983,0	1.061,1	150.334,4	64.869,3	501,8
	Fuera de carretera ^b	Top- Down	2018	443,8	430,4	5.382,0	15,7	2.819,0	534,0	283,6
FIJAS	Industriales	Bottom-Up	2022	266,7	74,4	1.364,2	1.524,3	459,8	62,7	23,9
	Comerciales	Bottom-Up	2014	130,0	68,0	67,0	190,0	2.529,0	105,0	NE
	Residenciales	Top- Down	2022	2,9	2,9	622,9	4,4	326,3	26,7	NE
FUENTES NATUALES Y FORESTALES	Incendios Forestales	Bottom-Up	2014	61,0	55,0	14,0	NE	500,0	NE	NE
TOTAL COMBUSTIÓN^c				2.481,7	2.066,6	48.433,1	2.795,5	156.968,5	65.597,7	809,3

a. NA: No Aplica, NE: No estimado

b. El inventario de emisiones de fuentes móviles fuera de carretera correspondiente a la maquinaria utilizada en la ciudad corresponde al estimado por el programa Clima y Aire limpio en Ciudades de América Latina CALAC+. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Agencia Suiza COSUDE, & Swisscontact, 2022)

c. Las emisiones totales suman únicamente las emisiones de las fuentes móviles en carretera estimadas a partir de la metodología Bottom-Up

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 (SIIF).

4.1.1. Inventario de emisiones Bottom-Up

Conforme a los resultados de la metodología implementada y a las categorías en las que se encuentran las fuentes de la ciudad, según su tipo y tecnología, así como al combustible utilizado para su operación, en la Tabla 14 se presentan las emisiones (t/año) totales de los contaminantes criterio y por cada categoría, y en la Figura 24 las categorías de mayor aporte en la generación de contaminantes.

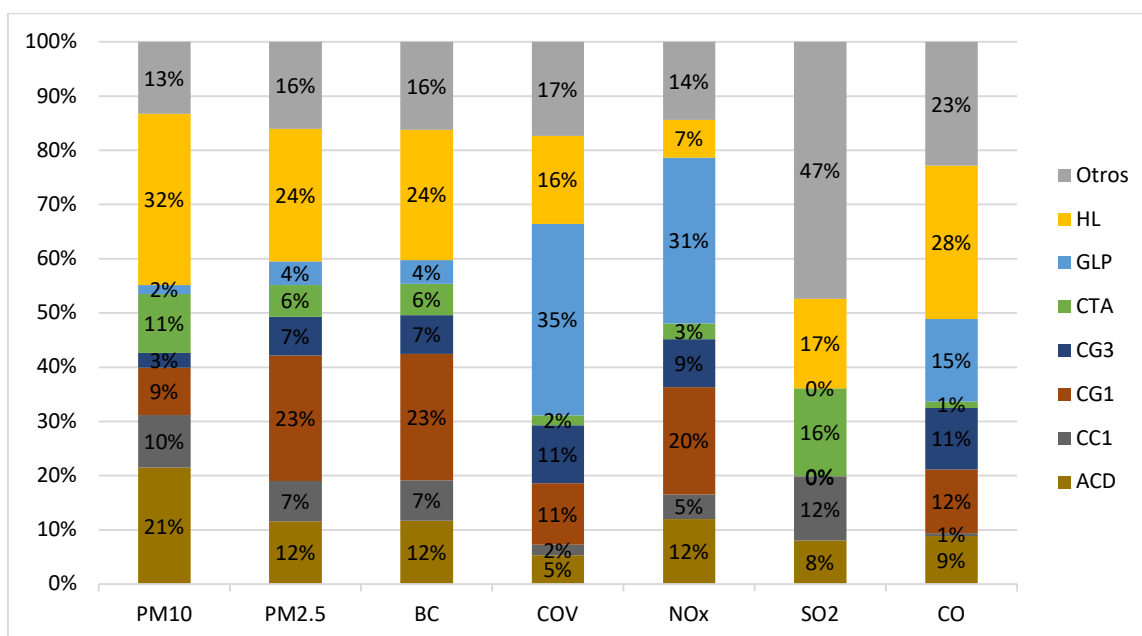
Tabla 14. Inventario de emisiones por fuentes fijas por categoría 2022.

Categoría	Tipo de Fuente	Combustible	Emisión (t/año)						
			PM ₁₀	COV	NO _x	SO ₂	CO	PM _{2.5}	BC
ACD	Caldera industrial y comercial > 15 BHP	Diésel	56,98	3,29	162,80	122,10	40,70	8.55	2.13
ACE	Caldera industrial y comercial > 15 BHP	Energía Eléctrica	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
AGG	Aglutinadora	Gas natural	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0.00	0.00
AHF	Horno	Diésel	1,66	1,23	8,80	7,00	2,44	0.25	0.06
BOE	Bombo	Energía Eléctrica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00
BOG	Bombo	Gas natural	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0.00	0.00
CC1	Caldera >100 BHP	Carbón	25,66	1,21	61,45	178,54	2,42	5.54	1.36
CC2	Caldera ≤100 BHP	Carbón	0,08	0,00	0,06	0,17	0,00	0.02	0.00
CEL	Calentador	Energía Eléctrica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00
CG1	Caldera >100 BHP (año de fabricación menor o igual a 1997)	Gas natural	23,25	7,10	268,93	1,08	54,18	17.15	4.26
CG2	Caldera >100 BHP (año de fabricación mayor a 1997)	Gas natural	5,42	4,19	16,54	0,01	31,98	4.00	1.00
CG3	Caldera ≤100 BHP	Gas natural	7,15	6,63	120,23	0,87	51,98	5.27	1.30
CGL	Calentador	Gas licuado de petróleo	0,26	0,00	4,98	0,01	2,79	0.20	0.05
CM	Caldera	Madera	0,01	0,00	0,02	0,00	0,03	0.00	0.00
CRG	Calentador	Gas natural	0,30	0,22	3,76	0,02	1,60	0.22	0.05
CTA	Caldera (vapor) textiles	Aceite usado	28,78	1,12	38,91	246,98	5,60	4.32	1.06
CUG	Cuba	Gas natural	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0.00	0.00
EGL	Estufa industrial	Gas licuado de petróleo	0,37	0,00	6,94	0,01	3,89	0.27	0.07
ESG	Estufa industrial	Gas natural	0,05	0,04	0,66	0,00	0,28	0.04	0.01
EXE	Extrusora	Energía Eléctrica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00

Categoría	Tipo de Fuente	Combustible	Emisión (t/año)						
			PM ₁₀	COV	NO _x	SO ₂	CO	PM _{2.5}	BC
EXG	Extrusora	Gas natural	0,00	0,00	0,04	0,00	0,02	0.00	0.00
GLP	Horno y caldera con aplicaciones industriales	Gas licuado de petróleo	4,40	22,02	414,91	0,22	69,92	3.25	0.80
HC	Horno	Carbón	9,64	0,62	6,10	16,16	8,36	2.08	0.51
HE	Horno	Energía Eléctrica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00
HFA	Horno fundición	Aceite usado	11,85	0,48	4,43	8,27	2,40	1.78	0.46
HG1	Horno de alimentos	Gas natural	0,81	1,17	6,94	0,00	4,27	0.60	0.15
HG2	Horno de secado y curado	Gas natural	0,69	0,91	6,31	0,36	3,31	0.51	0.13
HG3	Horno de fundición y cremación	Gas natural	0,33	0,50	4,43	0,03	1,88	0.24	0.06
HL	Horno ladrillero	Carbón	83,75	10,08	94,97	251,38	130,06	18.09	4.39
HM	Horno	Madera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00
ICG	Intercambiador de calor	Gas natural	0,14	0,10	1,75	0,01	0,74	0.10	0.03
ICM	Intercambiador de calor	Madera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00
IGL	Inyectora	Gas licuado de petróleo	0,23	0,00	4,31	0,00	2,42	0.17	0.04
IME	Impresora de gran formato	Energía Eléctrica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00
IMG	Impresora de gran formato	Gas natural	0,04	0,05	1,54	0,01	0,65	0.03	0.01
INE	Inyectora	Energía Eléctrica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00
ING	Inyectora	Gas natural	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0.00	0.00
LAG	Lacadora	Gas natural	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00
MGL	Marmita	Gas licuado de petróleo	0,05	0,00	0,97	0,00	0,54	0.04	0.01
MRE	Marmita	Energía Eléctrica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00
MRG	Marmita	Gas natural	0,07	0,05	0,81	0,01	0,34	0.05	0.01
OTA	Otra	Aceite usado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00
OTD	Otra	Diésel	0,01	0,00	1,29	10,21	0,36	0.00	0.00
OTE	Otra	Energía Eléctrica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00
OTG	Otra	Gas natural	0,26	0,19	4,68	0,03	1,99	0.19	0.05
PED	Planta eléctrica	Diésel	1,85	0,00	85,83	677,09	23,84	0.28	0.07
PLE	Peletizadora	Energía Eléctrica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00
PLG	Peletizadora	Gas natural	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	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
QGL	Quemador	Gas licuado de petróleo	0,23	0,00	4,38	0,00	2,45	0.17	0.04
QME	Quemador	Energía Eléctrica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00
QMG	Quemador	Gas natural	0,19	0,14	2,45	0,02	1,04	0.14	0.03
RTE	Rama de Termofijado	Energía Eléctrica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0.00	0.00
RTG	Rama de Termofijado	Gas natural	0,18	0,13	2,16	0,01	0,92	0.13	0.03

Categoría	Tipo de Fuente	Combustible	Emisión (t/año)						
			PM ₁₀	COV	NO _x	SO ₂	CO	PM _{2.5}	BC
SEE	Secadora	Energía Eléctrica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SEG	Secadora	Gas natural	0,07	0,05	0,83	0,01	0,35	0,05	0,01
SEL	Secadora	Gas licuado de petróleo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOD	Tostadora	Diésel	0,00	0,00	0,31	2,45	0,09	0,00	0,00
TOE	Tostadora	Energía Eléctrica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOG	Tostadora	Gas natural	0,11	0,09	2,89	0,02	1,23	0,08	0,02
TSG	Torre de secado	Gas natural	0,30	0,65	11,02	0,07	4,69	0,22	0,05
VUG	Vulcanizadora	Gas natural	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00
TOTAL			265,17	62,24	1.357,53	1.523,15	459,82	74,04	18,27

Fuente: Elaboración propia



ACD - Caldera industrial y comercial > 15 BHP - Diésel, CC1 - Caldera >100 BHP - carbón, CG1 - Caldera >100 BHP (año de fabricación menor o igual a 1997) - Gas Natural, CG3 - Caldera ≤100 BHP - Gas Natural, CTA - Caldera (vapor) textiles – Aceite, GLP - Horno y caldera con aplicaciones industriales – GLP, HL – Horno ladrillero – Carbón

Fuente: Elaboración propia

Figura 24. Participación en las emisiones de fuentes fijas industriales por cada categoría y contaminante

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

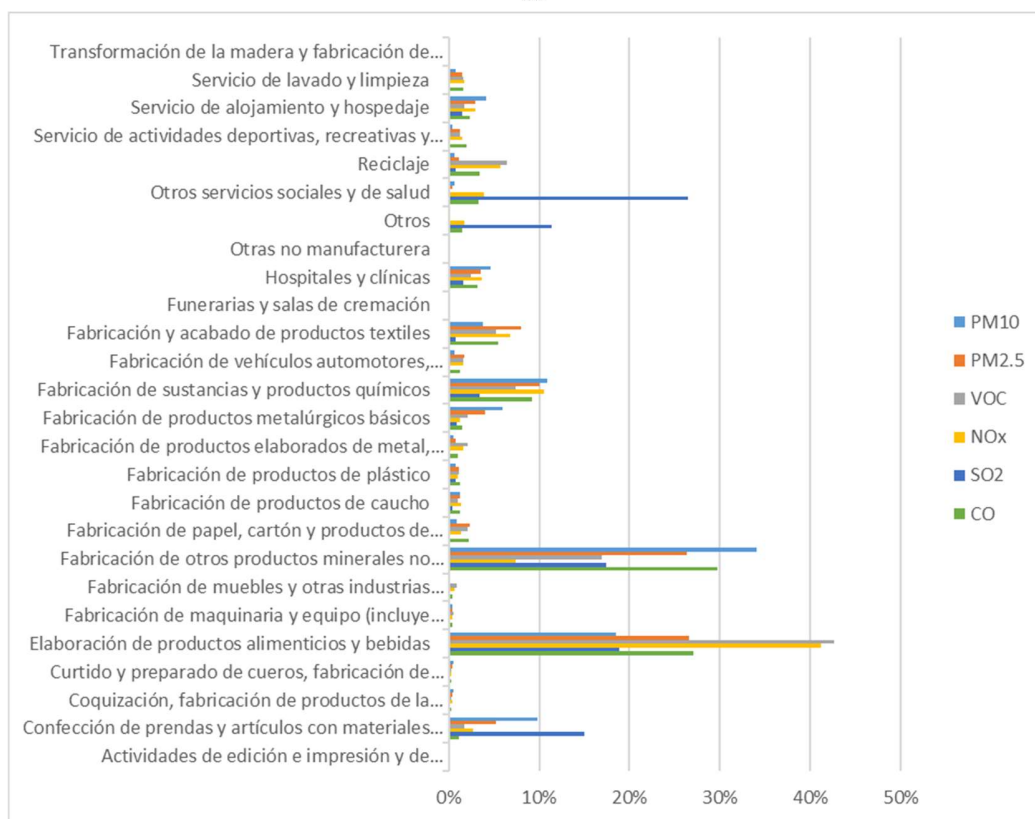
- Las emisiones de PM₁₀ corresponden a 266 t/año, donde las principales categorías aportantes son HL – Horno ladrillero a carbón, con una participación del 32%, ACD - Caldera industrial y comercial > 15 BHP de Diésel, con una participación del 21% y CC1 - Caldera >100 BHP de carbón con un 10%. Otra fuente importante, por su gran cantidad es la CG1 - Caldera >100 BHP (año de fabricación menor o igual a 1997) con uso de gas natural, cuyo tipo de fuentes se encuentran,



principalmente, en los sectores de elaboración de productos alimenticios y bebidas; fabricación y acabado de productos textiles y, hospitales y clínicas.

- Las emisiones de $PM_{2.5}$ corresponden a 74,0 t/año, donde, la categoría **HL** – Horno ladrillero a carbón tiene una participación del 25%; la categoría **CG1** - Caldera >100 BHP (año de fabricación menor o igual a 1997) con uso de gas natural un aporte del 23%. Así mismo, la categoría **ACD** - Caldera industrial y comercial > 15 BHP de Diésel aporta un 12%, 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 de BC corresponden a 23,9 t/año, donde, la categoría **HL** – Horno ladrillero a carbón tiene una participación del 25%; la categoría **CG1** - Caldera >100 BHP (año de fabricación menor o igual a 1997) con uso de gas natural un aporte del 23%. Así mismo, la categoría **ACD** - Caldera industrial y comercial > 15 BHP de Diésel aporta un 11%, 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 de NO_x son de 1364,2 t/año, teniendo que la principal categoría aportante de emisión corresponde a los hornos y calderas que operan con GLP, con el 30% 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 20% del total de emisiones de este contaminante.
- Respecto a las emisiones de SO_2 , se generaron 1524.3 t/año, donde las principales categorías aportantes corresponden a **HL** – Horno ladrillero a carbón, con una participación del 17% y **CTA** - Caldera (vapor) de aceite, con un aporte del 16% 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, y al agrupar estos mínimos aportes se obtiene que la mayoría acumulada no corresponde a una categoría determinada, como para los demás contaminantes.
- Con relación a las emisiones de CO, las fuentes fijas emitieron 462.3 t/año, teniendo que las principales categorías aportantes corresponden a **HL** – Horno ladrillero a carbón con el 28% del total de emisiones de este contaminante y a **GLP**- Horno y caldera con aplicaciones industriales, a GLP, con un aporte del 15%.

Por otra parte, la participación de sectores en la emisión de contaminantes atmosféricos se presenta en la Figura 25, donde se puede evidenciar el consolidado de sectores productivos identificados en la ciudad, tanto de manufactura como de servicios.



Fuente: Elaboración propia

Figura 25. Participación porcentual de las emisiones por contaminante, por sectores productivos

De acuerdo con la anterior Figura 25, las emisiones de PM₁₀ son generadas, principalmente por dos sectores, el de fabricación de otros productos minerales no metálicos (puntualmente la fabricación de materiales de arcilla para la construcción, ladrilleras), con una participación del 34% y el sector de elaboración de productos alimenticios y bebidas, con un 18% de aporte del total de las emisiones de este contaminante. Otros sectores, de menor aporte de emisión es el sector de fabricación de sustancias y productos químicos con un 11% y los demás sectores aportan un porcentaje menor al 5%.

Para el caso de PM_{2.5}, las emisiones de este contaminante son generadas, por el sector de elaboración de productos alimenticios y bebidas con una participación del 27% y el sector de fabricación de otros productos minerales no metálicos, con un 26%. Dentro de otros sectores aportantes, pero con menor participación, se encuentran el de fabricación y acabado de productos textiles, con un 8%, seguido del sector de fabricación de sustancias y productos químicos, con un 10% y el sector de fabricación de productos metalúrgicos básicos, con un 4% de participación del total de emisiones de este contaminante.

Con relación a los NO_x, los sectores de principal aporte son el de elaboración de productos alimenticios y bebidas con un 41% de participación, el sector de fabricación de sustancias y productos químicos con una participación del 11% y, fabricación de otros productos minerales no

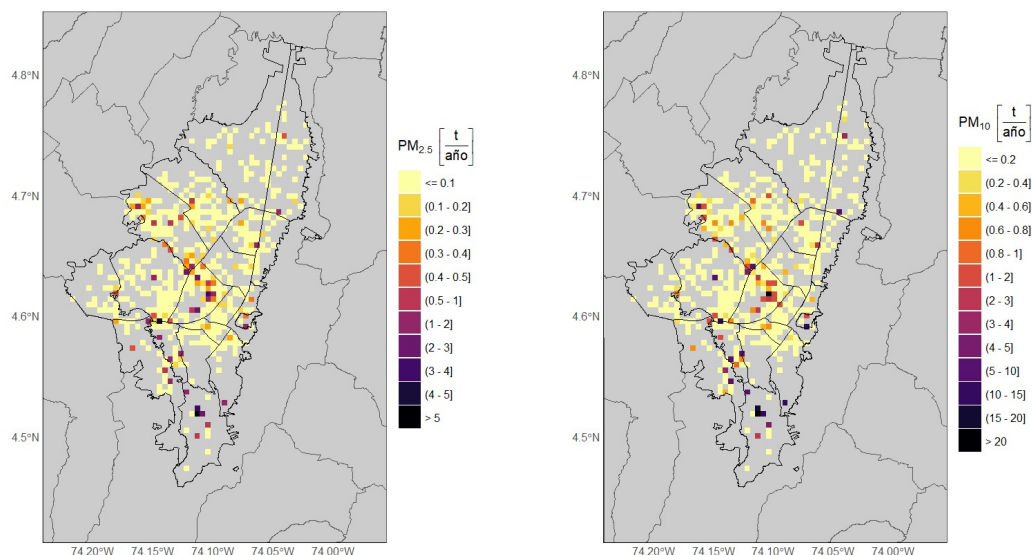
metálicos 8% y fabricación y acabados textiles del 7% y finalmente los demás sectores tienen un aporte menor del 5% de participación del total de emisiones de este contaminante.

Las emisiones de SO_2 son generadas, principalmente por los sectores de otros servicios de sociales y de salud con un 26%, seguido del sector de elaboración de productos alimenticios y bebidas, con un 19% de participación. Este sector de alimentos tiene una alta participación debido a que dentro de este sector se encuentran incluidas industrias dedicadas a la elaboración de alimentos preparados para animales y a la elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal, con calderas que operan a carbón, con consumos de combustible importantes. Otros sectores, que tienen participación son Fabricación de otros productos minerales no metálicos con 17%, confección de prendas y artículos con materiales textiles 15%, otros con 12%, finalmente, pero con una muy baja participación menor al 5% fabricación de sustancias y productos químicos, fabricación de productos metalúrgicos básicos.

Para finalizar, los sectores de mayor aporte a las emisiones de CO son la fabricación de otros productos minerales no metálicos, con un 29% de participación en la emisión, seguido del sector de elaboración de productos alimenticios y bebidas, con un aporte del 25% del total de emisiones para este contaminante.

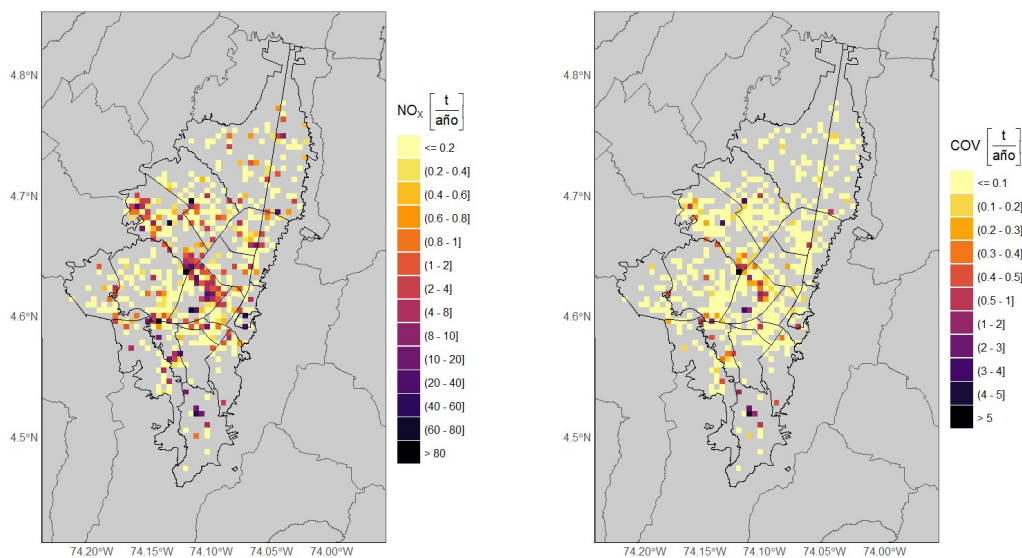
Desagregación espacial de las emisiones

Desde la Figura 26 a la Figura 29 se presentan los mapas de distribución espacial de las emisiones de fuentes fijas industriales por combustión y combustión+proceso, donde las zonas persistentes de mayor emisión se encuentran en la zona occidente, central y sur de la ciudad.



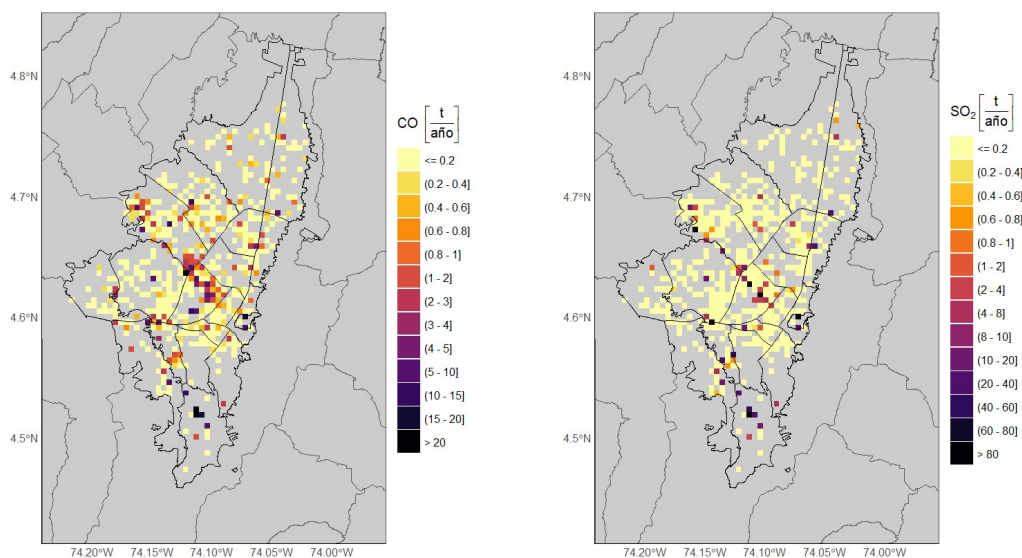
Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Distribución espacial de las emisiones $\text{PM}_{2.5}$ (izquierda) y PM_{10} (derecha) generadas por fuentes fijas industriales



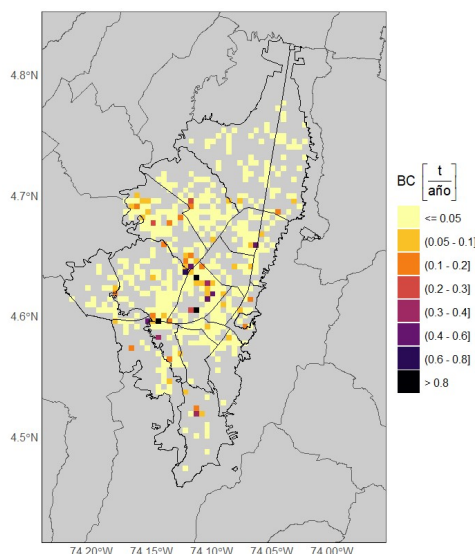
Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Distribución espacial de las emisiones de NO_x (izquierda) y COV (derecha) generadas por fuentes fijas industriales



Fuente: Elaboración propia

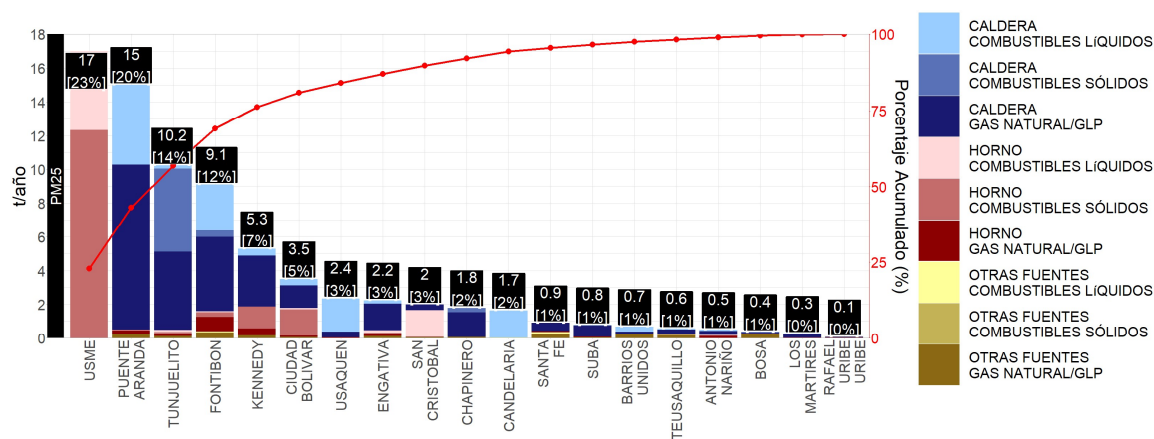
Figura 28. Distribución espacial de las emisiones de SO₂ (izquierda) y CO (derecha) generadas por fuentes fijas industriales



Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Distribución espacial de las emisiones de BC generadas por fuentes fijas industriales

Las localidades de mayor emisión de contaminantes corresponden a Usme, Puente Aranda, Tunjuelito y Fontibón, cuyo orden de rango de participación depende de cada contaminante atmosférico, asociado al tipo y consumo de combustible, principalmente. Para el caso específico de BC, $PM_{2.5}$ y PM_{10} , las localidades de mayor aporte son Usme, Puente Aranda y Tunjuelito, como se puede observar en las Figura 30 a la Figura 32, debido a que allí se encuentran las principales zonas industriales de la ciudad y presentan el mayor uso y consumo de carbón, así como altos consumos de combustibles como gas natural, GLP y diésel, en comparación del resto de localidades.



Fuente: Elaboración propia

Figura 30. Participación por localidad de las emisiones de $PM_{2.5}$ para fuentes fijas industriales

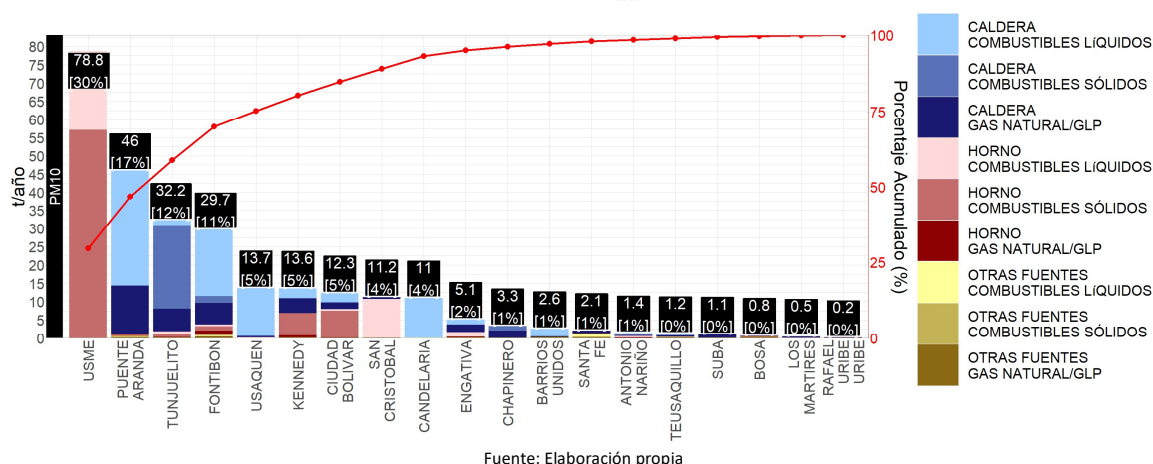


Figura 31. Participación por localidad de las emisiones de PM₁₀ para fuentes fijas industriales

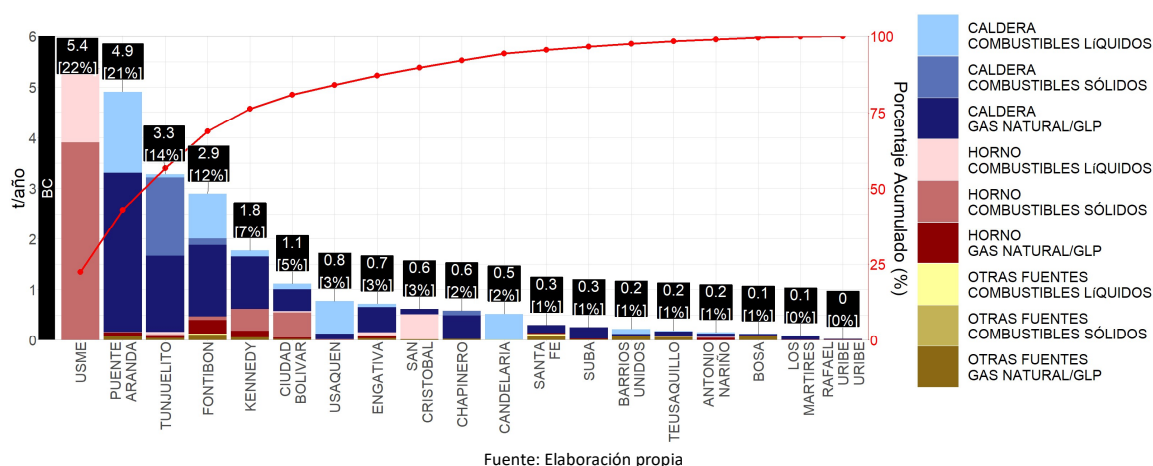


Figura 32. Participación por localidad de las emisiones de BC para fuentes fijas industriales

Es importante mencionar que la distribución de las emisiones, en algunas localidades no necesariamente están directamente asociadas a la cantidad de fuentes fijas o establecimientos presentes; las emisiones están relacionadas con la interrelación de variables como la actividad económica, el proceso productivo que se realiza, el tipo y cantidad de combustible que se utiliza, así como su forma de dosificación; el tipo, capacidad y antigüedad de las fuentes, así como de su forma y tiempo de operación y de mantenimiento; materias primas e insumos utilizados, entre otras. Tal es el caso de la localidad de Usme, donde se presenta el mayor porcentaje de emisiones de PM_{2.5} y PM₁₀, asociado al alto consumo de carbón por parte del sector ladrillero, pero donde la participación de cantidad de fuentes en este sector es muy baja, como se presentó en la Figura 8.

Desagregación horaria de las emisiones

La distribución horaria de las emisiones para los contaminantes criterio (PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂, CO, NO_x y COV) de las fuentes fijas industriales se presentan en la Figura 33 por días hábiles (lunes a viernes), sábados y domingo. Donde se evidencia que las industrias tienen mayor actividad entre semana, iniciando el crecimiento de las emisiones cerca a las 6:00, horario en el que las empresas

inician sus labores, y llega a su pico máximo de emisión a las 12:00, donde comienza a bajar paulatinamente las emisiones hasta las 16:00 en donde se presenta la mayor disminución del día, dando congruencia a los horarios laborales manejados en el país. En cambio, para los sábados la reducción de emisiones por las actividades industriales disminuye un 30% en los mismos horarios de labor entre semana, pero diferenciándose en su disminución directa del pico de emisiones, mientras que en los domingos las emisiones tienen un comportamiento un poco más plano por la menor cantidad de industrias que realizan sus actividades durante este día, principalmente a fuentes de operación continua.

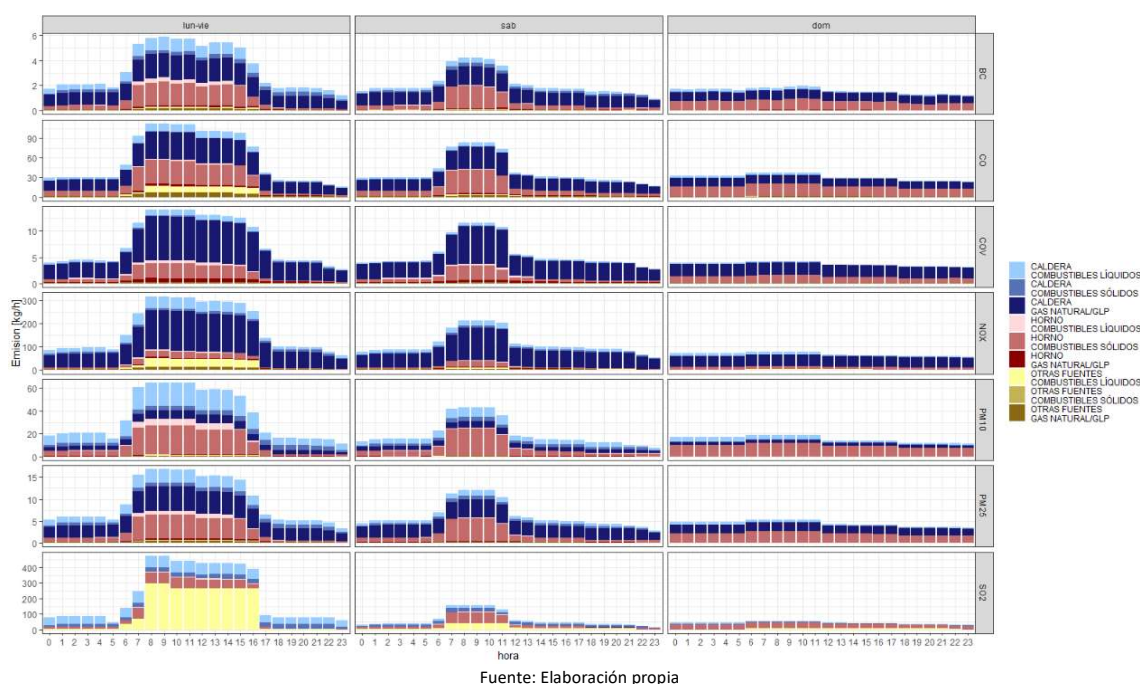


Figura 33. Perfiles horarios de emisiones para fuentes fijas industriales

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

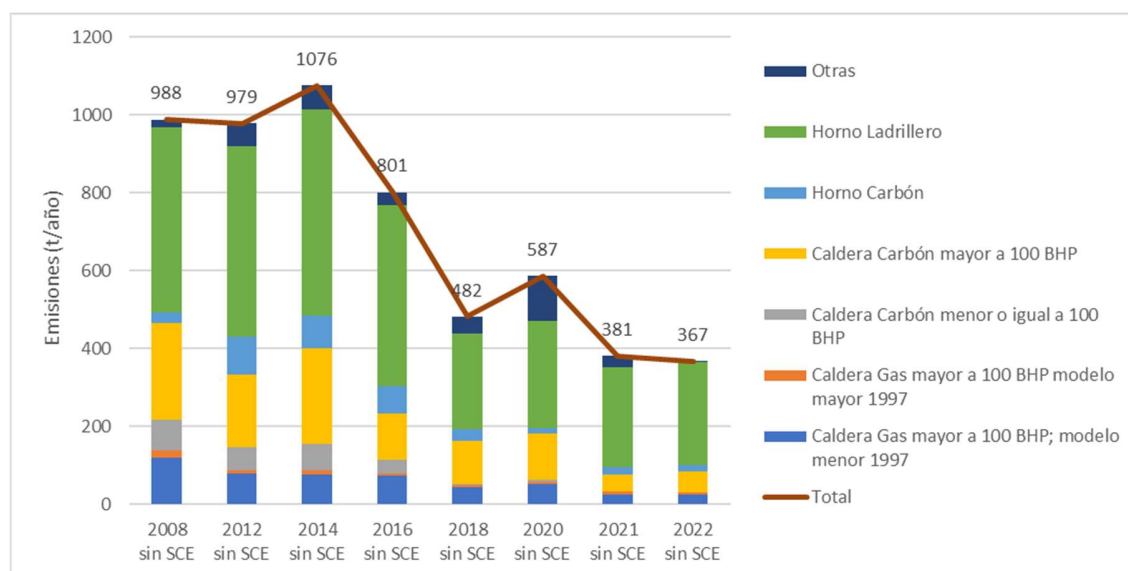
Conforme a las estimaciones de emisiones de cada uno de los contaminantes criterio para fuentes fijas industriales, desde el año 2008 hasta el 2022, se tiene una disminución de dichas emisiones desde el año 2014. Este comportamiento se asocia a la conversión de varias de las fuentes que utilizan combustibles 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 presente año registran incrementos en varios de los contaminantes con respecto al inventario 2021. 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 primer 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.

Por otro lado, a partir del cambio de dinámicas, y retorno a la presencialidad, se incrementaron las acciones de control sobre las fuentes fijas. Por ejemplo, en el 2020 se llevaron a cabo 7 operativos de control, mientras que para el 2021 fueron 17 y para el 2022 fueron 21. En el 2022, se realizaron 1700 actuaciones técnicas, y en el 2021 y 2020 solo se realizaron 1457 y 850, respectivamente. Lo anterior, presenta una tendencia en la cual en el 2022 se tiene un mayor control y verificación de fuentes fijas que en años inmediatamente anteriores, lo que da una mejor muestra de las emisiones del sector para este año.

Para el caso puntual de PM_{10} , en la Figura 34 y la Tabla 15 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 35, Figura 36 y la Tabla 16. 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.



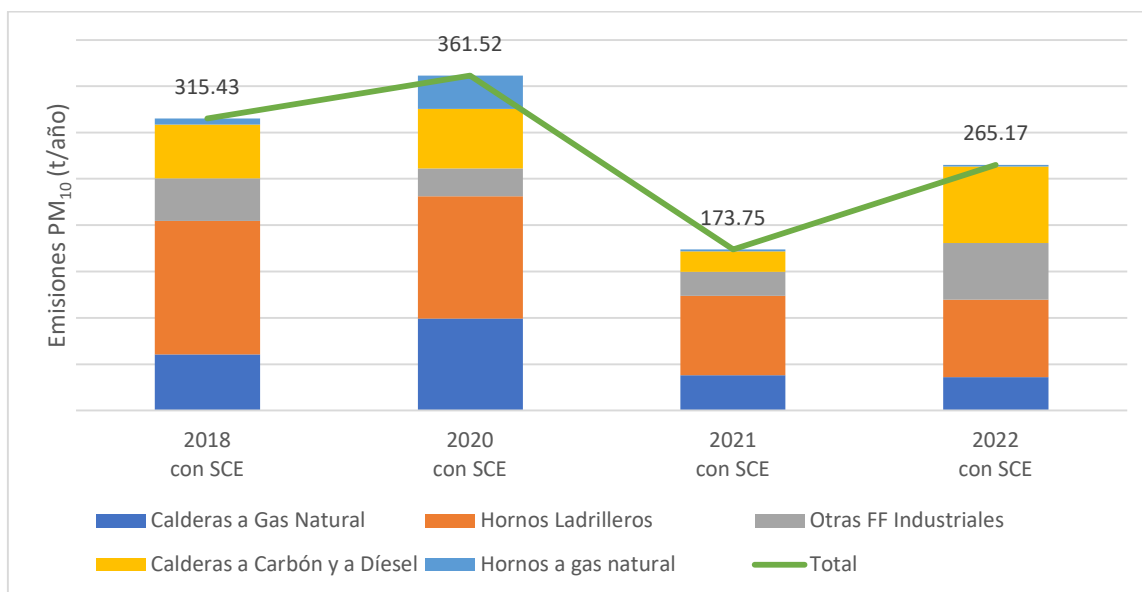
Fuente: Elaboración propia

Figura 34. Emisiones históricas de PM_{10} de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, sin considerar la remoción por SCE, periodo 2008-2022

Tabla 15. Emisiones históricas de PM₁₀ de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, sin considerar la remoción por SCE, periodo 2008-2022

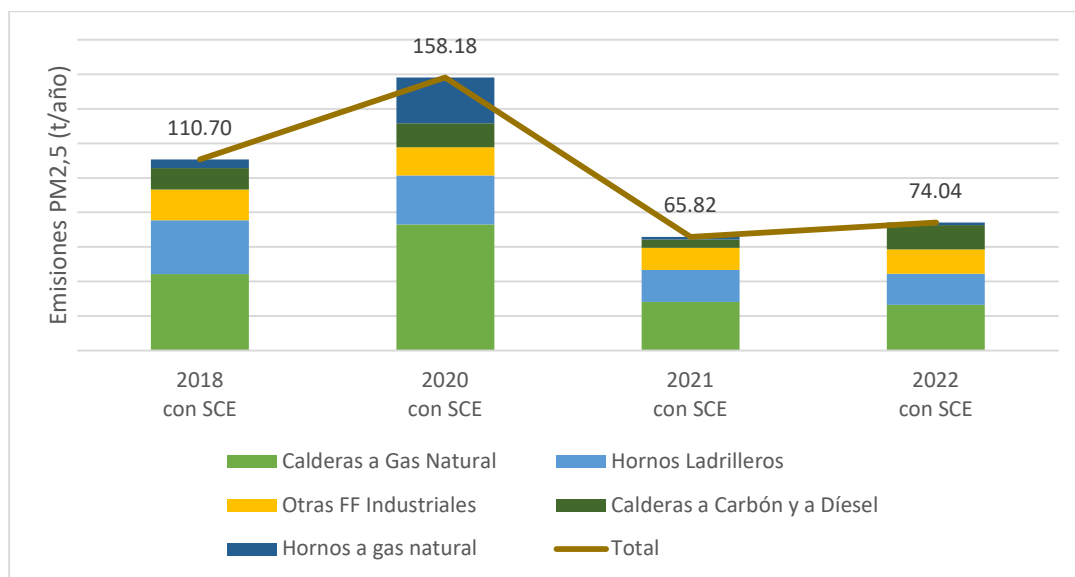
Tipo de fuente	Emisiones (t/año)							
	2008 sin SCE	2012 sin SCE	2014 sin SCE	2016 sin SCE	2018 sin SCE	2020 sin SCE	2021 sin SCE	2022 sin SCE
Caldera Gas mayor a 100 BHP; modelo menor 1997	118,6	78,3	75,5	73,4	45,0	52,2	25,4	23,8
Caldera Gas mayor a 100 BHP modelo mayor 1997	19,8	9,8	11,3	5,6	5,0	6,1	6,5	5,6
Caldera Carbón menor o igual a 100 BHP	79,0	58,7	66,7	35,8	1,7	5,6	1,8	0,2
Caldera Carbón mayor a 100 BHP	247,0	186,0	246,8	119,6	109,9	118,2	43,4	55,3
Horno Carbón	29,6	97,9	84,5	69,4	30,9	12,2	18,6	17,0
Horno Ladrillero	474,2	489,5	529,0	464,1	246,1	277,1	256,8	264,6
Otras	19,8	58,7	62,2	33,4	43,5	115,5	28,2	0,4
Total	988,0	979,0	1076,0	801,2	482,0	586,9	380,7	366,8

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 35. Emisiones históricas de PM₁₀ de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, considerando la remoción por SCE, periodo 2018-2022



Fuente: Elaboración propia

Figura 36. Emisiones históricas de PM_{2.5} de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, considerando la remoción por SCE, periodo 2018-2022.

Tabla 16. Emisiones históricas de PM₁₀ y PM_{2.5} de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, considerando la remoción por SCE, periodo 2018-2022.

Tipo de fuente	Emisiones PM ₁₀ (t/año)				Emisiones PM _{2.5} (t/año)			
	2018 con SCE	2020 con SCE	2021 con SCE	2022 con SCE	2018 con SCE	2020 con SCE	2021 con SCE	2022 con SCE
Calderas a Gas Natural	60,14	98,84	38,22	35,82	44,38	72,94	28,21	26,43
Hornos Ladrilleros	144,57	132,59	85,28	83,75	31,23	28,64	18,42	18,09
Otras FF Industriales	45,85	29,83	25,88	61,06	17,58	16,24	12,90	14,06
Calderas a Carbón y a Diésel	58,04	64,33	22,37	82,72	12,46	13,84	4,81	14,11
Hornos a gas natural	6,83	35,93	2,01	1,83	5,04	26,52	1,48	1,35
Total	315,43	361,52	173,75	265,17	110,70	158,18	65,82	74,04

Fuente: Elaboración propia

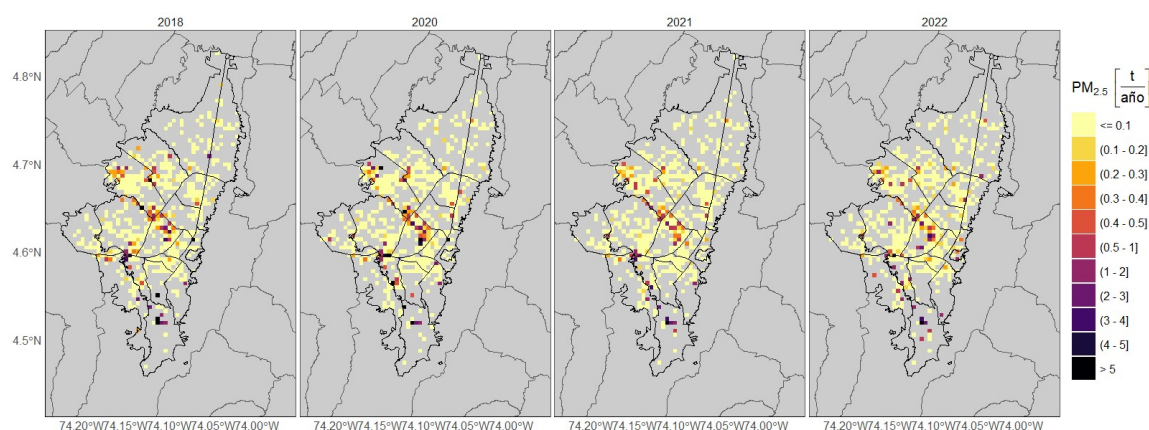
Conforme a lo presentado en las Figura 34, Figura 35 y Figura 36, se mantiene el comportamiento histórico de participación de emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5} por tipo de fuente, con SCE, de las emisiones de los hornos ladrilleros y calderas a gas, presentando variaciones de reducción de emisiones en hornos 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 (2021), 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 2022, 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.

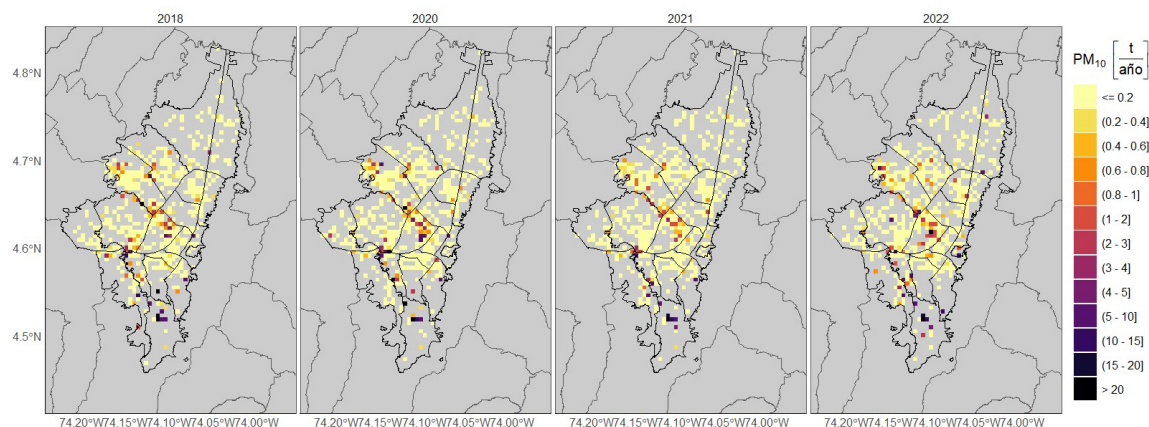
Distribución espacial histórica

Con relación a la distribución espacial histórica de las emisiones de fuentes fijas industriales por combustión y combustión+proceso, desde la Figura 37 a la Figura 43 se presentan los mapas de inventarios históricos de los años 2018, 2020, 2021 y 2022, donde se puede apreciar una reducción de emisiones, principalmente en las localidades de Puente Aranda, Fontibón y parte de Kennedy, manteniéndose estable las emisiones en la localidad de Usme.



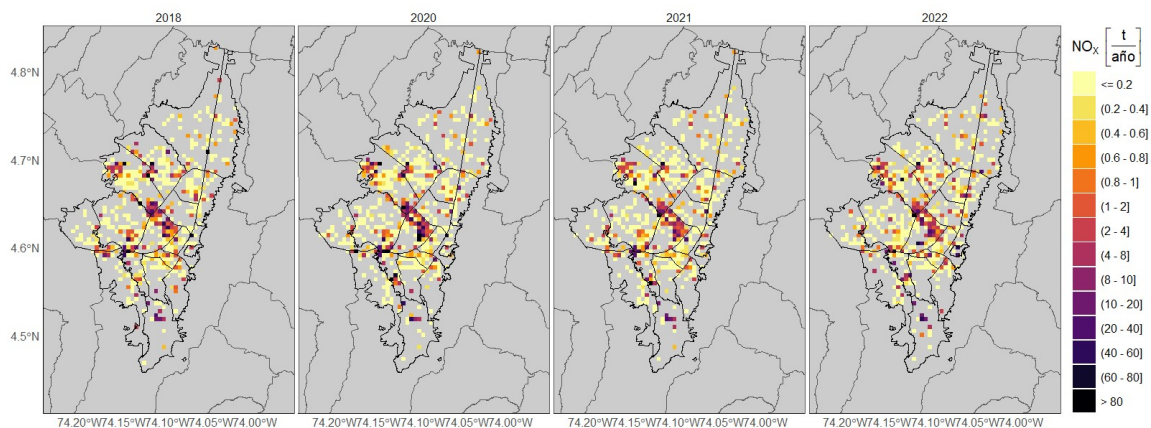
Fuente: Elaboración propia

Figura 37. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para PM_{2.5}



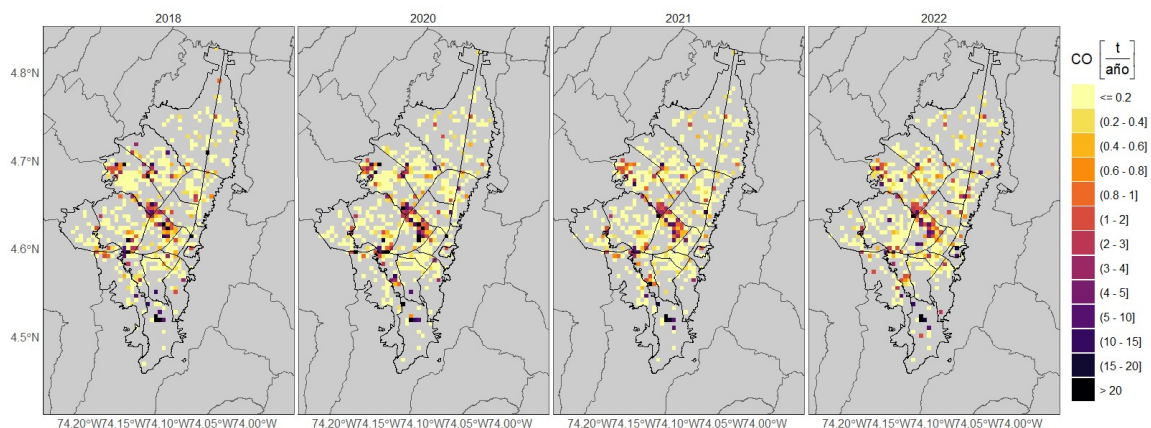
Fuente: Elaboración propia

Figura 38. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para PM₁₀



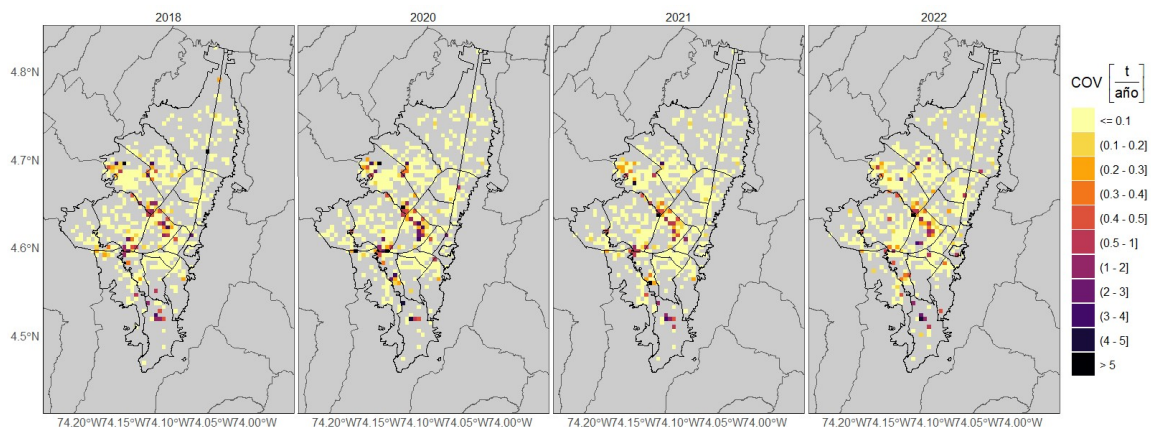
Fuente: Elaboración propia

Figura 39. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para NO_x



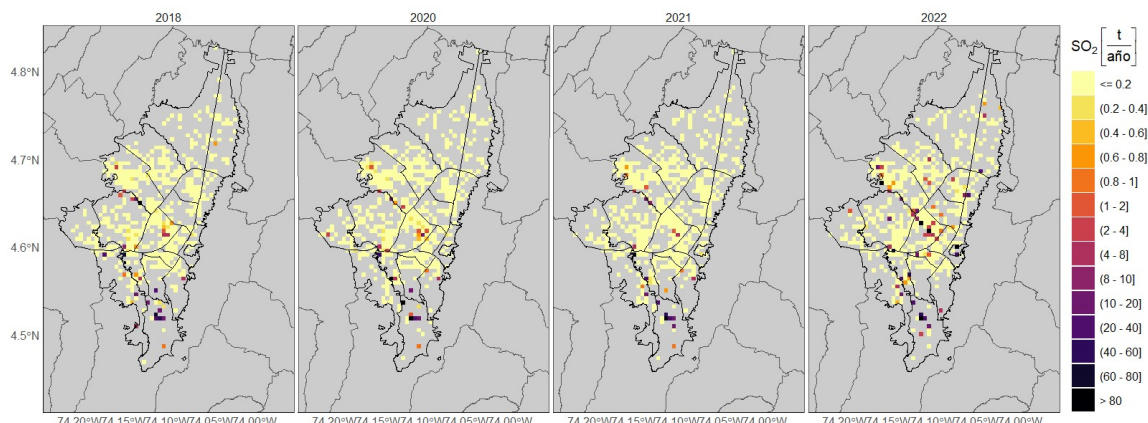
Fuente: Elaboración propia

Figura 40. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para CO



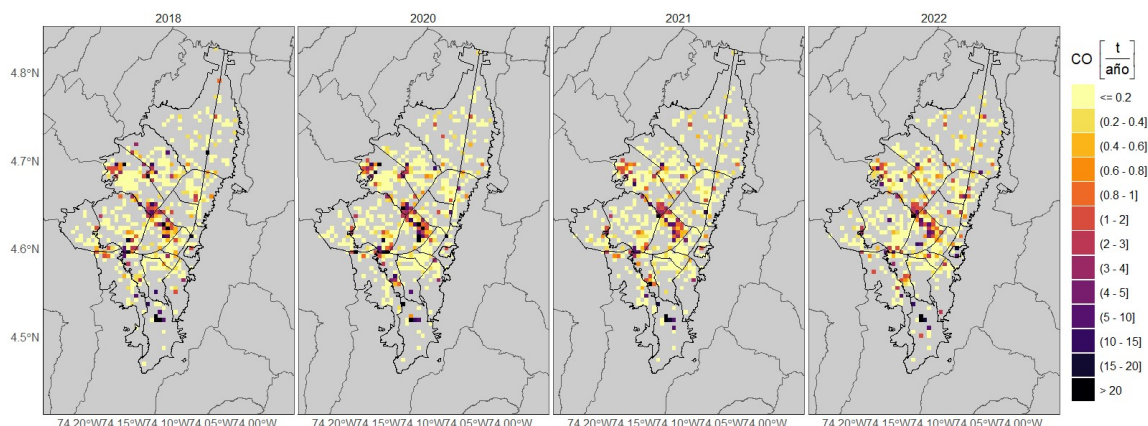
Fuente: Elaboración propia

Figura 41. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para COV



Fuente: Elaboración propia

Figura 42. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para SO₂



Fuente: Elaboración propia

Figura 43. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para BC

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, 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 como estufas. El detalle de la metodología de estimación se presenta en la sección G del Anexo 1. En la Tabla 17 se presentan los resultados totales de estas emisiones para los años 2018, 2020, 2021 y 2022.



Tabla 17. Emisiones residenciales de los años 2018, 2020, 2021 y 2022.

Contaminante	Emisiones (t/año)			
	2018	2020	2021	2022
PM ₁₀	3,3	2,9	3,1	2,9
PM _{2.5}	3,3	2,9	3,1	2,9
COV	30,1	26,0	27,5	26,7
NO _x	701,8	606,0	640,9	622,9
CO	367,6	317,4	335,7	326,3
SO ₂	5,0	4,3	4,6	4,4

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 COVID19, y en general, las emisiones estimadas para todos los contaminantes en el año 2022 son menores a las reportadas para el año 2021.

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, sin embargo, 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 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 diametralmente, según lo requerido por la Secretaría Distrital de Ambiente.

4.3.1. Inventario de emisiones *Top-Down*

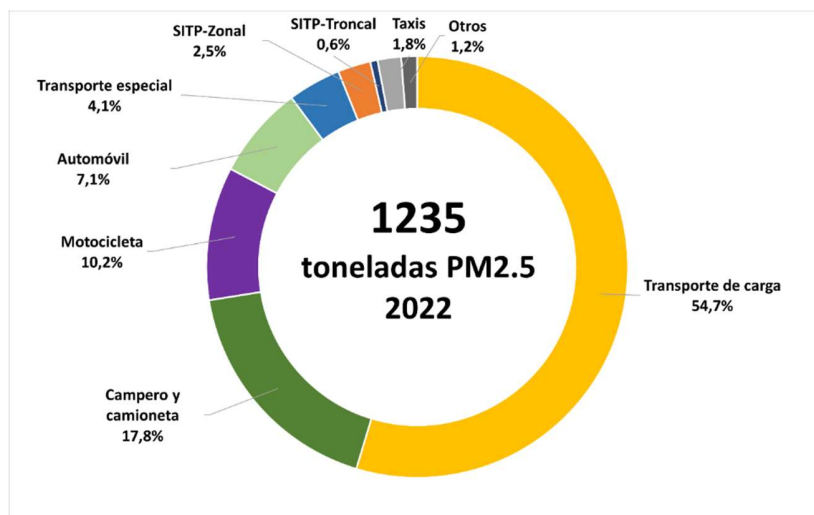
El inventario de emisiones del año 2022 estimado por enfoque *Top-Down* por categorías vehiculares y contaminantes criterio se presenta en la Tabla 18.

En total se emitieron 1.235 toneladas de PM_{2.5} (Figura 44) de las cuales, la categoría de transporte de carga es el que tiene mayor participación con un 54,7%, seguido de camperos y camionetas (17,8%) y motocicletas (10,2%). La participación en las emisiones de PM_{2.5} por las diferentes categorías vehiculares en 2022 presentó distribuciones similares a las encontradas en 2021.

Tabla 18. Inventario de emisiones de combustión por las fuentes móviles en carretera por categoría vehicular para el año 2022 con enfoque *Top-Down*.

Categoría vehicular	Emisiones (t/año)					
	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO _x	CO	COV	SO _x
Automóvil	98	88	10.100	34.451	19.906	57
Campero y camioneta	244	220	6.669	18.559	8.679	33
Transporte de carga	750	675	14.615	5.905	3.276	5
Motocicleta	130	126	3.791	45.966	18.032	318
Otros	17	15	637	6.764	652	1
SITP-Troncal	8	7	1.812	431	16	18
SITP-Zonal	34	31	3.438	956	39	9
Transporte de especial	56	50	1.930	17.099	1.620	2
Taxis	25	22	2.281	6.321	1.679	11
Total	1.361	1.235	45.274	136.450	53.899	453

Fuente: Elaboración propia



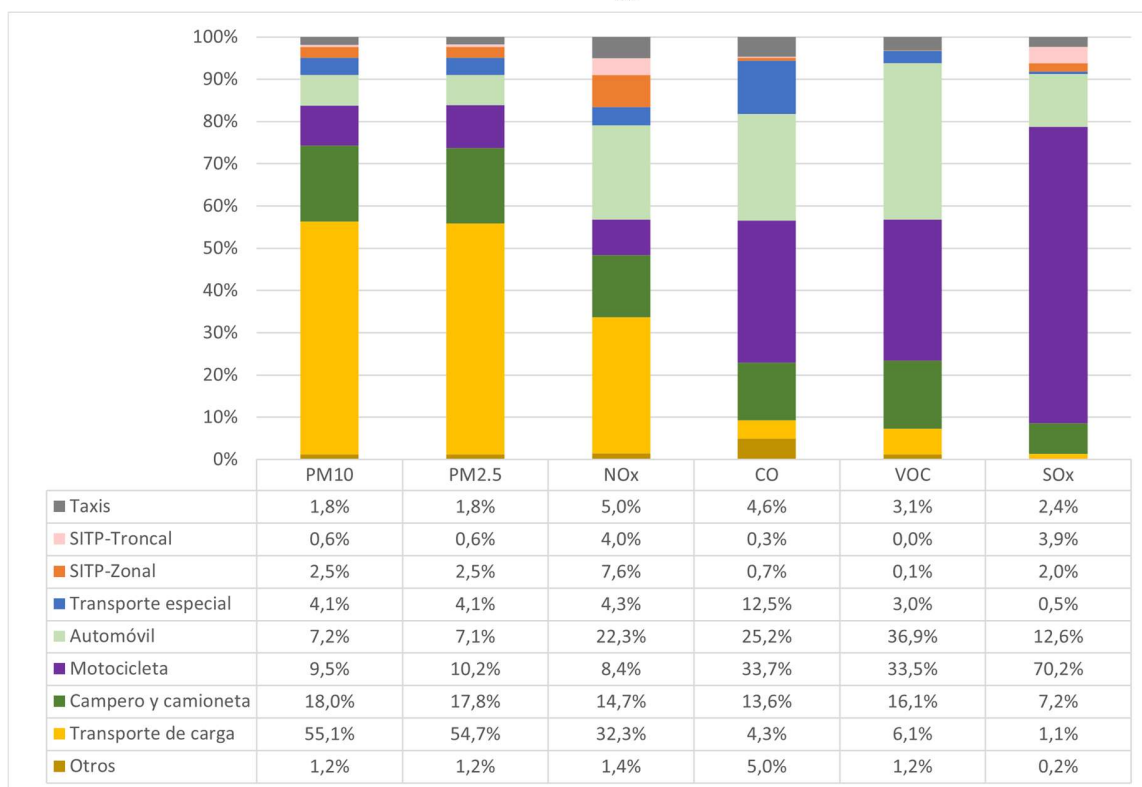
Fuente: Elaboración propia

Figura 44. Participación porcentual por categoría vehicular de las emisiones de PM_{2.5} estimada con enfoque *Top-Down* para el año 2022.

En la Figura 45 se puede observar el comportamiento de las emisiones de los demás contaminantes criterio para 2022 de acuerdo con cada categoría vehicular; el transporte de carga y los camperos y camionetas son los principales aportantes de PM₁₀, ya que participa con el 55,1% y 18%, respectivamente.

En cuanto a las emisiones de NO_x, se tiene que el 32,3% corresponde a transporte de carga, y el 22,3% a los automóviles; mientras que las emisiones de SO_x se asocian principalmente a las motocicletas, ya que participan con el 70,2% de las emisiones de este contaminante.

Por su parte, las emisiones de CO y COV se concentran principalmente en las motocicletas y los automóviles, ya que participan con el 33,7% y 25,2% de CO, y con el 33,5% y 36,9% de COV, respectivamente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 45. Participación porcentual en emisiones por categoría vehicular para los contaminantes criterio estimada con enfoque *Top-Down* para el año 2022.

4.3.2. Inventario de emisiones *Bottom-Up*

En la Tabla 19, se presentan las emisiones totales por categoría vehicular generadas a partir del inventario de la metodología *Bottom-Up*.

Tabla 19. Inventario de emisiones de combustión por las fuentes móviles en carretera por categoría vehicular para el año 2022 con enfoque *Bottom-Up*.

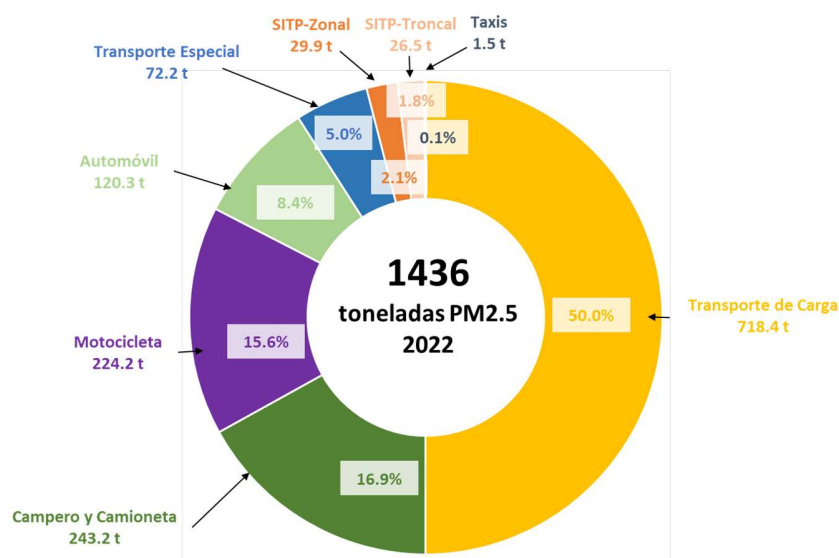
Categoría vehicular	Emisiones (t/año)						
	CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM _{2.5}	BC
Transporte de Carga	3.777,4	2.236,8	5.078,6	798,3	7,1	718,4	280,4
Camper y camioneta	20.579,4	9.623,6	7.381,2	270,2	36,1	243,2	110,2
Motocicleta	64.283,2	25.228,2	1.670,4	230,9	836,1	224,3	24,6
Automóvil	46.979,5	27.111,5	13.775,3	133,7	77,8	120,3	17,6
Transporte Especial*	11.780,2	453,8	2.786,1	80,2	1,2	72,2	32,6
SITP-Zonal	845,4	35,6	3.320,4	33,0	8,2	29,9	20,2
SITP-Troncal	1.759,8	58,3	6.942,6	29,4	93,2	26,5	16,0
Taxi	329,5	121,5	28,5	1,7	1,4	1,5	0,2
Total	150.334,4	64.869,3	40.983,0	1.577,3	1.061,1	1.436,2	501,8

*Incluye categorías de Transporte Especial Liviano, buses especiales e Intermunicipales

Fuente: Elaboración propia

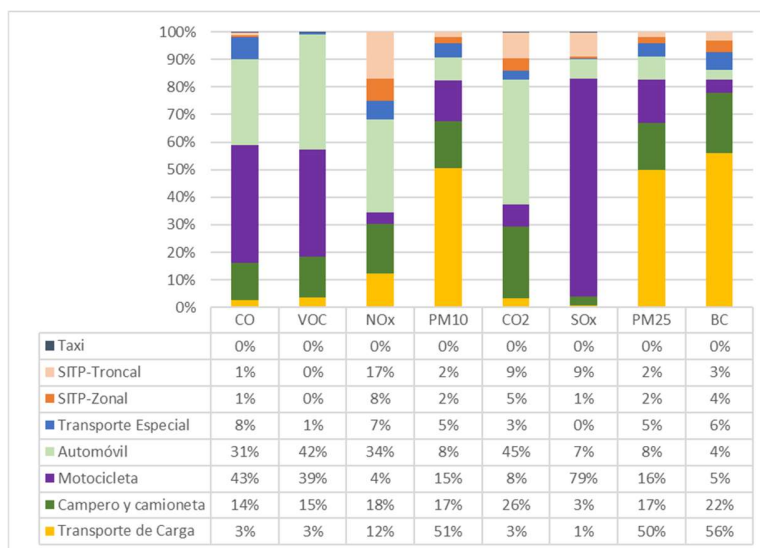
La distribución de emisiones de $PM_{2.5}$ (Figura 46) y la de los demás contaminantes criterio (Figura 47) tienen un comportamiento similar a las estimadas a la metodología *Top-Down* descritas en la sección 4.3.1, obteniendo para el año 2022 un valor de 1.436 t para $PM_{2.5}$. Algunos cambios relevantes se presentan para taxis, en donde su participación en la mayoría de los contaminantes es mínima. Por su parte, categorías como SITP—Troncal, que hace referencia a los vehículos articulados y biarticulados de Transmilenio, tiene una participación relevante del 17% en emisiones de NO_x . En cuanto al análisis de $PM_{2.5}$, el transporte carga aporta alrededor del 50% de las emisiones, seguido de los camperos y camionetas y motocicletas que, en conjunto aportan el 41% de las emisiones de $PM_{2.5}$.

El porcentaje de participación de tipología vehicular varía emisiones en los distintas contaminantes, (ver Figura 46); mientras el transporte de carga tiene la participación mayoritaria en NO_x , PM_{10} y $PM_{2.5}$, las motocicletas tienen su mayor aporte en las emisiones de CO, COV y SO_x , con aportes superiores al 40% de las respectivas emisiones.



Fuente: Elaboración propia

Figura 46. Participación porcentual por categoría vehicular de las emisiones de $PM_{2.5}$, estimada con enfoque *Bottom-Up*, año 2022.

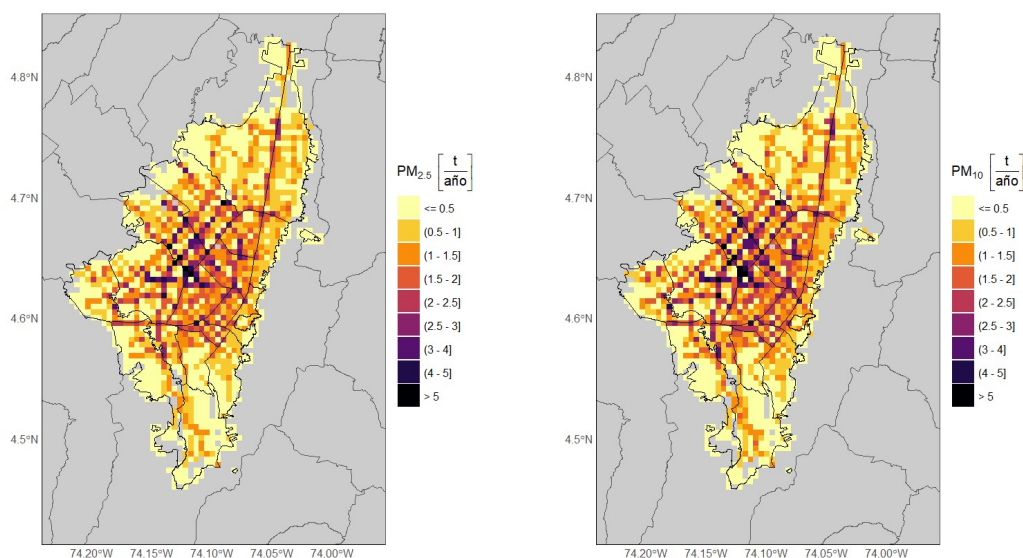


Fuente: Elaboración propia

Figura 47. Participación porcentual en emisiones por categoría vehicular para los contaminantes criterio y Black Carbon, estimada con enfoque *Bottom-Up* para el año 2022.

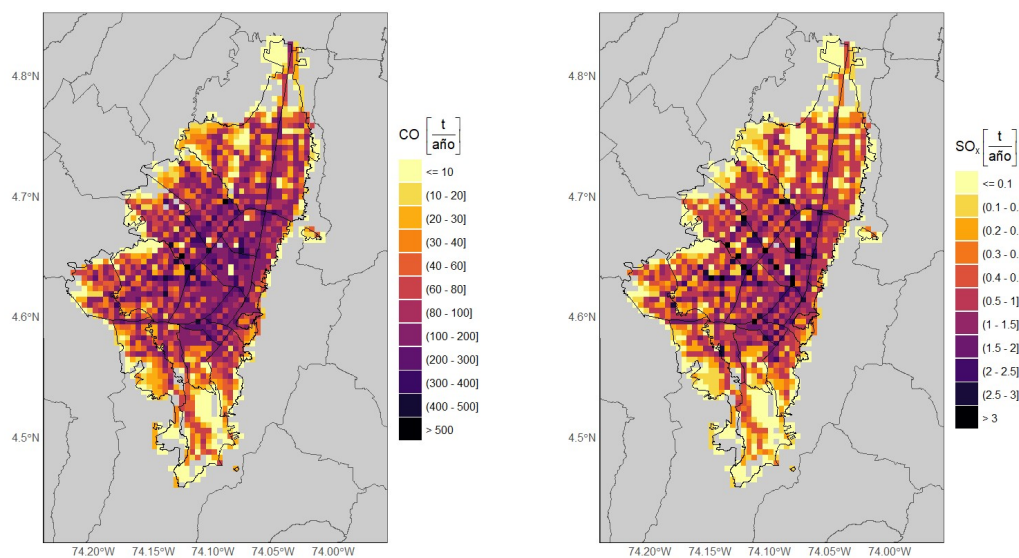
Desagregación espacial para emisiones

La desagregación de emisiones de forma espacial por medio de mapas se presenta desde la Figura 48 a la Figura 51, 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 Calle 26, Avenida Ciudad de Cali, la Avenida Carrera 68 y la Avenida NQS.



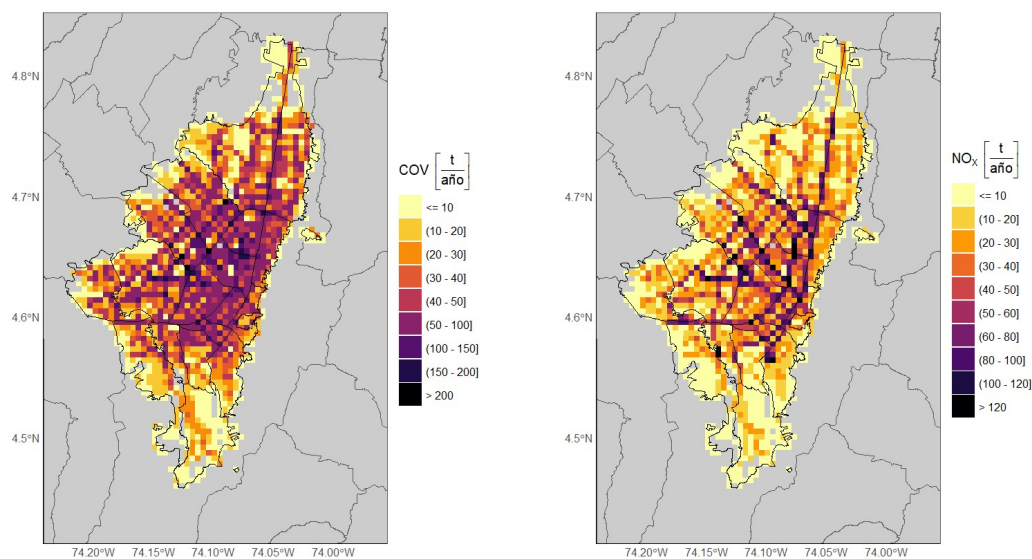
Fuente: Elaboración propia

Figura 48. Distribución espacio temporal de las emisiones PM_{2.5} (izquierda) y PM₁₀ (derecha) generadas por las fuentes móviles por combustión para el año 2022.



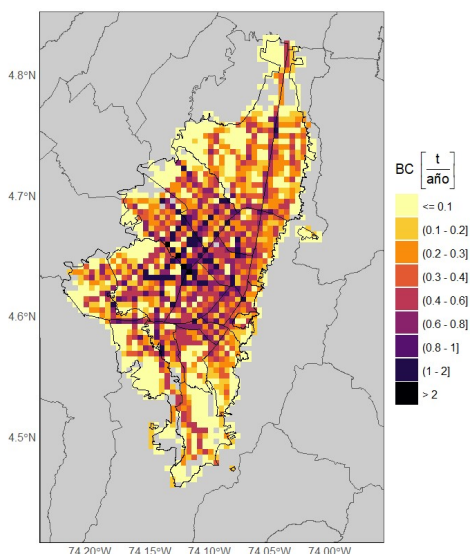
Fuente: Elaboración propia

Figura 49. Distribución espacio temporal de las emisiones de CO (izquierda) y SO_x (derecha) generadas por las fuentes móviles por combustión para el año 2022.



Fuente: Elaboración propia

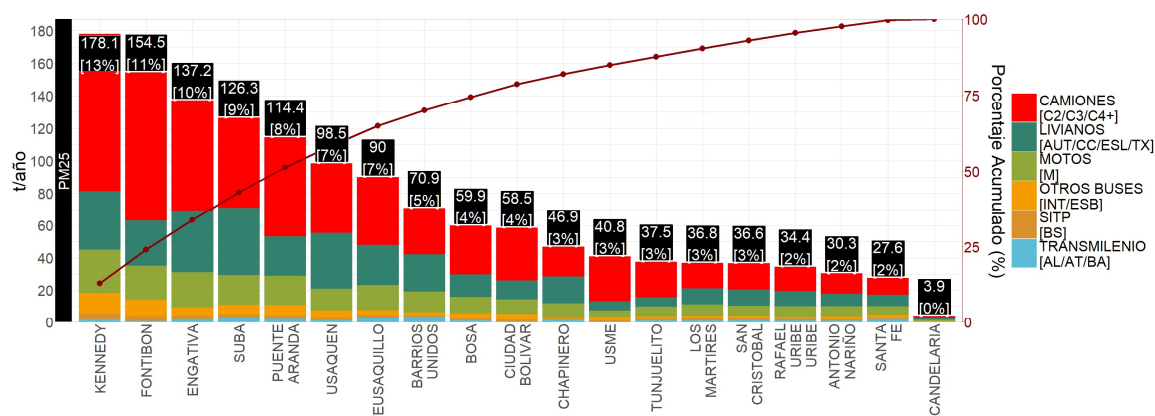
Figura 50. Distribución espacio temporal de las emisiones de NO_x (derecha) y COV (izquierda) generadas por las fuentes móviles por combustión para el año 2022.



Fuente: Elaboración propia

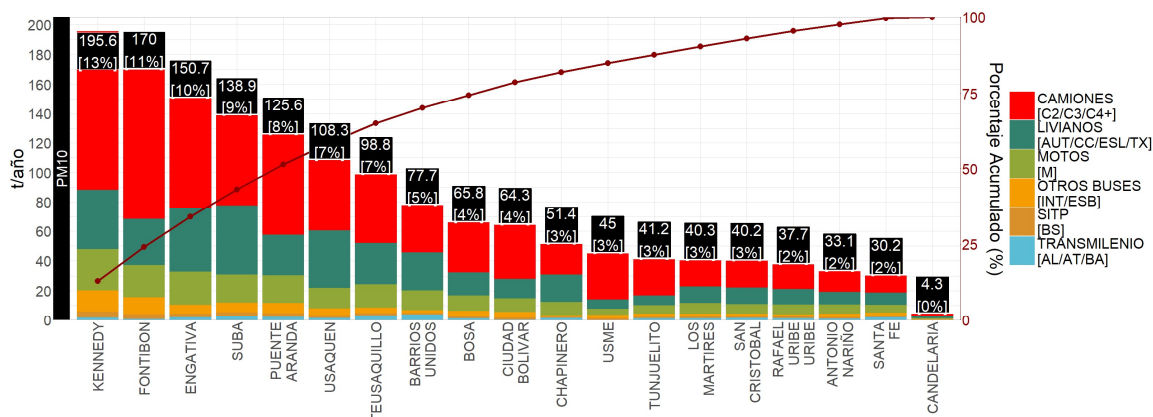
Figura 51. Distribución espacio temporal de las emisiones de BC generadas por las fuentes móviles por combustión para el año 2022.

En cuanto a las emisiones por localidad se presentan continuación desde la Figura 52 hasta la Figura 58. En este análisis la participación de la localidad de Kennedy se encuentra en primer lugar como emisor de todos los contaminantes analizados; este comportamiento se debe al alto flujo vehicular y en especial vehículos de carga pesada por la Autopista Sur y la Calle 13. Finalmente, se destaca que, en general, las localidades de Kennedy, Suba, Puente Aranda, Engativá y Fontibón son aquellas en donde se encuentran las mayores emisiones para los diferentes contaminantes.



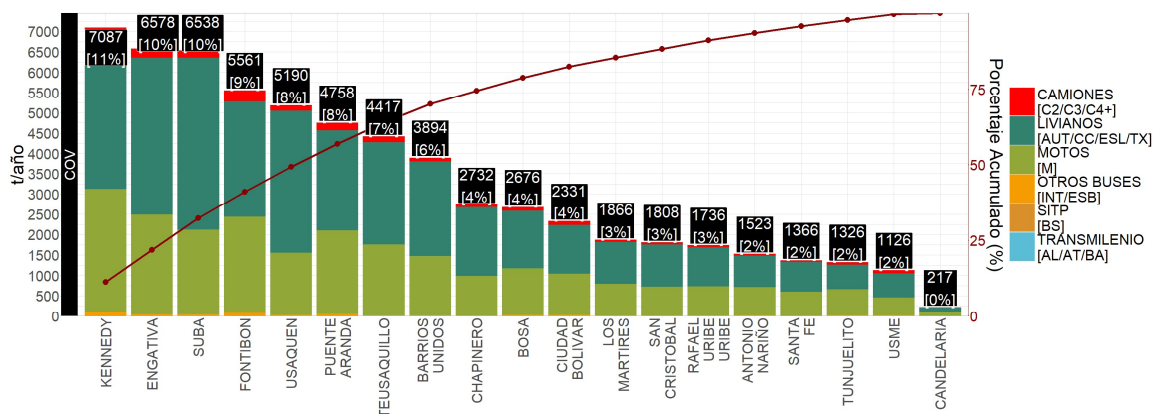
Fuente: Elaboración propia

Figura 52. Distribución de emisiones generadas por las fuentes móviles por combustión, por localidad para las emisiones de PM_{2.5}



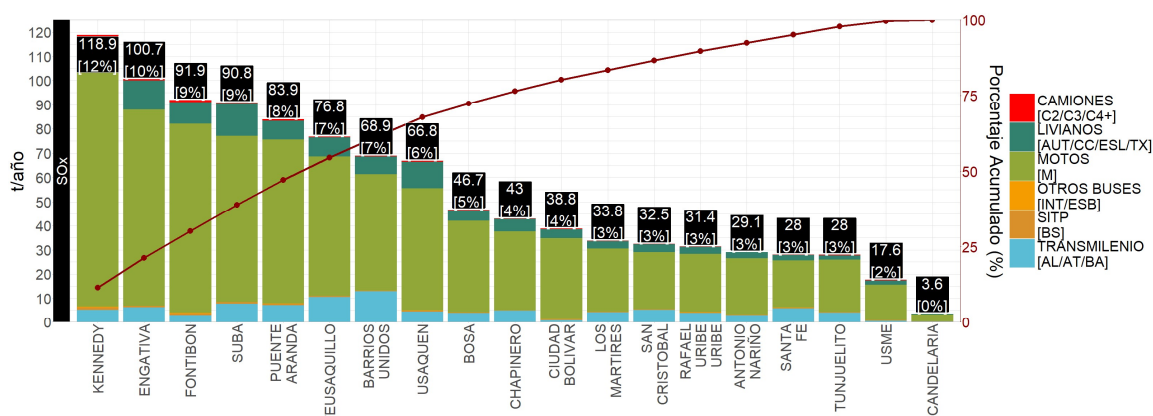
Fuente: Elaboración propia

Figura 53. Distribución de emisiones generadas por las fuentes móviles por combustión, por localidad para las emisiones de PM₁₀



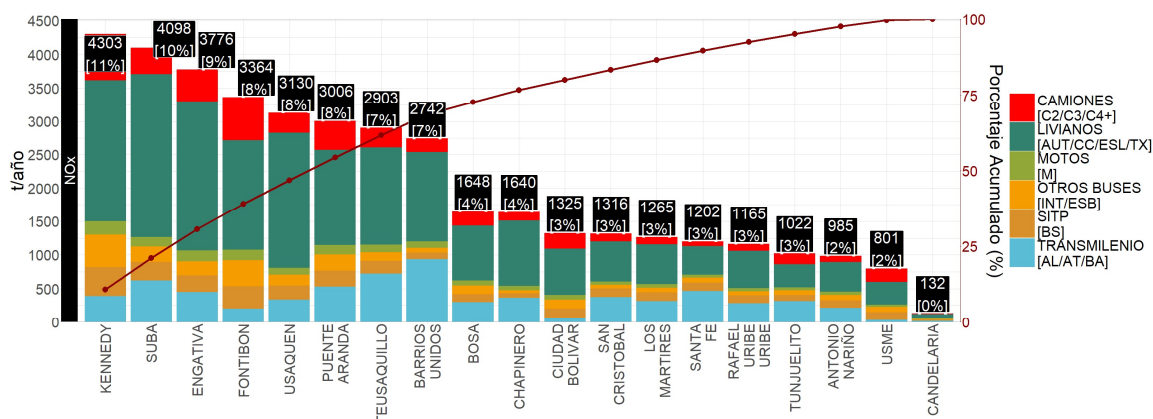
Fuente: Elaboración propia

Figura 54. Distribución de emisiones generadas por las fuentes móviles por combustión, por localidad para las emisiones de COV



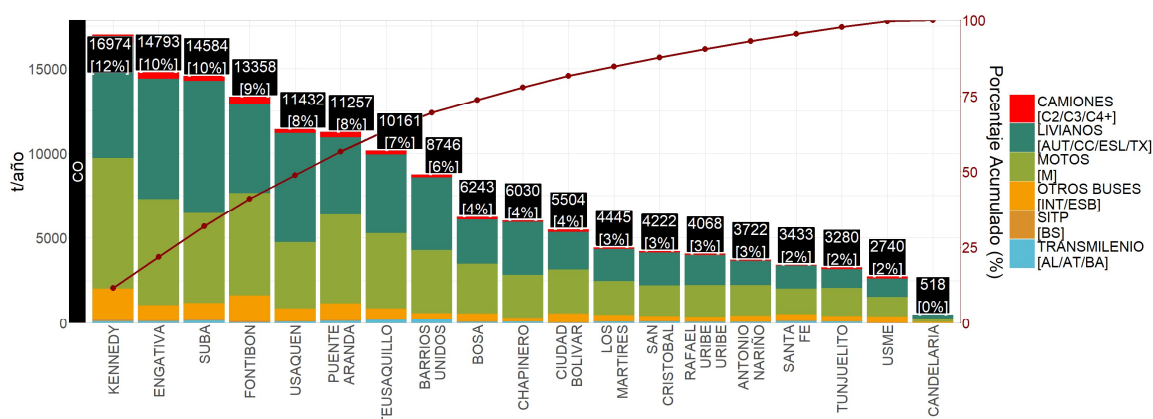
Fuente: Elaboración propia

Figura 55. Distribución de emisiones generadas por las fuentes móviles por combustión, por localidad para las emisiones de SO_x



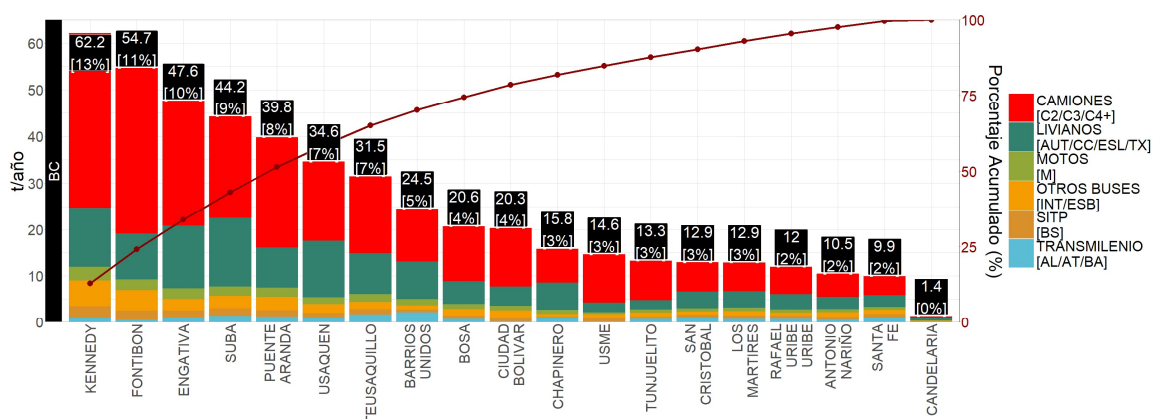
Fuente: Elaboración propia

Figura 56. Distribución de emisiones generadas por las fuentes móviles por combustión, por localidad para las emisiones de NO_x



Fuente: Elaboración propia

Figura 57. Distribución de emisiones generadas por las fuentes móviles por combustión, por localidad para las emisiones de CO



Fuente: Elaboración propia

Figura 58. Distribución de emisiones generadas por las fuentes móviles por combustión, por localidad para las emisiones de BC



Desagregación temporal horaria de las emisiones

Los perfiles de emisión por combustión en fuentes móviles en carretera se encuentran en la Figura 59, 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).

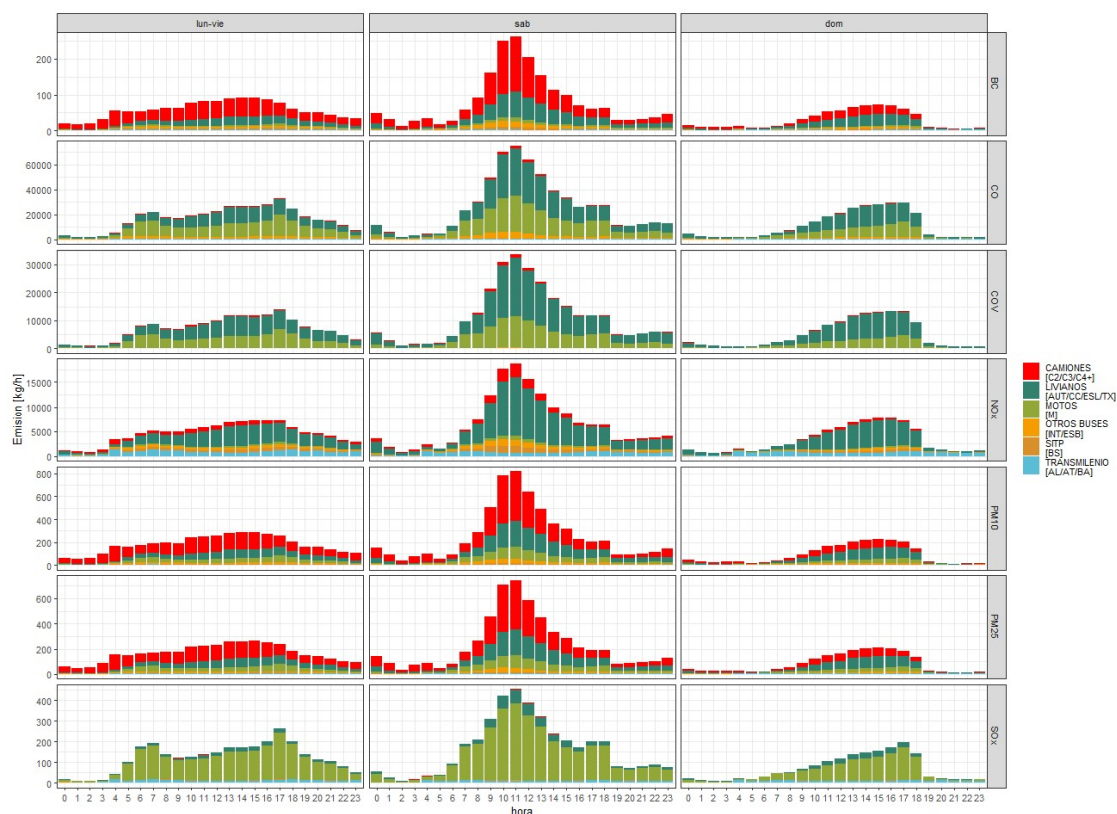
En los días hábiles (lun-vie), las emisiones de los contaminantes BC, $PM_{2.5}$ y PM_{10} , son generadas principalmente por vehículos de carga e inician su aumento desde las 2:00, incrementando gradualmente con menos intensidad hasta las 10:00. Estas emisiones permanecen casi constantes hasta las 15:00, hora en la cual empiezan a descender. Se destaca la presencia de picos de emisión en algunas horas del día, producto de la dinámica de los camiones en esas horas.

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 ve con claridad 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 es sostenido 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.

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, los camiones como mayores emisores de BC, PM_{10} y $PM_{2.5}$; Y para el NO_x , todas las categorías tienen un aporte significativo al comportamiento horario de este contaminante.



Fuente: Elaboración propia

Figura 59. Distribución horaria de emisiones generadas por las fuentes móviles por combustión del año 2022 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 Tabla 20 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 menores en las estimaciones del enfoque *Top-Down* en comparación al *Bottom-Up*. Para los contaminantes NO_x y CO, las diferencias no superan el 10% al comparar ambos enfoques metodológicos; en el caso del PM_{2.5}, PM₁₀ y VOC, se presentan diferencias que oscilan entre el 14 y el 17%, mientras que el SO_x es el contaminante más distante entre ambos enfoques metodológicos con un 57% de diferencia.

Las diferencias entre los enfoques metodológicos las dan principalmente los datos de actividad utilizados. Al comparar los resultados obtenidos por *Top-Down* se observa una tendencia general de valores menores en emisión en la gran mayoría de categorías vehiculares. Esto se relaciona a que el enfoque *Top-Down* utiliza datos de los vehículos registrados en la ciudad a diferencia del *Bottom-up* que usa conteos vehiculares, lo que sugiere que no se logra captar todo el parque vehicular que



transita ya que posiblemente una parte significativa no registra en la ciudad. Las categorías con menor diferencia corresponden a la categoría de automóviles y camiones de carga.

Además, es importante tener en cuenta 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. Esto aumenta la incertidumbre en la cantidad de vehículos estimada porque se asume el supuesto que todos los que hacen su revisión técnico-mecánica en un CDA de la ciudad y nos están registrados en el RDA, transitan habitualmente en la ciudad.

Por otro lado, la categoría de taxis tiene las mayores diferencias en donde hay un valor mayor de emisiones para inventario *Top-Down*. Esto se asocia a que los conteos vehiculares no tienen una desagregación para esta categoría, por lo que su estimación en el inventario bottom-up se realiza a partir de valores de proporcionalidad de la categoría de vehículos livianos.

Tabla 20. Comparación de emisiones de fuentes móviles en carretera del año 2022 estimadas enfoques Top-Down y Bottom-Up.

Categoría vehicular	PM10	PM2.5	NOx	CO	VOC	SOx
Automóvil	-27%	-27%	-27%	-27%	-27%	-27%
Campero y camioneta	-10%	-10%	-10%	-10%	-10%	-9%
Transporte de carga	-6%	-6%	188%	56%	46%	-29%
Motocicleta	-44%	-44%	127%	-28%	-29%	-62%
Otros	-48%	-48%	-35%	175%	137%	83%
SITP-Troncal	-74%	-74%	-74%	-76%	-73%	-81%
SITP-Zonal	4%	4%	4%	13%	10%	10%
Transporte especial	16%	16%	7%	83%	809%	227%
Taxis	1981%	1981%	2645%	1988%	1404%	1449%
Total	-14%	-14%	10%	-9%	-17%	-57%

Fuente: Elaboración propia

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

En cuanto al comportamiento de las emisiones durante los últimos años, esta sección presenta los resultados de las emisiones del año 2022 comparado con versiones ajustadas⁵ de los años 2018, 2020 y 2021, que fueron recalculadas para que los valores sean comparables y evidenciar las reducciones reales de emisiones, como se muestra a continuación:

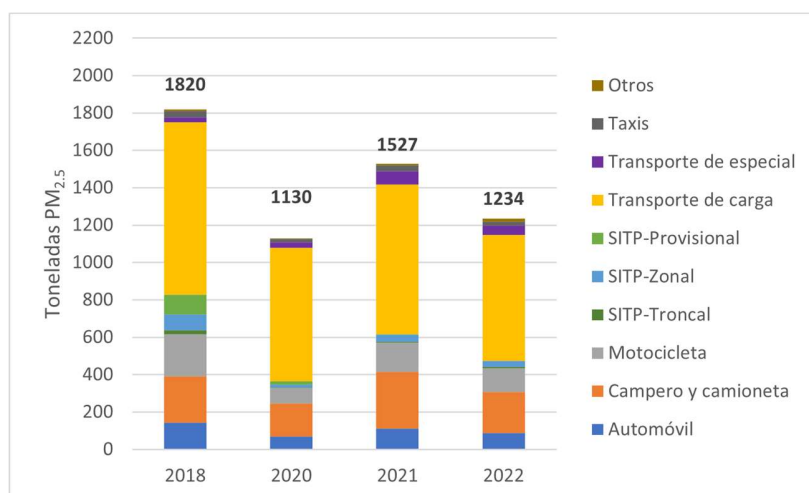
⁵ Entre los ajustes se encuentra: - El uso de los factores de expansión aplicados a la cantidad de vehículos para las categorías de motocicletas y transporte de carga, para considerar vehículos que transitan en Bogotá pero que su placa se encuentra registrada en municipios aledaños. - Uso de las mismas 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.

Tabla 21. Histórico de emisiones de PM_{2.5} y participación por categoría vehicular estimadas con metodología *Top-Down*.

Categoría	Emisiones de PM _{2.5} (t/año)				% de participación			
	2018	2020	2021	2022	2018	2020	2021	2022
Automóvil	143	69	111,7	88	8%	6%	7%	7%
Campero y camioneta	248	176	303,6	220	14%	16%	20%	18%
Motocicleta	226	82	154,6	126	12%	7%	10%	10%
SITP-Troncal	21	4	6,4	7	1%	0%	0%	1%
SITP-Zonal	83	16	37	31	5%	1%	2%	3%
SITP-Provisional	107	18	2,1	0	6%	2%	0%	0%
Transporte de carga	921	714	801,4	675	51%	63%	52%	55%
Transporte de especial e intermunicipal	38	35	79,6	65	3%	3%	5%	5%
Taxis	33	16	30,6	22	2%	1%	2%	2%
Total	1.820	1.130	1.527	1.235	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 21 y Figura 60 se presentan las emisiones estimadas con el enfoque *Top-Down*. Dado que esta metodología no refleja de forma significativa los efectos pandemia del año 2020, se utilizaron factores de corrección para el factor de actividad basada en la información de flujos vehiculares que se describen de forma detallada en el Anexo 1 en la A.2. y que permite evidenciar la reducción de emisiones durante este año.



Fuente: Elaboración propia

Figura 60. Emisiones de PM_{2.5} entre 2018, 2020, 2021 y 2022 de PM_{2.5} estimadas con enfoque *Top-Down*

En esta estimación se puede observar que las emisiones de PM_{2.5} se redujeron en un 19% entre el 2021 y 2022, pasando de emitir 1.527 a 1.235 toneladas, respectivamente; como se detallará en la sección 4.3.3, estas reducciones de emisiones están asociada a los cambios metodológicos en la captura de información requerida para las estimaciones de número de vehículos en la ciudad. En términos generales, los datos tienden a reducirse en todas las categorías; en el caso de automóvil, campero y camioneta, transporte especial y taxis, se reporta una reducción superior al 20% con respecto al año anterior. No obstante, es importante tener en cuenta que la disminución en las emisiones para el año 2022 respecto al 2021 pudo deberse a la metodología de captura de información explicada en la sección A.1 del Anexo 1. Lo anterior, ya que la cantidad de vehículos estimados depende del número de vehículos que hacen su revisión tecno-mecánica en un CDA de la

ciudad y algunos de esos vehículos no están registrados en el RDA, por lo cual estos se asumen que transitan en la ciudad.

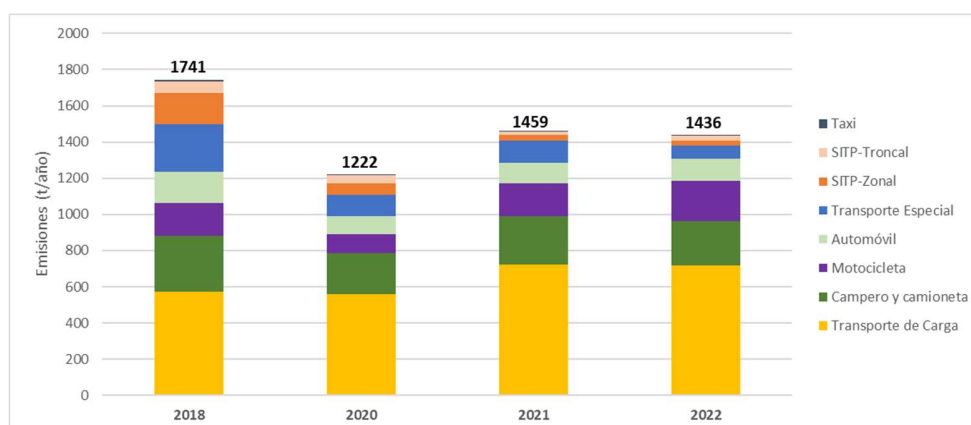
En cuanto a las categorías de motocicleta, SITP-Zonal y transporte de carga, se reportan reducciones entre el 16 y 18%, mientras que SITP-Provisional se reduce al 100% ya que, para el 11 de diciembre de 2021 se retiraron en su totalidad las rutas que cubrían esta tipología vehicular por lo que esta categoría ha desaparecido en el 2022. En la Figura 37 se esquematiza el consolidado de las emisiones de PM_{2.5} para cada una de las categorías estudiadas en los años 2018, 2020, 2021 y 2022, como se presenta a continuación.

La Tabla 22 y la Figura 61 presentan las estimaciones de emisiones de PM_{2.5} realizadas con un enfoque *Bottom-Up*, que refleja la reducción de emisiones de año 2020, debido a la reducción de flujos vehiculares 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), por otro lado, se destaca la reducción de las emisiones en el componente de SITP Zonal y Troncal, y las emisiones de automóviles, motocicletas, camperos y camionetas, que, en su conjunto, oscilan entre 430 y 660 t/año.

Tabla 22. Emisiones de PM_{2.5} y participación por categoría vehicular estimadas con metodología *Bottom-Up*

Categorías	Emisiones de PM _{2.5} (t/año)				% de participación			
	2018	2020	2021	2022	2018	2020	2021	2022
Transporte de Carga	575	561	724	718	33.5%	46.3%	50.1%	50.6%
Campero y camioneta	306	227	268	243	17.8%	18.7%	18.5%	17.1%
Motocicleta	181	102	180	224	9.8%	7.8%	11.6%	14.6%
Automóvil	173	101	113	120	10.1%	8.3%	7.8%	8.5%
Transporte Especial	264	119	122	72	15.1%	9.8%	8.5%	5.1%
SITP-Zonal	172	62	30	30	9.8%	5.0%	2.1%	2.1%
SITP-Troncal	62	45	18	26	3.6%	3.7%	1.2%	1.9%
Taxi	7	4	4	1	0.4%	0.3%	0.3%	0.1%
Total	1.741	1.222	1.459	1.436	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

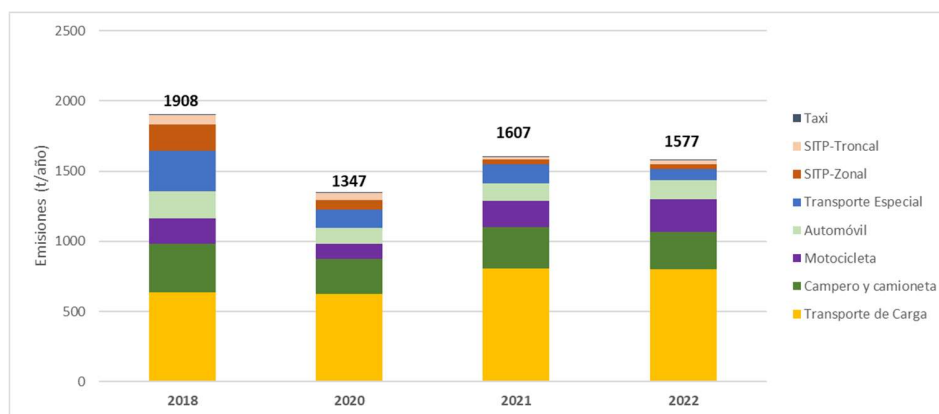
Figura 61. Emisiones de 2018, 2020, 2021 y 2022 de PM_{2.5} estimadas con enfoque *Bottom-Up*

Para el caso del PM₁₀ y BC, (ver Tabla 23, Tabla 24, Figura 62 y Figura 63), las emisiones de estos contaminantes tienen un comportamiento similar al PM_{2.5}, en donde el transporte de carga y los camperos y camionetas representan aproximadamente el 65% de las emisiones de PM₁₀ y alrededor del 70% de las emisiones de BC para el 2022.

Tabla 23. Emisiones de PM₁₀ y participación por categoría vehicular estimadas con metodología Bottom-Up

Categoría	Emisiones de PM ₁₀ (t/año)				% de participación			
	2018	2020	2021	2022	2018	2020	2021	2022
Transporte de Carga	639	623	804	798	33.0%	45.9%	49.6%	50.0%
Campero y camioneta	340	252	298	270	17.6%	18.6%	18.4%	16.9%
Motocicleta	187	105	186	231	10.4%	8.4%	12.4%	15.6%
Automóvil	192	112	125	134	9.9%	8.2%	7.7%	8.4%
Transporte Especial	288	132	136	80	15.2%	9.8%	8.4%	5.0%
SITP-Zonal	187	68	33	33	9.9%	5.1%	2.1%	2.1%
SITP-Troncal	68	49	19	29	3.6%	3.7%	1.2%	1.8%
Taxi	8	5	5	1	0.4%	0.3%	0.3%	0.1%
Total	1.908	1.347	1.607	1.577	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia



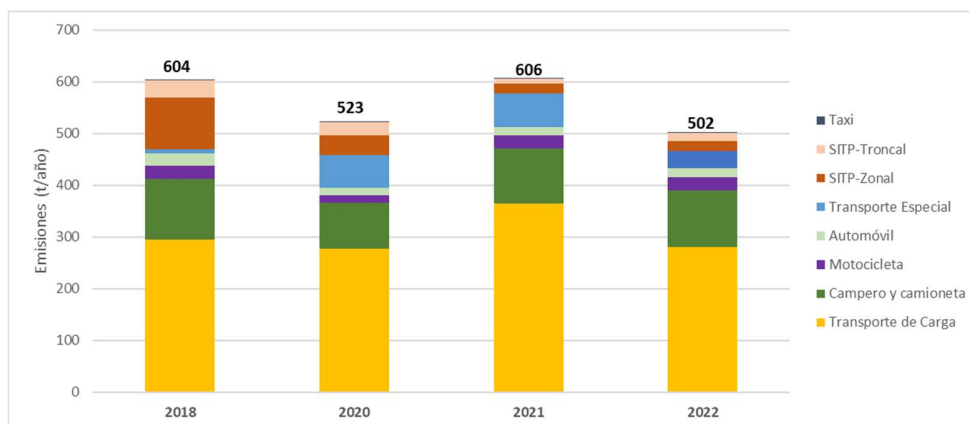
Elaboración propia

Figura 62. Emisiones de 2018, 2020, 2021 y 2022 de PM₁₀ estimadas con enfoque Bottom-Up

Tabla 24. Emisiones de BC y participación por categoría vehicular estimadas con metodología Bottom-Up

Categoría	Emisiones de PM _{2.5} (t/año)				% de participación			
	2018	2020	2021	2022	2018	2020	2021	2022
Transporte de Carga	294	276	364	280	48.7%	52.9%	60.1%	55.9%
Campero y camioneta	118	90	107	110	19.5%	17.2%	17.7%	22.0%
Motocicleta	25	14	25	25	4.2%	2.7%	4.2%	4.9%
Automóvil	24	15	17	18	3.9%	2.8%	2.7%	3.5%
Transporte Especial	8	63	65	33	1.3%	12.1%	10.7%	6.5%
SITP-Zonal	101	37	18	20	16.7%	7.1%	2.9%	4.0%
SITP-Troncal	34	27	10	16	5.6%	5.1%	1.6%	3.2%
Taxi	1	0	1	0	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%
Total	604	523	606	502	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

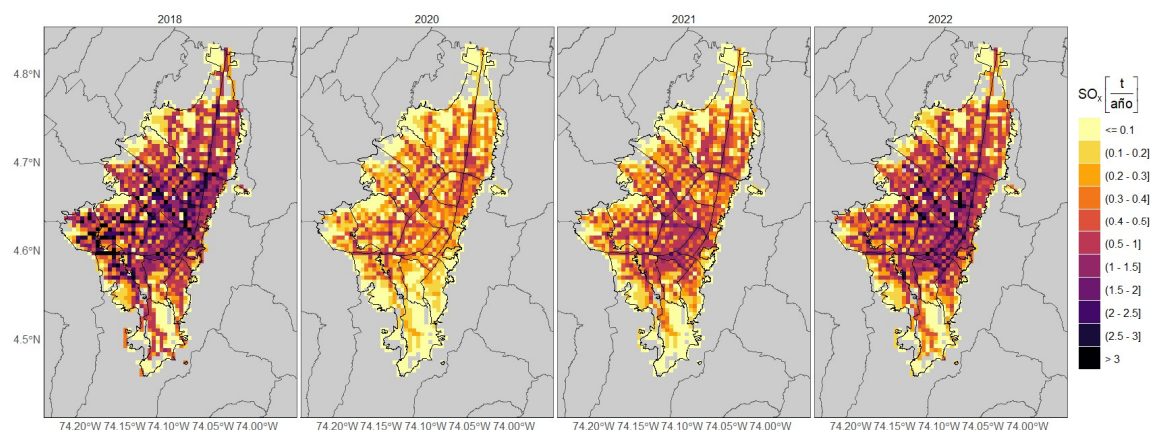


Fuente: Elaboración propia

Figura 63. Emisiones de 2018, 2020, 2021 y 2022 de BC estimadas con enfoque *Bottom-Up*

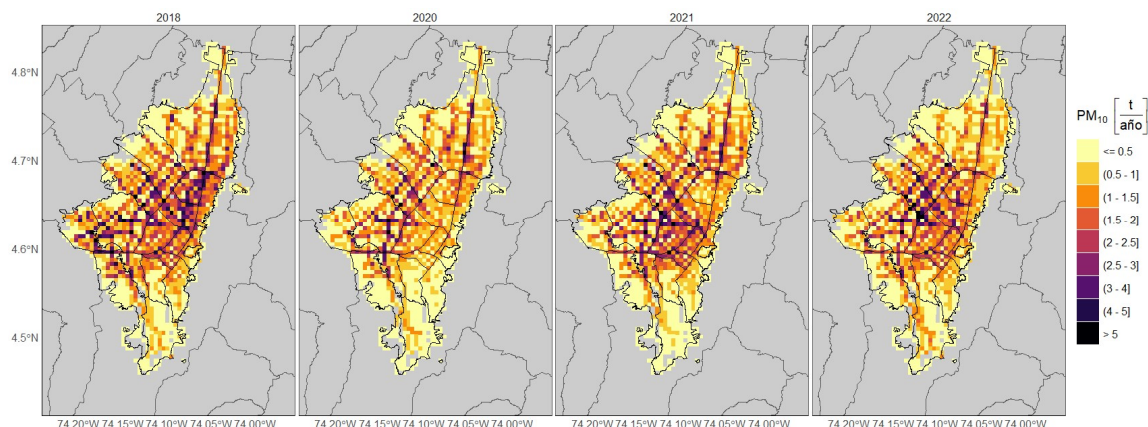
Ambas metodologías presentan diferencias en proporciones distintas por categoría vehicular (como se presentó en la sección 4.3.). Sin embargo, refleja tendencias similares, como la mayoritaria participación en emisiones de $PM_{2.5}$ por parte de los vehículos de carga. De la misma forma, se destaca la participación de categorías como camperos y camionetas, motocicletas y automóviles, categorías con la mayor cantidad de vehículos en la ciudad. Finalmente, se destaca que en ambos enfoques *Top-Down* y *Bottom-Up* se presenta una reducción de las emisiones en 2022 en un 26% y 22% respectivamente, esto con respecto a 2018.

En cuanto a la variación de la distribución espacial de las emisiones, estas se presentan en mapas para cada contaminante criterio desde la Figura 64 a la Figura 70. En general las mayores emisiones se presentan en las principales vías de la ciudad. Para todos los contaminantes se sigue la tendencia que entre el año 2018 a 2020 las emisiones se reducen drásticamente y en 2021 aumenta y para el 2022 se observa una mayor emisión de material particulado principalmente en la zona industrial (Av Calle 13 con Av. Carrera 68). Como se ha mencionado en varias ocasiones en este documento, la disminución de las emisiones para el año 2020 es reflejo del efecto de la pandemia que tuvo mayores restricciones en este año.



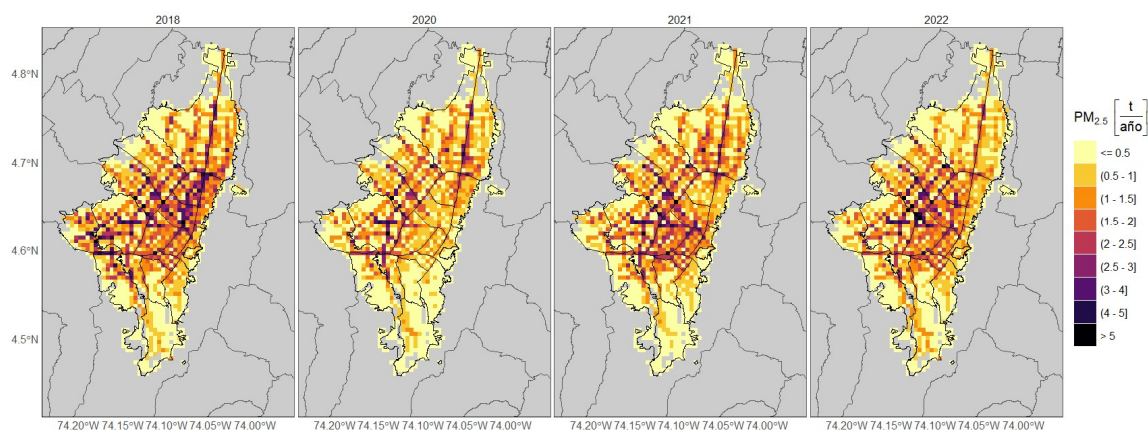
Elaboración propia

Figura 64. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para SO_x en los años 2018, 2020, 2021 y 2022.



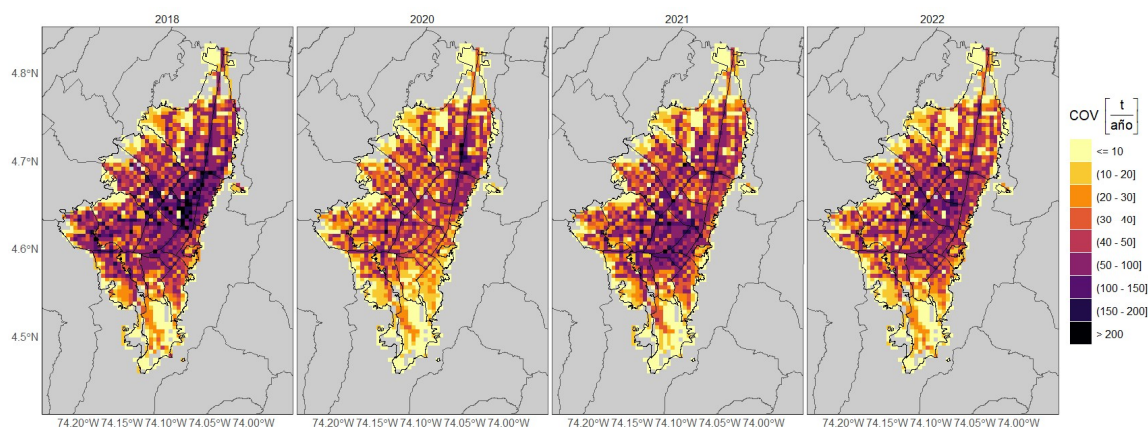
Fuente: Elaboración propia

Figura 65. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para PM₁₀ en los años 2018, 2020, 2021 y 2022.



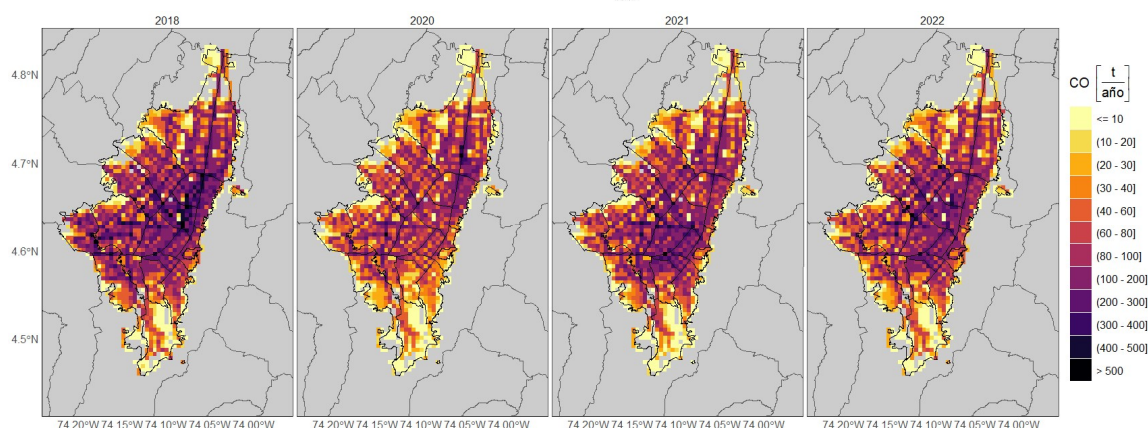
Fuente: Elaboración propia

Figura 66. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para PM_{2.5} en los años 2018, 2020, 2021 y 2022.



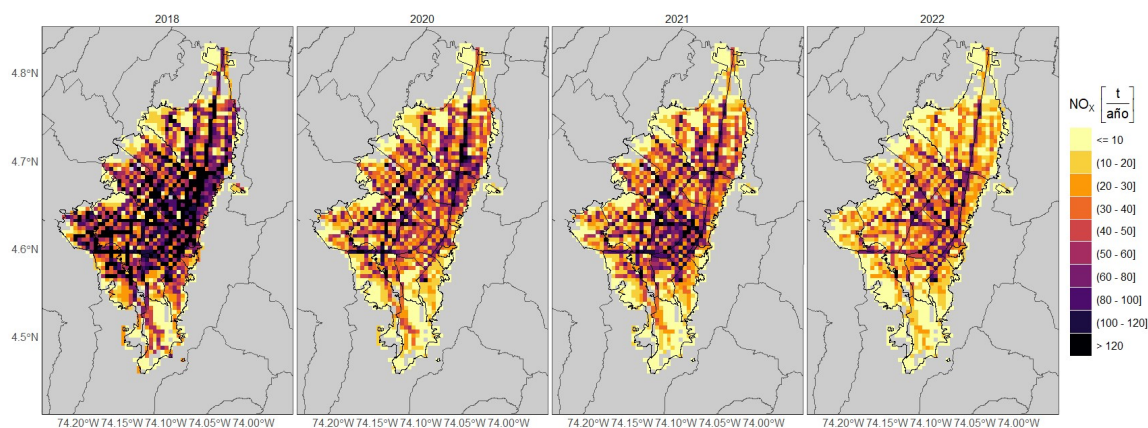
Fuente: Elaboración propia

Figura 67. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para COV en los años 2018, 2020, 2021 y 2022.



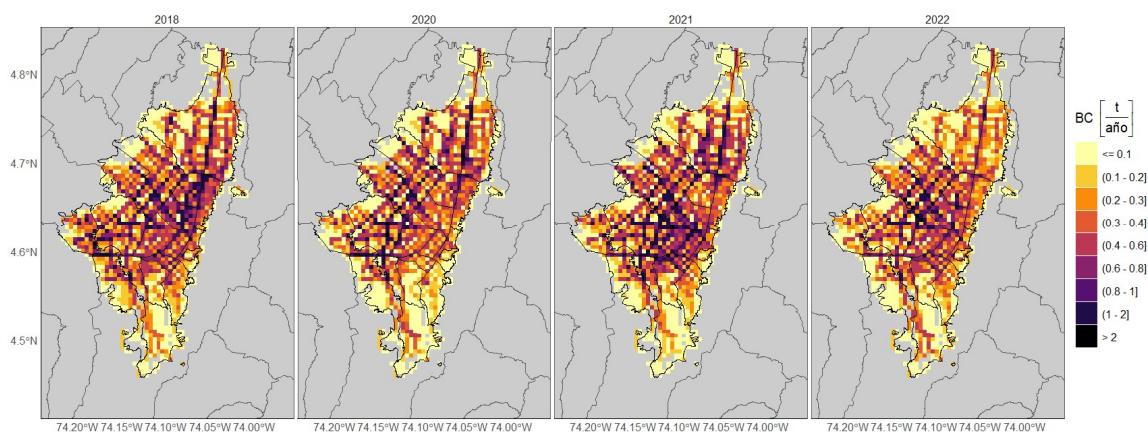
Fuente: Elaboración propia

Figura 68. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para CO en los años 2018, 2020, 2021 y 2022.



Fuente: Elaboración propia

Figura 69. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para NO_x en los años 2018, 2020, 2021 y 2022.



Fuente: Elaboración propia

Figura 70. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para BC en los años 2020, 2021 y 2022.



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

Las emisiones estimadas de maquinaria amarilla estimadas para el año 2018 con enfoque *Top-down* han sido divididas en tres rubros o sectores, los cuales son construcción, industrial y agrícola, emisiones que pueden encontrarse en la Tabla 25.

Tabla 25. Resultados de emisiones de maquinaria amarilla en el 2018 por sector para Bogotá

Rubro	PM ₁₀	PM _{2.5}	NO _x	CO	COV	BC	SO ₂
Agrícola	0,1	0,1	1,8	1,1	0,2	0,1	0,01
Construcción	357,1	346,3	4.047	2.264	424,2	226,4	11,8
Industrial	86,6	84	1.333	554	102,4	57,1	3,9
Total	443,8	430,40	5.382,1	2.819	526,8	283,6	15,71

Fuente: Adaptado de Ministerio de Minas y Energía y otros (2022)

Los resultados de las emisiones han mostrado para el año 2018 una participación mayoritaria del sector de la construcción en el uso de la maquinaria amarilla, donde, por ejemplo, para PM_{2.5} tiene una participación del 80% de las emisiones.

Dada la metodología de estimación de emisiones, no es posible a la fecha estimar una evolución histórica de estas emisiones y se asume para los años 2020, 2021 y 2022 que estos valores han permanecidos constantes en el tiempo, hasta que se cuente con información suficiente poder reconstruir la serie temporal de emisiones de este tipo de fuentes.



4.5. 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 e Incendios forestales), cuyos valores se condensan en la Tabla 26. Estas estimaciones fueron realizadas con año base 2014 y para propósitos del inventario se han supuesto constantes entre los años 2018 y 2022.

Tabla 26. Resultados de emisiones para otras fuentes de combustión en Bogotá

<i>Fuente de Emisión</i>		<i>Metodología</i>	<i>Años del inventario</i>	<i>Emisiones (t/año)</i>						
				<i>PM₁₀</i>	<i>PM_{2.5}</i>	<i>NO_x</i>	<i>SO₂</i>	<i>CO</i>	<i>COV</i>	<i>BC</i>
FUENTES FIJAS	Comerciales	Bottom-Up	2014	130,0	68,0	67,0	190,0	2529,0	105,0	NE
FUENTES NATURALES Y FORESTALES	Incendios Forestales	Bottom-Up	2014	61,0	55,0	14,0	NE	500,0	NE	NE

NE: No estimado

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

5. INVENTARIO DE EMISIONES POR MANIPULACIÓN Y RESUSPENSIÓN DE MATERIALES

Las emisiones por manipulación de materiales hacen referencia a aquellas emisiones que son generadas por los procesos mecánicos asociados al tratamiento de materiales sólidos, ya sea arrastre, excavación, cargue y descargue, trituración, entre otros. Por otro lado, la resuspensión de material está asociado a las acciones mecánicas que levantan el material particulado depositado en una superficie, ya sea una vía, una pila de almacenamiento de materiales sólidos o un terreno destapado, dentro de las acciones mecánicas que generan la resuspensión de material particulado las más comunes son la erosión del viento y el tránsito de vehículos en las vías.

En Bogotá se encuentran identificadas como fuentes por manipulación y resuspensión de materiales las enlistadas en la siguiente tabla, 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 27. Fuentes por manipulación y resuspensión de materiales en la ciudad de Bogotá para el año 2022

<i>Fuente de Combustión</i>	<i>Año de actualización</i>	<i>Observaciones</i>
Resuspensión de Material Particulado por tránsito en vías	2022	Se actualiza emisión en este documento
Resuspensión de Material Particulado por desgaste de frenos y llantas	2022	Se actualiza emisión en este documento
Resuspensión de Material particulado por erosión eólica	Información No disponible	La información requerida para la estimación de este tipo de fuentes se encuentra en estado de exploración
Manipulación de Materiales en construcciones	2022	Se actualiza emisión en este documento
Manipulación de Materiales en Canteras	2022	Se actualiza emisión en este documento
Manipulación de materiales en procesos industriales	Información No disponible	La información requerida para la estimación de este tipo de fuentes se encuentra en estado de exploración
Manipulación de Materiales en procesos agrícolas	2014	Estimación tomada de Universidad de la Salle, SDA y Ecopetrol (2018).

Fuente: Elaboración propia

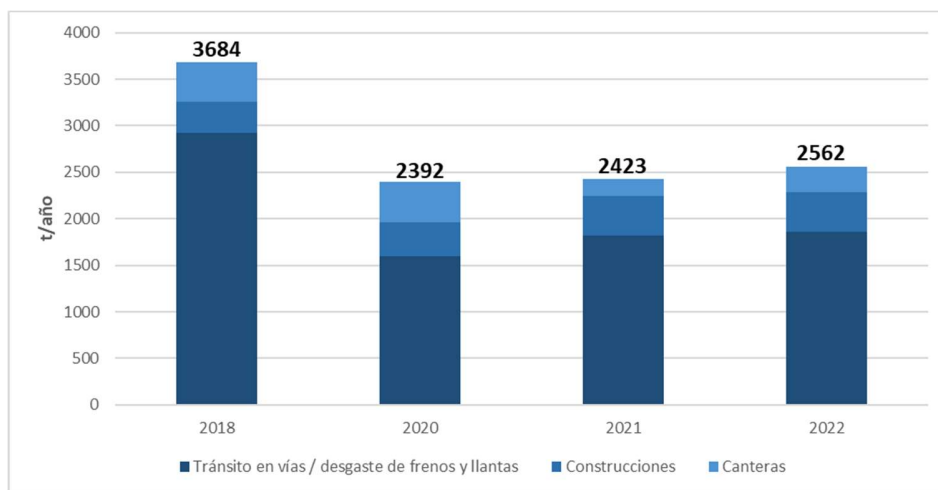
A lo largo de este capítulo se detallarán las emisiones de las fuentes de emisión por combustión, sin embargo, en esta parte introductoria, en la Tabla 28 se resumen las emisiones por combustión históricas para PM_{2.5}. Dentro del comportamiento histórico se destaca la reducción de las emisiones asociadas a las operaciones en las canteras, el aumento de las emisiones generadas por las construcciones, y la tendencia al crecimiento de las emisiones por la resuspensión de material particulado por el tránsito en las vías.

Tabla 28. Histórico de emisiones por manipulación y resuspensión de materiales en la ciudad de Bogotá para PM_{2.5}

<i>Tipo de Fuente</i>	<i>Fuente de Emisión</i>	<i>Emisiones (t/año)</i>			
		<i>2018</i>	<i>2020</i>	<i>2021</i>	<i>2022</i>
Resuspensión y Manipulación de Materiales	Desgaste de Frenos y Llantas	146	84	95	99
	Tránsito en vías pavimentadas	460	277	311	320
	Tránsito en vías no pavimentadas	2.316	1.232	1.418	1.446
	Canteras	431	431	173	281
	Construcciones	331	369	426	416
	Resuspensión en terrenos agrícolas	0	0	0	0
Total Manipulación y Resuspensión de materiales		3.684	2.392	2.423	2.562

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 71 se puede observar la tendencia del histórico de las emisiones por manipulación y resuspensión de materiales para $PM_{2.5}$ y de ella se destaca el aumento generalizado de las emisiones de las emisiones asociadas a la manipulación de materiales en las construcciones y la modulación de las emisiones por la actividad de los vehículos sobre las vías. Para el año 2020 se estimaron menores emisiones producto de la reducción de emisiones por el COVID19.

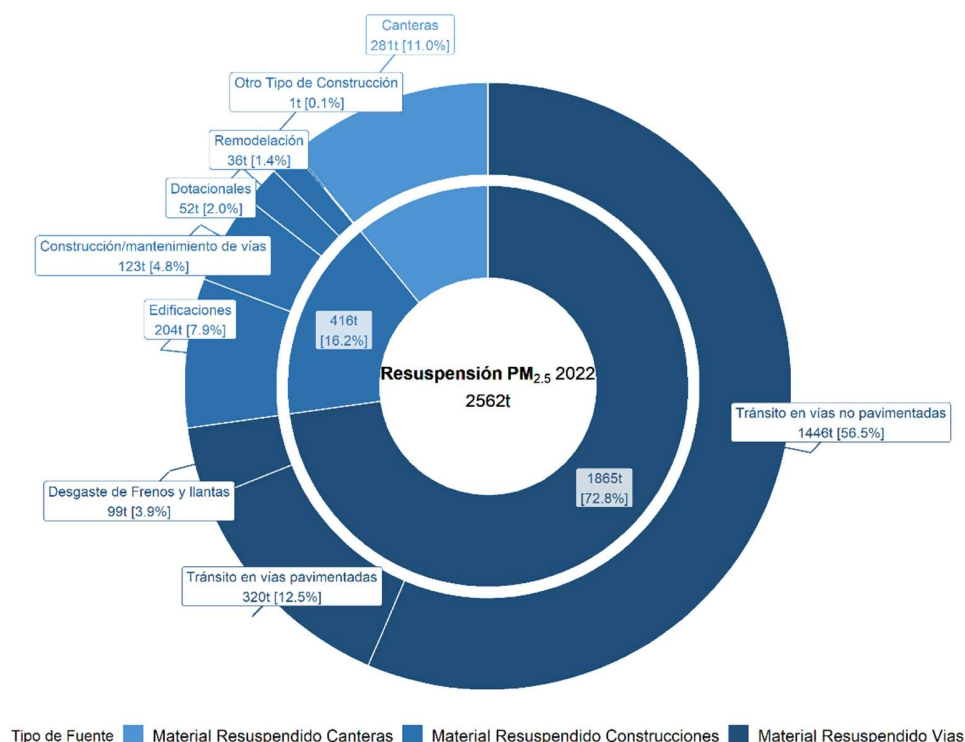


Fuente: Elaboración propia

Figura 71. Histórico de emisiones por resuspensión y manipulación de material para $PM_{2.5}$, por tipo de fuente.

En la Figura 72 se encuentra la participación porcentual de las fuentes por resuspensión y manipulación de materiales para el año 2022, y en esta gráfica se detalla la participación mayoritaria del tránsito en vías no pavimentadas, que aportan 57%, y las canteras, construcción de edificaciones y tránsito en vías pavimentadas aportan cada una entre 8% y 11%.

Finalmente, en la Tabla 29 se presenta el inventario consolidado de emisiones por manipulación y resuspensión de materiales para la ciudad, para cada uno de los contaminantes y representativo para el año 2022. Al comparar las magnitudes de cada uno de los contaminantes destacan el tránsito en vías no pavimentadas, quienes aportan mayoritariamente en las emisiones de todos los contaminantes, excepto para BC, en donde el desgaste de frenos y llantas tiene un aporte significativo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 72. Participación porcentual en emisiones de PM_{2.5} por resuspensión y manipulación de materiales, por tipo de fuente.

Tabla 29. Inventario Consolidado de emisiones por resuspensión y manipulación de materiales para la ciudad, representativo para el año 2022

Fuente de Emisión		Metodología	Años del inventario	Emisiones (t/año) ^a		
				PM ₁₀	PM _{2.5}	BC
RESUSPENDIDO	Desgaste de frenos y llantas	Bottom-Up	2022	755,5	99,0	7,9
	Vías pavimentadas	Bottom-Up	2022	1.321,6	319,7	3,3
	Vías no pavimentadas	Bottom-Up	2022	14.462,1	1.446,2	1,4
	Rehabilitación de vías	Bottom-Up	2022	399,4	122,9	NE
	Terrenos Agrícolas	Bottom-Up	2012	5,0	NE	NE
	Canteras	Bottom-Up	2022	617,3	280,7	NE
	Construcciones de edificaciones	Bottom-Up	2022	952,9	293,2	NE
TOTAL				18.513,8	2.561,7	12,7

a. NA: No Aplica, NE: No estimado

Fuente: Elaboración propia

5.1. Inventario de emisiones de material resuspendido proveniente de las 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. El detalle metodológico ha sido cambiado para este inventario, y dicha modificación, en conjunto con las fuentes de información requerida 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 30 se presenta las emisiones por vías pavimentadas y no pavimentadas de la ciudad, en donde las vías no pavimentadas tienen una participación de 92%, 84% y 56% de las emisiones de PM_{10} , $PM_{2.5}$ 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 30. Inventario de emisiones de material particulado resuspendido en vías por estado de la malla vial

Tipo de vía	Emisiones por resuspensión en vías (t/año)			% de Participación		
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	BC	PM_{10}	$PM_{2.5}$	BC
Principal [Pavimentada]	1.040,27	251,68	2,62	7%	14%	55%
Secundaria [No Pavimentada]	14.462,09	1.446,21	1,41	92%	82%	30%
Secundaria [Pavimentada]	281,34	68,07	0,71	2%	4%	15%
Total	15.783,70	1.765,95	4,74	100%	100%	100%

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 31 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 13 y en la Figura 14. 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 0.3%).

Tabla 31. Inventario de emisiones de material particulado resuspendido en vías por categoría vehicular

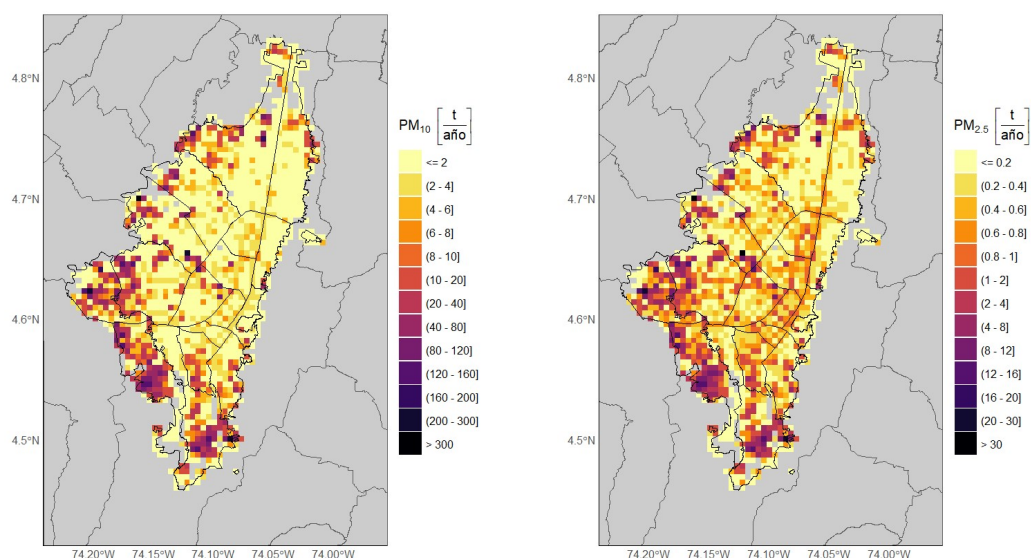
Categoría vehicular	Emisiones (t/año)		
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	BC
Automóvil	7.234,6	774,9	0,7
Campero y camioneta	3.938,7	430,4	1,0
Motocicleta	2.735,9	279,7	0,4
Transporte de Carga	672,2	105,6	1,6
SITP-Zonal	493,7	57,2	0,2
Taxi	330,1	58,5	0,2
SITP-Troncal	242,0	35,4	0,6
Transporte Especial	136,4	24,3	0,1
Total	15.783,7	1.766,0	4,7

Fuente: Elaboración propia

Desagregación espacial de emisiones

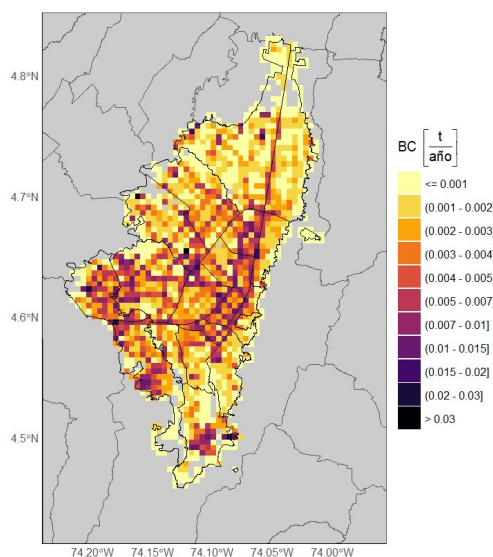
La distribución espacial de las emisiones de material resuspendido de las vías se presenta en los mapas de la Figura 73 en donde se observa una concentración de emisiones en la zona sur y sur

occidente de la ciudad. Lo anterior se evidencia en el análisis de participación por localidad de la Figura 75 a Figura 77, en donde Ciudad Bolívar, Suba, Kennedy, Fontibón y Usme, son las cinco localidades de mayor emisión. 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 15) y cruzan 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.



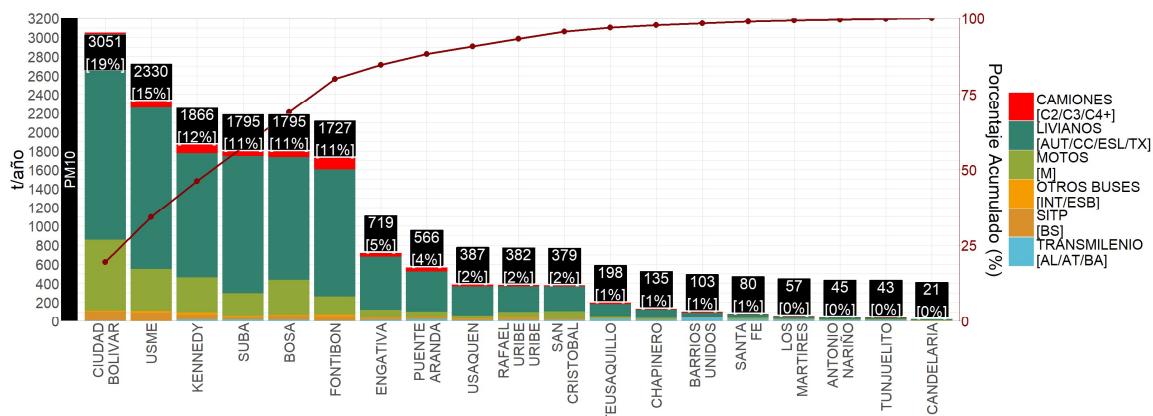
Fuente: Elaboración propia

Figura 73. Distribución espacial de las emisiones de PM₁₀ (izquierda) y PM_{2.5} (derecha) por resuspensión de material particulado en vías.



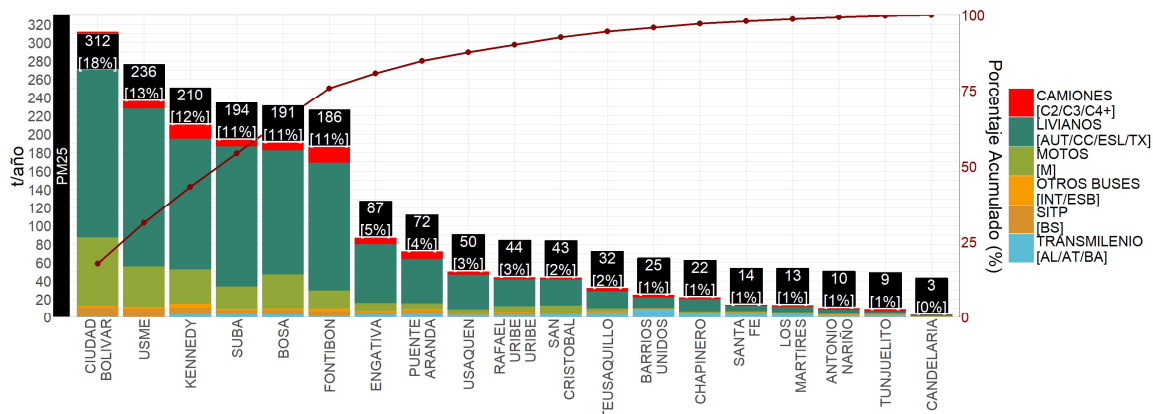
Fuente: Elaboración propia

Figura 74. Distribución espacial de las emisiones de BC por resuspensión de material particulado en vías.



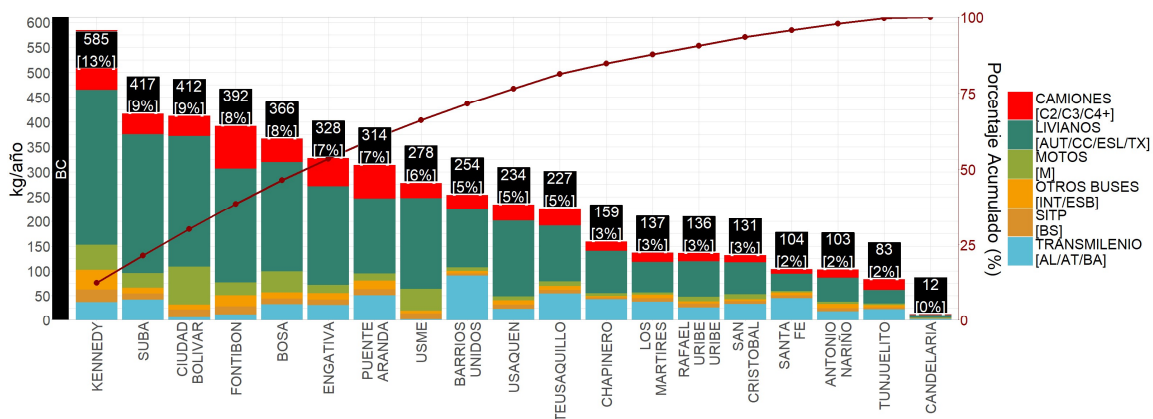
Fuente: Elaboración propia

Figura 75. Participación por localidad de las emisiones de PM₁₀ para resuspensión de material particulado en vía



Fuente: Elaboración propia

Figura 76. Participación por localidad de las emisiones de PM_{2.5} para resuspensión de material particulado en vía



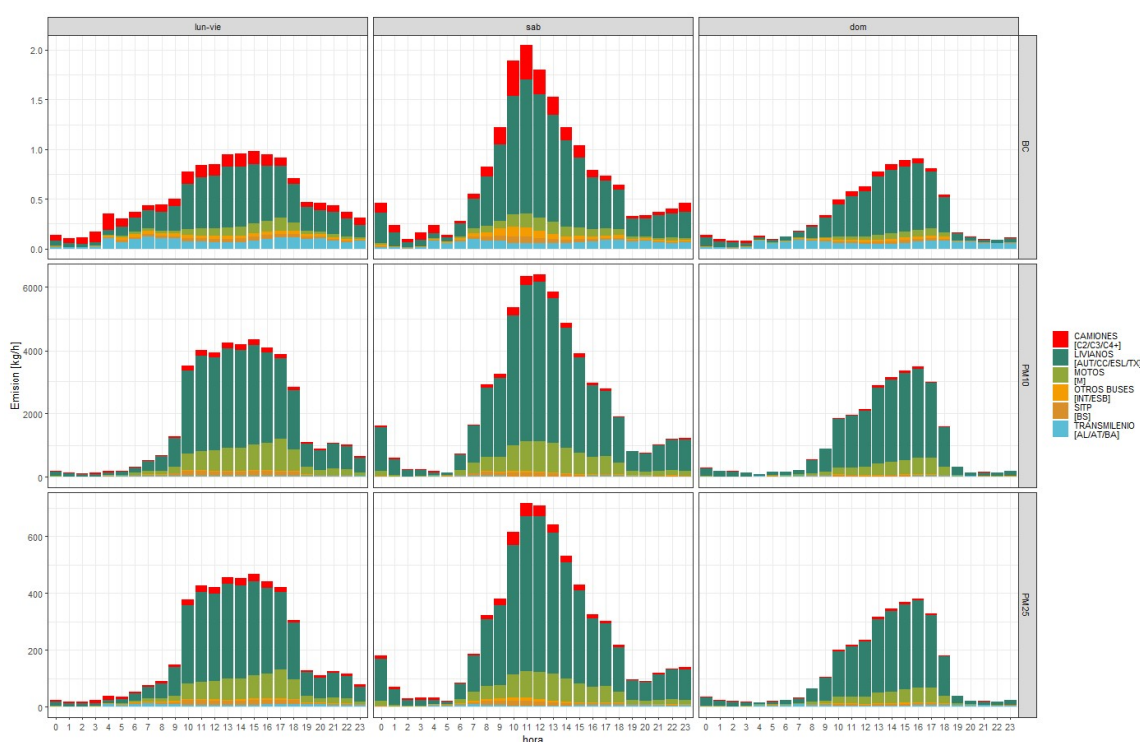
Fuente: Elaboración propia

Figura 77. 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 (Figura 78) 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 78. 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

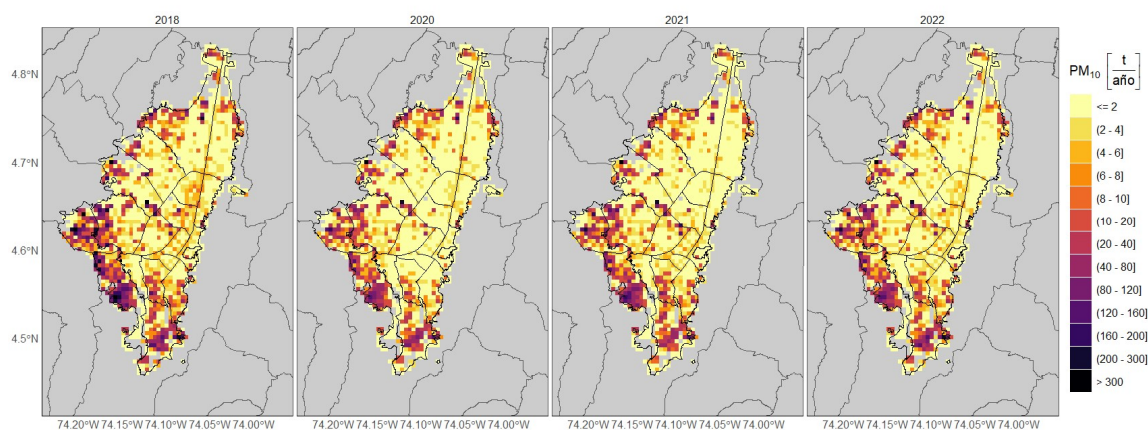
Los resultados generales por tipo de vía se presentan en la Tabla 32, en donde se observa un leve repunte de emisiones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ comparados con el año 2018, debido a que para el 2022 ya se cuenta con una condición similar de tráfico comparado con el año 2018, luego del cambio del dinamismo de la ciudad producto del COVID19 en los años 2020 y 2021.

Tabla 32. Emisiones de material resuspendido en vías para los años 2018, 2020, 2021 y 2022.

Tipo de vía	Año	Emisiones por resuspensión en vías (t/año)		
		PM ₁₀	PM _{2.5}	BC
Principal [Pavimentada]	2018	1.421,5	343,9	3,6
	2020	899,4	217,6	2,3
	2021	1.000,2	242,0	2,5
	2022	1.040,3	251,7	2,6
Secundaria [No Pavimentada]	2018	23.157,9	2.315,8	2,3
	2020	12.315,3	1.231,5	1,2
	2021	14.178,4	1.417,8	1,4
	2022	14.462,1	1.446,2	1,4
Secundaria [Pavimentada]	2018	479,4	116,0	1,2
	2020	245,7	59,5	0,6
	2021	284,7	68,9	0,7
	2022	281,3	68,1	0,7
Total	2018	25.058,9	2.775,7	7,0
	2020	13.460,4	1.508,6	4,1
	2021	15.463,2	1.728,7	4,6
	2022	15.783,7	1.766,0	4,7

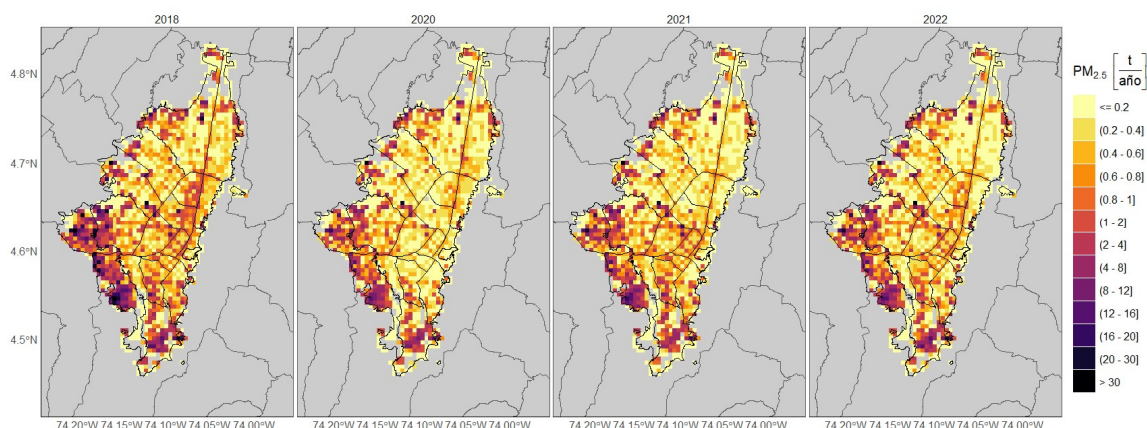
Elaboración propia

En cuanto a la distribución espacial de las emisiones (Figura 79 a Figura 81), la persistencia de concentración de emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5} se presenta en la zona sur y sur occidente de la ciudad en donde se encuentran el mayor porcentaje de vías sin pavimentar, como se explicó en la sección 3.4, mientras que el comportamiento de BC está distribuido equitativamente entre las vías principales y las vías secundarias no pavimentadas.



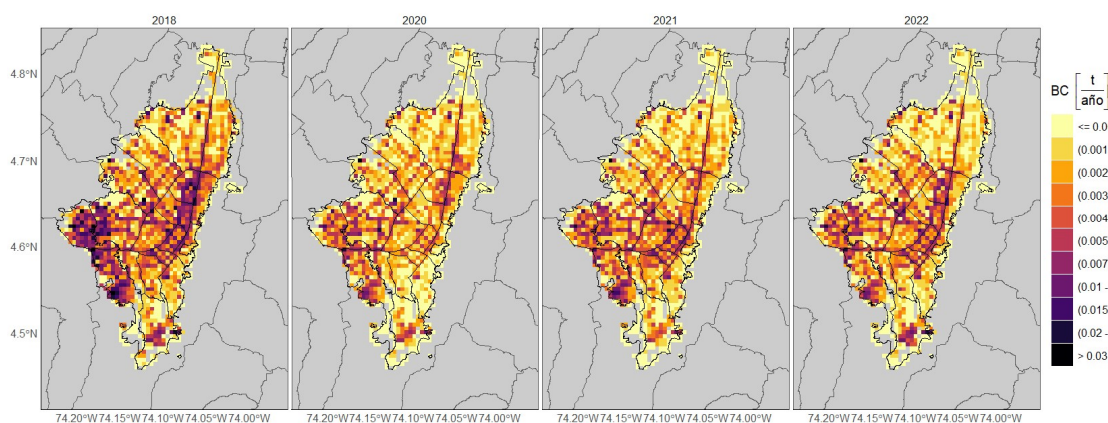
Fuente: Elaboración propia

Figura 79. Histórico de emisiones de PM₁₀ por material resuspendido en vías



Fuente: Elaboración propia

Figura 80. Histórico de emisiones de PM_{2.5} por material resuspendido en vías



Fuente: Elaboración propia

Figura 81. Histórico de emisiones de BC por material resuspendido en vías

5.2. 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.

5.2.1. Inventario de emisiones Bottom-up

En la Tabla 33 se presentan las emisiones generadas por el desgaste de frenos y llantas clasificadas por categorías vehiculares, en donde los vehículos de mayor aporte a esta emisión son los automóviles, motocicletas, camperos y camionetas. 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 3.3.2). 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.

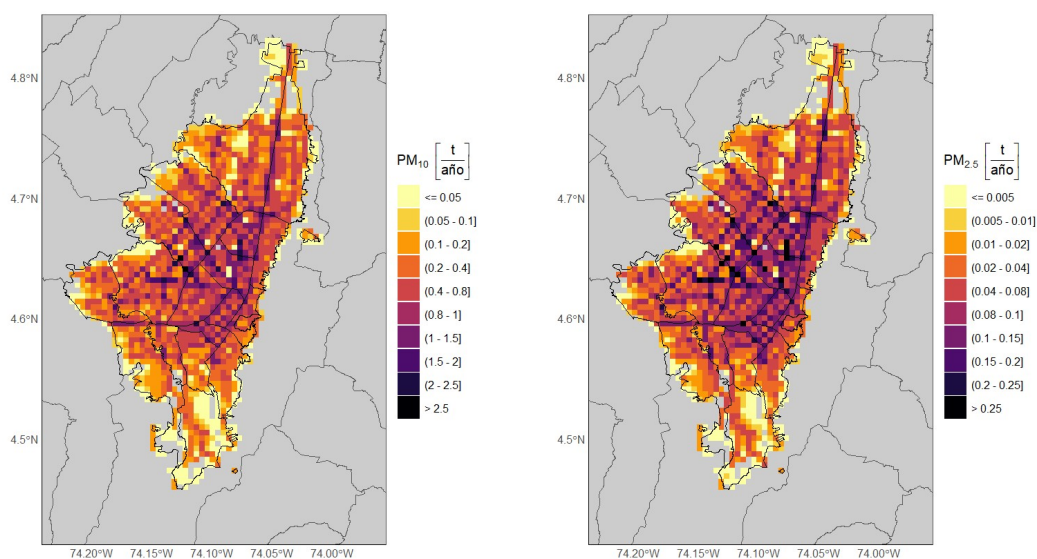
Tabla 33. Emisiones por desgaste de frenos y llantas para el año 2022 por categoría vehicular

Categoría vehicular	Emisiones [t/año]			% de Participación		
	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC
Automóvil	297,7	39,4	3,4	39%	40%	43%
Campero y camioneta	149,7	19,8	1,7	20%	20%	22%
Motocicleta	109,9	14,2	1,1	15%	14%	14%
Transporte de Carga	61,6	8,0	0,6	8%	8%	7%
SITP-Zonal	33,8	4,3	0,2	4%	4%	3%
Taxi	52,3	1,8	0,2	7%	2%	2%
SITP-Troncal	13,6	6,7	0,4	2%	7%	5%
Transporte Especial	37,0	4,8	0,3	5%	5%	4%
Total	755,5	99,0	7,9	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

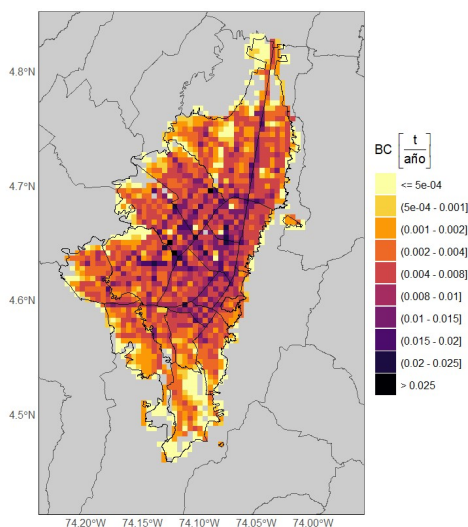
Desagregación espacial para emisiones por desgaste de frenos y llantas

En las Figura 82 y Figura 83, 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 combustión generadas por 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 centro de la ciudad. Lo anterior se corrobora en las Figura 84 a Figura 86, en donde Kennedy lidera con un aporte del 10% de las emisiones por localidad, seguida de las localidades de Suba, Fontibón, Usaquén y Engativá.



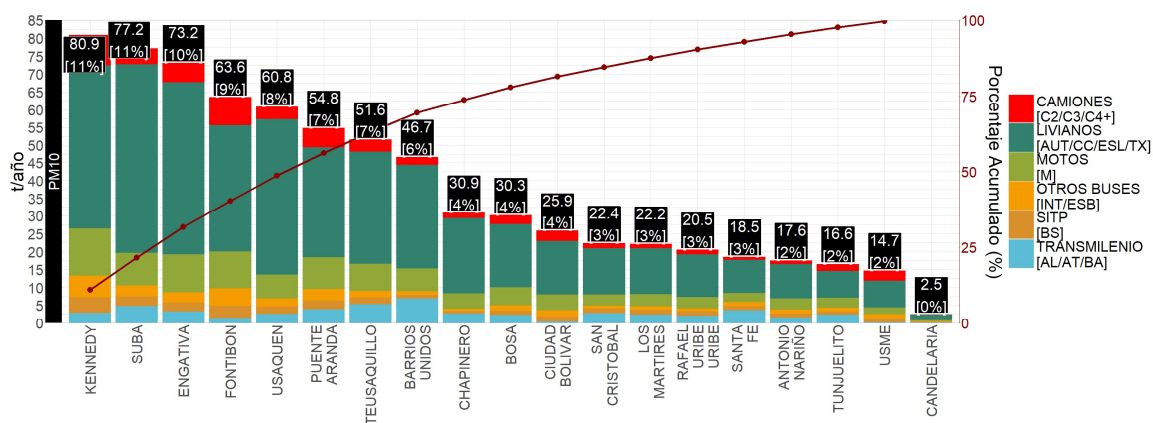
Fuente: Elaboración propia

Figura 82. Distribución espacial de las emisiones PM₁₀ (izquierda) y PM_{2.5} (derecha) generadas por desgaste de frenos y llantas.



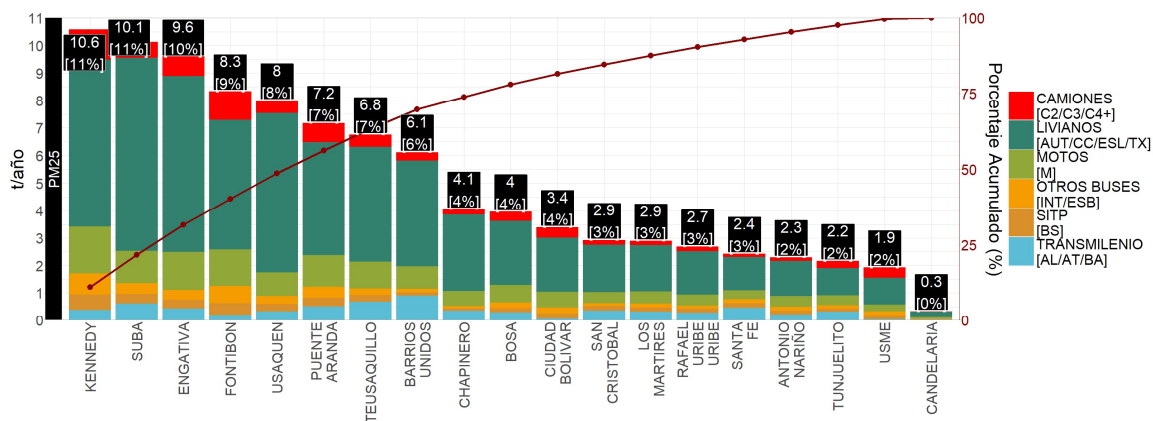
Fuente: Elaboración propia

Figura 83. Distribución espacial de las emisiones de BC generadas por desgaste de frenos y llantas.



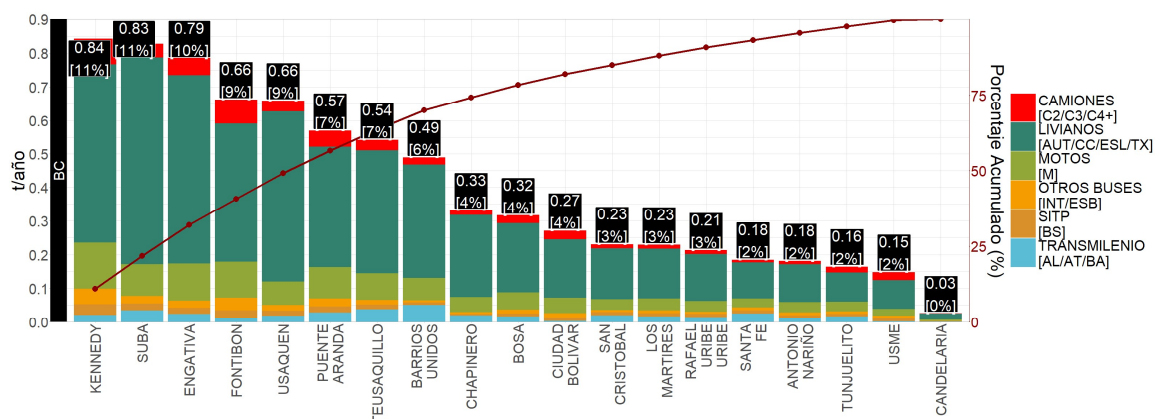
Fuente: Elaboración propia

Figura 84. Participación por localidad de las emisiones de PM₁₀ generas por desgaste de frenos y llantas



Fuente: Elaboración propia

Figura 85. Participación por localidad de las emisiones de PM_{2.5} generas por desgaste de frenos y llantas

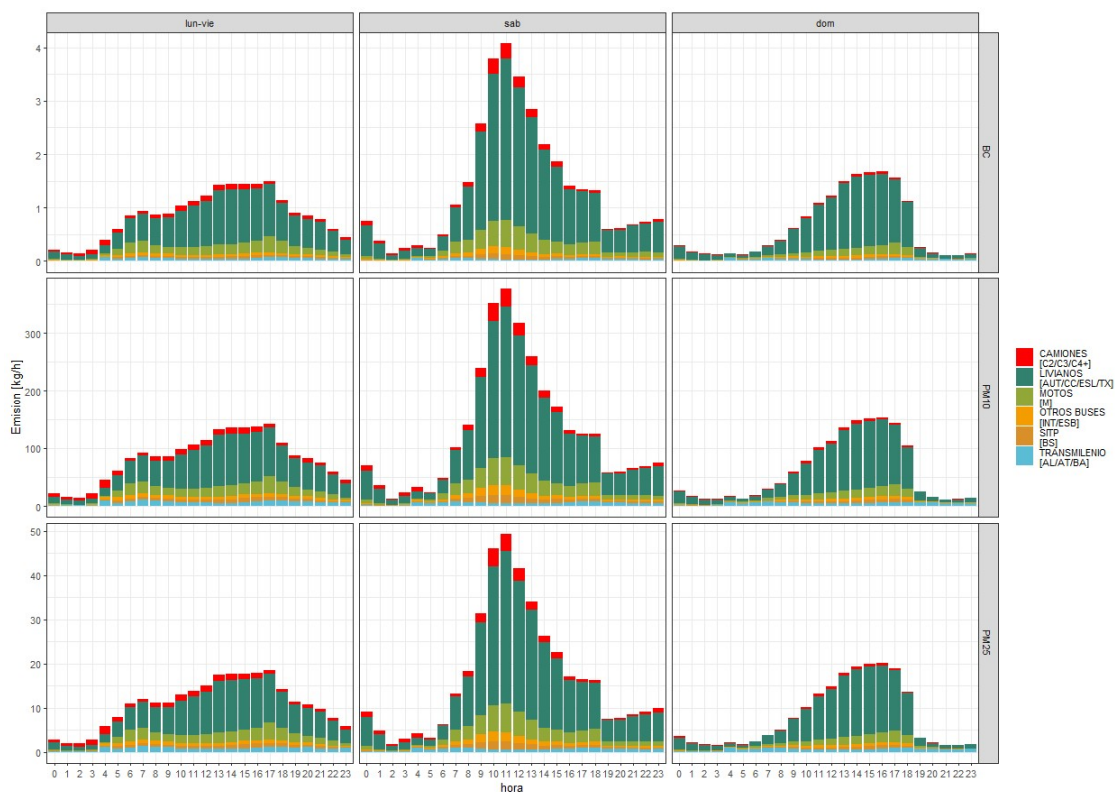


Fuente: Elaboración propia

Figura 86. 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 (Figura 87), se observa un comportamiento tipo meseta condicionada a las horas pico para los automóviles, campero y camionetas, que corresponde a las categorías con mayor cantidad de vehículos y mayor influencia sobre esta clase de emisiones; este comportamiento es similar al descrito para las emisiones por fuentes móviles por combustión, con la salvedad que la participación de los vehículos livianos tienen una participación mayoritaria.



Fuente: Elaboración propia

Figura 87. Perfiles horarios de emisiones de material particulado para fuentes móviles por desgaste de llantas y frenos.

5.2.2. 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 los mapas de emisiones de los años 2018, 2020 y 2021 y 2022 presentados en la Figura 88 a Figura 90. En las Tabla 34 a Tabla 36 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.

Tabla 34. Emisiones de PM_{2.5} por el desgaste de frenos y llantas para los años 2018, 2020, 2021 y 2022

Categoría	Emisiones de PM _{2.5} (t/año)				% de participación			
	2018	2020	2021	2022	2018	2020	2021	2022
Automóvil	56,9	32,1	35,6	39,4	39%	38%	37%	40%
Campero y camioneta	27,5	17,7	20,0	19,8	19%	21%	21%	20%
Motocicleta	14,6	8,3	14,6	14,2	10%	10%	15%	14%
Transporte de Carga	7,0	8,4	9,8	8,0	5%	10%	10%	8%
SITP-Zonal	16,5	5,8	3,3	4,3	11%	7%	3%	4%
Taxi	2,5	1,4	1,5	1,8	2%	2%	2%	2%
SITP-Troncal	7,3	4,0	4,3	6,7	5%	5%	5%	7%
Transporte Especial	13,2	6,4	6,4	4,8	9%	8%	7%	5%
Total	145,6	84,0	95,5	99,0	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

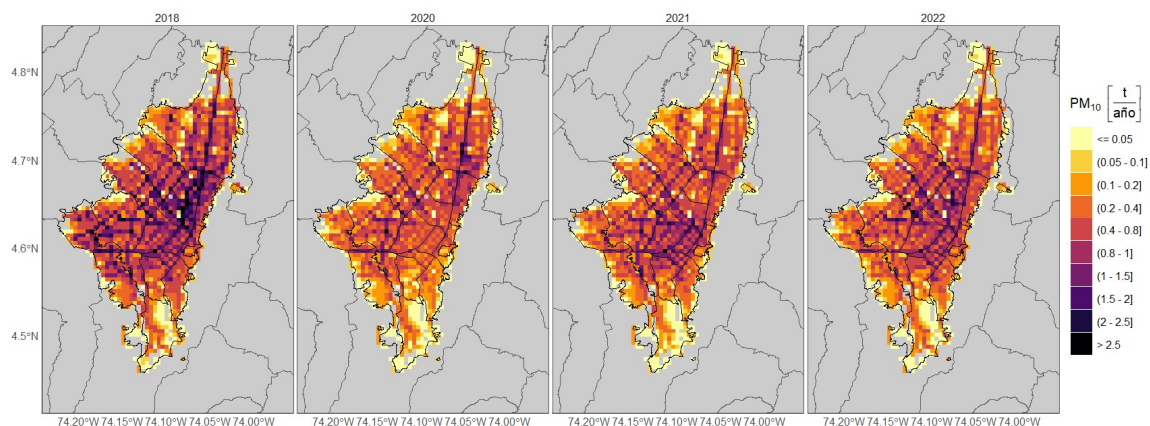
Tabla 35. Emisiones de PM₁₀ por el desgaste de frenos y llantas para los años 2018, 2020, 2021 y 2022

Categoría	Emisiones de PM ₁₀ (t/año)				% de participación			
	2018	2020	2021	2022	2018	2020	2021	2022
Automóvil	430,0	242,2	269,0	297,7	39%	38%	37%	39%
Campero y camioneta	208,0	133,8	150,9	149,7	19%	21%	21%	20%
Motocicleta	113,2	63,8	112,8	109,9	10%	10%	15%	15%
Transporte de Carga	54,1	64,5	75,3	61,6	5%	10%	10%	8%
SITP-Zonal	128,6	45,6	26,0	33,8	12%	7%	4%	4%
SITP-Troncal	57,2	31,5	33,9	52,3	5%	5%	5%	7%
Taxi	19,0	10,5	11,2	13,6	2%	2%	2%	2%
Transporte Especial	101,4	49,3	49,3	37,0	9%	8%	7%	5%
Total	1.111,4	641,2	728,4	755,5	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

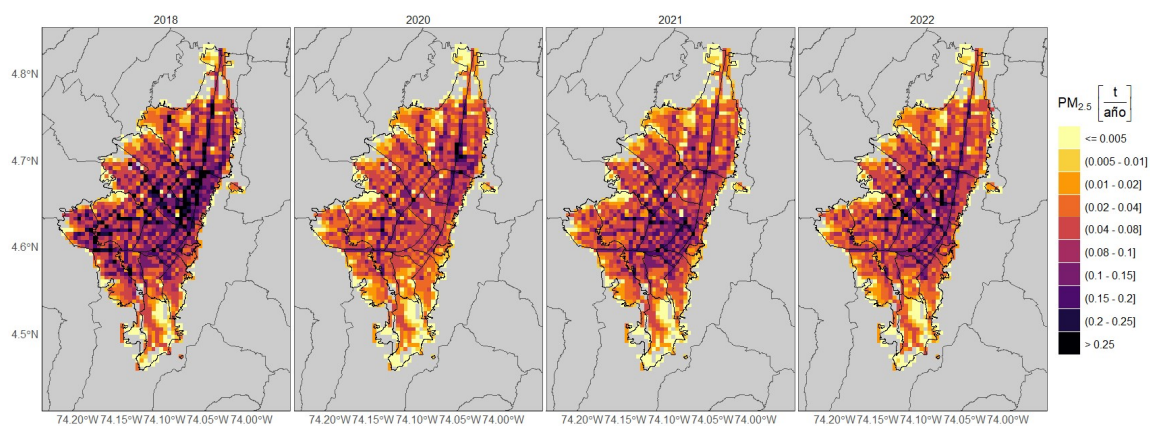
Tabla 36. Emisiones de BC por el desgaste de frenos y llantas para los años 2018, 2020, 2021 y 2022

Categoría	Emisiones de BC (t/año)				% de participación			
	2018	2020	2021	2022	2018	2020	2021	2022
Automóvil	5,0	2,8	3,1	3,4	43%	42%	41%	43%
Campero y camioneta	2,4	1,5	1,7	1,7	21%	23%	23%	22%
Motocicleta	1,2	0,7	1,2	1,1	10%	10%	15%	14%
Transporte de Carga	0,5	0,6	0,7	0,6	5%	9%	9%	7%
SITP-Zonal	0,9	0,3	0,2	0,2	8%	5%	2%	3%
Taxi	0,2	0,1	0,1	0,2	2%	2%	2%	2%
SITP-Troncal	0,4	0,2	0,2	0,4	4%	3%	3%	5%
Transporte Especial	0,9	0,4	0,4	0,3	8%	6%	5%	4%
Total	11,5	6,6	7,7	7,9	100%	100%	100%	100%



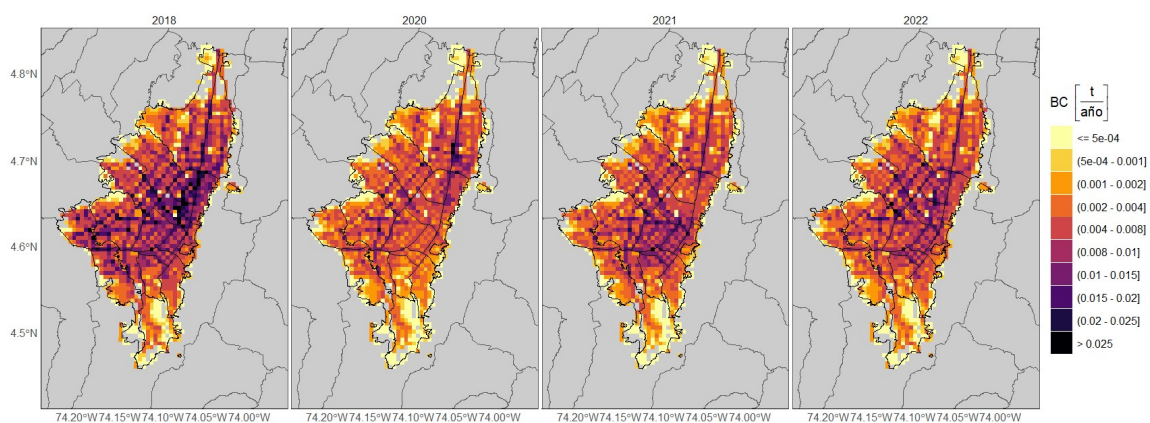
Fuente: Elaboración propia

Figura 88. Distribución espacial de emisiones histórico por desgaste de llantas y frenos para PM₁₀.



Fuente: Elaboración propia

Figura 89. Distribución espacial de emisiones histórico por desgaste de llantas y frenos para PM_{2.5}.



Fuente: Elaboración propia

Figura 90. Distribución espacial de emisiones histórico por desgaste de llantas y frenos para BC

5.3. Inventario de emisiones por manipulación de materiales en construcciones

El inventario debido a la manipulación de materiales en construcciones para el año 2022 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 conllevan 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.

5.3.1. Inventario de emisiones Bottom-up

Para el análisis de emisiones provenientes por fuentes de construcciones se realiza la clasificación en seis (6) categorías como se evidencia en la Tabla 37, en donde la categoría edificaciones comprende los proyectos de Multifamiliar, Proyecto VIS, Proyecto VIP y vivienda individual.

Tabla 37. Emisiones del año 2022 generadas por construcciones

Tipo de construcción	Emisiones (t/año)	
	PM _{2.5}	PM ₁₀
Dotacionales	51,9	168,5
Edificación	203,5	661,4
Otro	1,4	4,5
Remodelación	36,4	118,4
Vías	122,9	399,4
Total	416,1	1.352,32

Fuente: Elaboración propia

Desagregación espacial de emisiones

La distribución espacial de las emisiones de material resuspendido de las construcciones presentes en la ciudad, se presenta en los mapas de la Figura 91, en donde se observa una concentración de emisiones en la zona oriente, central y occidental de la ciudad. Lo anterior se evidencia en el análisis de participación por localidad (Tabla 38), en donde Fontibón, Kennedy, Engativá, Suba, son la cuatro mayores localidades emisoras. Esto se encuentra relacionado con las diferentes obras viales que se presentan en la ciudad y adicionalmente a las edificaciones que se están desarrollando durante este año.

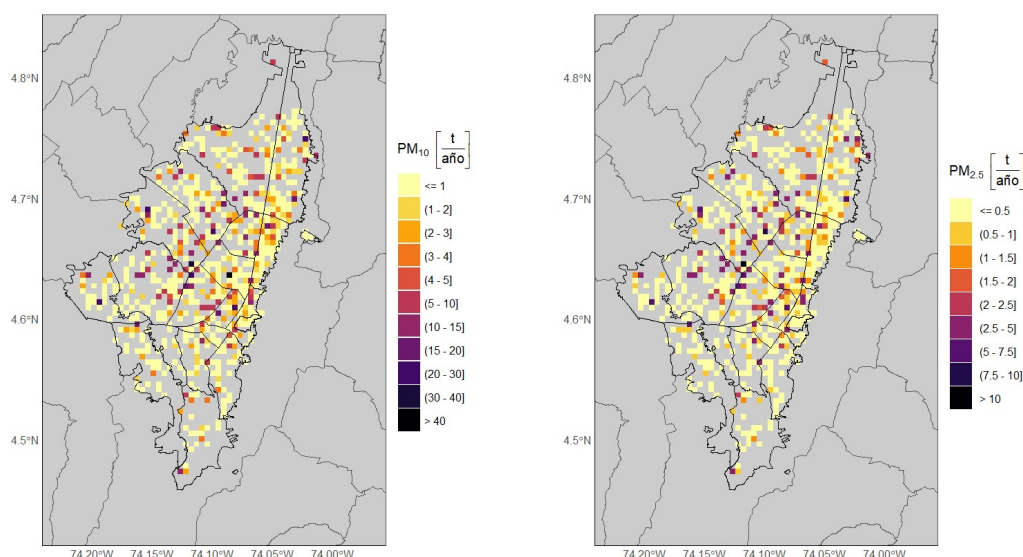
Tabla 38. Participación por localidad en generación de emisiones de PM_{2.5} y PM₁₀ resuspendido por construcciones

Localidades	PM _{2.5} t/año	PM ₁₀ t/año
Engativá	48,6	158,1
Fontibón	46,3	150,6
Kennedy	45,5	147,7
Suba	41,7	135,5
Usaquén	37,8	123,0
Barrios Unidos	25,5	83,0
Chapinero	24,7	80,2
Puente Aranda	24,4	79,3
Los Mártires	22,0	71,7
Teusaquillo	22,0	71,6

Localidades	PM _{2.5} t/año	PM ₁₀ t/año
Santa Fe	15,3	49,8
Bosa	14,4	46,7
Usme	12,9	42,0
Ciudad Bolívar	10,9	35,3
San Cristóbal	9,3	30,1
Rafael Uribe Uribe	6,7	21,7
Antonio Nariño	5,6	18,3
Tunjuelito	0,9	2,9
Candelaria	0,7	2,2

Fuente: Elaboración propia

La distribución espacial de las emisiones provenientes por construcciones para el año 2022 se representan en la Figura 91. Esta distribución presenta las emisiones por resuspensión generadas por las diferentes construcciones realizadas en la ciudad. Es así, que se observan las mayores emisiones en la localidad de Fontibón con un aporte del 15% seguida de las localidades de Kennedy (14%), Engativá (10%) y Suba (9%).



Fuente: Elaboración propia

Figura 91. Distribución espacio temporal de las PM₁₀ (izquierda) y PM_{2.5} (derecha) por resuspensión de construcciones.

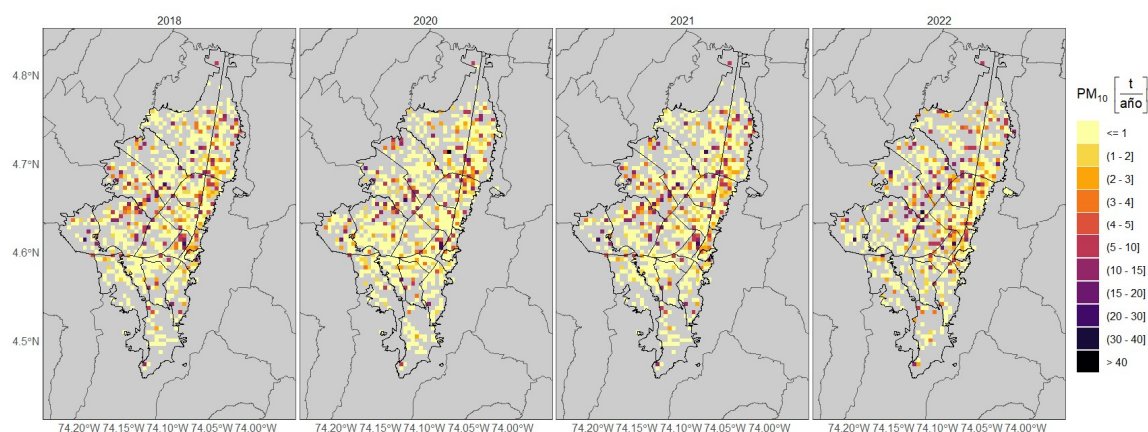
5.3.2. Resultados Históricos de los inventarios de emisiones generadas por construcciones

Como se ha mencionado anteriormente, las emisiones por construcciones tienen un aporte importante en resuspensión. Esto se ve reflejado en los mapas de emisiones de los años 2018, 2020 y 2021 y 2022 presentados en la Figura 92 y Figura 93. En donde se evidencia un crecimiento continuo del 2018 al 2021, sin embargo, en el 2022 respecto al 2021 las áreas de intervención de las construcciones se redujeron en un 0,12%, reduciendo así las emisiones aportadas por esta actividad en este año, como se evidencia en la siguiente Tabla 39 y en los mapas distribución de emisiones históricas Figura 92 y Figura 93.

Tabla 39. Emisiones históricas 2018, 2020, 2021 y 2022 generadas por construcciones.

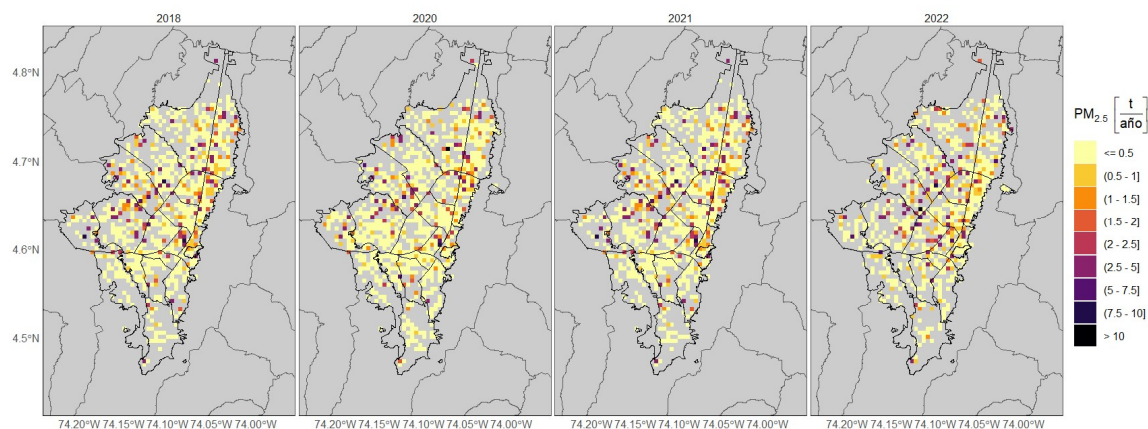
Tipo de construcción	Emisiones (t/año)							
	PM _{2.5}				PM ₁₀			
	2018	2020	2021	2022	2018	2020	2021	2022
Rehabilitación y construcción de vías	35,52	68,46	118,28	122,91	115,47	222,5	384,42	399,45
Edificaciones	193,48	199,04	218,02	203,51	628,79	646,88	708,56	661,41
Dotacionales	45,05	44,99	53,94	51,85	146,42	146,24	175,33	168,52
Otro	48,8	35,63	10,91	1,39	158,61	115,81	35,46	4,51
Remodelación	8,41	20,64	24,44	36,44	27,35	67,09	79,43	118,43
Total	331,27	368,78	425,61	416,10	1.076	1.199	1.383	1.352,32

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Figura 92. Distribución histórica espacio temporal de PM₁₀ por resuspensión de construcciones.



Fuente: Elaboración propia

Figura 93. Distribución histórica espacio temporal de PM_{2.5} por resuspensión de construcciones.

5.4. Inventario de emisiones por manipulación de materiales en canteras

Para el inventario de emisiones del año 2022, 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 3.5, 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.

5.4.1. Inventario de emisiones Bottom-up

Los resultados del total de emisiones para canteras estimadas para en este inventario para el año 2022 el año 2021 y las estimaciones realizadas por la Universidad de La Salle del año 2012, se presentan en la Tabla 40, 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 2022 aumento 595,592 m² pasando de 1.014.183 m² en el 2021 a 1.609.775 m² en el 2022, lo cual se verá reflejado en el impacto de emisiones de estas fuentes.

Tabla 40. Resultados de inventario de emisiones de Canteras año 2012, 2021 y 2022⁶

Año	Emisiones (toneladas/año)	
	PM _{2.5}	PM ₁₀
2012	431,0	936,0
2021	173,0	380,3
2022	280,7	617,3

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

Fuente año 2021 y 2022: Elaboración propia

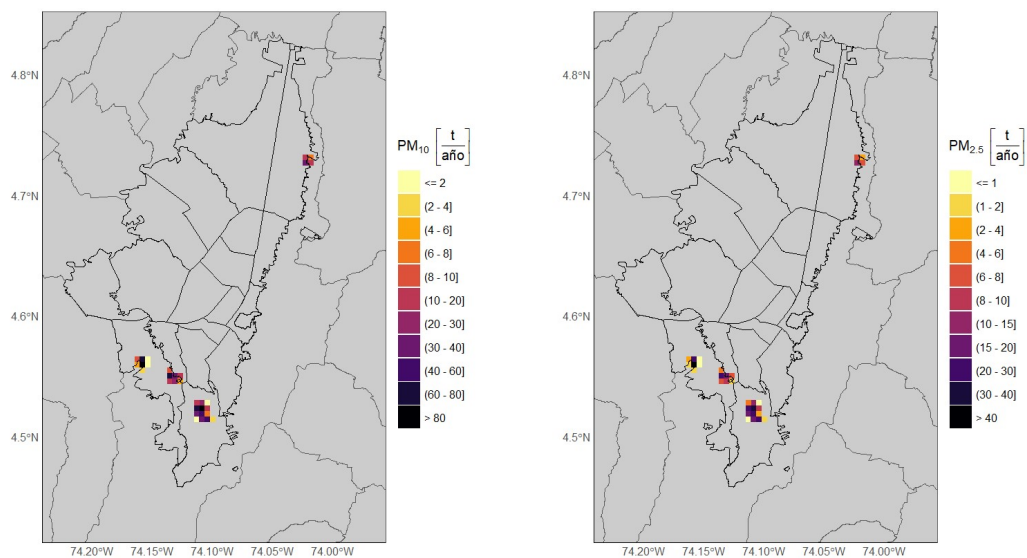
Desagregación espacial de emisiones

En los mapas de la Figura 94 se presenta la desagregación espacial de los contaminantes de PM_{2.5} y PM₁₀. Se observa como la mayor emisión por canteras se presenta en la parte sur de la ciudad, específicamente en la localidad de Usme, en donde se ubican la mayor parte de estas actividades.

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

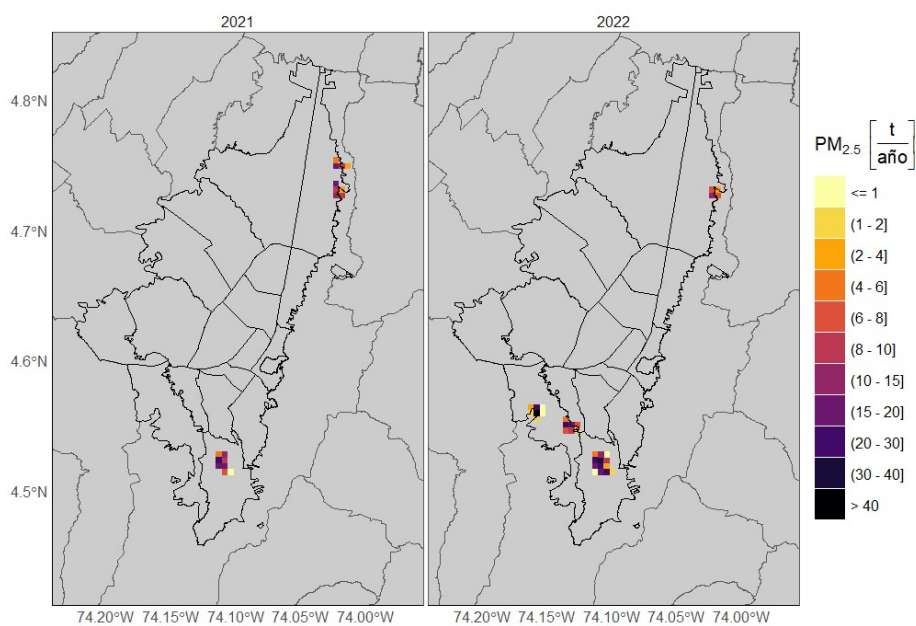
Gracias a la caracterización de fuentes por canteras se ha realizado un seguimiento a la participación de esta actividad en calidad de aire en la ciudad. Finalmente, en las Figura 95 y Figura 96, se evidencia la desagregación de las emisiones, en donde Usme lidera con el aporte de emisiones, puesto que es donde la localidad donde siempre están ubicadas las canteras de la ciudad durante el año 2022 se han incrementado tres canteras más en esta localidad, aumentando la participación de emisiones para la calidad del aire en la ciudad de Bogotá.

⁶ Las emisiones generadas por las canteras de ubicadas en la parte rural de la localidad de Ciudad Bolívar no se encuentran cuantificadas en este inventario ya que se encuentran por fuera del perímetro urbano que define la jurisdicción de la Secretaría Distrital de Ambiente



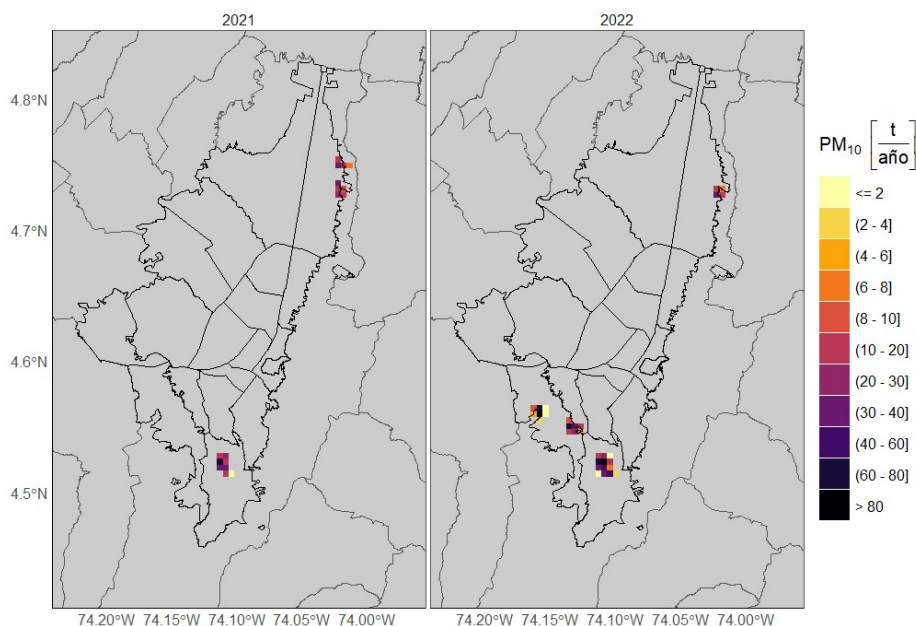
Fuente: Elaboración propia

Figura 94. Distribución espacio temporal de las PM10 (izquierda) y PM2.5 (derecha) por resuspensión de canteras.



Fuente: Elaboración propia

Figura 95. Histórico de emisiones por canteras para PM2.5.



Fuente: Elaboración propia

Figura 96. Histórico de emisiones por canteras para PM₁₀.

5.5. 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 41. Estas estimaciones fueron realizadas con año base 2014 y para propósitos del inventario se han supuesto constantes entre los años 2018 y 2022.

Tabla 41. 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
RESUSPENDIDO	Terrenos 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)

6. INVENTARIO CONSOLIDADO DE EMISIONES

En la Tabla 42 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 2022 se estima que se generaron 21.000 toneladas de PM₁₀ y 4.628 toneladas de PM_{2.5}, en la ciudad.

Tabla 42. Inventario Consolidado de emisiones para la ciudad representativo para el año 2022

Fuente de Emisión		Metodología	Años de Actualización	Emisiones (t/año) ^a						
				PM ₁₀	PM _{2.5}	NO _x	SO ₂	CO	COV	BC
MÓVILES	En carretera	Top- Down	2022	1.361,0	1.235,0	45.274,0	453,0	136.450,0	53.889,0	NE
		Bottom-Up	2022	1.576,9	1.435,8	41.037,6	1.060,4	150.307,6	64.859,5	501,8
	Fuera de carretera ^b	Top- Down	2018	443,8	430,4	5.382,1	15,7	2.819,0	534,0	283,6
FIJAS	Industriales	Bottom-Up	2022	265,2	74,0	1.357,5	1.523,2	459,8	62,2	23,9
	Comerciales	Bottom-Up	2014	130,0	67,6	67,0	190,0	2.529,0	105,0	NE
	EDS Y CAC	Bottom-Up	2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25.586,0	0,0
	Residenciales	Top- Down	2022	2,9	2,9	622,9	4,4	326,3	26,7	NE
FUENTES NATURALES Y FORESTALES	Incendios Forestales	Bottom-Up	2014	61,0	55,0	14,0	0,0	500,0	0,0	0,0
	Biogénicas	Bottom-Up	2012	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2.037,0	0,0
RESUSPENDIDO	Desgaste de frenos y llantas	Bottom-Up	2022	755,5	99,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,9
	Vías pavimentadas	Bottom-Up	2022	1321,6	319,7	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3
	Vías no pavimentadas	Bottom-Up	2022	14.462,1	1.446,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4
	Rehabilitación de vías	Bottom-Up	2022	399,4	122,9	NA	NA	NA	NA	NE
	Terrenos Agrícolas	Bottom-Up	2012	5,0	NE	NA	NA	NA	NA	NE
	Canteras	Bottom-Up	2022	617,3	280,7	NA	NA	NA	NA	NE
	Construcciones de edificaciones	Bottom-Up	2022	952,9	293,2	NA	NA	NA	NA	NE
TOTAL				20.993,5	4.627,5	48.481,1	2.793,7	156.941,7	93.210,4	822,0

a. NA: No Aplica, NE: No estimado

b. El inventario de emisiones de fuentes móviles fuera de carretera correspondiente a la maquinaria utilizada en la ciudad corresponde al estimado por el programa Clima y Aire limpio en Ciudades de América Latina CALAC+.

c. Las emisiones totales suman únicamente las emisiones de las fuentes móviles en carretera estimadas a partir de la metodología Bottom-up

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 97 se presenta la participación en la generación de emisiones de PM_{2.5} de todas las fuentes evaluadas. La fuente con mayor aporte corresponde aquellas emisiones generadas por la resuspensión de material particulado con un 55%, seguido de la combustión de las fuentes móviles en carretera con un 31% y combustión en maquinaria amarilla con un 9%. En el caso de las emisiones de material resuspendido, el tránsito de vías no pavimentadas aporta alrededor de 31%, seguido de la construcción y mantenimiento de vías y edificaciones que aporta el 9% de las emisiones; por otro lado, en la combustión de fuentes móviles en carretera, el transporte de carga y los camperos y camionetas aportan 16% y 6% al material particulado respectivamente. Por su parte, las fuentes fijas industriales y fuentes comerciales representan el 3% de las emisiones.

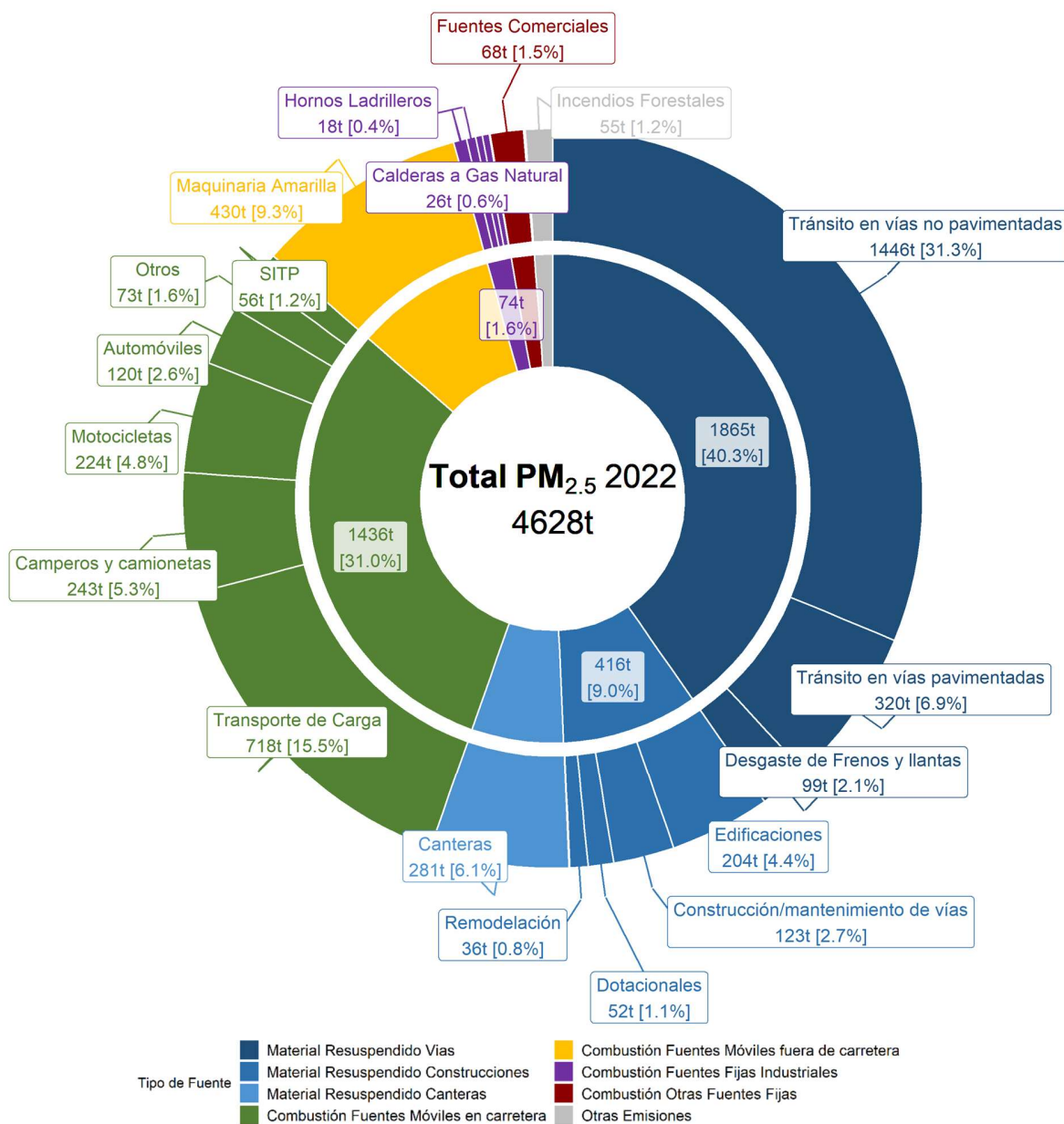
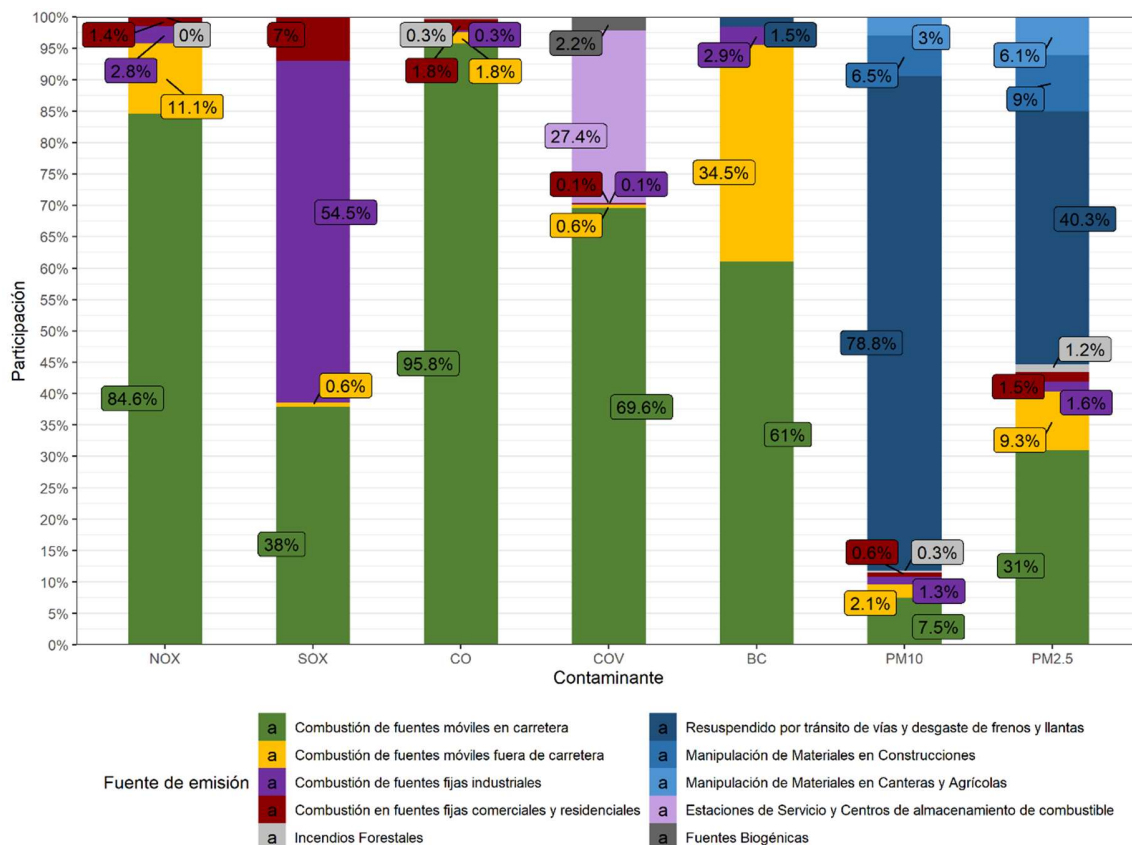


Figura 97. Participación porcentual en emisiones de PM_{2.5} por tipo de fuente.

Para los demás contaminantes criterio la distribución porcentual de participación de emisiones se presenta en la Figura 98, en donde las emisiones de las fuentes móviles en carretera aportan la mayoría de las emisiones de los contaminantes gaseosos. En cuanto a SO₂, que es un contaminante clave al ser un precursor de material particulado secundario en la atmosfera, las fuentes fijas industriales aportan cerca del 55% de las emisiones de este contaminante, debido al uso de carbón

en la industria. En cuanto al BC, este contaminante climático de vida corta es generado en un 95% por las emisiones de combustión de las fuentes móviles en carretera y fuera de carretera.



Fuente: Elaboración propia
Figura 98. Participación porcentual del total de emisiones de contaminantes criterio y BC por tipo de fuente para el año 2022.

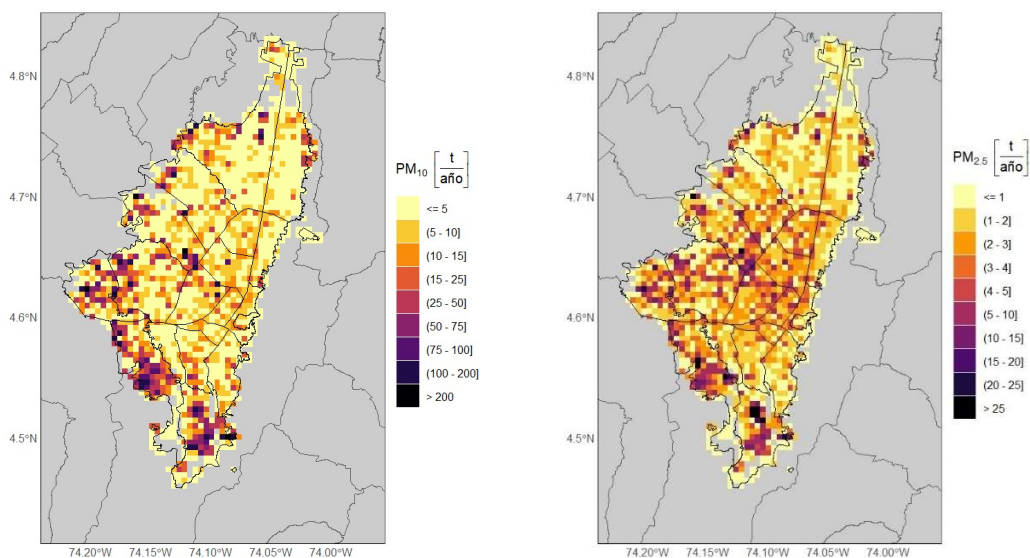
6.1. Desagregación espacial de las emisiones totales

En cuanto a la desagregación espacial de emisiones para los contaminantes PM₁₀ y PM_{2.5} (Figura 99), 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 103 y Figura 104) en donde las localidades que cuentan con mayor participación son Usme, 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 105, Figura 106 y Figura 112. Es así como a distribución especial de los mapas de la Figura 100 tienen una distribución en donde se observan ramificaciones correspondientes a las vías principales de la ciudad como se analizó en la sección 4.3.

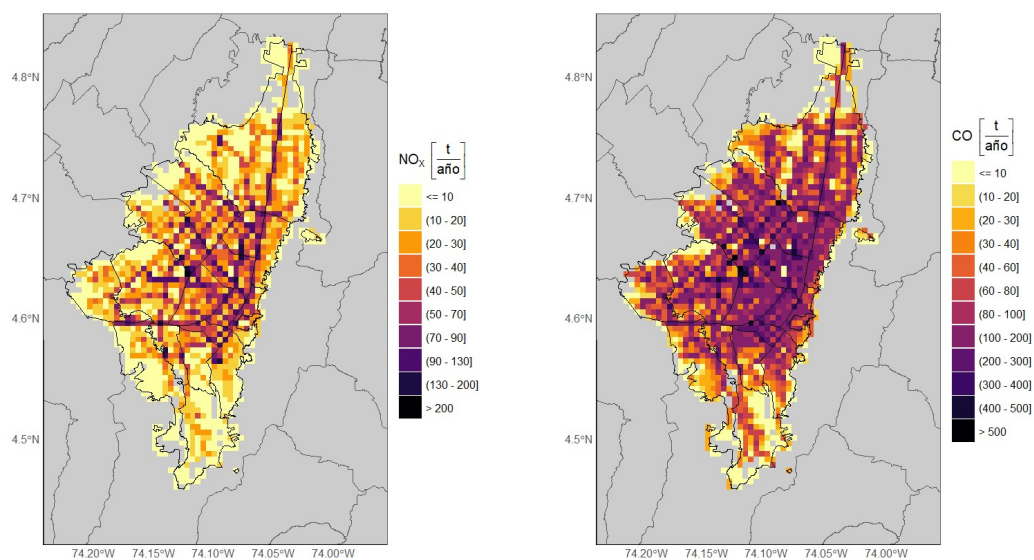
En cuando demás contaminantes como SO₂, se observa cómo la localidad de Usme es la que genera las mayores emisiones de este contaminante (Figura 101), asociadas principalmente a las

ladrilleras ubicadas en esta zona y finalmente en la Figura 107, se observa que la localidad de Puente Aranda cuenta con la mayor participación aportadas por Fuentes Fijas Industriales que es acorde a la ubicación del sector industrial de la ciudad.



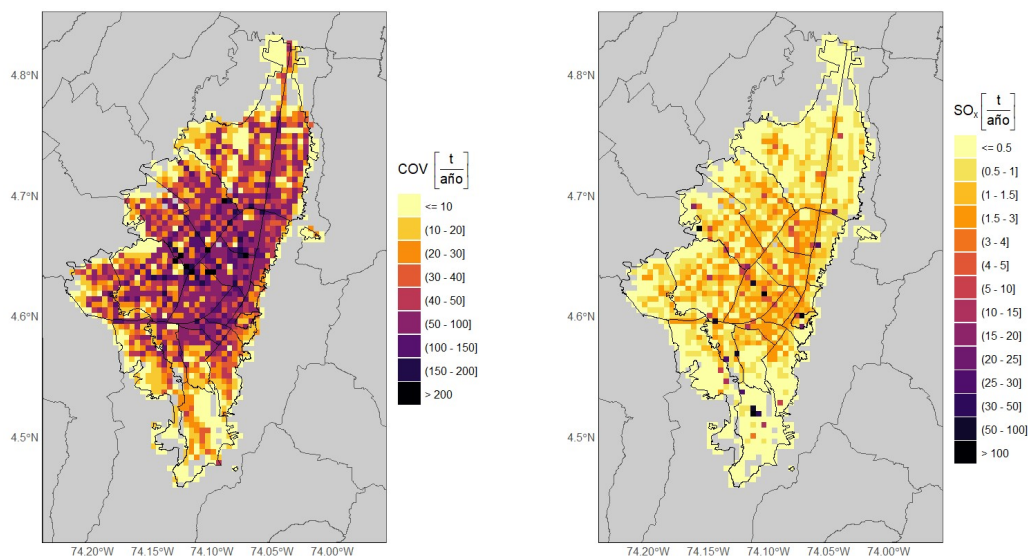
Fuente: Elaboración propia

Figura 99. Distribución espacial de las emisiones totales PM_{10} (izquierda) y $PM_{2.5}$ (derecha) generadas en el año 2022.



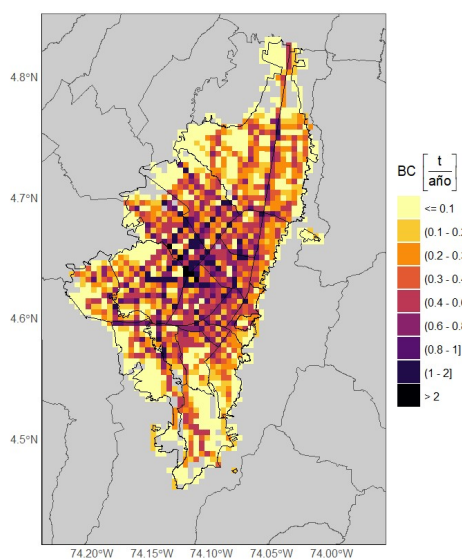
Fuente: Elaboración propia

Figura 100. Distribución espacial de las emisiones NO_x (izquierda) y CO (derecha) generadas en el año 2022.



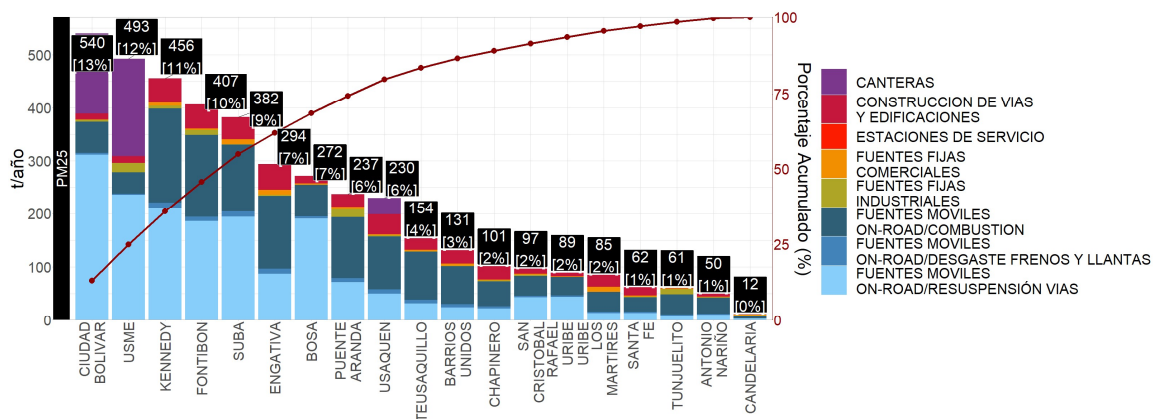
Fuente: Elaboración propia

Figura 101. Distribución espacial de las emisiones COV (izquierda) y SO_x (derecha) generadas en el año 2022.



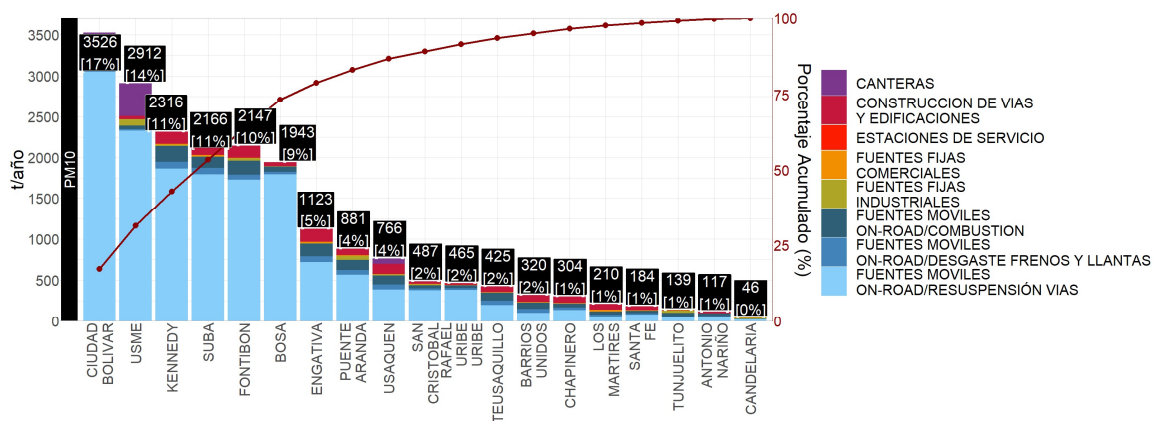
Fuente: Elaboración propia

Figura 102. Distribución espacial de las emisiones de BC generadas en el año 2022.



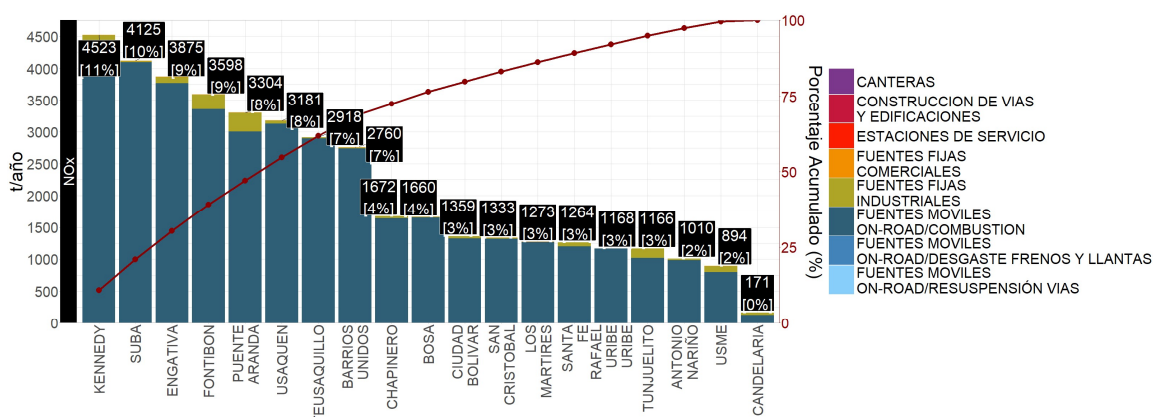
Fuente: Elaboración propia

Figura 103. Participación localidad en la emisión de PM_{2.5}



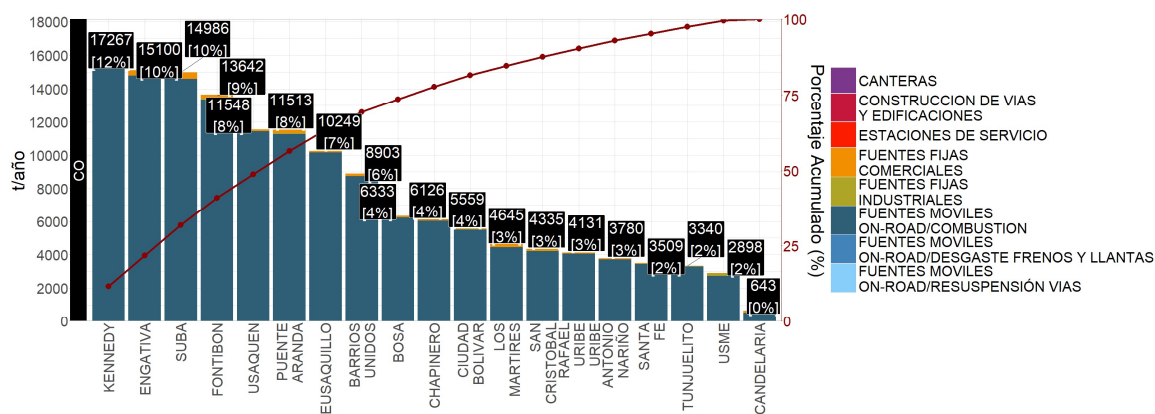
Fuente: Elaboración propia

Figura 104. Participación localidad en la emisión de PM₁₀



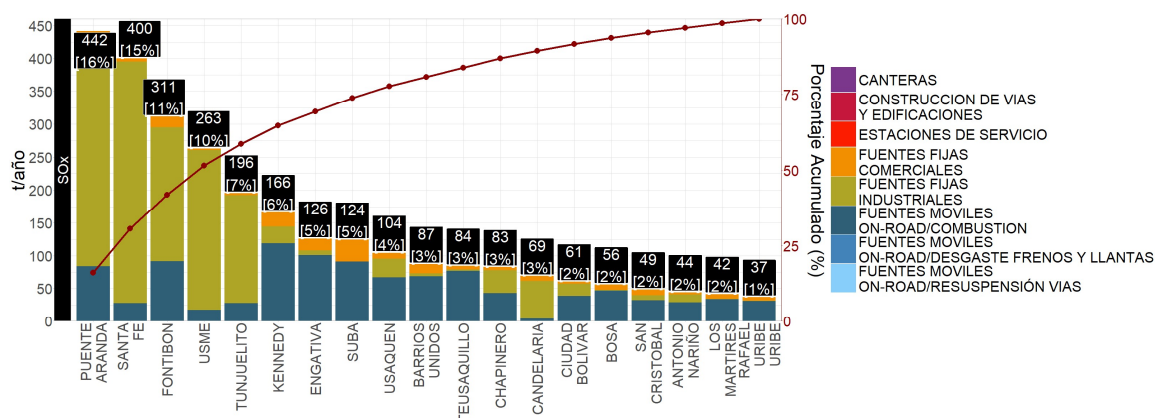
Fuente: Elaboración propia

Figura 105. Participación localidad en la emisión de NO_x



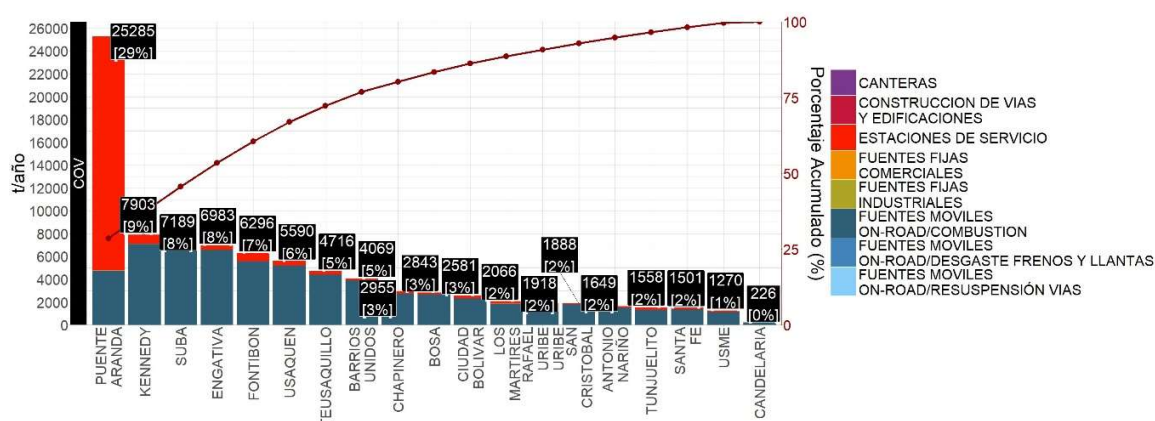
Fuente: Elaboración propia

Figura 106. Participación localidad en la emisión de CO



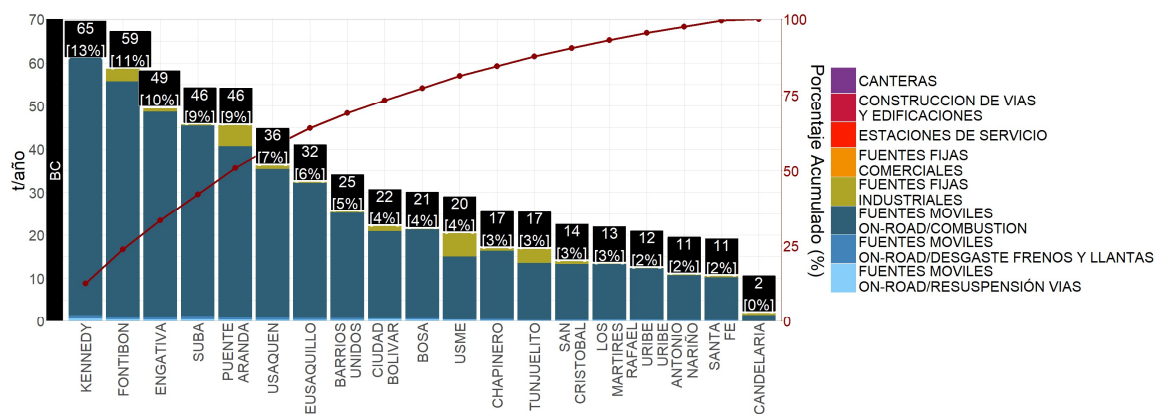
Fuente: Elaboración propia

Figura 107. Participación localidad en la emisión de SO_x



Fuente: Elaboración propia

Figura 108. Participación localidad en la emisión de COV



Fuente: Elaboración propia

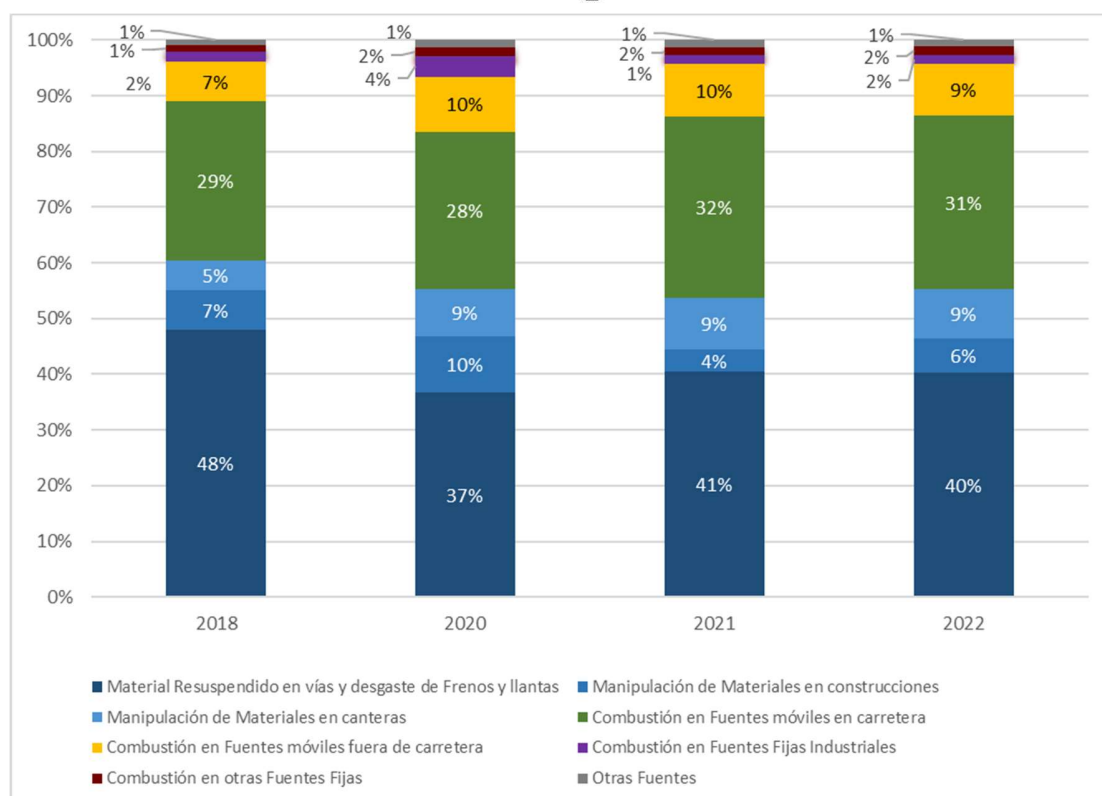
Figura 109. Participación localidad en la emisión de BC

6.2. Resultados históricos de los inventarios de emisiones totales

Los siguientes resultados corresponden a las emisiones estimadas y actualizadas de los años 2018, 2020, 2021 y la actualización de este inventario 2022. Las emisiones de los años 2018, 2020 y 2021 son emisiones recalculadas con ajustes metodológicos⁷ 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 110 se observa una leve 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 encuentra una reducción importante en participación y en emisiones en las fuentes fijas industriales, asociado 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. Para el año 2022, 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.

⁷ 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 y flujos vehiculares empleando los modelos de calidad de aire de la SDA.

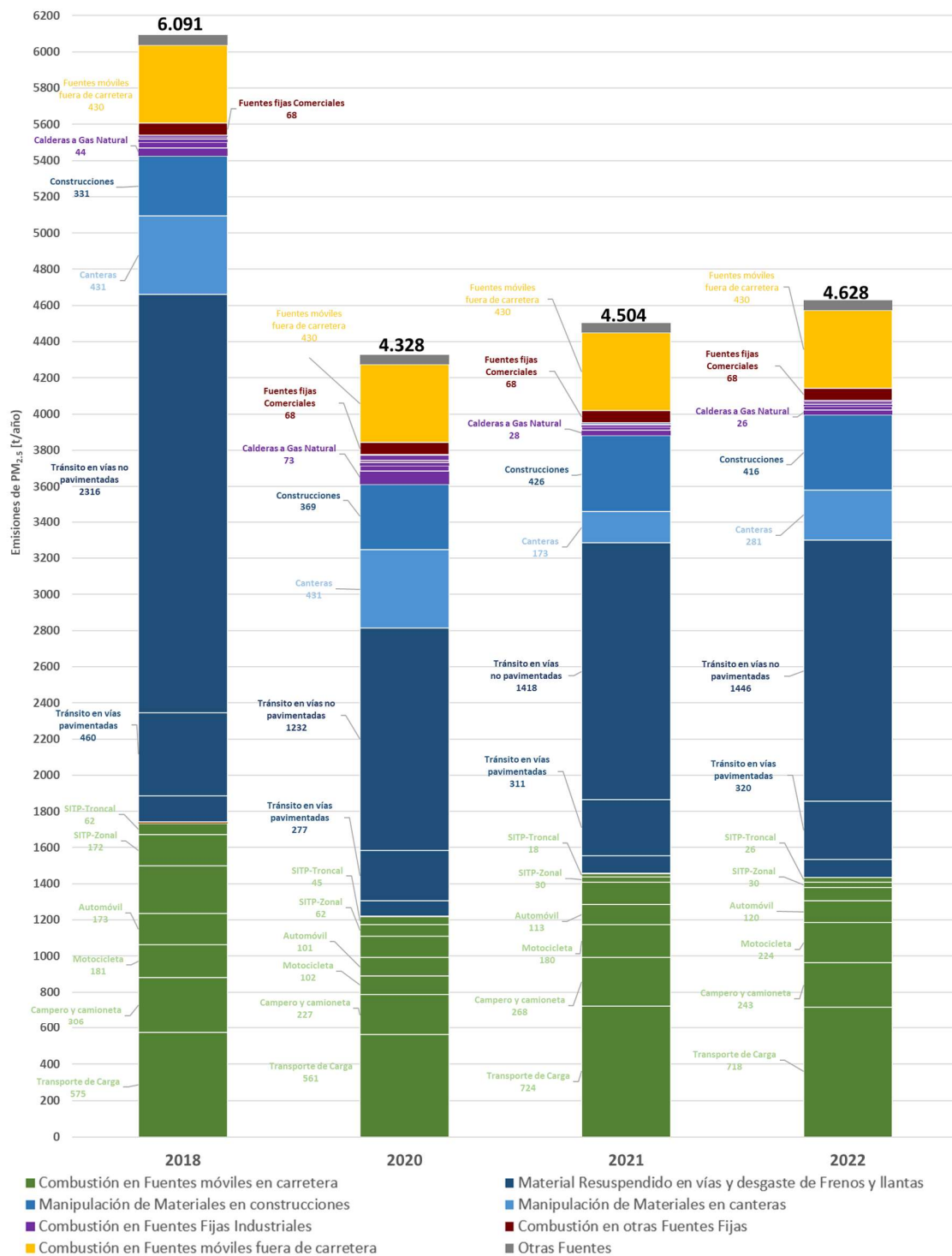


Fuente: Elaboración propia

Figura 110. Comparación de la participación porcentual de las emisiones de $PM_{2.5}$ por tipo de fuente para los años 2018, 2020, 2021 y 2022.

En cuanto a las emisiones totales de $PM_{2.5}$ presentadas en la Tabla 43 y como grafica por participación de las subcategorías de fuentes de la Figura 111, se presenta una reducción de emisiones del año 2018 hasta el 2020, en cerca de un 24% asociado al efecto de la pandemia, que se vio reflejado en una mejor calidad del aire en la ciudad. Entre 2020 a 2022 se observa un incremento del 19% con respecto al 2020 y una tasa de crecimiento de aproximadamente 150 t/año, sin embargo, las emisiones del 2022 siguen siendo menores con respecto al 2018.

Entre las fuentes de emisión que se observan persistentes en cuanto a su mayor participación en la generación de estos contaminantes son: las emisiones de material particulado resuspendido en vías secundarias con emisiones, ya que este tipo de vías son las que presentan un estado de deterioro mayor; La combustión en el transporte de carga han disminuido en 3% su participación con respecto al 2021, debido principalmente a la reducción en los flujos vehiculares de esta categoría; por su parte la combustión en camperos y camionetas también se ha mantenido en participación pese al aumento en la cantidad de vehículos. En el caso de las fuentes fijas industriales, las calderas a gas natural han aportado a un máximo de 2% en el inventario total y fuentes como canteras, construcciones y fuentes móviles fuera de carretera, han tenido una participación importante en el inventario, cuyo aporte en conjunto representó cerca del 24% de las emisiones totales de $PM_{2.5}$ para 2022.



Fuente: Elaboración propia

Figura 111. Comparación de participación porcentual y total de emisiones de PM_{2.5} para 2018, 2020 y 2021, por subcategorías de fuentes de emisión

Tabla 43. Consolidado de emisiones de PM_{2.5} por tipo de fuente para los años 2018, 2020, 2021 y 2022

Tipo de Fuente	Fuentes de Emisión	Emisiones (t/año)				% Participación			
		2018	2020	2021	2022	2018	2020	2021	2022
Fuentes móviles en carretera	Transporte de Carga	575	561	724	718	9%	13%	16%	16%
	Campero y camioneta	306	227	268	243	5%	5%	6%	5%
	Motocicleta	181	102	180	224	3%	2%	4%	5%
	Automóvil	173	101	113	120	3%	2%	3%	3%
	Transporte Especial	264	119	122	72	4%	3%	3%	2%
	SITP-Zonal	172	62	30	30	3%	1%	1%	1%
	SITP-Troncal	62	45	18	26	1%	1%	0%	1%
	Taxi	7	4	4	1	0%	0%	0%	0%
Material Resuspendido	Desgaste de Frenos y Llantas	146	84	95	99	2%	2%	2%	2%
	Tránsito en vías pavimentadas	460	277	311	320	8%	6%	7%	7%
	Tránsito en vías no pavimentadas	2.316	1.232	1.418	1.446	38%	28%	31%	31%
	Canteras	431	431	173	281	7%	10%	4%	6%
	Construcciones	331	369	426	416	5%	9%	9%	9%
Fuentes Fijas Industriales	Calderas a Gas Natural	44	73	28	26	1%	2%	1%	1%
	Hornos Ladrilleros	31	29	18	18	1%	1%	0%	0%
	Otras FF Industriales	18	16	13	14	0%	0%	0%	0%
	Calderas a Carbón y a Diesel	12	14	5	14	0%	0%	0%	0%
	Hornos a gas natural	5	27	1	1	0%	1%	0%	0%
Otras Fuentes Fijas	Fuentes Fijas Residenciales	3	3	3	3	0%	0%	0%	0%
	Fuentes fijas Comerciales	68	68	68	68	1%	2%	2%	1%
	Estaciones de servicio	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%
Fuentes móviles fuera de carretera	Maquinaria Amarilla	430	430	430	430	7%	10%	10%	9%
Otras Fuentes	Incendios Forestales	55	55	55	55	1%	1%	1%	1%
	Fuentes Biogénicas	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%
	Resuspensión en terrenos agrícolas	0	0	0	0	0%	0%	0%	0%
Total		6.091	4.328	4.504	4.628	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

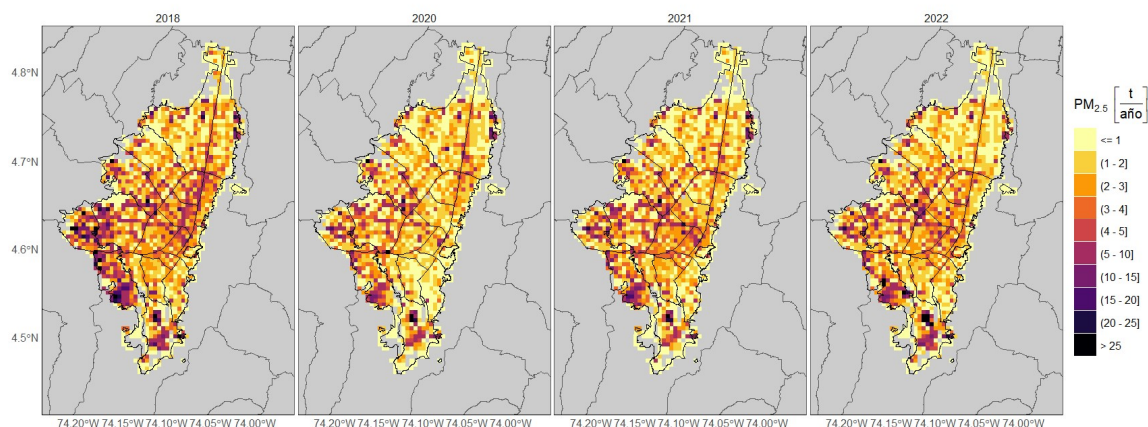
6.3. Resultados de Emisiones desagregadas espacialmente

Los siguientes resultados corresponden a las emisiones desagregadas espacialmente, las cuales corresponden a los años 2018, 2020, 2021 y 2022. Finalmente se cuenta con esta consolidación de las emisiones que permiten realizar un análisis de disminución o crecimiento a través del tiempo con fines de construcción de políticas y medidas en pro de la Calidad de Aire de la ciudad.

En el caso del material particulado, (Figura 112 y Figura 113), se ha evidenciado una reducción en las emisiones entre los años 2018 a 2020; en el caso del PM₁₀, las emisiones son más acentuadas en

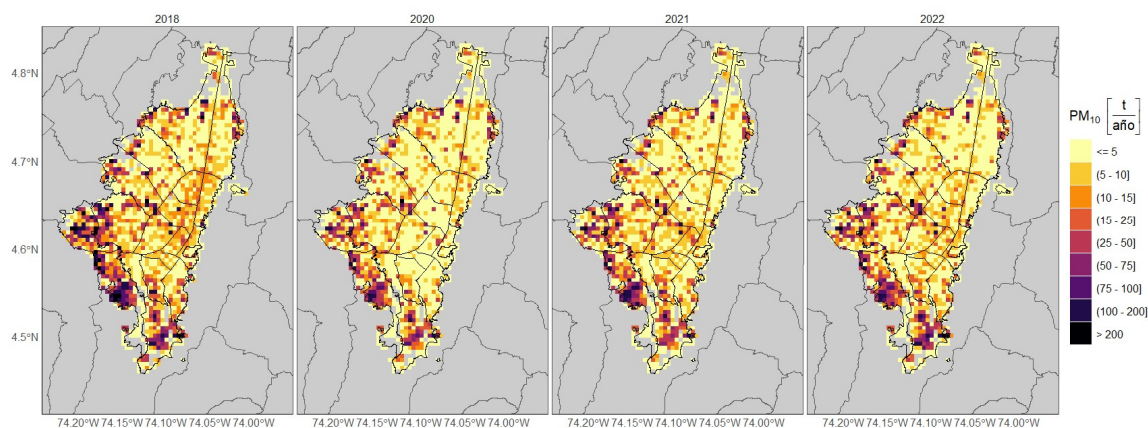
el suroccidente de la ciudad debido al alto aporte de material resuspendido por el tránsito en vías destapadas de esas zonas.

Por otro lado, en el caso de CO (Figura 114), de COV (Figura 116), y de BC (Figura 118) se ha estimado un incremento con respecto al 2018, debido principalmente al aumento del tráfico vehicular liviano y motocicletas. Sin embargo, el NOx (Figura 115) y el SOx (Figura 117) han reflejado disminuciones, principalmente por la dinámica del transporte de carga y la reducción de emisiones en las fuentes fijas industriales.



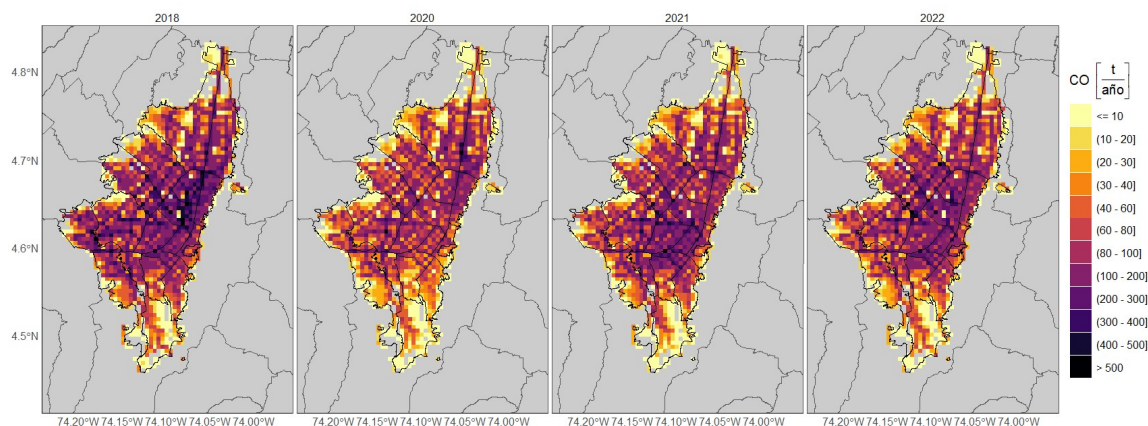
Elaboración propia

Figura 112. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de PM_{2.5}.



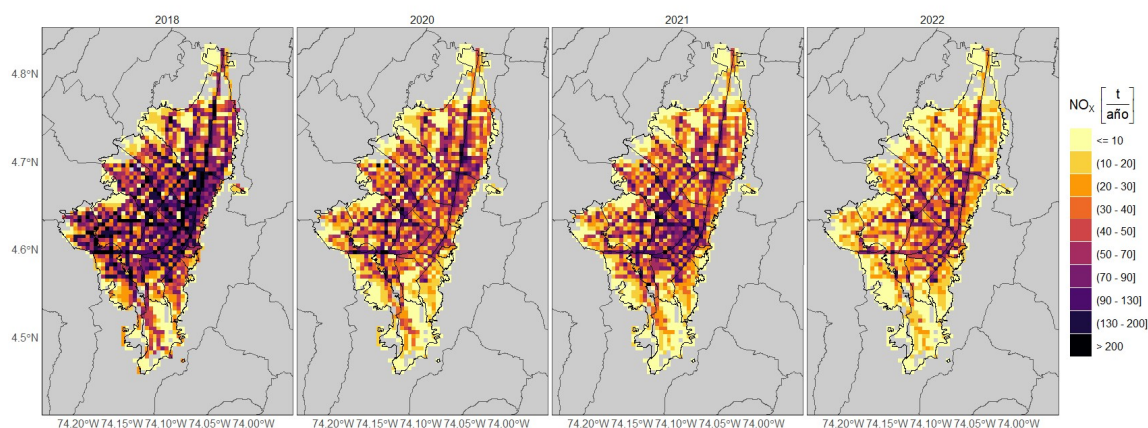
Elaboración propia

Figura 113. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de PM₁₀.



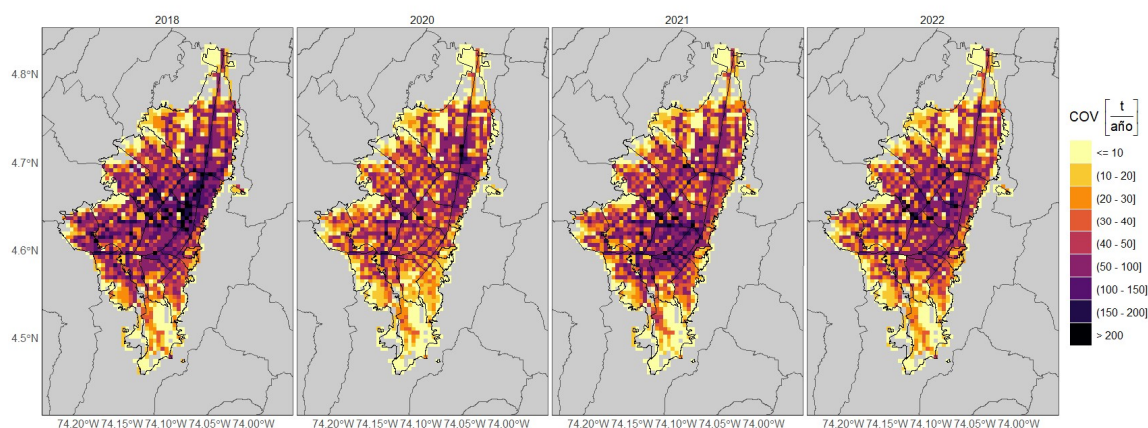
Elaboración propia

Figura 114. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de CO.



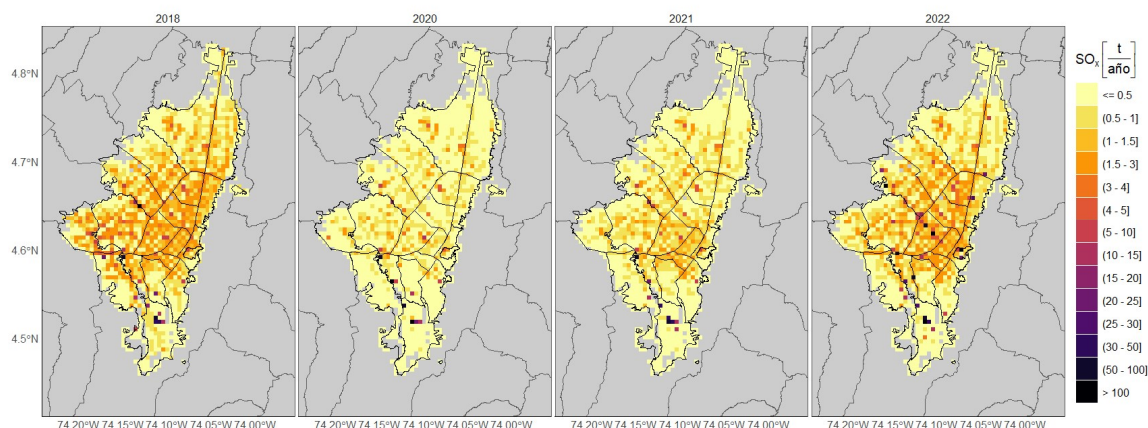
Elaboración propia

Figura 115. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de NOx.



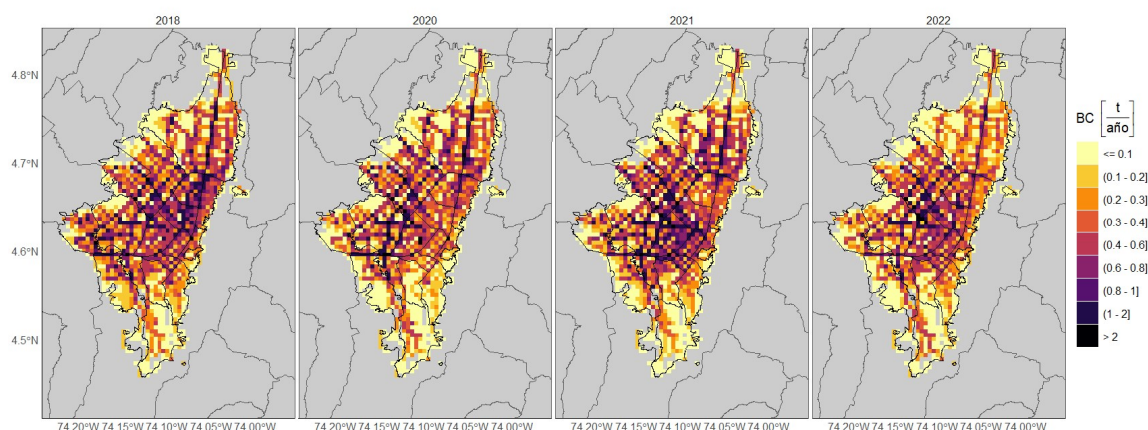
Elaboración propia

Figura 116. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de COV.



Elaboración propia

Figura 117. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de SOx.



Elaboración propia

Figura 118. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de BC

6.4. Inventario de Emisiones en categorías IPCC

Como parte de la integración del inventario de contaminantes criterio y black carbon con los inventarios de gases de efecto invernadero de la ciudad, se presenta en la Tabla 45 la desagregación del inventario 2022 en las categorías de emisiones establecidas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC en sus siglas en inglés). 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 44. Homologación de emisiones de contaminantes criterio y black carbon a las categorías IPCC

Tipo de Emisión	Tipo de Fuente	Categoría IPCC asociada	Observaciones
Combustión	Fuentes Fijas Industriales	1A1, 1A2, 1A3, 1A4, 1A5, 4C1	La asignación detallada obedece a la clasificación CIU de las fuentes fijas industriales
	Fuentes fijas comerciales	1A4a	
	Fuentes Fijas Residenciales	1A4b	
	Fuentes móviles en Carretera	1A3	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	
	Incendios Forestales	3C1	
Resuspensión y manipulación de materiales	Resuspensión por tránsito en vías	5A1	Aunque no es una categoría específica del IPCC, se añade esta fuente como clasificación adicional
	Desgaste de Frenos y Llantas	5A2	Aunque no es una categoría específica del IPCC, se añade esta fuente como clasificación adicional
	Manipulación de materiales en construcción	5B1	Aunque no es una categoría específica del IPCC, se añade esta fuente como clasificación adicional
	Manipulación de materiales en canteras	5B2	Aunque no es una categoría específica del IPCC, se añade esta fuente como clasificación adicional
	Manipulación de materiales en agricultura y silvicultura	5B3	
Otras Fuentes	Fuentes biogénicas	3B5a	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	

Elaboración propia

En las emisiones por categorías IPCC (ver Tabla 45) se hace la anotación que aún no se cuenta con información disponible para estimar emisiones asociadas a los procesos industriales y uso de productos (categoría 2), además, 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 Tabla 11 y la Tabla 27.

Tabla 45. Inventario de emisiones por categorías IPCC para el año 2022, en toneladas

Categoría IPCC		PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	NO _x	SO _x	CO	COV
TOTAL		20.993,5	4.627,5	834,8	48.488,0	2.794,8	156.944,2	93.210,9
1	Energía	2.418,7	2.010,7	822,1	48.473,0	2.794,8	156.443,9	91.173,9
1A	Actividades de Quema de Combustibles	2.418,7	2.010,7	822,1	48.473,0	2.794,8	156.443,9	65.587,9
1A1	Industrias de la Energía	1,1	0,2	0,0	3,2	2,4	0,8	0,1
1A1a	Actividad principal producción de electricidad y calor	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1A1b	Refinación de Petróleo	1,1	0,2	0,0	3,2	2,4	0,8	0,1
1A1c	Manufactura de combustibles sólidos y otras industrias de la energía	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1A1ci	Manufactura de combustibles sólidos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1A2	Industrias manufactureras y de la construcción	235,9	66,8	32,5	1.149,5	887,7	395,4	58,2
1A2a	Hierro y Acero	2,7	1,0	0,5	12,5	3,0	4,3	0,6
1A2b	Metales no ferrosos	13,4	2,1	0,3	7,6	11,3	3,6	0,9
1A2c	Sustancias químicas	34,5	9,3	2,7	176,6	68,9	54,2	6,0
1A2d	Pulpa, papel e imprenta	2,4	1,8	1,6	20,6	0,1	10,7	1,4

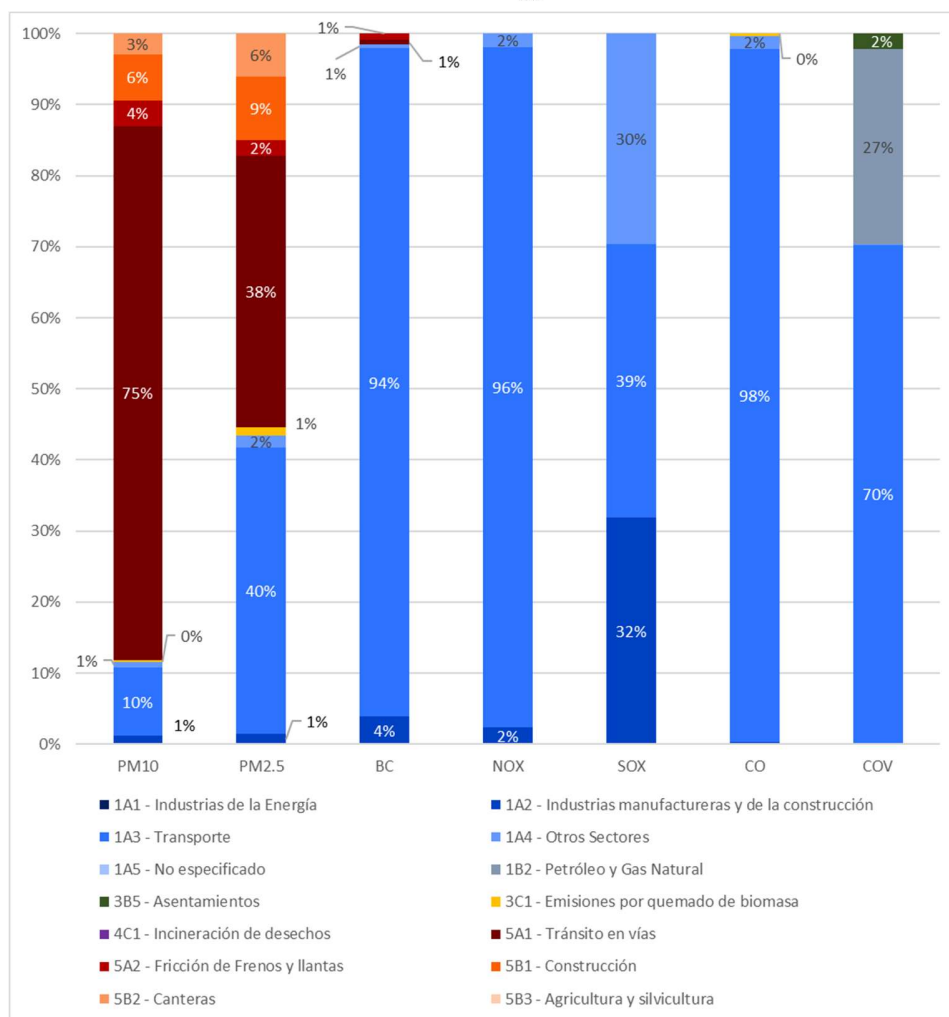
	Categoría UPCC	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	NO _x	SO _x	CO	COV
1A2e	Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	48,6	19,3	7,5	550,0	287,4	119,6	26,5
1A2f	Minerales no metálicos	90,8	19,6	11,8	100,6	266,2	137,6	10,7
1A2g	Equipo de transporte	1,8	1,3	0,9	22,3	0,2	5,8	1,0
1A2h	Maquinaria	2,4	0,8	0,2	23,4	2,7	5,9	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	0,0	0,1	0,0
1A2k	Construcción	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,2	0,1
1A2l	Textiles y Cueros	39,3	11,0	7,0	149,5	246,1	36,6	5,1
1A2m	Industria no específica	1,7	0,9	0,1	85,7	1,8	16,7	4,6
1A3	Transporte	2.020,7	1.866,2	785,4	46.419,7	1.076,1	153.126,6	65.393,5
1A3a	Aviación Civil	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1A3b	Transporte Terrestre	1.576,9	1.435,8	501,8	41.037,6	1.060,4	150.307,6	64.859,5
1A3bi	Automóviles	134,9	121,4	17,8	13.858,4	78,4	47.282,3	27.223,1
1A3bii	Camiones para servicio ligero	270,2	243,2	110,2	7.381,2	36,1	20.579,4	9.623,6
1A3biii	Camiones para servicio pesado y autobuses	940,9	847,0	349,2	18.127,7	109,7	18.162,8	2.784,6
1A3biv	Motocicletas	230,9	224,3	24,6	1.670,4	836,1	64.283,2	25.228,2
1A3c	Ferrocarriles	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1A3d	Navegación Marítima y fluvial	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1A3e	Otro Transporte	443,8	430,4	283,6	5.382,1	15,7	2.819,0	534,0
1A3ei	Transporte por gasoductos	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1A3eii	Todo Terreno	443,8	430,4	283,6	5.382,1	15,7	2.819,0	534,0
1A4	Otros Sectores	160,9	77,5	4,2	900,4	828,7	2.921,0	136,1
1A4a	Comercial/Institucional	158,0	74,6	4,2	276,2	824,2	2.594,1	109,3
1A4b	Residencial	2,9	2,9	0,0	622,9	4,4	326,3	26,7
1A4c	Agricultura/Silvicultura/Pesca/Piscifactorías	0,1	0,1	0,0	1,3	0,0	0,5	0,1
1A5	No especificado	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
1A5a	Estacionaria	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0
1B	Emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25.586,0
1B2	Petróleo y Gas Natural	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25.586,0
1B2a	Petróleo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25.586,0
1B2aiii5	Distribución de productos de petróleo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25.586,0
1B2b	Gas Natural	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2	Procesos Industriales y Uso de Productos	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3	Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra	61,0	55,0	0,0	14,0	0,0	500,0	2.037,0
3A	Ganado	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3B	Tierra	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2.037,0
3B1	Tierras Forestales	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND
3B2	Tierras de Cultivo	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND
3B3	Pastizales	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND
3B4	Humedales	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND
3B5	Asentamientos	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2.037,0
3B5a	Asentamientos que permanecen como tales	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2.037,0
3B5b	Tierras convertidas en asentamientos	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3B6	Otras Tierras	NA	NA	NA	NA	NA	NA	ND
3C	Fuentes agregadas y fuentes de emisión no-CO₂ de la tierra	61,0	55,0	0,0	14,0	0,0	500,0	0,0
3C1	Emisiones por quemado de biomasa	61,0	55,0	0,0	14,0	0,0	500,0	0,0
3C1a	Emisiones por quemado de biomasa en Tierras Forestales	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3C1b	Emisiones por quemado de biomasa en Tierras de Cultivo	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3C1c	Emisiones por quemado de biomasa en Pastizales	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3C1d	Emisiones por quemado de biomasa en Otras Tierras	61,0	55,0	0,0	14,0	0,0	500,0	0,0
4	Desechos	0,1	0,1	0,0	0,9	0,0	0,4	0,0

	Categoría UPCC	PM ₁₀	PM _{2.5}	BC	NO _x	SO _x	CO	COV
4A	Eliminación de desechos sólidos	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4B	Tratamiento biológico de residuos sólidos	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4C	Incineración e incineración abierta de desechos	0,1	0,1	0,0	0,9	0,0	0,4	0,0
4C1	Incineración de desechos	0,1	0,1	0,0	0,9	0,0	0,4	0,0
4C2	Incineración abierta de desechos	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
4D	Tratamiento y eliminación de aguas residuales	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
5	Otros	18.513,8	2.561,7	12,7	NA	NA	NA	NA
5A	Resuspensión de Material Particulado en Vías	16.539,2	1.865,0	12,7	NA	NA	NA	NA
5A1	Tránsito en vías	15.783,7	1.766,0	4,7	NA	NA	NA	NA
5A1a	Vías Pavimentadas Principales	1.040,3	251,7	2,6	NA	NA	NA	NA
5A1b	Vías Pavimentadas Secundarias	281,3	68,1	0,7	NA	NA	NA	NA
5A1c	Vías No Pavimentadas Secundarias	14.462,1	1.446,2	1,4	NA	NA	NA	NA
5A2	Fricción de Frenos y llantas	755,5	99,0	7,9	NA	NA	NA	NA
5A2a	Transporte terrestre	755,5	99,0	7,9	NA	NA	NA	NA
5A2ai	Automóviles	311,2	41,2	3,6	NA	NA	NA	NA
5A2aii	Camiones para servicio ligero	149,7	19,8	1,7	NA	NA	NA	NA
5A2aiii	Camiones para servicio pesado y autobuses	184,6	23,8	1,5	NA	NA	NA	NA
5A2aiv	Motocicletas	109,9	14,2	1,1	NA	NA	NA	NA
5B	Manipulación de Materiales	1.974,6	696,8	NE	NA	NA	NA	NA
5B1	Construcción	1.352,3	416,1	NE	NA	NA	NA	NA
5B1a	Construcción y remodelación de vías	399,4	122,9	NE	NA	NA	NA	NA
5B1b	Construcción y remodelación de edificaciones	952,9	293,2	NE	NA	NA	NA	NA
5B2	Canteras	617,3	280,7	NE	NA	NA	NA	NA
5B2a	Arenas y Arcillas	617,3	280,7	NE	NA	NA	NA	NA
5B3	Agricultura y silvicultura	5,0	0,0	NE	NA	NA	NA	NA
5B3a	Agricultura	5,0	0,0	NE	NA	NA	NA	NA

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

Elaboración propia

En cuanto a la participación porcentual de emisiones por categorías IPCC (ver Figura 119) se destaca la participación mayoritaria de las fuentes de las categorías 5A y 5B para PM₁₀ (~80%), una combinación de participación de las fuentes por combustión de transporte (1A3) y manipulación y resuspensión de materiales (5A y 5B) 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 equitativa entre transporte (1A3), Industrias manufactureras y de la construcción (1A2) y otros sectores (1A4), 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).



Elaboración propia

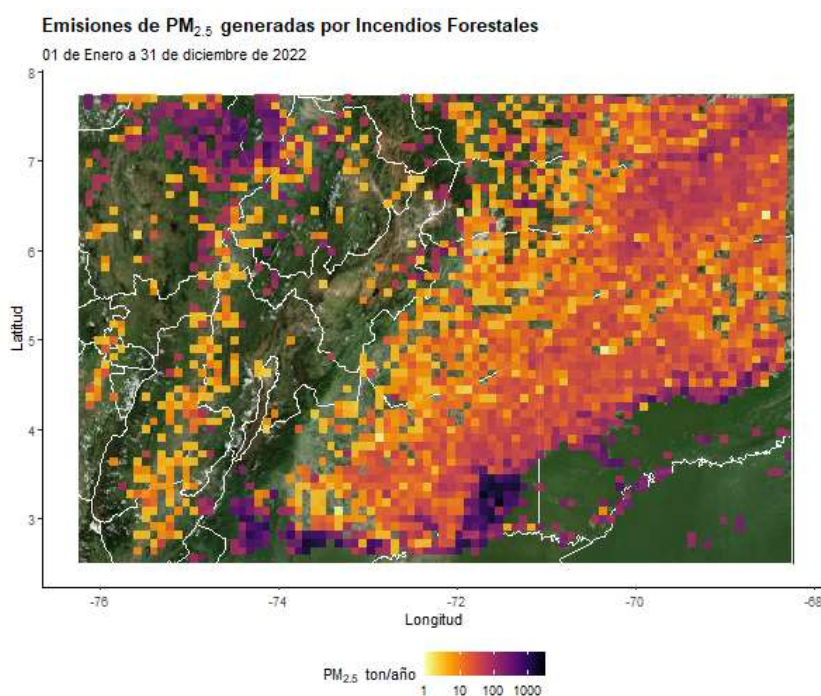
Figura 119. Distribución porcentual de las emisiones totales para 2022 por categorías IPCC

7. INVENTARIO DE EMISIONES REGIONAL DE INCENDIOS FORESTALES

La base de datos seleccionada como insumo de las emisiones de incendios es FINN (Fire INventory from NCAR). Esta base de datos provee información de manera diaria, cruzando información satelital de puntos calientes de los sensores VIIRS, cobertura vegetal de MODIS, y factores de emisión de varios autores, recopilados a nivel global, para estimar emisiones de $PM_{2.5}$, CO, NO_2 , BC, SO_2 y otras especies químicas. Esta información es descargada y analizada de manera diaria en la zona de influencia definida para la ciudad de Bogotá, y el análisis de esta se ha consolidado para el año 2022. Esta información se presenta como partida informativa, sin alterar el inventario de emisiones para Bogotá, y se reitera que, aunque se analicen las emisiones en el área de influencia de la ciudad, no implica que todas las generadas afecten directa o indirectamente la calidad del aire de Bogotá.

7.0. Material Particulado

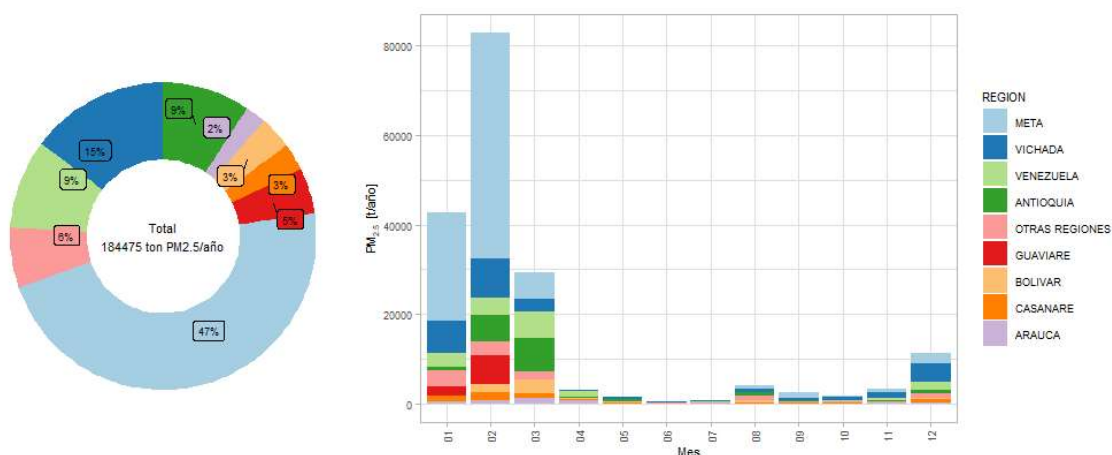
Para el área de influencia, se estima que las emisiones de $PM_{2.5}$ por quema de biomasa fueron de 152.756 t/año (Figura 120). Se puede evidenciar que el departamento del Meta aportó la mayoría de las emisiones en el área de influencia, con un porcentaje de participación de 47%, aumentando un 16% respecto a los aportes del año 2021, seguida de Vichada con un 15%, como se observa en la Figura 121.



Fuente: Adaptado de NCAR-ACOM por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá

Figura 120. Emisiones $PM_{2.5}$ de incendios para el año 2022.

En cuanto al comportamiento mensual de las emisiones, se pudo establecer que el primer trimestre ocurre la mayoría de los incendios en el área de influencia, alcanzando hasta ~85 kt/mes de $PM_{2.5}$ y donde los mayores aportantes de emisiones corresponden a los departamentos del Meta y Vichada. En los demás meses del año, las emisiones de $PM_{2.5}$ por quema de biomasa no superaron ~90 kt/mes de $PM_{2.5}$; se destaca que en los periodos de lluvias (mayo, junio y octubre), las emisiones no llegaron a pasar los 1.5 kt/mes.

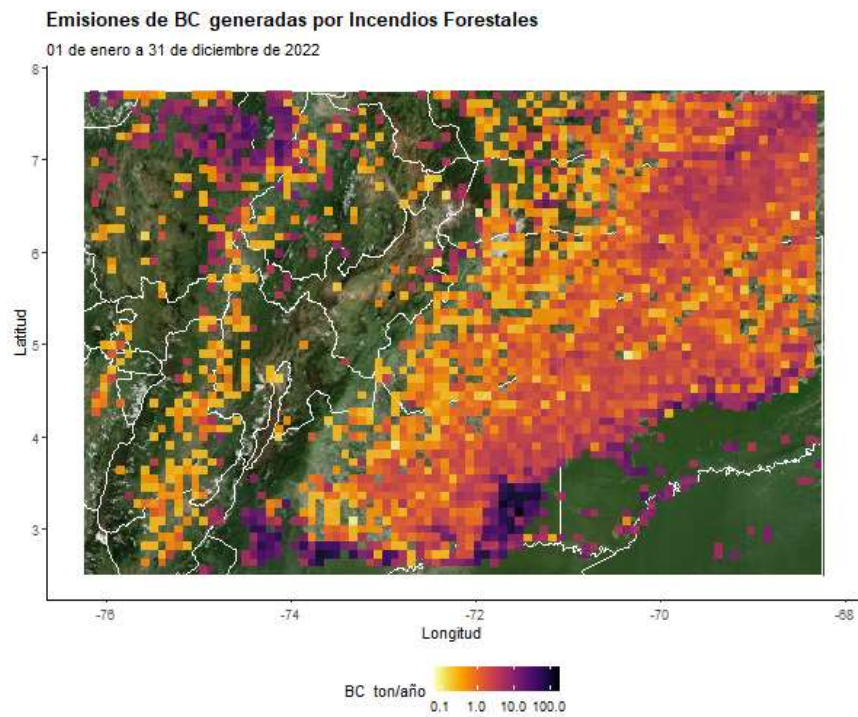


Fuente: Adaptado de NCAR-ACOM por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá

Figura 121. Emisiones de $PM_{2.5}$ departamentales de incendios forestales para el año 2021.

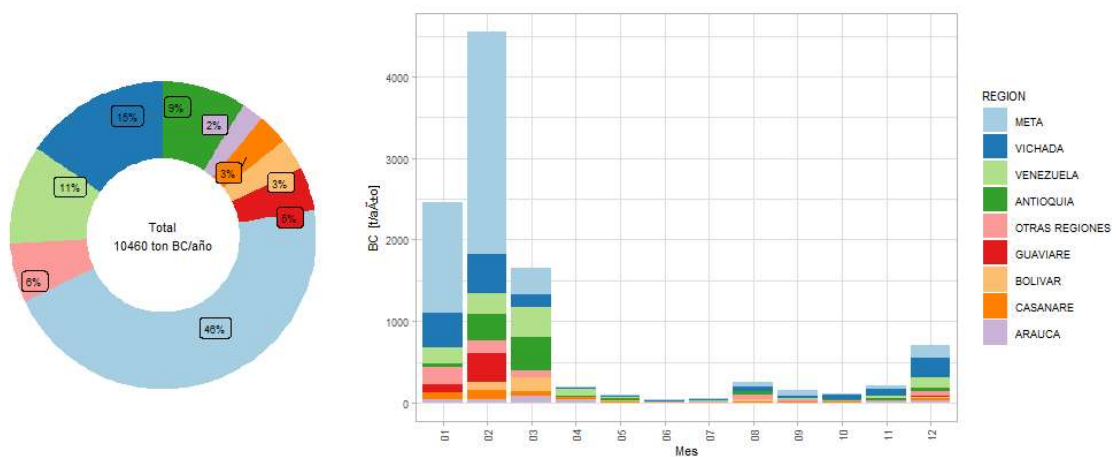
Por otro lado, para el BC, se estimaron emisiones por quema de biomasa 10.460 t/año, cuya distribución espacial puede verse en la ver en la Figura 122. En la Figura 123, se puede evidenciar que el departamento del Meta aportó la mayoría de las emisiones en el área de influencia, con un porcentaje de participación de 46%, aumentando un 15% del aporte con respecto al 2021, seguido por el departamento de Vichada con un 15%.

En cuanto al comportamiento mensual de las emisiones de BC concuerda con el comportamiento de $PM_{2.5}$, en donde durante los primeros 4 meses del año, es cuando ocurre la mayoría de los incendios en el área de influencia, alcanzando hasta ~4 kt/mes de BC y donde las áreas con mayor aporte de emisiones corresponden a los departamentos del Meta y Vichada. En los demás meses del año, las emisiones de BC por quema de biomasa no superaron ~2 kt/mes de BC; se destaca que en los periodos de lluvias (mayo, junio y octubre), las emisiones no llegaron a pasar los 0,2 kt/mes.



Fuente: Adaptado de NCAR-ACOM por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá

Figura 122. Emisiones BC de incendios para el año 2022



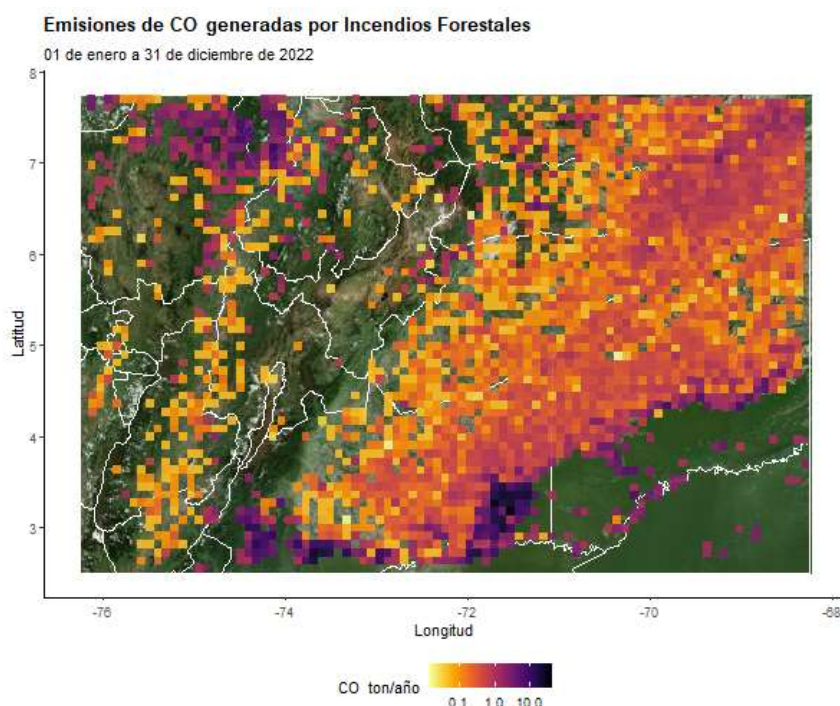
Fuente: Adaptado de NCAR-ACOM por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá

Figura 123. Emisiones de BC departamentales de incendios forestales para el año 2022

7.1. Gases

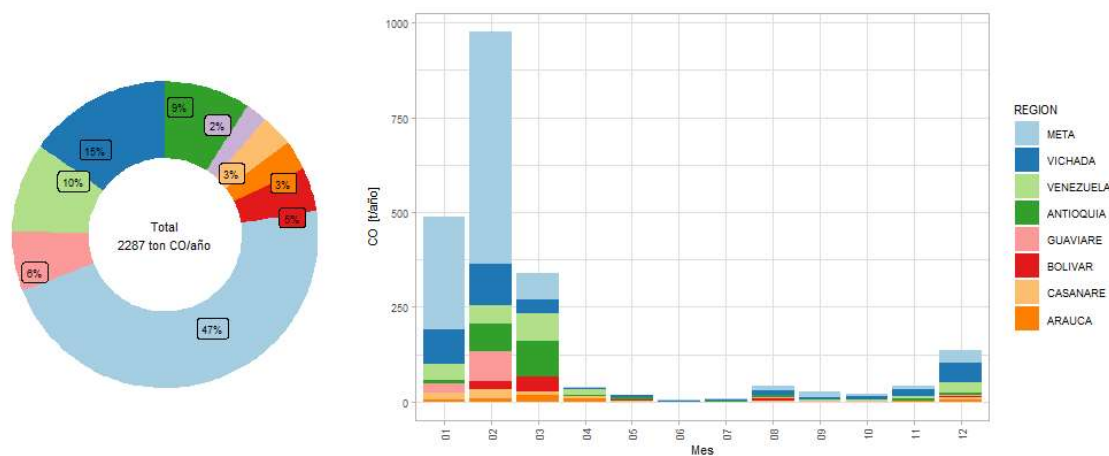
Para los gases, se estimaron emisiones de 2.287 t/año de CO, 161.005 t/año de SO₂, y 1'644.232 t/año de NO₂. El departamento del Meta aportó ~31% de las emisiones de los gases, seguido de Vichada, el cual aportó ~16%, como se puede evidenciar en las Figura 125, Figura 127 y Figura 127.

En cuanto al comportamiento mensual de las emisiones de gases concuerda con el comportamiento del material particulado, en donde durante los primeros 4 meses del año es cuando ocurre la mayoría de los incendios en el área de influencia, alcanzando hasta ~0,65 kt/mes de CO, ~60 kt/mes de SO₂ y ~600 kt de NO₂ y donde los mayores aportantes de emisiones corresponden a los departamentos del Meta y Vichada. En los demás meses del año, las emisiones de gases por quema de biomasa no superaron ~0,1 kt/mes de CO, ~20 kt/mes para SO₂ y ~70 kt/mes para NO₂. En las siguientes Figura 124, Figura 125 y Figura 127, se observa la distribución espacial de las emisiones debidas a quema de biomasa, presentando una similitud en la ubicación espacial de las emisiones, lo que permite identificar que las emisiones dependen del tamaño de los incendios. Adicionalmente, las zonas de la Orinoquia colombo-venezolana frontera con la Amazonia, fue el área con mayor número de incendios para el 2022, mostrando que debido a la temporada seca los ecosistemas que mayoritariamente tienden a presentar estos eventos de incendios son los pastizales y bajos arbustos.



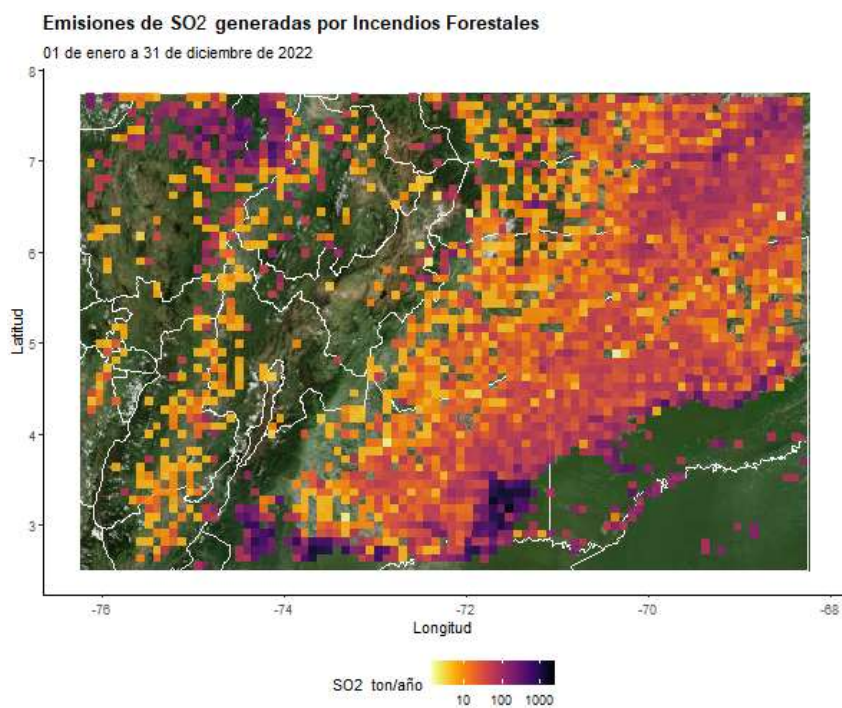
Fuente: Adaptado de NCAR-ACOM por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá

Figura 124. Emisiones CO de incendios para el año 2022



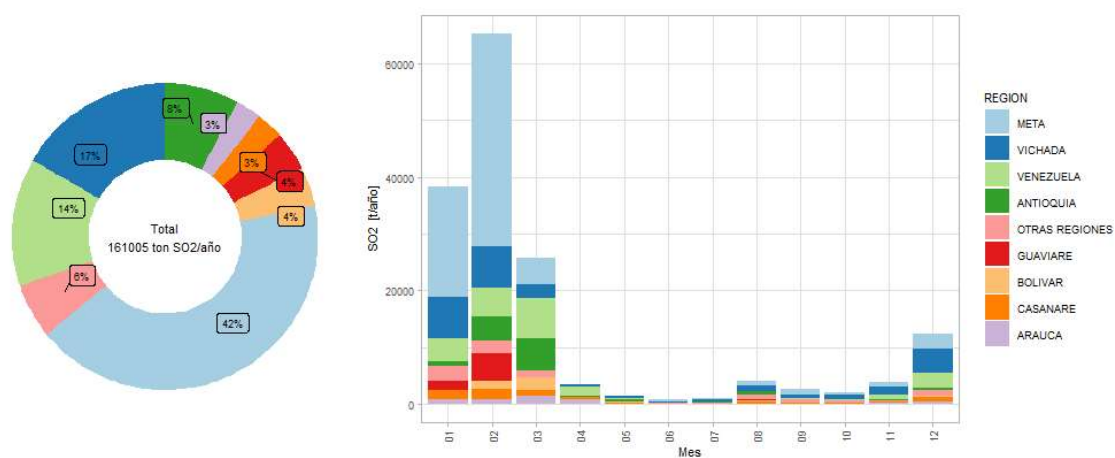
Elaboración propia: Adaptado de NCAR-ACOM por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá

Figura 125. Emisiones de CO departamentales de incendios forestales para el año 2022

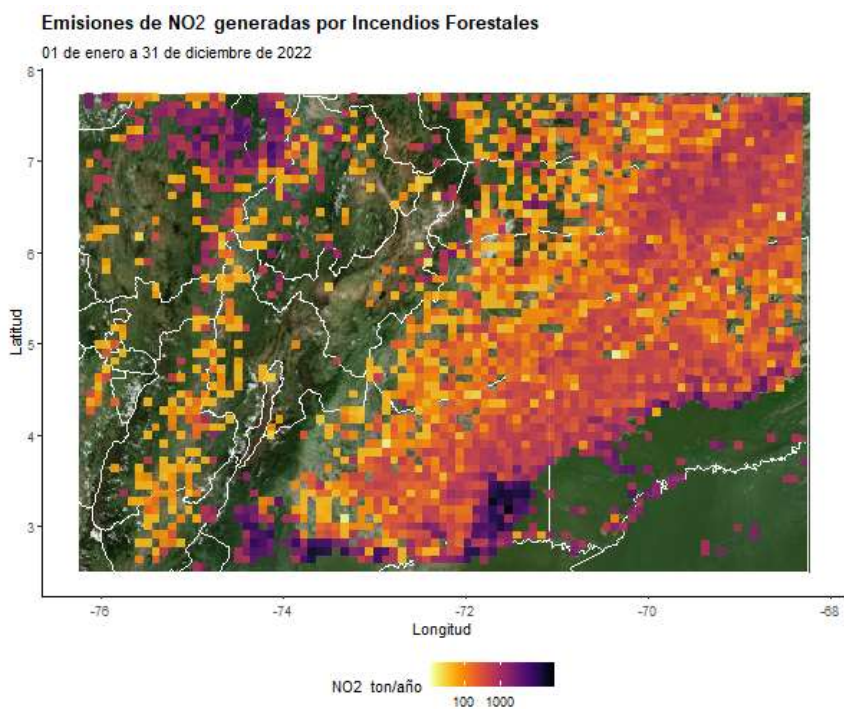


Fuente: Adaptado de NCAR-ACOM por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá

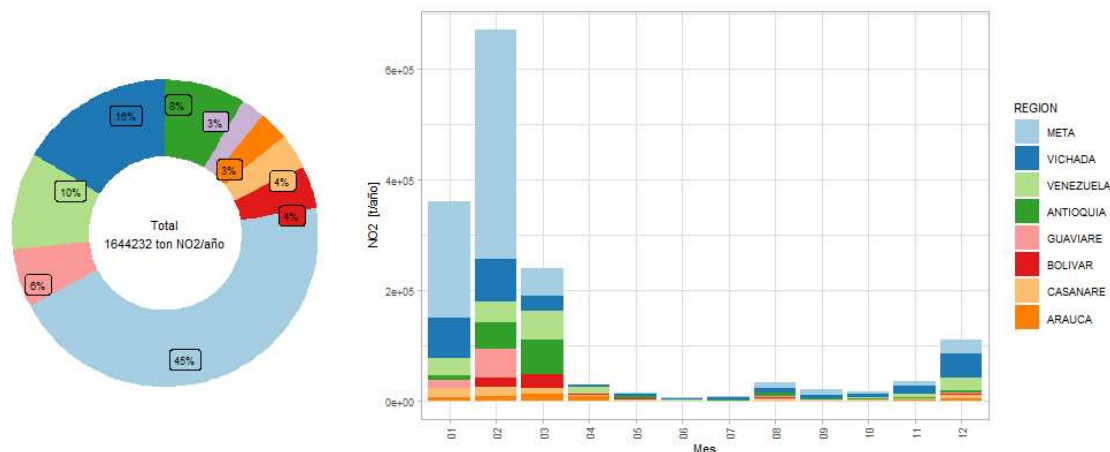
Figura 126. Emisiones SO₂ de incendios para el año 2022



Elaboración propia: Adaptado de NCAR-ACOM por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá
Figura 127. Emisiones de SO₂ departamentales de incendios forestales para el año 2022



Fuente: Adaptado de NCAR-ACOM por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá
Figura 128. Emisiones de NO₂ de incendios para el año 2022



Fuente: Adaptado de NCAR-ACOM por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá
Figura 129. Emisiones de NO₂ departamentales de incendios forestales para el año 2022

7.2. Consolidado Histórico de emisiones por incendios forestales

Por medio del análisis de los incendios del año 2022, se evidencia un aumento de aproximadamente 12% en cada uno de los contaminantes. Adicionalmente, se analiza que el departamento de Antioquia disminuyó la participación de emisiones en el año 2022 y que los departamentos con mayores aportes fueron los departamentos del Meta y Vichada.

Tabla 46. Consolidado de emisiones de PM_{2.5} por tipo de fuente para los años 2018, 2020, 2021 y 2022

Contaminantes	PM _{2.5}		BC		CO		SO ₂		NO ₂	
Año	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022	2021	2022
Emisiones t/año	152.756	184.475	8.676	10.460	1.900	2.287	133.265	161.005	1.375.844	1.644.232
Regiones	Meta 31%	Meta 47%	Meta 31%	Meta 46%	Meta 31%	Meta 47%	Meta 30%	Meta 4	Meta 31%	Meta 45%
	Antioquia 21%	Vichada 15%	Antioquia 20%	Vichada 15%	Antioquia 21%	Vichada 15%	Antioquia 18%	Vichada 17%	Antioquia 19%	Vichada 16%
	Vichada 16%	Antioquia 9%	Vichada 17%	Venezuela 11%	Vichada 16%	Venezuela 10%	Vichada 18%	Venezuela 14%	Vichada 17%	Venezuela 10%

Fuente: Adaptado de NCAR-ACOM por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá

8. OPORTUNIDADES DE MEJORA

Los siguientes ítems son oportunidades de mejora para el inventario de emisiones que se espera puedan tenerse en cuenta la próxima actualización del inventario y que permita la participación de otras entidades e instituciones académicas, en búsqueda de consolidar un inventario de emisiones más cercano a la realidad de la ciudad.



Mediciones de factores: Hacer mediciones directamente en las fuentes de la ciudad con uso de nuevas metodologías.



Actualización de factores de emisión: a partir de otras fuentes de información o uso de modelos de emisiones.



Estimar inventarios de nuevas fuentes: Estimar las emisiones de fuentes que se han identificado, pero aún no cuentan con un inventario de emisiones propio para la ciudad o de fuentes que tienen inventario de emisiones, pero no para todas clases de emisiones identificadas. Ejemplo: emisiones por evaporación por fuentes móviles, emisiones de proceso de fuentes fijas industriales, entre otras.



Actualización de inventarios de emisiones no priorizadas: Actualizar las emisiones de fuentes estimadas en el año 2014 y 2012, pero que por motivos como escasa información o complejo procesamiento de la información no se han podido actualizar. Ejemplo de esto son: incendios forestales, biogénicas, estaciones de servicio, fuentes móviles fuera de carretera.



Incertidumbre: Establecer una metodología para la estimación de la incertidumbre de los inventarios de emisiones para cada fuente.



Otras metodologías para estimación de factores de actividad: En el caso de fuentes móviles, identificar otras fuentes de información, modelos de transporte o mediciones que permitan obtener un dato más preciso de los kilómetros recorridos por tipología vehicular.



Inventario de emisiones regional: Apoyar a la región en la actualización de los inventarios de emisiones prioritariamente para fuentes fijas, fuentes móviles, material particulado resuspendido e incendios forestales.



Validación de Inventarios de emisión: Empleando modelaciones de calidad de aire inversas, y observaciones satelitales, se podría corroborar la magnitud y la distribución de las emisiones consolidadas, de tal forma que cierren los estadísticos de desempeño de los modelos de calidad de aire empleados, o los valores sean consistentes con el comportamiento de las observaciones satelitales.



Integración de Inventarios de emisión de contaminantes criterio, con inventarios de gases de efecto invernadero: Dada la naturaleza de las emisiones documentadas en este documento, las metodologías detalladas permitirían la



estimación de Gases de Efecto Invernadero, principalmente para el sector de la quema de combustible en procesos de manufactura (1A2) y en los procesos de quema de combustible en el transporte (1A3), así mismo la extensión metodológica a los consumos en otros sectores (1A4), donde se incluyen consumos de combustible residencial, comercial y gubernamental generaría insumos que permitirían estimar y/o refinar la estimación de emisiones de contaminantes criterio para estos sectores.



9. 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.....	4
A.1.	Estimación de emisiones Estimación de emisiones Top-Down	4
A.1.1.	<i>Factores de Actividad</i>	4
A.1.2.	<i>Factores de expansión</i>	20
A.1.3.	<i>Cantidad de vehículos</i>	20
A.1.4.	<i>Factores de emisión</i>	22
A.2.	Estimación de emisiones Bottom-Up	40
A.2.1.	<i>Diagnóstico de conteos vehiculares</i>	40
A.2.2.	<i>Análisis de conteos vehiculares</i>	44
A.2.3.	<i>Distribución espacial de los conteos</i>	49
A.2.4.	<i>Ajuste de Flujos y Factores de emisión empleando herramientas de modelación</i>	51
A.2.5.	<i>Estimación de los flujos vehiculares</i>	54
A.2.6.	<i>Estimación de emisiones por combustión desagregadas espacial y temporalmente</i> 55	
B.	METODOLOGIA ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE FUENTES FIJAS INDUSTRIALES	57
B.1.	Estimación de emisiones Bottom-Up.....	57
B.1.1.	<i>Factores de Emisión para las fuentes fijas industriales</i>	57
B.1.2.	<i>Eficiencia de los sistemas de control de emisiones</i>	60
B.1.3.	<i>Desagregación horaria de las emisiones por combustión de fuentes fijas</i>	60
B.1.4.	<i>Desagregación espacial de las emisiones por combustión de fuentes fijas</i>	61
C.	ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR DESGASTE DE FRENOS Y DE LLANTAS EN FUENTES MÓVILES	62
D.	ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE RESUSPENSIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN VÍAS.....	63
D.1.	Estimación Bottom-Up	63
D.1.1.	Estimación de los factores de emisión	63
D.1.2.	Variables asociadas a la estimación de factores de emisión.....	64
D.1.3.	Estimación de las emisiones.....	70
E.	ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO RESUSPENDIDO POR CONSTRUCCIONES.....	72
F.	ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CANTERAS	74
G.	ESTIMACIÓN DE EMISIONES RESIDENCIALES.....	75
H.	ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE BLACK CARBON	76
H.1.	Black Carbon para fuentes fijas industriales	76
H.2.	Black Carbon para fuentes móviles.....	76
I.	REFERENCIAS	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura A-1. Análisis con diagrama de caja de años modelos por tipo de combustible (izquierda) y clase de servicio (derecha)	21
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 2022.....	43
Figura A-3. Proporciones <i>Isab</i> e <i>Idom</i> para extrapolar conteos realizados en el año 2022 para los fines de semana.	44
Figura A-4. Nodos vehiculares analizados en los conteos vehiculares del año 2022 de SDM.	46
Figura A-5. Comparación de promedios horarios y diarios para CO entre los datos observados (obs) y el mejor escenario modelado identificado (p03a).	53
Figura A-6. Comparación de promedios horarios y diarios para PM10 entre los datos observados (obs) y el mejor escenario modelado identificado (p03a).	53
Figura A-7. Comparación de promedios horarios y diarios para PM2.5 entre los datos observados (obs) y el mejor escenario modelado identificado (p03a).	54
Figura A-8. Factores de Corrección de Flujo (AJ) estimados con modelación de escenarios para el 2022.....	54
Figura D-1. Mapa de Coberturas y puntos de medición de Cs y S.	67
Figura D-2. Distribución espacial de Cs (izquierda) y S (derecha).	68
Figura D-3. Número de días con precipitación mayor a 0.254 por estación para el año 2022.....	69
Figura D-4. Perfiles de velocidad para la ciudad de Bogotá para el 2018, según día tipo	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla A-1. Actividad vehicular y cantidad de vehículos por categoría para el año 2022.....	6
Tabla A-2. Años modelos corte para filtro de la base de datos del RDA.....	21
Tabla A-3. Factores de emisión utilizados en metodología Top-Down.....	23
Tabla A-4. Categorías Vehiculares homologadas de los conteos vehiculares.....	40
Tabla A-5. Nodos vehiculares analizados en los conteos 2022 realizados por la SDM.....	44
Tabla A-6. División de categorías en subcategorías que incluyen combustibles.	47
Tabla A-7. Atributos del archivo shape de la malla vial de la ciudad e Bogotá.....	49
Tabla A-8. Coeficientes de ajuste para estimar el Factor de corrección a vías secundarias.....	51
Tabla A-9. Factores de emisión empleados en la estimación Bottom-up de fuentes móviles por combustión.....	56
Tabla B-1. Factores de emisión de fuentes fijas industriales	58
Tabla B-2. Porcentaje de remoción del Sistema de Control de emisiones	60
Tabla C-1. Factores de emisión por desgaste de frenos y llantas.	62
Tabla D-1. Cargas de sedimentos empleadas en este inventario.	65
Tabla D-2. Porcentaje de finos empleados en este documento.	65
Tabla D-3. Pesos representativos de categorías vehiculares.	68
Tabla E-1. Factores de emisión por construcción de edificaciones y vías en la Ciudad de Bogotá. .	73
Tabla F-1. Factores de emisión para extracción de material en canteras.....	74
Tabla G-1. Factores de emisiones de fuentes residenciales	75
Tabla H-1. Fracciones de BC presente en las emisiones de PM _{2.5} generadas por las fuentes fijas industriales	76
Tabla H-2. Fracciones másicas de carbón elemental para las emisiones por combustión de las fuentes móviles	77
Tabla H-3. Porcentaje para fuentes móviles por resuspensión	77
Tabla H-4. Porcentaje para fuentes móviles terrestres de carretera por freno y desgaste de llantas.	77

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.

$$E_{i,j} = FE_{i,j} \cdot FA_j \cdot N_j \cdot FC \cdot K_j \quad \text{Ecuación A.1}$$

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:

$$KmA_j = \frac{KmT_j}{Ev_j} \quad \text{Ecuación A.2}$$

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 2022 y 2023 (registrados en el 2022) 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 2022

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Actividad vehicular (km/año)	Cantidad de vehículos
Automóvil	Diésel	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	75
Automóvil	Diésel	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	218
Automóvil	Gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	199.301
Automóvil	Gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	159.412
Automóvil	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	483
Automóvil	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	493
Automóvil	Diésel	EURO II	2010-2014	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	10
Automóvil	Diésel	EURO II	2010-2014	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	327
Automóvil	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	254.099
Automóvil	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	395.201
Automóvil	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	481
Automóvil	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	495
Automóvil	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	12
Automóvil	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	387
Automóvil	GNV	EURO IV	Todos	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	31
Automóvil	GNV	EURO IV	Todos	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	15
Automóvil	Eléctrico	No aplica	Todos	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	1.494
Automóvil	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	23
Automóvil	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	27
Automóvil	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	79.040

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Actividad vehicular (km/año)	Cantidad de vehículos
Automóvil	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	43.387
Automóvil	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	516
Automóvil	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8.578	461
Campero y camioneta	Diésel	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	91
Campero y camioneta	Diésel	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	16.746
Campero y camioneta	Gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	12.499
Campero y camioneta	Gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	69.791
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	203
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	1.910
Campero y camioneta	Diésel	EURO II	2010-2014	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	43
Campero y camioneta	Diésel	EURO II	2010-2014	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	30.967
Campero y camioneta	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	47.465
Campero y camioneta	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	297.849
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	1.892
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	4.046
Campero y camioneta	Diésel - Eléctrico	EURO IV	Todos	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	1

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Actividad vehicular (km/año)	Cantidad de vehículos
Campero y camioneta	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	40
Campero y camioneta	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	38.275
Campero y camioneta	Diésel - Eléctrico	EURO IV	Todos	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	250
Campero y camioneta	GNV	EURO IV	Todos	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	7
Campero y camioneta	GNV	EURO IV	Todos	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	75
Campero y camioneta	Eléctrico	No aplica	Todos	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	849
Campero y camioneta	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	7.732
Campero y camioneta	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	34.429
Campero y camioneta	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	344
Campero y camioneta	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10.631	4.488
Motocicleta	Gasolina	PRE-EURO	Todos	Menor de 100 cc	Motocicleta	2T	NA	Todos	8.917	538
Motocicleta	Gasolina	PRE-EURO	Todos	Entre 100 a 300 cc	Motocicleta	2T	NA	Todos	8.917	1.131
Motocicleta	Gasolina	PRE-EURO	Todos	Mayor de 300 cc	Motocicleta	2T	NA	Todos	8.917	4
Motocicleta	Gasolina	EURO II	2010-2017	Menor de 100 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	8.952	60.908
Motocicleta	Gasolina	EURO II	Mayor a 2017	Menor de 100 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	8.952	4.318
Motocicleta	Gasolina	EURO II	2010-2017	Entre 100 a 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	8.952	522.877
Motocicleta	Gasolina	EURO II	Mayor a 2017	Entre 100 a 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	8.952	96.592
Motocicleta	Gasolina	EURO II	2010-2017	Mayor de 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	8.952	31.315
Motocicleta	Gasolina	EURO II	Mayor a 2017	Mayor de 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	8.952	12.061
Motocicleta	Eléctrico	No aplica	Todos	No aplica	Motocicleta	No aplica	NA	Todos	8.952	463

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Actividad vehicular (km/año)	Cantidad de vehículos
Otros	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Particular	25.068	51
Otros	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Particular	25.068	67
Otros	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Particular	25.068	35
Otros	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Particular	25.068	16
Otros	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	25.068	1
Otros	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Buseta	NA	NA	Particular	25.068	24
Otros	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	25.068	215
Otros	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	25.068	233
Otros	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	25.068	67
Otros	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	25.068	77
Otros	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Público	25.068	1
Otros	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	25.068	350
Otros	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	25.068	254
Otros	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	25.068	412
Otros	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	25.068	495
Otros	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	25.068	127
Otros	Eléctrico	Eléctrico	Todos	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	25.068	7

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Actividad vehicular (km/año)	Cantidad de vehículos
Otros	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	25.068	2
Otros	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	25.068	906
SITP-Troncal	Diésel	EURO II	No aplica	No aplica	Articulado	NA	NA	Troncal	73.652	110
SITP-Troncal	Diésel	EURO III	No aplica	No aplica	Articulado	NA	NA	Troncal	73.652	36
SITP-Troncal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Articulado	NA	NA	Troncal	73.551	32
SITP-Troncal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Articulado	NA	NA	Troncal	75.322	204
SITP-Troncal	Diésel	EURO V-CON FILTRO	No aplica	No aplica	Articulado	NA	NA	Troncal	72.082	202
SITP-Troncal	GNV	EURO VI	No aplica	No aplica	Articulado	NA	NA	Troncal	70.221	179
SITP-Troncal	Diésel	EURO III	No aplica	No aplica	Biarticulado	NA	NA	Troncal	66.386	5
SITP-Troncal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Biarticulado	NA	NA	Troncal	65.394	43
SITP-Troncal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Biarticulado	NA	NA	Troncal	67.538	482
SITP-Troncal	Diésel	EURO V-CON FILTRO	No aplica	No aplica	Biarticulado	NA	NA	Troncal	66.226	238
SITP-Troncal	GNV	EURO VI	No aplica	No aplica	Biarticulado	NA	NA	Troncal	68.799	563
SITP-Troncal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Padrón dual	NA	NA	Troncal	62.290	43
SITP-Troncal	Híbrido (Diésel - Eléctrico)	Híbrido (Diésel EURO V- Eléctrico)	No aplica	No aplica	Padrón dual	NA	NA	Troncal	62.256	230
SITP-Zonal	Eléctrico	Eléctrico	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-Alimentador	63.797	73

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Actividad vehicular (km/año)	Cantidad de vehículos
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-Alimentador	42.255	1
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-Alimentador	50.616	16
SITP-Zonal	Diésel	EURO III	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	62.409	7
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	61.149	27
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	60.669	319
SITP-Zonal	Eléctrico	Eléctrico	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	59.999	284
SITP-Zonal	GNV	EURO VI	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	60.571	128
SITP-Zonal	Diésel	EURO II	No aplica	No aplica	Buseta	NA	NA	Zonal-urbano	42.373	1.164
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Buseta	NA	NA	Zonal-urbano	45.585	1.066
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Buseta	NA	NA	Zonal-urbano	40.777	696
SITP-Zonal	Diésel	EURO II	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	36.800	130
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	42.370	15
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	40.744	389
SITP-Zonal	Diésel	EURO VI	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	58.368	167
SITP-Zonal	Eléctrico	Eléctrico	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	32.837	867
SITP-Zonal	GNV	EURO VI	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	28.954	134

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Actividad vehicular (km/año)	Cantidad de vehículos
SITP-Zonal	Diésel	EURO II	No aplica	No aplica	Microbús	NA	NA	Zonal-urbano	42.466	104
SITP-Zonal	Diésel	EURO II	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	54.950	312
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	47.538	29
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	50.284	1.495
SITP-Zonal	Diésel	EURO VI	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	62.639	71
SITP-Zonal	Eléctrico	Eléctrico	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	45.497	261
SITP-Zonal	GNV	EURO VI	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	51.764	1.004
Taxis	Diésel	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	50.737	66
Taxis	Gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	50.737	11.421
Taxis	Gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	50.737	138
Taxis	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	50.737	2.933
Taxis	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	50.737	40
Taxis	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	50.737	25.419
Taxis	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	50.737	2.994
Taxis	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	50.737	8.070
Taxis	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	50.737	852
Taxis	Eléctrico	No aplica	Todos	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	50.737	46
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	31.548	3.925

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Actividad vehicular (km/año)	Cantidad de vehículos
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	31.548	5.862
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	31.548	564
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	31.548	3.650
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	31.548	25
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	31.548	17
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	31.548	13
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	31.548	2.841
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	31.548	2
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	31.548	4
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	31.548	2
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	31.548	15
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998-2009	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	11.716	203
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998-2009	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	11.716	363
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998-2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	11.716	36
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998-2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	11.716	38
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998-2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	11.716	279

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Actividad vehicular (km/año)	Cantidad de vehículos
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	31.548	3.291
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	31.548	5.738
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	31.548	1.807
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	31.548	21
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	31.548	21
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	31.548	17
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	31.548	3.844
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	31.548	2,259
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	31.548	2
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	31.548	2
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes o mayor	Todos	31.548	19
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	11.716	182
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	11.716	302
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	11.716	76
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	11.716	154
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	11.716	4

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Actividad vehicular (km/año)	Cantidad de vehículos
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	11.716	2
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	11.716	40
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	11.716	6
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	31.548	2.381
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	31.548	4.963
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	31.548	2.073
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	31.548	2.134
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	31.548	8
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	31.548	2
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	31.548	19
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	31.548	1.750
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	31.548	48
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes o mayor	Todos	31.548	95
Transporte de carga	Diésel - Eléctrico	NA	Todos	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	31.548	8
Transporte de carga	Diésel - Eléctrico	NA	Todos	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	31.548	8
Transporte de carga	Gas-gasolina	EURO IV	Todos	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	38.094	920

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Actividad vehicular (km/año)	Cantidad de vehículos
Transporte de carga	Gas-gasolina	EURO IV	Todos	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	38.094	234
Transporte de carga	Gas-gasolina	EURO IV	Todos	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	38.094	19
Transporte de carga	Gas-gasolina	EURO IV	Todos	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	38.094	8
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	38.094	44
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	38.094	8
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	38.094	8
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	38.094	10
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	38.094	19
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	31.548	1.670
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	31.548	2.970
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	31.548	2.806
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	31.548	15
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	31.548	13
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	31.548	15
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	31.548	1.205
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes o mayor	Todos	31.548	21

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Actividad vehicular (km/año)	Cantidad de vehículos
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	31.548	2.280
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	11.716	5.886
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	11.716	4.623
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	11.716	2.799
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	11.716	1.326
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	11.716	27
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	11.716	17
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	11.716	17
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	11.716	198
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	11.716	2
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Oficial	14.184	64
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Público	39.612	86
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Oficial	14.184	40
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Público	39.612	264
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Oficial	14.184	2
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Público	39.612	27

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Actividad vehicular (km/año)	Cantidad de vehículos
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Oficial	14.184	3
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Público	39.612	5
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Buseta	NA	NA	Oficial	14.184	10
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Buseta	NA	NA	Público	39.612	104
Transporte de especial	GNV	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	39.612	21
Transporte de especial	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	39.612	2
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Oficial	14.184	125
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	39.612	457
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	39.612	674
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Oficial	14.184	17
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	39.612	6
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Oficial	14.184	25
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Oficial	14.184	39
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	39.612	11
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Busetón	NA	NA	Oficial	14.184	66
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	39.612	481

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Actividad vehicular (km/año)	Cantidad de vehículos
Transporte de especial	Eléctrico	Eléctrico	Todos	No aplica	Busetón	NA	NA	Oficial	14.184	1
Transporte de especial	Eléctrico	Eléctrico	Todos	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	25.068	1
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Oficial	14.184	113
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	39.612	574
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Oficial	14.184	23
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	39.612	1.051
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Oficial	14.184	27
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	39.612	667
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Oficial	14.184	35
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	39.612	88
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Microbús	NA	NA	Oficial	14.184	10
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	39.612	1.578
Transporte de especial	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	39.612	8

Elaboración propia

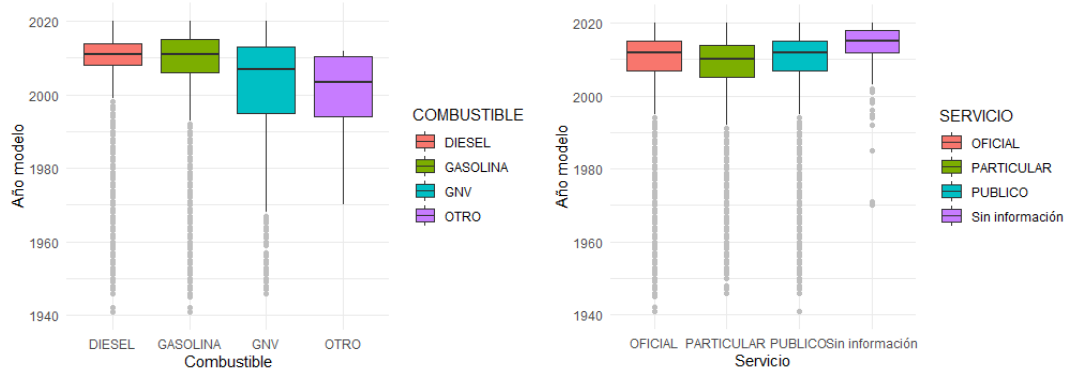
A.1.2. Factores de expansión

Para este inventario de emisiones se consideraron varios ajustes para la estimación de la cantidad de vehículos que se estiman pueden transitar en la ciudad. Estos ajustes se formularon con ayuda de la Secretaría Distrital de Movilidad y se aplicaron para estimar el inventario de emisiones 2022. En estos ajustes, se realizó un análisis de información para transporte de carga y motocicletas, donde se evidenció que cerca del 90 % de los vehículos de transporte de carga y el 24 % de las motocicletas que transitan en la ciudad no tienen placa registrada en Bogotá, por lo que no está en las bases de datos locales como el RDA. Estos factores de expansión se aplicaron para las categorías mencionadas anteriormente en la estimación del año 2022.

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 2022, 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 dueño 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 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:

$$A_{ij} = Q_{1j} - 1,5 \cdot RI \quad \text{Ecuación A.3}$$

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

Elaboración propia

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 2022 proporcionada por la SDM y Transmilenio S.A.

El resumen del procesamiento individual de la base de datos del RDA y los registros del CDA, así como su unificación se presenta de forma esquemática en el Anexo 2. Procesamiento base de datos inventarió de fuentes móviles Top-Down.

Finalmente se desagrega la información en 232 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 2022, en la ciudad de Bogotá transitaron activamente 2'585.625 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 2022 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 IVE y aquellos medidos y ajustados por la SDA de mediciones realizadas en campo en el marco de convenios con la Universidad Nacional de Colombia (Universidad Nacional de Colombia & SDA, Informe Convenio 013/2012, 2012) (Universidad Nacional de Colombia & SDA, Informe Convenio 015/2013, 2013).

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

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM ₂₅
Automóvil	Diésel	EURO I	1998-2009	Menor de 1500 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	1,50	0,20	1,57	0,31	0,001	0,28
Automóvil	Diésel	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	1,50	0,20	1,57	0,37	0,001	0,33
Automóvil	Gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	15,00	1,82	1,00	0,01	0,005	0,01
Automóvil	Gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	15,00	2,86	1,53	0,02	0,006	0,02
Automóvil	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	15,00	0,08	1,93	0,01	0,001	0,01
Automóvil	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	15,00	0,14	3,03	0,01	0,001	0,01
Automóvil	Diésel	EURO II	2010-2014	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	1,29	0,13	1,72	0,26	0,001	0,23
Automóvil	Diésel	EURO II	2010-2014	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	1,29	0,13	1,72	0,31	0,001	0,28
Automóvil	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	2,85	0,37	0,39	0,01	0,005	0,01
Automóvil	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	5,73	0,49	0,69	0,01	0,006	0,01
Automóvil	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8,00	0,08	1,65	0,01	0,001	0,01
Automóvil	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	8,00	0,14	2,58	0,01	0,001	0,01
Automóvil	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	0,27	0,03	1,24	0,08	0,001	0,07
Automóvil	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	0,27	0,03	1,24	0,08	0,001	0,07
Automóvil	GNV	EURO IV	Todos	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10,22	0,04	1,53	0,001	0,001	0,0005
Automóvil	GNV	EURO IV	Todos	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	18,90	0,11	1,69	0,001	0,001	0,001

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM ₂₅
Automóvil	Eléctrico	No aplica	Todos	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Automóvil	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	1,50	0,90	1,66	0,88	0,001	0,79
Automóvil	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	1,32	0,80	1,46	1,06	0,001	0,95
Automóvil	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	31,00	9,90	2,87	0,01	0,01	0,01
Automóvil	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	31,00	9,91	2,89	0,01	0,01	0,01
Automóvil	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	31,00	0,63	2,87	0,01	0,001	0,01
Automóvil	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	31,00	0,63	2,89	0,01	0,001	0,01
Campero y camioneta	Diésel	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	1,50	0,20	1,57	0,31	0,001	0,28
Campero y camioneta	Diésel	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	1,50	0,20	1,57	0,37	0,001	0,33
Campero y camioneta	Gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	24,17	1,82	1,00	0,01	0,005	0,01
Campero y camioneta	Gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	15,00	2,86	1,53	0,02	0,01	0,02
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	15,00	0,08	1,93	0,01	0,001	0,01
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	15,00	0,14	3,03	0,01	0,001	0,01
Campero y camioneta	Diésel	EURO II	2010-2014	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	1,29	0,13	1,72	0,26	0,001	0,23
Campero y camioneta	Diésel	EURO II	2010-2014	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	1,29	0,13	1,72	0,31	0,001	0,28

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM ₂₅
Campero y camioneta	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	2,85	0,37	0,39	0,01	0,005	0,01
Campero y camioneta	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	5,73	0,49	0,69	0,01	0,01	0,01
Campero y camioneta	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	Mayor a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	6,86	0,60	0,85	0,01	0,01	0,01
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	8,00	0,08	1,65	0,01	0,001	0,01
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	8,00	0,14	2,58	0,01	0,001	0,01
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	Mayor a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	8,00	0,17	3,16	0,12	0,002	0,11
Campero y camioneta	Diésel - Eléctrico	EURO IV	Todos	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,27	0,03	1,24	0,08	0,001	0,07
Campero y camioneta	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,27	0,03	1,24	0,08	0,001	0,07
Campero y camioneta	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,27	0,03	1,24	0,08	0,001	0,07
Campero y camioneta	Diésel - Eléctrico	EURO IV	Todos	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,27	0,03	1,24	0,08	0,001	0,07
Campero y camioneta	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	Mayor a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,27	0,03	1,24	0,07	0,002	0,07
Campero y camioneta	GNV	EURO IV	Todos	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10,22	0,04	1,53	0,001	0,001	0,0005
Campero y camioneta	GNV	EURO IV	Todos	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	18,90	0,11	1,69	0,001	0,001	0,001
Campero y camioneta	Eléctrico	No aplica	Todos	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Campero y camioneta	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	1,50	0,90	1,66	0,88	0,001	0,79

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	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	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	1,32	0,80	1,46	1,06	0,001	0,95
Campero y camioneta	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	96,60	9,90	2,87	0,01	0,01	0,01
Campero y camioneta	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	31,00	9,91	2,89	0,01	0,01	0,01
Campero y camioneta	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	31,00	0,63	2,87	0,01	0,001	0,01
Campero y camioneta	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	31,00	0,63	2,89	0,01	0,001	0,01
Motocicleta	Gasolina	PRE-EURO	Todos	Menor de 100 cc	Motocicleta	2T	NA	Todos	45,33	20,60	0,09	0,43	0,001	0,39
Motocicleta	Gasolina	PRE-EURO	Todos	Entre 100 a 300 cc	Motocicleta	2T	NA	Todos	56,66	25,75	0,11	0,54	0,001	0,49
Motocicleta	Gasolina	PRE-EURO	Todos	Mayor de 300 cc	Motocicleta	2T	NA	Todos	113,32	51,50	0,21	1,08	0,002	0,97
Motocicleta	Gasolina	EURO II	2010-2017	Menor de 100 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	38,00	2,60	0,80	0,01	0,05	0,01
Motocicleta	Gasolina	EURO II	Mayor a 2017	Menor de 100 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	24,34	1,61	0,47	0,01	0,04	0,01
Motocicleta	Gasolina	EURO II	2010-2017	Entre 100 a 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	20,23	2,80	0,58	0,02	0,05	0,02
Motocicleta	Gasolina	EURO II	Mayor a 2017	Entre 100 a 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	12,96	1,73	0,34	0,01	0,04	0,01
Motocicleta	Gasolina	EURO II	2010-2017	Mayor de 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	40,46	5,60	1,15	0,05	0,07	0,04
Motocicleta	Gasolina	EURO II	Mayor a 2017	Mayor de 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	12,96	1,73	0,34	0,01	0,04	0,01
Motocicleta	Eléctrico	No aplica	Todos	No aplica	Motocicleta	NA	NA	Todos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Otros	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Particular	0,28	0,04	3,00	0,05	0,002	0,36

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM ₂₅
Otros	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Particular	3,00	0,88	10,57	0,40	0,002	0,36
Otros	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Particular	205,01	8,75	8,65	0,19	0,02	0,17
Otros	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Particular	142,25	7,09	6,67	0,04	0,02	0,04
Otros	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	402,89	0,93	6,04	0,01	0,002	0,01
Otros	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Buseta	NA	NA	Particular	518,01	14,52	7,55	0,18	0,02	0,16
Otros	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	0,28	0,04	3,00	0,05	0,002	0,05
Otros	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	3,00	0,88	10,57	0,40	0,002	0,36
Otros	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	205,01	8,75	8,65	0,19	0,02	0,17
Otros	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	142,25	7,09	6,67	0,04	0,02	0,04
Otros	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Particular	402,89	0,93	6,04	0,01	0,002	0,01
Otros	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	518,01	14,52	7,55	0,18	0,02	0,16
Otros	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	0,28	0,04	3,00	0,05	0,002	0,05
Otros	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	3,00	0,88	10,57	0,40	0,002	0,36
Otros	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	205,01	8,75	8,65	0,19	0,02	0,17
Otros	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	142,25	7,09	6,67	0,04	0,02	0,04

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM ₂₅
Otros	GNV	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	10,77	0,04	0,35	0,003	0,002	0,003
Otros	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	402,89	0,93	6,04	0,01	0,002	0,01
Otros	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	518,01	14,52	7,55	0,18	0,02	0,16
Otros	Eléctrico	Eléctrico	Todos	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SITP-Troncal	Diésel	EURO II	No aplica	No aplica	Articulado	NA	NA	Troncal	28,87	0,23	21,50	0,21	0,03	0,19
SITP-Troncal	Diésel	EURO III	No aplica	No aplica	Articulado	NA	NA	Troncal	33,36	0,22	17,14	0,19	0,03	0,17
SITP-Troncal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Articulado	NA	NA	Troncal	15,30	0,14	15,02	0,09	0,03	0,08
SITP-Troncal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Articulado	NA	NA	Troncal	10,76	0,03	15,98	0,04	0,03	0,04
SITP-Troncal	Diésel	EURO V-CON FILTRO	No aplica	No aplica	Articulado	NA	NA	Troncal	10,76	0,03	15,98	0,03	0,03	0,03
SITP-Troncal	GNV	EURO VI	No aplica	No aplica	Articulado	NA	NA	Troncal	1,79	0,07	0,00005	0,000001	0,03	0,000001
SITP-Troncal	Diésel	EURO III	No aplica	No aplica	Biarticulado	NA	NA	Troncal	33,36	0,22	17,14	0,19	0,03	0,17
SITP-Troncal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Biarticulado	NA	NA	Troncal	16,96	0,19	16,38	0,05	0,03	0,04
SITP-Troncal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Biarticulado	NA	NA	Troncal	7,27	0,11	16,66	0,07	0,03	0,07
SITP-Troncal	Diésel	EURO V-CON FILTRO	No aplica	No aplica	Biarticulado	NA	NA	Troncal	7,27	0,11	16,66	0,06	0,03	0,05
SITP-Troncal	GNV	EURO VI	No aplica	No aplica	Biarticulado	NA	NA	Troncal	1,79	0,07	0,00005	0,000001	0,03	0,000001

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM ₂₅
SITP-Troncal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Padrón dual	NA	NA	Troncal	13,83	0,16	6,54	0,08	0,03	0,07
SITP-Troncal	Híbrido (Diésel - Eléctrico)	Híbrido (Diésel EURO V- Eléctrico)	No aplica	No aplica	Padrón dual	NA	NA	Troncal	6,34	0,16	14,32	0,03	0,96	0,03
SITP-Zonal	Eléctrico	Eléctrico	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-Alimentado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-Alimentado	6,76	0,03	11,82	0,13	0,03	0,12
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-Alimentado	6,76	0,03	7,43	0,13	0,03	0,12
SITP-Zonal	Diésel	EURO III	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	27,89	0,21	14,14	0,14	0,03	0,13
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	13,83	0,16	10,31	0,08	0,03	0,07
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	13,83	0,16	6,54	0,08	0,03	0,07
SITP-Zonal	Eléctrico	Eléctrico	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SITP-Zonal	GNV	EURO VI	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	1,79	0,07	0,00005	0,000001	0,03	0,000001

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM ₂₅
SITP-Zonal	Híbrido (Diésel - Eléctrico)	Híbrido (Diésel EURO V- Eléctrico)	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	6,34	0,16	14,32	0,03	0,96	0,03
SITP-Zonal	Diésel	EURO II	No aplica	No aplica	Buseta	NA	NA	Zonal-urbano	11,04	0,23	27,96	0,24	0,03	0,21
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Buseta	NA	NA	Zonal-urbano	1,08	0,01	11,40	0,08	0,03	0,07
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Buseta	NA	NA	Zonal-urbano	1,08	0,01	7,16	0,08	0,03	0,07
SITP-Zonal	Diésel	EURO II	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	24,52	0,13	23,00	0,25	0,03	0,23
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	1,79	0,07	0,00	0,00	0,03	0,00
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	6,76	0,03	7,43	0,13	0,03	0,12
SITP-Zonal	Diésel	EURO VI	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	0,28	0,002	0,79	0,01	0,03	0,01
SITP-Zonal	Eléctrico	Eléctrico	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SITP-Zonal	GNV	EURO VI	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	1,79	0,07	0,00	0,00	0,03	0,03
SITP-Zonal	Diésel	EURO II	No aplica	No aplica	Microbús	NA	NA	Zonal-urbano	33,79	0,44	31,65	0,49	0,02	0,44
SITP-Zonal	Diésel	EURO II	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	24,61	0,23	15,19	0,21	0,03	0,19
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	13,83	0,16	10,31	0,08	0,03	0,07
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	13,83	0,16	6,54	0,08	0,03	0,07
SITP-Zonal	Diésel	EURO VI	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	0,23	0,01	0,68	0,01	0,03	0,005

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM ₂₅
SITP-Zonal	Eléctrico	Eléctrico	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SITP-Zonal	GNV	EURO VI	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	1,79	0,07	0,00005	0,000001	0,03	0,000001
SITP-Zonal	Híbrido (Diésel - Eléctrico)	Híbrido (Diésel EURO V- Eléctrico)	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	28,87	0,23	21,50	0,21	0,03	0,19
Taxis	Diésel	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	1,50	0,20	1,57	0,37	0,001	0,33
Taxis	Gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	15,00	1,82	1,00	0,01	0,005	0,01
Taxis	Gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	15,00	2,86	1,53	0,02	0,01	0,02
Taxis	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	15,00	0,08	1,93	0,01	0,001	0,01
Taxis	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	15,00	0,14	3,03	0,01	0,001	0,01
Taxis	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	2,85	0,37	0,39	0,01	0,005	0,01
Taxis	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	5,73	0,49	0,69	0,01	0,01	0,01
Taxis	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	8,00	0,08	1,65	0,01	0,001	0,01
Taxis	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	8,00	0,14	2,58	0,01	0,001	0,01
Taxis	Eléctrico	No aplica	Todos	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Taxis	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	31,00	9,90	2,87	0,01	0,01	0,01
Taxis	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	31,00	9,91	2,89	0,01	0,01	0,01

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM ₂₅
Taxis	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	31,00	0,63	2,87	0,01	0,001	0,01
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	1,37	0,20	5,00	0,34	0,001	0,30
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	1,37	0,20	5,00	0,32	0,002	0,29
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	2,62	0,88	9,44	0,4	0,002	0,36
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	5,43	1,34	17,33	0,55	0,002	0,50
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	1,37	0,20	5,00	0,34	0,001	0,30
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	1,37	0,20	5,00	0,32	0,002	0,29
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	2,62	0,88	9,44	0,4	0,002	0,36
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	5,43	1,34	17,33	0,55	0,002	0,50
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	1,37	0,20	5,00	0,34	0,001	0,30
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	1,37	0,20	5,00	0,32	0,002	0,29
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	2,62	0,88	9,44	0,4	0,002	0,36
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	5,43	1,34	17,33	0,55	0,002	0,50
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998-2009	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	21,63	2,03	0,92	0,01	0,004	0,01
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998-2009	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	24,29	2,50	1,01	0,12	0,01	0,11

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM ₂₅
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998-2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	85,59	5,10	4,55	0,13	0,01	0,11
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998-2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	90,00	6,89	6,11	0,12	0,01	0,11
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998-2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	90,00	6,89	6,11	0,12	0,01	0,11
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	1,18	0,13	5,30	0,28	0,001	0,25
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	1,18	0,13	5,30	0,27	0,002	0,24
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	2,73	0,79	5,79	0,43	0,001	0,39
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	4,02	1,16	8,53	0,75	0,002	0,68
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	1,18	0,13	5,30	0,28	0,001	0,25
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	1,18	0,13	5,30	0,27	0,002	0,24
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	2,73	0,79	5,79	0,43	0,001	0,39
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	4,02	1,16	8,53	0,75	0,002	0,68
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	1,18	0,13	5,30	0,27	0,002	0,24
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	2,73	0,79	5,79	0,43	0,001	0,39
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes o mayor	Todos	4,02	1,16	8,53	0,75	0,002	0,68
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	3,50	0,36	0,42	0,004	0,004	0,004

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	Tipología	Tipo de motor	Cantidad de ejes	Servicio	Factores de emisión (g/km)					
									CO	COV	NOx	PM ₁₀	SOx	PM ₂₅
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	4,13	0,44	0,51	0,004	0,01	0,004
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	59,40	4,13	3,51	0,03	0,01	0,03
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	80,24	5,58	4,71	0,03	0,01	0,02
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	3,50	0,36	0,42	0,004	0,004	0,004
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	4,13	0,44	0,51	0,004	0,01	0,004
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	80,24	5,58	4,71	0,03	0,01	0,02
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	80,24	5,58	4,71	0,03	0,01	0,02
Transporte de carga	Gas-gasolina	EURO II	Todos	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	3,50	0,36	0,42	0,004	0,004	0,004
Transporte de carga	Gas-gasolina	EURO II	Todos	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	4,13	0,44	0,51	0,004	0,01	0,004
Transporte de carga	Gas-gasolina	EURO II	Todos	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	59,40	4,13	3,51	0,03	0,01	0,03
Transporte de carga	Gas-gasolina	EURO II	Todos	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	80,24	5,58	4,71	0,03	0,01	0,02
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	0,24	0,03	4,50	0,07	0,001	0,06
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	0,24	0,03	4,50	0,07	0,002	0,06
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	0,24	0,04	2,68	0,05	0,001	0,04
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	0,36	0,05	3,95	0,08	0,002	0,07

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	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 en adelante	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	0,24	0,03	4,50	0,07	0,001	0,06
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	0,24	0,03	4,50	0,07	0,002	0,06
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	0,24	0,04	2,68	0,05	0,001	0,04
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	0,36	0,05	3,95	0,08	0,002	0,07
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	0,24	0,03	4,50	0,07	0,001	0,06
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes o mayor	Todos	0,36	0,05	3,95	0,08	0,002	0,07
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	10,85	0,08	1,01	0,001	0,001	0,0005
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	10,84	0,08	1,02	0,01	0,001	0,005
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	5,45	0,03	0,20	0,01	0,001	0,01
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	6,32	0,04	0,23	0,01	0,001	0,01
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	6,32	0,04	0,23	0,01	0,001	0,01
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	1,20	0,80	4,30	0,96	0,001	0,86
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	1,20	0,80	5,50	0,95	0,001	0,86
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	2,62	0,88	9,44	0,40	0,002	0,36
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	5,43	1,34	17,33	0,55	0,002	0,50

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	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	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	1,20	0,80	4,30	0,96	0,001	0,86
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	1,20	0,80	5,50	0,95	0,001	0,86
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	2,62	0,88	9,44	0,40	0,002	0,36
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	5,43	1,34	17,33	0,55	0,002	0,50
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes o mayor	Todos	5,43	1,34	17,33	0,55	0,002	0,50
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	67,23	9,89	1,81	0,01	0,01	0,01
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	68,02	12,08	2,99	0,09	0,01	0,08
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	90,00	14,50	4,32	0,12	0,01	0,11
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	90,00	19,58	5,80	0,12	0,01	0,11
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	67,23	9,89	1,81	0,01	0,01	0,01
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	68,02	12,08	2,99	0,09	0,01	0,08
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	90,00	14,50	4,32	0,12	0,01	0,11
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	90,00	19,58	5,80	0,12	0,01	0,11
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	4 ejes	Todos	68,02	12,08	2,99	0,09	0,01	0,08
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Oficial	0,28	0,04	3,00	0,05	0,002	0,05

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	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	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Público	0,28	0,04	3,00	0,05	0,002	0,05
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Oficial	3,00	0,88	10,57	0,40	0,002	0,36
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Público	3,00	0,88	10,57	0,40	0,002	0,36
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Oficial	205,01	8,75	8,65	0,19	0,02	0,17
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Público	205,01	8,75	8,65	0,19	0,02	0,17
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Oficial	142,25	7,09	6,67	0,04	0,02	0,04
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Público	142,25	7,09	6,67	0,04	0,02	0,04
Transporte de especial	GNV	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	10,77	0,04	0,35	0,003	0,002	0,003
Transporte de especial	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	402,89	0,93	6,04	0,01	0,002	0,01
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Buseta	NA	NA	Oficial	518,01	14,52	7,55	0,18	0,02	0,16
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Buseta	NA	NA	Público	518,01	14,52	7,55	0,18	0,02	0,16
Transporte de especial	Eléctrico	Eléctrico	Todos	No aplica	Busetón	NA	NA	Oficial	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transporte de especial	Eléctrico	Eléctrico	Todos	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Oficial	0,28	0,04	3,00	0,05	0,002	0,05
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	0,28	0,04	3,00	0,05	0,002	0,05

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	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 2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	3,00	0,88	10,57	0,40	0,002	0,36
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Oficial	3,00	0,88	10,57	0,40	0,002	0,36
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	205,01	8,75	8,65	0,19	0,02	0,17
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Oficial	205,01	8,75	8,65	0,19	0,02	0,17
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Oficial	142,25	7,09	6,67	0,04	0,02	0,04
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	142,25	7,09	6,67	0,04	0,02	0,04
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Busetón	NA	NA	Oficial	518,01	14,52	7,55	0,18	0,02	0,16
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	518,01	14,52	7,55	0,18	0,02	0,16
Transporte de especial	GNV	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Público	10,77	0,04	0,35	0,003	0,002	0,003
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Oficial	0,28	0,04	3,00	0,05	0,002	0,05
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	0,28	0,04	3,00	0,05	0,002	0,05
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Oficial	3,00	0,88	10,57	0,40	0,002	0,36
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	3,00	0,88	10,57	0,40	0,002	0,36
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Oficial	205,01	8,75	8,65	0,19	0,02	0,17
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	205,01	8,75	8,65	0,19	0,02	0,17

Categoría	Combustible	Estándar	Año modelo	Cilindraje o Peso Bruto Vehicular	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 II	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Oficial	142,25	7,09	6,67	0,04	0,02	0,04
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	142,25	7,09	6,67	0,04	0,02	0,04
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Microbús	NA	NA	Oficial	518,01	14,52	7,55	0,18	0,02	0,16
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	518,01	14,52	7,55	0,18	0,02	0,16
Transporte de especial	GNV	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	10,77	0,04	0,35	0,003	0,002	0,003
Transporte de especial	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Oficial	402,89	0,93	6,04	0,01	0,002	0,01
Transporte de especial	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	402,89	0,93	6,04	0,01	0,002	0,01

Elaboración propia

A.2. Estimación de emisiones Bottom-Up

La desagregación espacio temporal de las emisiones de fuentes móviles para el año 2022 se estimaron empleando el aplicativo “Módulo de Estimación De Inventarios de Emisiones – MEDINE¹”, que hace parte Sistema de Modelación Atmosférica de Bogotá – SMA. El cual consta de los siguientes pasos:

A.2.1. Diagnóstico de conteos vehiculares

El aplicativo MEDINE cuenta a su vez con sub-módulos dedicados a tareas específicas. Este es el caso de la estimación de emisiones de fuentes móviles, en el cual se utilizó el sub-módulo MEDINE-FM-CATS para analizar los conteos vehiculares del año 2022 proporcionados por la Secretaría Distrital de Movilidad. 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.

<i>Categoría en los conteos</i>	<i>Abreviatura</i>	<i>Abreviatura dentro del módulo</i>
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
Camiones de 2 ejes grande.	C2G	C2

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

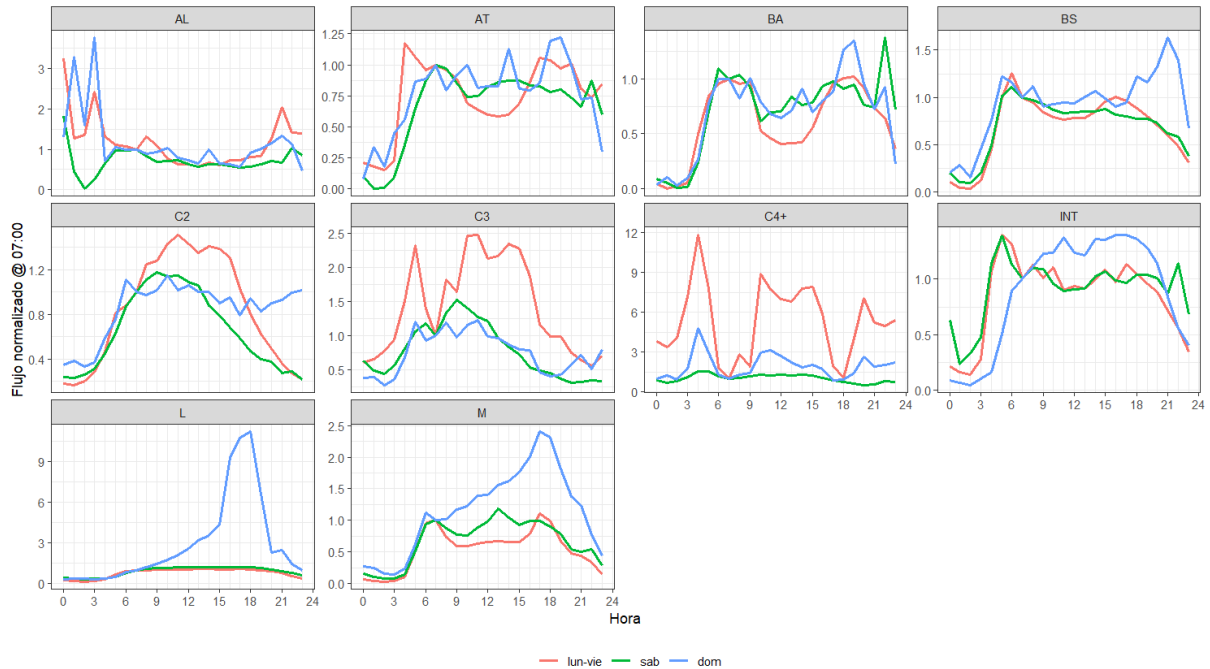
Categoría en los conteos	Abreviatura	Abreviatura dentro del módulo
Camiones de 2 ejes.	C2P	C2
Camiones de 2 ejes pequeño.	C2P	C2
Camiones de 2 ejes.	C2P Y C2G	C2
Camiones de 2 ejes pequeños y grandes.	C2P Y C2G	C2
Camiones de 3 ejes.	C3	C3
Camiones de 3 y 4 ejes.	C3-C4	C3
Camiones de 4 ejes.	C4	C4+
Camiones 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
Livianos.	LIV	L

<i>Categoría en los conteos</i>	<i>Abreviatura</i>	<i>Abreviatura dentro del módulo</i>
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 2022 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 horas² entre los años 2014 a 2022, empleado el aplicativo MEDINE-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.

² 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.

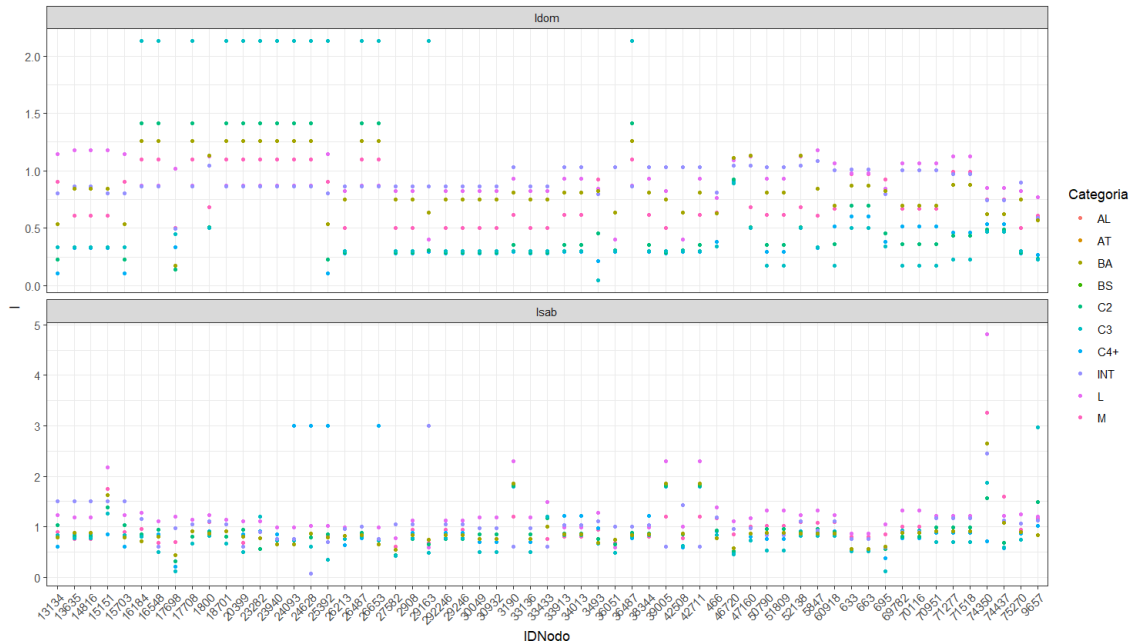


Elaboración propia basada en información de conteos vehiculares de la Secretaría Distrital de Movilidad

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 2014 a 2022.

Finalmente, dentro de este diagnóstico, se realizó la estimación de los valores para cada uno de los nodos³ en los días en los que no se realizaron los conteos. Este ejercicio se realiza determinando las proporciones de flujo, por cada uno de los nodos entre el 2014 y el 2022, entre los perfiles del sábado con respecto a los días hábiles (*Isab*), y las proporciones entre los perfiles del domingo con respecto a los sábados (*Idom*); la descripción de los nodos se encuentra detallada en la siguiente sección del documento.

³ Punto donde se realiza el conteo vehicular



Elaboración propia

Figura A-3. Proporciones *Isab* e *Idom* para extrapolar conteos realizados en el año 2022 para los fines de semana.

A.2.2. Análisis de conteos vehiculares

Por medio del aplicativo MEDINE, del submódulo MEDINE-FM-PRE, se extrajeron de los archivos originales los conteos vehiculares para cada punto de medición o nodo realizado para el año 2022, 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 2022 realizados por la SDM.

ID Nodo	Latitud	Longitud	Carriles totales sin carriles exclusivos de Transmilenio
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
24093	4.669018	-74.063374	12
24628	4.666689	-74.0785	4
25392	4.661998	-74.04704	4
26213	4.653675	-74.10341111	18

ID Nodo	Latitud	Longitud	Carriles totales sin carriles exclusivos de Transmilenio
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

Elaboración propia

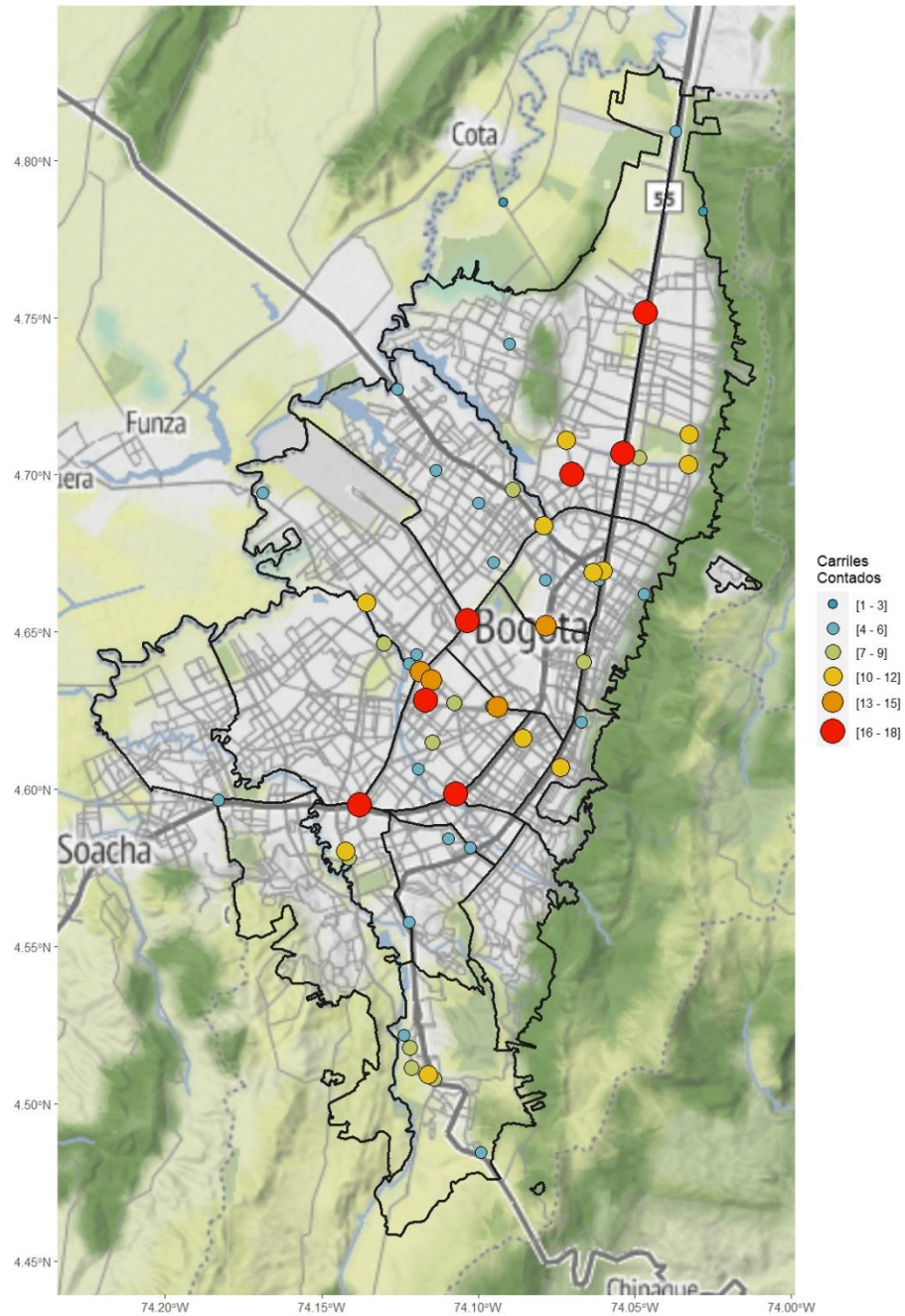
Dentro de la extracción de los conteos del 2022, se realizan las homologaciones respectivas según la Tabla A-4 y se almacenan los conteos por fecha, nodo y cantidad de vehículos por categoría y hora. Al cruzar los conteos para cada uno de los nodos con sus respectivos valores de carriles totales, excluyendo 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.4

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 2022 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:

$$FC_{h,i,k,w} = FC_{07:00,i,k,w} \cdot FN_{h,i,w} \quad \text{Ecuación A.5}$$

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**)

$FC_{18:00,i,k,w}$ 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 ^a	Nombre Subcategoría	Porcentaje de participación 2018	Porcentaje de participación 2020	Porcentaje de participación 2021	Porcentaje de participación 2022
AL	AL_DSEL	Alimentadores a Diesel	63,30%	49,00%	48,70%	48,70%
	AL_ELEC	Alimentadores Eléctricos	0,30%	37,00%	37,80%	37,80%
	AL_GNV	Alimentadores Gas Natural	28,20%	13,00%	13,50%	13,50%
AT	AT_DSEL	Articulados a Diesel	4,10%	83,00%	70,90%	82,72%
	AT_GNV	Articulados a Gas Natural	1,30%	17,00%	29,10%	17,28%
BA	BA_DSEL	Biarticulados a Diesel	1,00%	58,00%	56,20%	57,70%
	BA_GNV	Biarticulados a Gas Natural	1,80%	42,00%	43,80%	42,30%
BS	BS_DSEL	Buses/Busetón a Diesel	53,36%	42,00%	24,10%	32,03%
	BS_ELEC	Buses/Busetón a Eléctricos	0,00%	1,00%	1,60%	7,89%
	BS_GNV	Buses/Busetón a GNV	0,00%	0,00%	5,00%	6,73%
	ESB_GAS	Buses especiales a Gasolina	0,00%	7,00%	9,10%	28,04%
	ESB_GNV	Buses especiales a GNV	0,00%	2,00%	0,60%	0,19%
	ESB_DSEL	Buses especiales a Diesel	46,64%	47,00%	59,60%	25,08%

<i>Categoría</i>	<i>Subcategoría^a</i>	<i>Nombre Subcategoría</i>	<i>Porcentaje de participación 2018</i>	<i>Porcentaje de participación 2020</i>	<i>Porcentaje de participación 2021</i>	<i>Porcentaje de participación 2022</i>
	ESB_ELEC	Buses especiales eléctricos	0,00%	No Asignado	No Asignado	0,05%
C2	C2_DSEL	C2P y C2G a diésel	74,90%	64,00%	85,10%	85,10%
	C2_GAS	C2P y C2G a gasolina	8,80%	33,00%	12,80%	12,80%
	C2_GNV	C2P y C2G a gas natural	16,30%	3,00%	2,00%	2,00%
C3	C3_DSEL	C3 a diésel	74,90%	100,00%	99,10%	99,10%
	C3_GNV	C3 a gas natural	8,80%	0,00%	0,40%	0,40%
	C3_GAS	C3 a gasolina	60,30%	0,00%	0,40%	0,40%
C4+	C4+_GAS	C4 o superior a gasolina	25,70%	0,00%	0,00%	0,00%
	C4+_GNV	C4 o superior a gas natural	14,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	C4+_DSEL	C4 o superior a diésel	60,30%	100,00%	100,00%	100,00%
L	AUT_DSEL	Automóviles Diesel	25,70%	0,00%	0,10%	0,06%
	AUT_ELEC	Automóviles Eléctricos	14,00%	0,00%	0,10%	0,08%
	AUT_GAS	Automóviles a Gasolina	62,30%	62,00%	62,00%	64,26%
	AUT_GNV	Automóviles a Gas Natural	30,20%	0,00%	0,20%	0,17%
	CC_DSEL	Camionetas/Camperos a Diesel	7,40%	5,00%	5,10%	4,92%
	CC_ELEC	Camionetas/Camperos Eléctricos	62,30%	0,00%	0,00%	0,05%
	CC_GAS	Camionetas/Camperos a Gasolina	30,20%	30,00%	29,60%	26,75%
	CC_GNV	Camionetas/Camperos a Gas Natural	7,40%	0,00%	0,30%	0,76%
	TX_GAS	Taxis a Gasolina	62,30%	1,00%	2,00%	2,27%
	TX_GNV	Taxis a Gas Natural	30,20%	2,00%	0,60%	0,67%
	TX_ELEC	Taxis Eléctricos	7,40%	0,00%	0,00%	0,00%
	ESL_DSEL	Especiales livianos a diesel	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
	ESL_GNV	Especiales livianos a gas natural	Asignado a otra categoría	0,00%	0,00%	0,00%
	ESL_GAS	Especiales livianos a gasolina	Asignado a otra categoría	0,00%	0,00%	0,00%
	ESL_ELC	Especiales livianos Eléctricos	No Asignado	0,00%	0,00%	0,00%
M	M_GAS	Motos a Gasolina	100,00%	100,00%	99,90%	99,90%
	M_ELEC	Moto Eléctrica	No Asignado	0,00%	0,10%	0,10%

Categoría	Subcategoría ^a	Nombre Subcategoría	Porcentaje de participación 2018	Porcentaje de participación 2020	Porcentaje de participación 2021	Porcentaje de participación 2022
INT	INT_GAS	Intermunicipales a gasolina	15,47%	14,20%	13,00%	13,00%
	INT_DSEL	Intermunicipales a Diesel	75,56%	80,30%	85,00%	85,00%
	INT_GNV	Intermunicipales a Gas Natural	8,97%	5,50%	1,00%	1,00%

a. ELEC: Vehículos Eléctricos, GNV: Gas Natural Vehicular, GAS: Gasolina, DSEL: Diesel
Elaboración propia

A.2.3. Distribución espacial de los conteos

Para la distribución espacial de los conteos a toda la ciudad, se empleó el módulo MEDINE-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 esta 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 MEDINE-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 no aplica
- 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.6

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.2.4. Ajuste de Flujos y Factores de emisión empleando herramientas de modelación

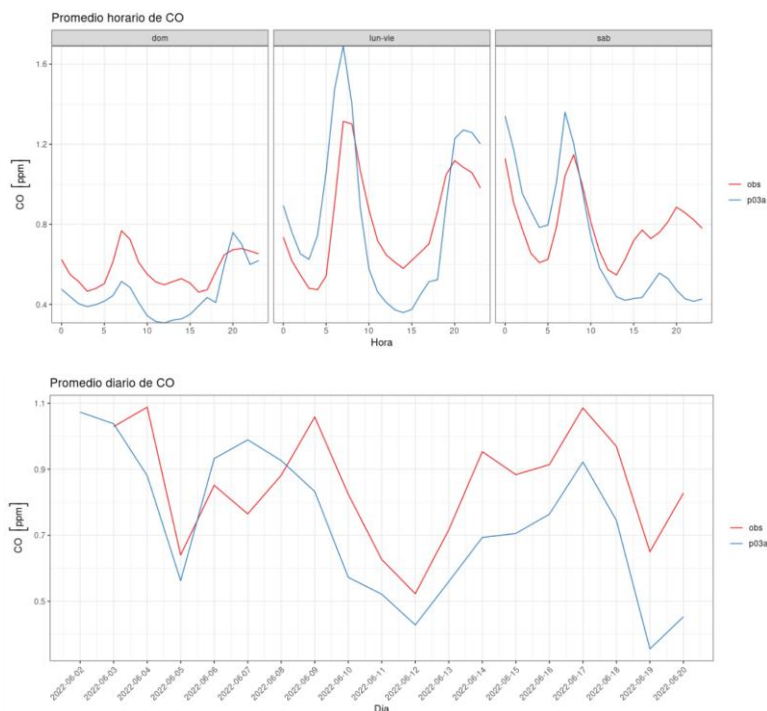
Se estimó un inventario preliminar de fuentes móviles en carretera, que incluyen las emisiones de combustión, desgaste de frenos y llantas, y material resuspendido, sin aplicar factores de ajuste (factores que se detallarán mas adelante), y, en conjunto con los resultados de la estimación de emisiones de las demás fuentes, se corrió el modelo CMAQ para el periodo 2022-06-03 a 2022-06-

20⁴, 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.

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.

A continuación se muestran los promedios diarios de CO observados y modelados, empleando los factores de corrección, tanto en emisiones como en flujos.



⁴ 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 edatos FINN de NCAR/ACOM

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

- **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 PM2.5.

A continuación se muestran los promedios diarios de PM10 y PM2.5, observados y modelados, empleando los factores de corrección, tanto en emisiones como en flujos.

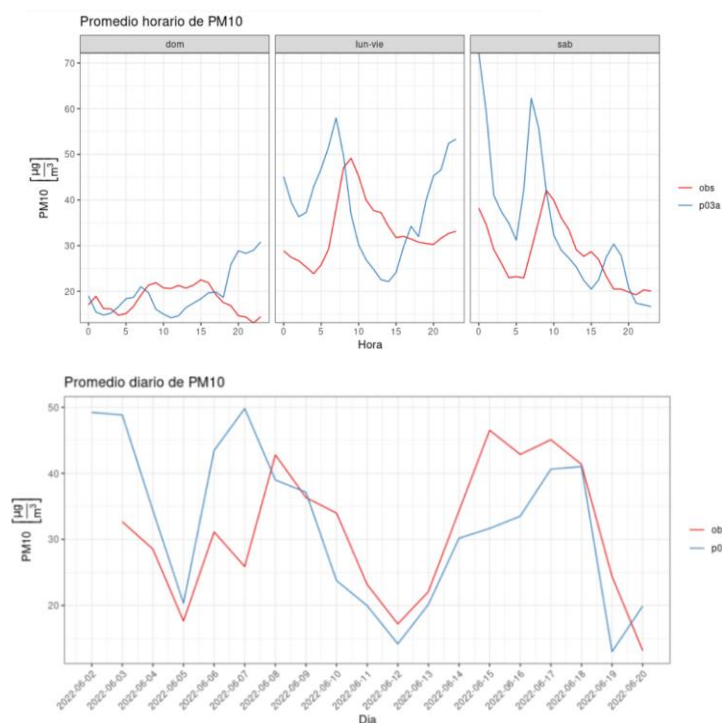


Figura A-6. Comparación de promedios horarios y diarios para PM10 entre los datos observados (obs) y el mejor escenario modelado identificado (p03a).

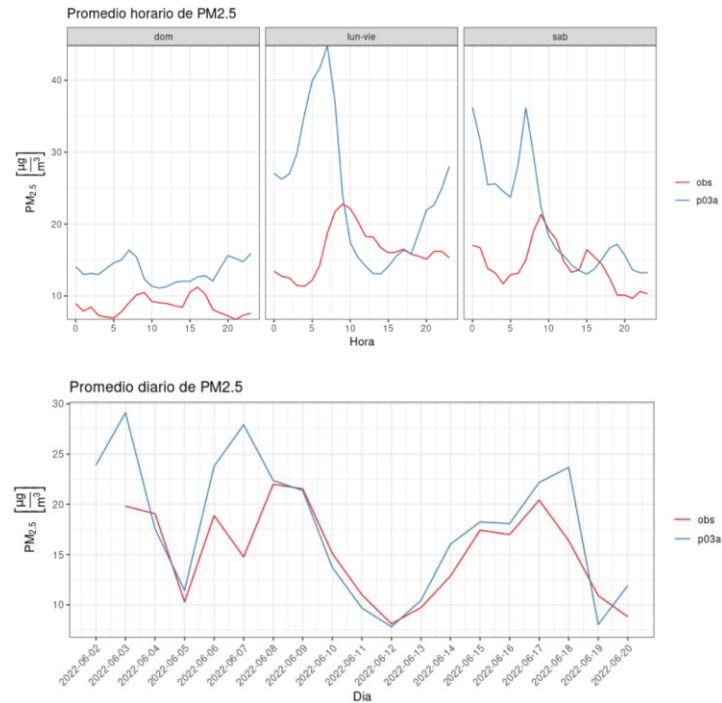


Figura A-7. Comparación de promedios horarios y diarios para PM2.5 entre los datos observados (obs) y el mejor escenario modelado identificado (p03a).

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.

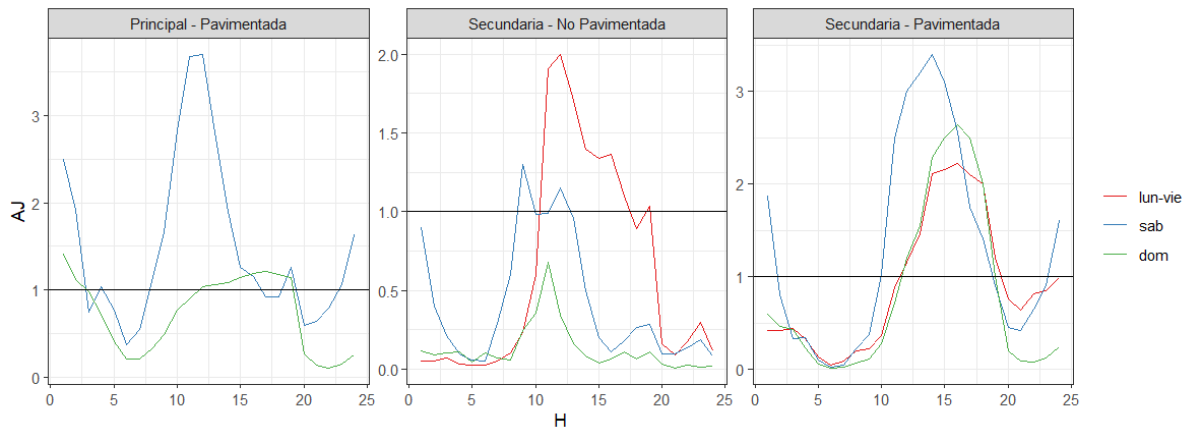


Figura A-8. Factores de Corrección de Flujo (AF) estimados con modelación de escenarios para el 2022.

A.2.5. Estimación de los flujos vehiculares

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

$$FT_{h,j,k,w} = FCL_{h,j,w,k} \cdot FD_k \cdot NC_k \cdot AJ_{h,j,k,w}$$

Ecuación A.7

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,k,w}	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.2.6. Estimación de emisiones por combustión desagregadas espacial y temporalmente

Las estimaciones de emisiones se realizaron con el módulo MEDINE-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.

$$EMcb_{h,j,w,k,c} = FT_{h,j,k,w} \cdot L_k \cdot FE_{j,c}$$

Ecuación A.8

EMcb_{h,i,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

Subcategoría ^a	Factores de emisión (g/km)					
	CO ^b	COV	NO _x	SO ₂	PM ₁₀	PM _{2.5}
AL_DSEL	1,31E+01	1,55E-01	7,75E+00	1,27E-01	7,61E-02	6,85E-02
AL_ELEC	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
AL_GNV	1,79E+00	6,68E-02	4,60E-05	2,51E-02	1,21E-06	1,09E-06
AT_DSEL	1,56E+01	8,82E-02	1,73E+01	2,58E-02	8,07E-02	7,26E-02
AT_ELEC	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
AT_GNV	1,79E+00	6,68E-02	4,60E-05	2,51E-02	1,21E-06	1,09E-06
AUT_ELEC	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
AUT_DSEL	1,04E+00	1,66E-01	1,51E+00	1,33E-03	2,91E-01	2,62E-01
AUT_GAS	1,16E+01	2,35E+00	1,11E+00	5,96E-03	9,98E-03	8,98E-03
AUT_GNV	1,86E+01	3,03E-01	2,45E+00	1,05E-03	1,13E-02	1,02E-02
BA_DSEL	7,27E+00	1,12E-01	1,67E+01	2,51E-02	6,42E-02	5,78E-02
BA_ELEC	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
BA_GNV	1,79E+00	6,68E-02	4,60E-05	2,51E-02	1,21E-06	1,09E-06
BS_DSEL	9,50E+00	1,12E-01	1,21E+01	7,45E-02	1,46E-01	1,31E-01
BS_ELEC	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
BS_GNV	1,79E+00	6,68E-02	4,60E-05	2,51E-02	1,21E-06	1,09E-06
C2_DSEL	3,06E+00	7,94E-01	1,03E+01	1,92E-03	4,21E-01	3,79E-01
C2_GAS	4,65E+01	7,16E+00	1,86E+00	6,76E-03	2,50E-02	2,25E-02
C2_GNV	9,80E+00	6,66E-02	8,28E-01	8,54E-04	1,96E-03	1,76E-03
C3_DSEL	4,43E+00	1,12E+00	1,39E+01	2,31E-03	5,11E-01	4,60E-01
C3_GAS	8,92E+01	1,69E+01	5,75E+00	1,33E-02	1,11E-01	1,00E-01
C3_GNV	6,32E+00	3,71E-02	2,31E-01	1,38E-03	6,21E-03	5,59E-03
C4+_DSEL	3,63E+00	9,23E-01	1,12E+01	1,94E-03	1,70E+00	1,53E+00
C4+_GAS	3,63E+02	1,67E+01	4,95E+00	1,13E-02	1,01E-01	9,09E-02
C4+_GNV	5,39E+00	3,16E-02	1,97E-01	1,18E-03	5,29E-03	4,76E-03
CC_DSEL	9,55E-01	1,21E-01	1,49E+00	1,37E-03	2,47E-01	2,23E-01
CC_ELEC	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CC_GAS	1,07E+01	2,15E+00	1,12E+00	6,42E-03	9,46E-03	8,51E-03
CC_GNV	2,37E+01	4,32E-01	2,78E+00	1,08E-03	1,20E-02	1,08E-02
ESB_DSEL	1,62E+00	4,53E-01	6,73E+00	1,98E-03	2,23E-01	2,01E-01
ESB_GAS	3,38E+02	1,11E+01	7,75E+00	1,69E-02	1,55E-01	1,40E-01
ESB_GNV	3,19E+02	7,36E-01	4,82E+00	1,93E-03	7,86E-03	7,07E-03
INT_DSEL	1,62E+00	4,53E-01	6,73E+00	1,98E-03	2,23E-01	2,01E-01
INT_GAS	3,38E+02	1,11E+01	7,75E+00	1,69E-02	1,55E-01	1,40E-01
INT_GNV	3,19E+02	7,36E-01	4,82E+00	1,93E-03	7,86E-03	7,07E-03
M_GAS	2,16E+01	2,79E+00	5,85E-01	4,92E-02	2,00E-02	1,94E-02
M_ELEC	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TX_ELEC	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TX_GAS	6,75E+00	8,20E-01	5,95E-01	4,92E-03	8,61E-03	7,75E-03
TX_GNV	9,81E+00	8,76E-02	1,78E+00	1,05E-03	1,03E-02	9,31E-03

a. ELEC: Vehículos Eléctricos, GNV: Gas Natural Vehicular, GAS: Gasolina, DSEL: Diesel

b. El Factor de emisión ya incluye la corrección de la sección A.2.4

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.).

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

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	Factores de emisión ^a					
			Unidades	PM ₁₀	NO _x	SO ₂	CO	VOC
ACD	Caldera industrial y comercial > 15 BHP	Diésel	mg/m ³	8,40E+05	2,400E+06	1,800E+06	6,000E+05	4,848E+04
ACF	Caldera industrial y comercial > 15 BHP	Fuel oil residual (Fuel oil No. 5 y 6)	mg/m ³	1,20E+06	6,600E+06	2,072E+06	6,000E+05	1,731E+05
AGG	Aglutinadora	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
AHF	Horno	Diésel	mg/m ³	4,760E+05	2,142E+06	1,704E+06	5,950E+05	2,992E+05
BOG	Bombo	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
CC1	Caldera >100 BHP	Carbón	g/kg	6,850E+00	7,620E+00	2,213E+01	3,000E-01	1,500E-01
CC2	Caldera ≤100 BHP	Carbón	g/Kg	1,048E+01	4,470E+00	1,160E+01	3,000E-01	1,500E-01
CG1	Caldera >100 BHP (año de fabricación menor o igual a 1997)	Gas natural	mg/m ³	5,894E+02	6,671E+03	2,670E+01	1,344E+03	1,760E+02
CG2	Caldera >100 BHP (año de fabricación mayor a 1997)	Gas natural	mg/m ³	2,372E+02	6,950E+02	5,000E-01	1,344E+03	1,760E+02
CG3	Caldera ≤100 BHP	Gas natural	mg/m ³	1,903E+02	3,192E+03	2,310E+01	1,380E+03	1,760E+02
CGL	Calentador	Gas licuado de petróleo	mg/m ³	9,587E+04	1,798E+06	1,917E+03	1,007E+06	NE
CM	Caldera	Madera	g/kg	2,570E+00	3,500E+00	1,800E-01	4,280E+00	1,200E-01
CRG	Calentador	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
CTA	Caldera (vapor) textiles	Aceite usado	mg/m ³	6,029E+06	4,169E+06	2,646E+07	6,000E+05	1,200E+05
CUG	Cuba	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
EGL	Estufa industrial	Gas licuado de petróleo	mg/m ³	9,587E+04	1,798E+06	1,917E+03	1,007E+06	NE
ESG	Estufa industrial	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
EXG	Extrusora	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
GLP	Horno y caldera con aplicaciones industriales	Gas licuado de petróleo	mg/m ³	2,400E+04	2,261E+06	1,200E+03	3,810E+05	1,200E+05
HC	Horno	Carbón	g/Kg	1,272E+01	4,560E+00	1,208E+01	6,250E+00	4,800E-01
HFA	Horno fundición	Aceite usado	mg/m ³	2,968E+06	1,108E+06	2,072E+06	6,000E+05	1,200E+05
HG1	Horno de alimentos	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,039E+03	1,000E-01	6,400E+02	1,760E+02
HG2	Horno de secado y curado	Gas natural	mg/m ³	1,458E+02	1,221E+03	6,966E+01	6,400E+02	1,760E+02
HG3	Horno de fundición y cremación	Gas natural	mg/m ³	1,187E+02	1,504E+03	9,600E+00	6,400E+02	1,760E+02

Categoría	Tecnología	Combustible	Factores de emisión ^a					
			Unidades	PM ₁₀	NO _x	SO ₂	CO	VOC
HL	Horno ladrillero	Carbón	g/kg	1,272E+01	4,560E+00	1,208E+01	6,250E+00	4,800E-01
HLG	Horno ladrillero	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
HM	Horno	Madera	g/kg	2,570E+00	3,500E+00	1,800E-01	4,280E+00	1,200E-01
IGL	Inyectora	Gas licuado de petróleo	mg/m ³	9,587E+04	1,798E+06	1,917E+03	1,007E+06	NE
IMG	Impresora de gran formato	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
ING	Inyectora	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
ICG	Intercambiador de calor	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
ICM	Intercambiador de calor	Madera	g/kg	2,990E+00	4,440E+00	5,440E+00	2,300E-01	NE
LAG	Lacadora	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
MGL	Marmita	Gas licuado de petróleo	mg/m ³	9,587E+04	1,798E+06	1,917E+03	1,007E+06	NE
MRG	Marmita	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
OTG	Otra	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
PED	Planta eléctrica	Diésel	mg/m ³	4,794E+04	2,157E+06	1,702E+07	5,992E+05	NE
PLG	Peletizadora	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
QGL	Quemador	Gas licuado de petróleo	mg/m ³	9,587E+04	1,798E+06	1,917E+03	1,007E+06	NE
QMG	Quemador	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
RTA	Rama de Termofijado	Aceite usado	mg/m ³	3,356E+05	1,318E+06	4,360E+07	2,037E+05	NE
RTG	Rama de Termofijado	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
SEG	Secadora	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
TOD	Tostadora	Diésel	mg/m ³	4,794E+04	2,157E+06	1,702E+07	5,992E+05	NE
TOG	Tostadora	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
TSG	Torre de secado	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
VUG	Vulcanizadora	Gas natural	mg/m ³	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
VUL	Vulcanizadora	Gas licuado de petróleo	mg/m ³	9,587E+04	1,798E+06	1,917E+03	1,007E+06	1,714E+06

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 – SIIF (Secretaría Distrital de Ambiente, 2018). 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:

$$Eg_{i,j} = FC \cdot \frac{E_{i,j}}{\sum_m (nd_{d,m,j} \cdot h_{d,j})}$$

horas de operación al año

Ecuación B.2

Donde:

- Eg_{ij}** Emisiones del contaminante 'i' de la fuente 'j', **(g/h)**
- FC** Factor de conversión 1x10⁶ **(g/ton)**
- E_{ij}** 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 MEDINE-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 2022 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 1x1 km, para cada tipo de contaminante; esta desagregación se realizó con el módulo MEDINE-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:

$$EMtb_{h,j,w,k,c,n} = FT_{h,j,k,w} \cdot L_k \cdot FE_{j,c,n} \quad \text{Ecuación C.1}$$

$EMtb_{h,j,w,k,c,n}$	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 MOVES de la US-EPA (US-EPA, 2020).

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	9,59E-03	7,67E-02	1,81E-03	1,23E-02
AT	9,59E-03	7,67E-02	1,81E-03	1,23E-02
AUT	2,02E-03	1,62E-02	9,38E-04	6,19E-03
BA	9,59E-03	7,67E-02	1,81E-03	1,23E-02
BS	9,59E-03	7,67E-02	1,81E-03	1,23E-02
C2	2,15E-03	1,72E-02	9,38E-04	6,38E-03
C3	8,37E-03	6,69E-02	1,69E-03	1,11E-02
C4+	8,37E-03	6,69E-02	1,69E-03	1,11E-02
CC	2,02E-03	1,62E-02	9,38E-04	6,19E-03
ESB	8,24E-03	6,59E-02	1,69E-03	1,11E-02
ESL	2,02E-03	1,62E-02	9,38E-04	6,19E-03
INT	8,24E-03	6,59E-02	1,69E-03	1,11E-02
M	1,13E-03	9,06E-03	4,38E-04	3,06E-03
TX	2,02E-03	1,62E-02	9,38E-04	6,19E-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 2022, se ajustó la metodología en cuanto a la estimación y distribución de los conteos vehiculares explicados en la sección A.2.5, 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 MEDINE-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:

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

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

$$FEVNPI_{p,j,k} = 0.457 \cdot Ki_p \cdot \left(\frac{k}{12}\right)^{0.9} \cdot \left(\frac{1.10W_j}{3}\right)^{0.45} \cdot \frac{365-P}{365} \quad \text{Ecuación D.2}$$

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

$$FEVNPP_{p,k,w,h} = 0.457 \cdot Kp_p \cdot \left(\frac{S_k}{12}\right)^1 \cdot \left(\frac{Kv \cdot V_{w,h}}{48.249}\right)^{0.5} \cdot \left(\frac{365-P}{365}\right) \quad \text{Ecuación D.3}$$

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.

<i>Punto</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>	<i>Cs (mg/m²)</i>
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.

<i>Punto</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>	<i>S (%)</i>
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 15ª	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
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

<i>Punto</i>	<i>Ubicación</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>	<i>S (%)</i>
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

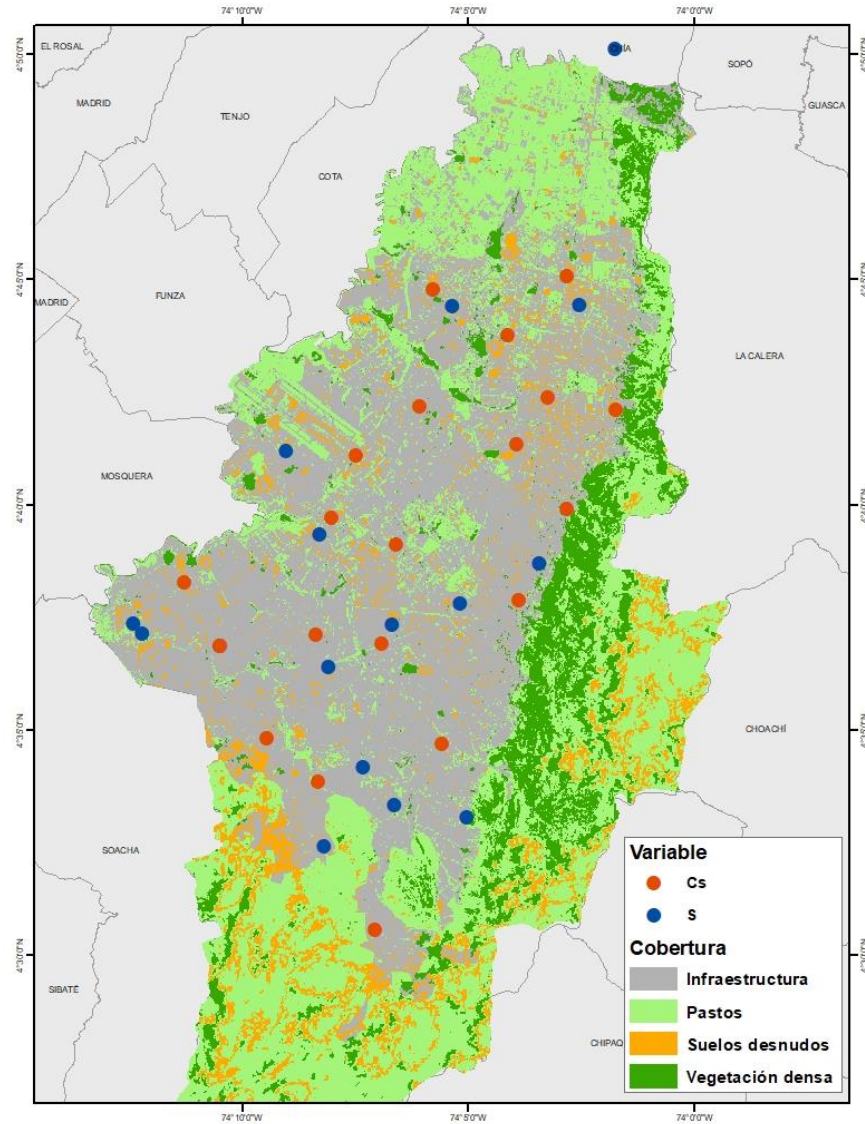
Elaboración propia

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.

$$Cs = \frac{2.2305}{FV^{0.4}}; FV > 0.001; \quad \text{Ecuación D.4}$$

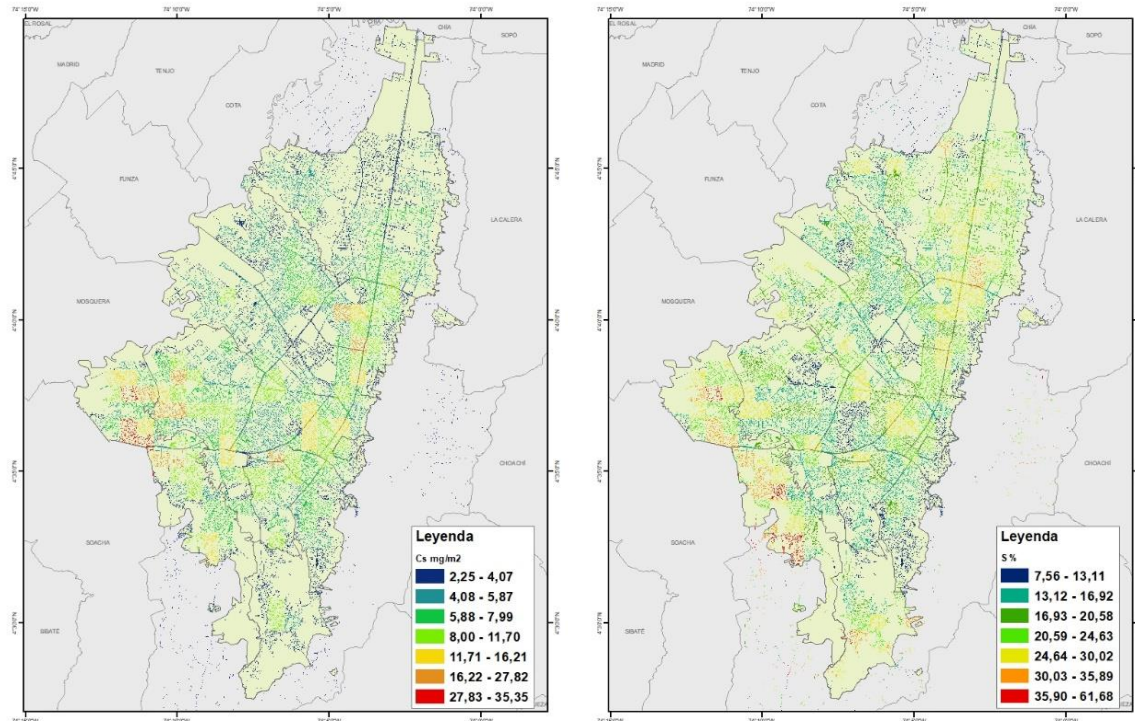
$$S = 53.455 \cdot FS^{0.7} + \frac{7.107}{FV^{0.2}}; FV > 0.001 \wedge FS > 0.001; \quad \text{Ecuación D.5}$$

Estas expresiones se emplearon para estimar las cargas de sedimento para cada km² y para cada vía con el aplicativo MEDINE-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

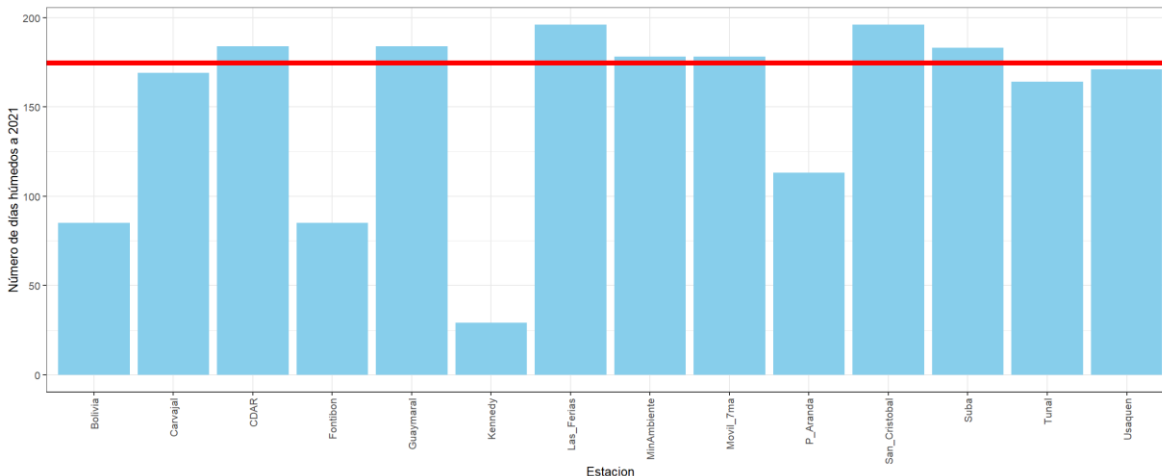
Tabla D-3. Pesos representativos de categorías vehiculares.

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 2022, 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.

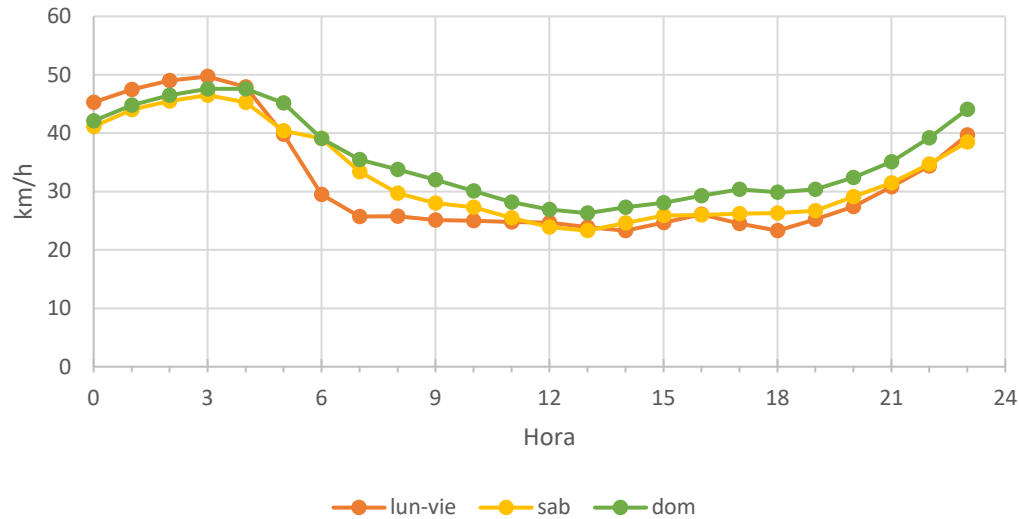


Elaboración propia

Figura D-3. Número de días con precipitación mayor a 0.254 por estación para el año 2022

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 2022 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 MEDINE-FM-RDST del SMA, el cual tiene en cuenta las siguientes ecuaciones:

Vías Pavimentadas:

$$EM\alpha_{p,j,h,w,k} = FEVP_{p,j,k} \cdot L_k \cdot FT_{h,j,k,w} \quad \text{Ecuación D.6}$$

Vías No Pavimentadas: Uso público:

$$EM\beta_{p,j,h,w,k} = FEVNPP_{p,k,w,h} \cdot L_k \cdot FT_{h,j,k,w} \quad \text{Ecuación D.7}$$

Vías No Pavimentadas: Uso industrial:

$$EM\gamma_{p,j,h,w,k} = FENVPI_{p,j,k} \cdot L_k \cdot FT_{h,j,k,w} \quad \text{Ecuación D.8}$$

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 MEDINE-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 2022 de la Secretaría Distrital de Movilidad, los cuales fueron procesados con los módulos MEDINE-FM-DIAG, MEDINE-FM-PRE y MEDINE-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 2022.

$$E_k = \frac{\sum_1^n Ac_j \cdot FE \cdot t_j}{1\,000\,000}$$

Ecuación E.1

Donde,

- E_k Emisiones totales del contaminante k (t)
- Ac Área construida de la obra número j (m²)
- FE Factor de emisión (g/m².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 2022, es así como se filtra por fecha aquellas construcciones que iniciaron fuera del 2022 pero que realizaron actividades durante este año o que iniciaron en el año 2022 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 m².
- **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.

Tipo de obra	Etapas	PM _{2.5}	PM ₁₀
<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:

$$E = FE \cdot A \cdot \left(\frac{3600}{1 \times 10^{-12}} \right) \cdot h \quad \text{Ecuación F.1}$$

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 2022.

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.

Tabla F-1. Factores de emisión para extracción de material en canteras

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)

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.

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:

$$E_i = C_{GN} \cdot FC_1 \cdot FE_i \cdot FC_2 \quad \text{Ecuación G.1.}$$

En donde:

- E_i Emisiones del contaminante 'i' generadas por las fuentes residenciales (**t/año**)
- C_{GN} Consumo de gas natural durante el año 2022 (**m³**)
- FC_1 Factor de conversión de m³ gas natural a GBTU (**29,6 GBTU/m³**)
- 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 2022.

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

<i>Tipo de combustible</i>	<i>PEC/$PM_{2.5}$</i>
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

Categoría vehicular	Tipo de combustible		
	Diesel	Gasolina	Gas Natural vehicular
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

Estado de la vía	Fracción de carbón elemental
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.

Fuente	Fracción de carbón elemental
Desgaste de frenos	2,61E-02
Desgaste de llantas	2,20E-01

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

I. 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. (2022). *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. (2022). *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. (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. (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>