

Inventario de Emisiones de Bogotá

Contaminantes criterio y carbono negro

Herramienta de gestión para el diagnóstico
y mejoramiento de la calidad del aire



Material resuspendido
(polvo)



Fuentes fijas
(industria, chimeneas)



Fuentes móviles
(vehículos)

2022



ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.

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
Andrea Carolyna Salas Bustos
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 PM _{2.5} entre 2018, 2020, 2021 y 2022 de PM _{2.5} estimadas con enfoque <i>Top-Down</i> | 66 |
| Figura 61. Emisiones de 2018, 2020, 2021 y 2022 de 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 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 PM _{2.5} , por tipo de fuente..... | 75 |
| Figura 72. Participación porcentual en emisiones de 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 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 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 <i>Top-Down</i> y <i>Bottom-Up</i> | 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 inglés <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 inglés <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 inglés <i>International Vehicle Emissions</i> |
| MEDINE | Módulo de Estimación De Inventarios de Emisiones |
| MOVES | por sus siglas en inglés <i>Motor Vehicle Emission Simulator</i> |
| NCAR | <i>National Center of Atmospheric Research</i> |
| RDA | Registro Distrital Automotor |
| RMCAB | Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá |
| SCE | Sistema de Control de Emisiones |
| SDA | Secretaría Distrital de Ambiente |
| SDM | Secretaría Distrital de Movilidad |
| SIFF | Sistema Integrado de Información de Fuentes Fijas |
| SIMUR | Sistema Integrado de Información sobre Movilidad Urbana Regional |
| SITP | Sistema Integrado de Transporte Público |
| SMA | Sistema de Modelación Atmosférica de Bogotá |
| 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 (PM₁₀), material particulado con diámetro igual o menor a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (COV), el contaminante climático de vida corta carbono negro o *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.

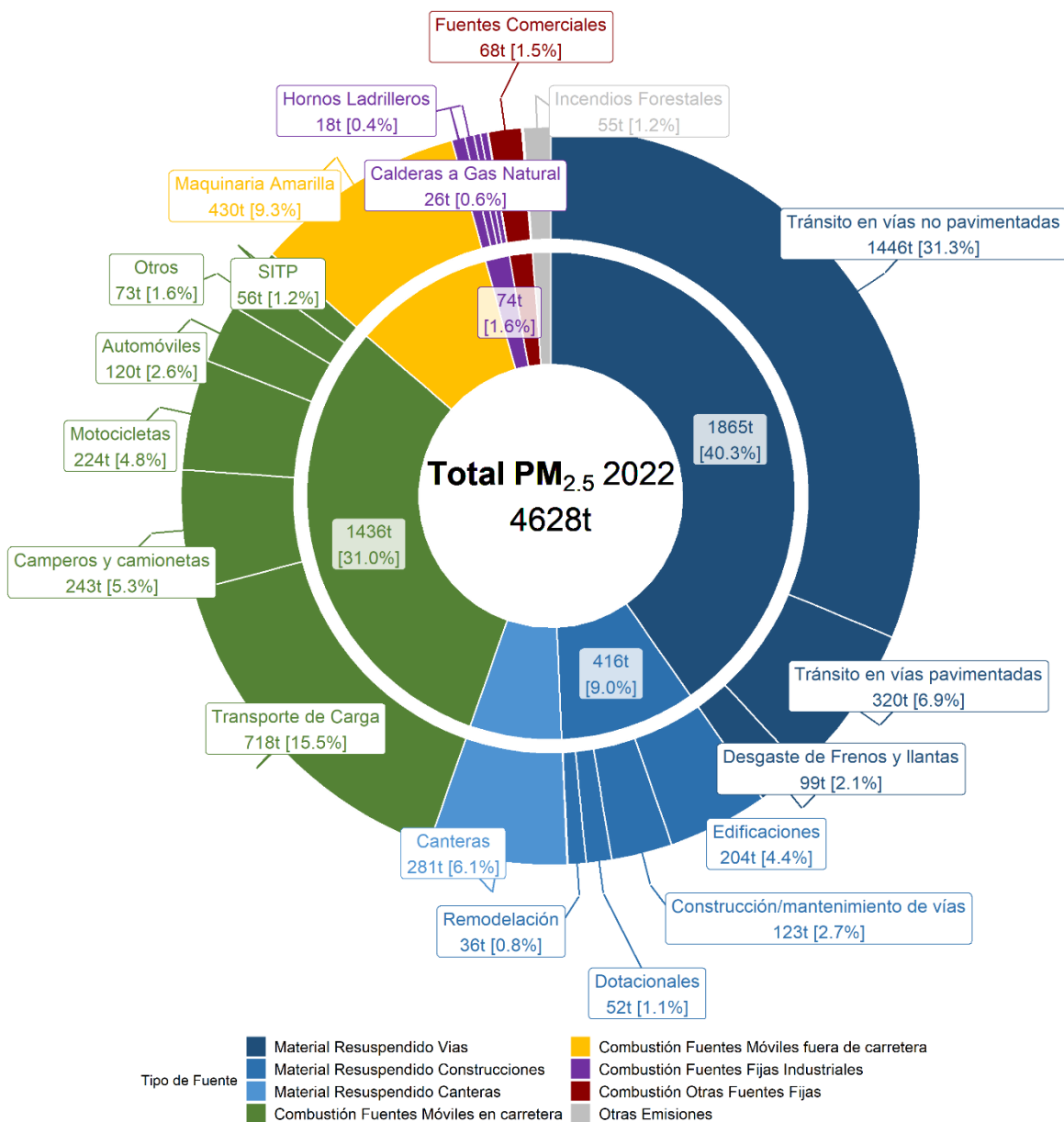


Figura 1. Participación porcentual en emisiones de PM_{2.5} por tipo de fuente – Resumen Ejecutivo.

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_{PM_{2.5}}/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 | Cantenas | |
|--------------------|--------------------------------------|-------------------|------------------|
| | 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 PM₁₀ (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 PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_x , CO , SO_2 , 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.

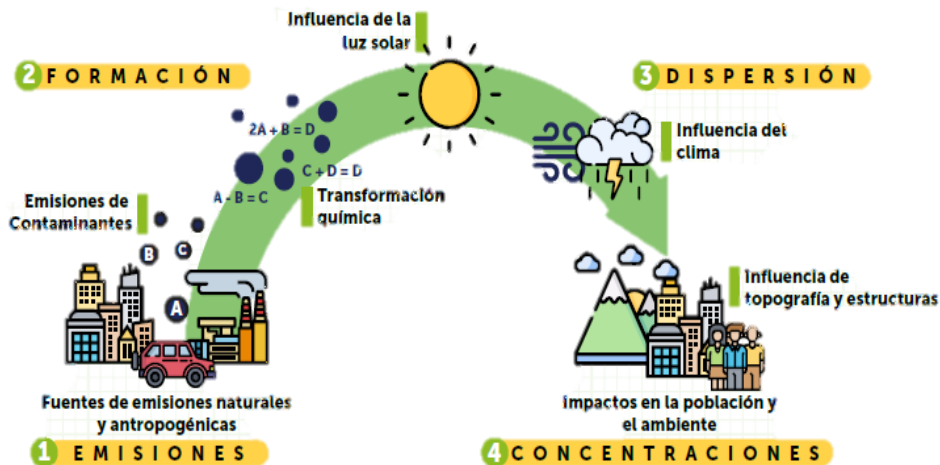
2.1. Dinámica de la contaminación en la atmósfera

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 e 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 estructurares de la zona de análisis. El seguimiento en la ciudad a la variación temporal de la concentración de contaminantes, así como el cumplimiento de la norma nacional de calidad del 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 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 la evaluar la efectividad de acciones a través de modelación de calidad del aire, generación periódica de pronóstico de calidad del aire. También, estos inventarios son insumo en la cuantificación del impacto que la contaminación atmosférica tiene sobre la salud pública.

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.

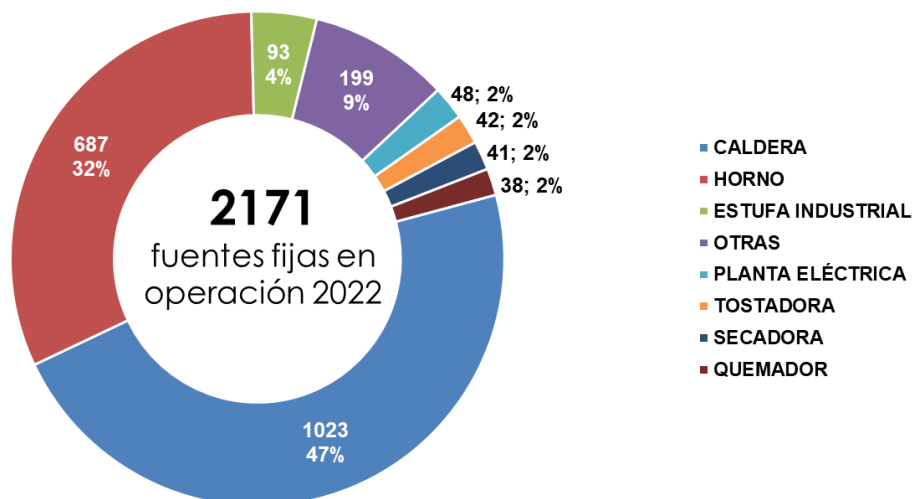
3. CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIONES EN BOGOTÁ

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 – SIIF 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.

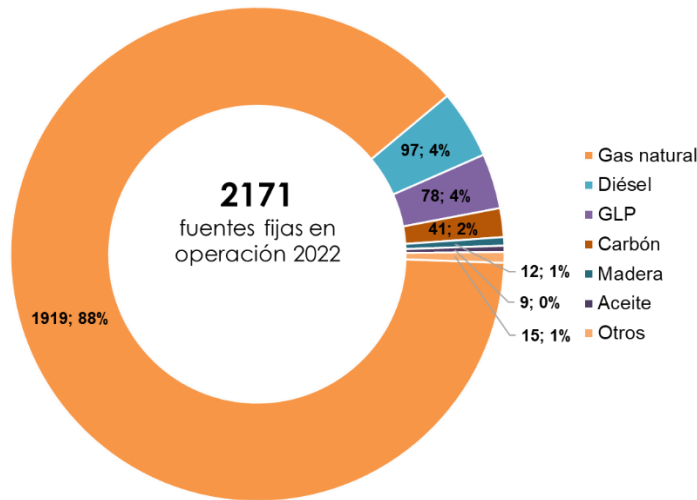
Por lo anterior, de las 2.171 fuentes fijas que efectivamente se encuentran en operación y producen combustión, se tiene que los principales tipos de fuentes corresponden a calderas y hornos (ver Figura 5), donde el 47% de éstas corresponde a calderas y el 31,6% a hornos, de los cuales se encuentra subtipos 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.

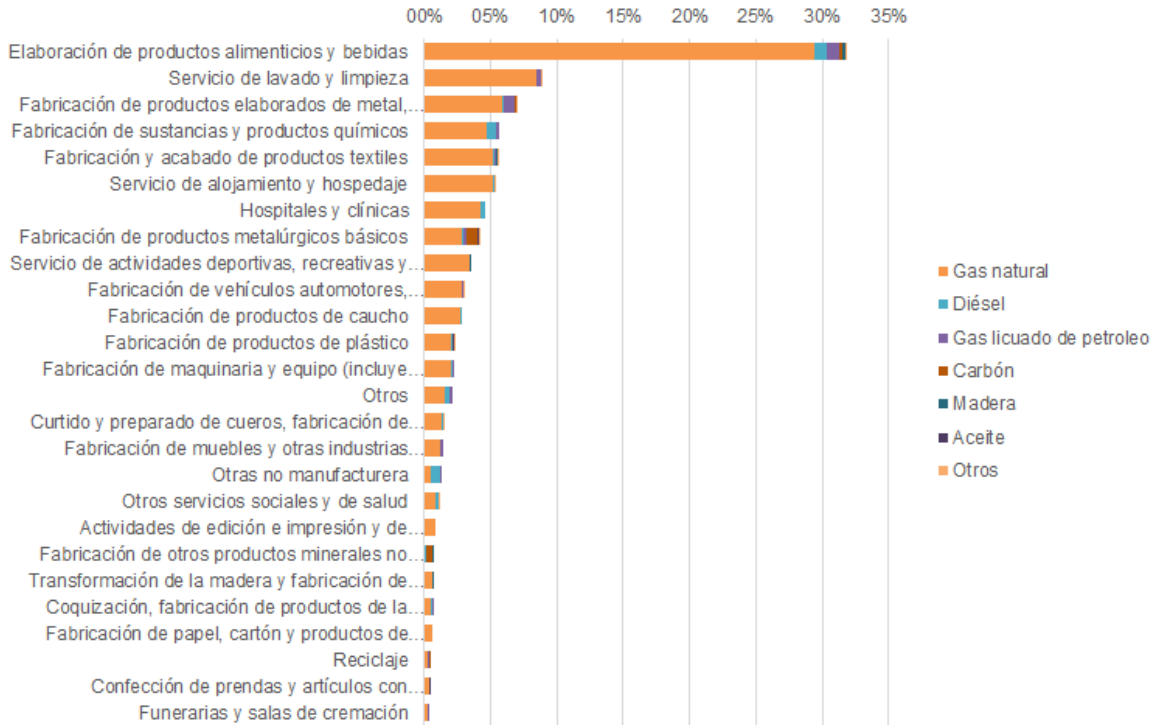
Con relación a la distribución de uso de combustibles en las fuentes fijas industriales en operación (ver Figura 6), se identifica que el gas natural es el de mayor uso, con un 88,4% de uso dentro de los procesos productivos; le sigue el diésel con un 4,5%, el gas licuado de petróleo -GLP- con 3,6% y 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

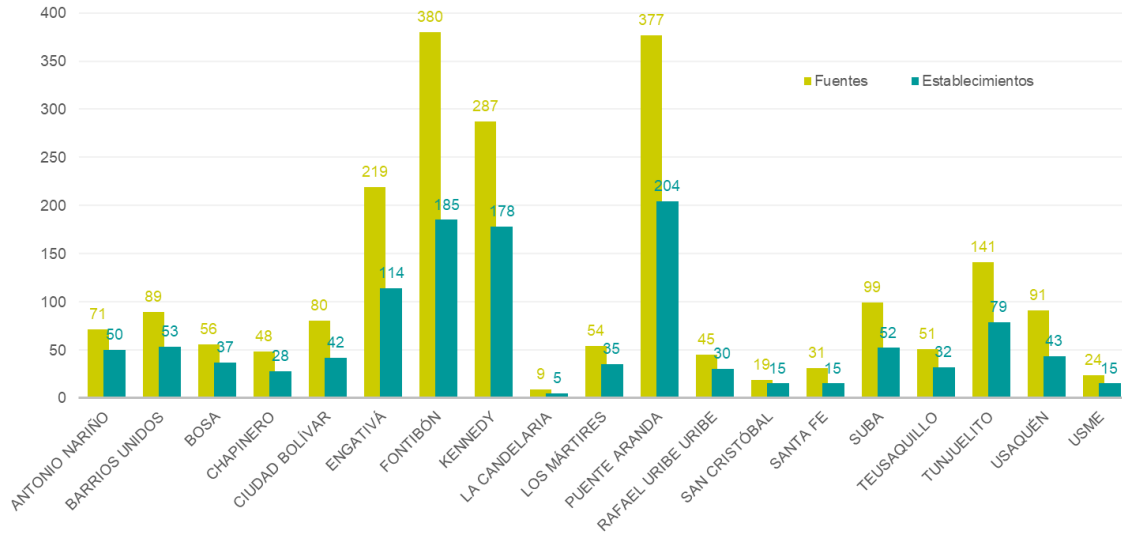
muebles y otras industrias manufactureras (5,1%). El uso de GLP varía notablemente entre múltiples sectores y actividades económicas y no hay un sector en el que predomine su uso notablemente.

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.

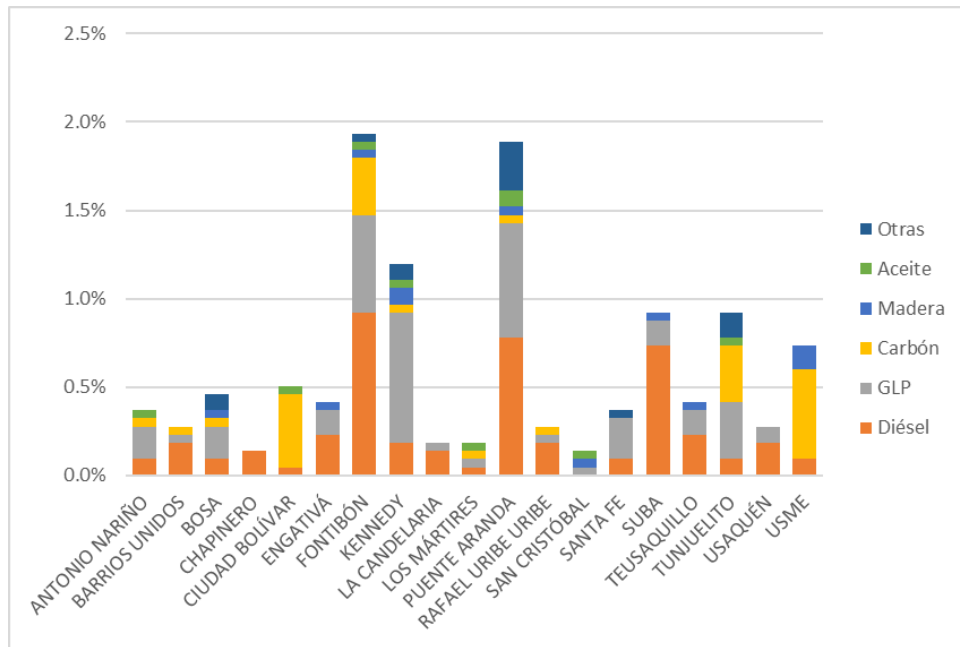


Fuente: Elaboración propia

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.

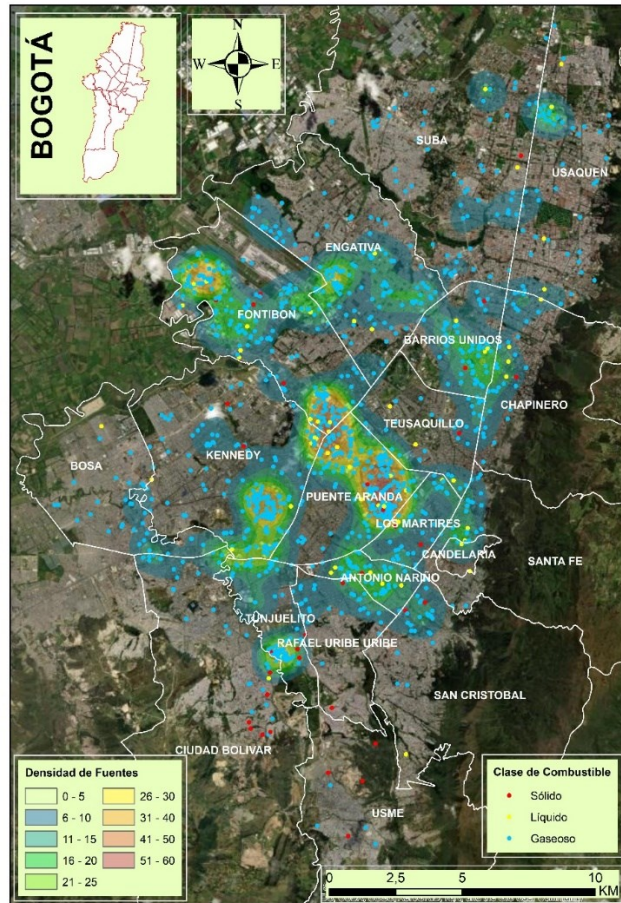


Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Distribución de uso de combustibles por localidad.

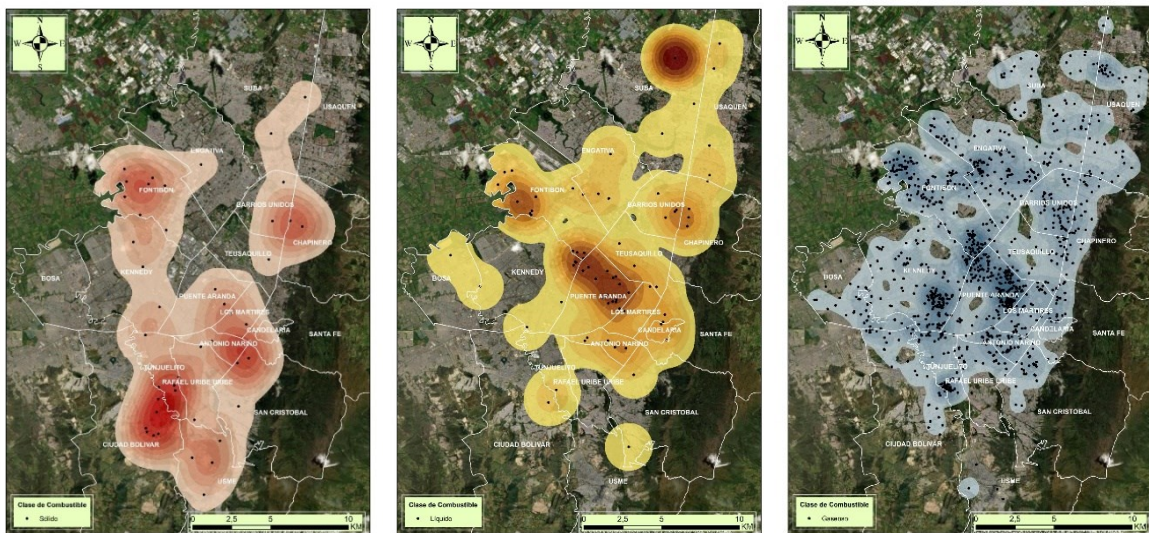
En la Figura 10 se presenta, como complemento a la anterior información, el mapa con la localización de las fuentes fijas con uso de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos. En ellos se identifica la cantidad de fuentes fijas de cada clase en la ciudad, y a partir de un mapa de calor, se describe las 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

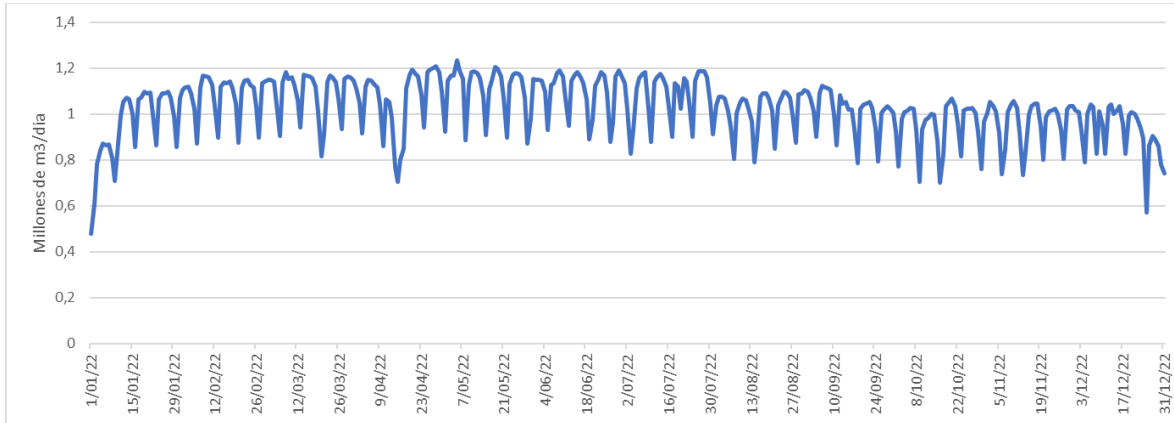


Fuente: Elaboración propia

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.

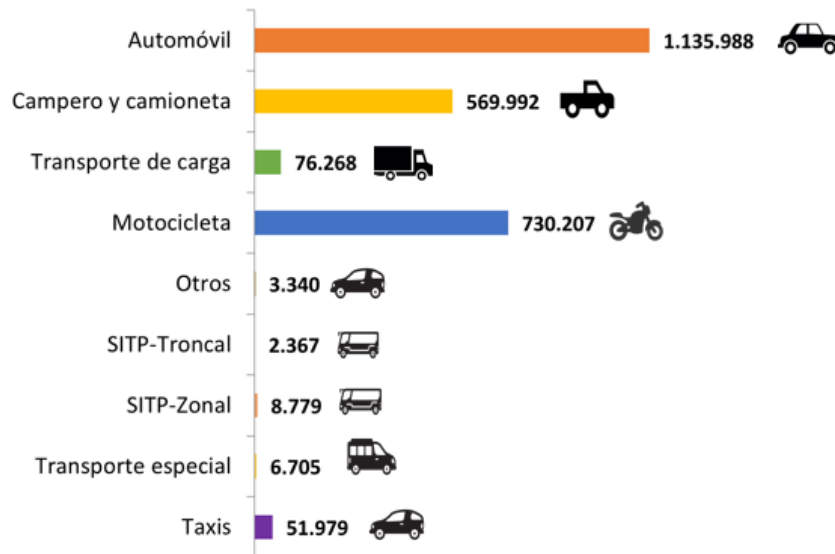
| Categoría Vehicular | Subcategoría Vehicular | Definición |
|----------------------------|-------------------------------|---|
| L - Livianos | AUT - Automóviles | Vehículos de uso particular con un peso menor a 2,27 t* |
| | CC – Camperos y Camionetas | Vehículos de uso particular con un peso entre 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 generador 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.

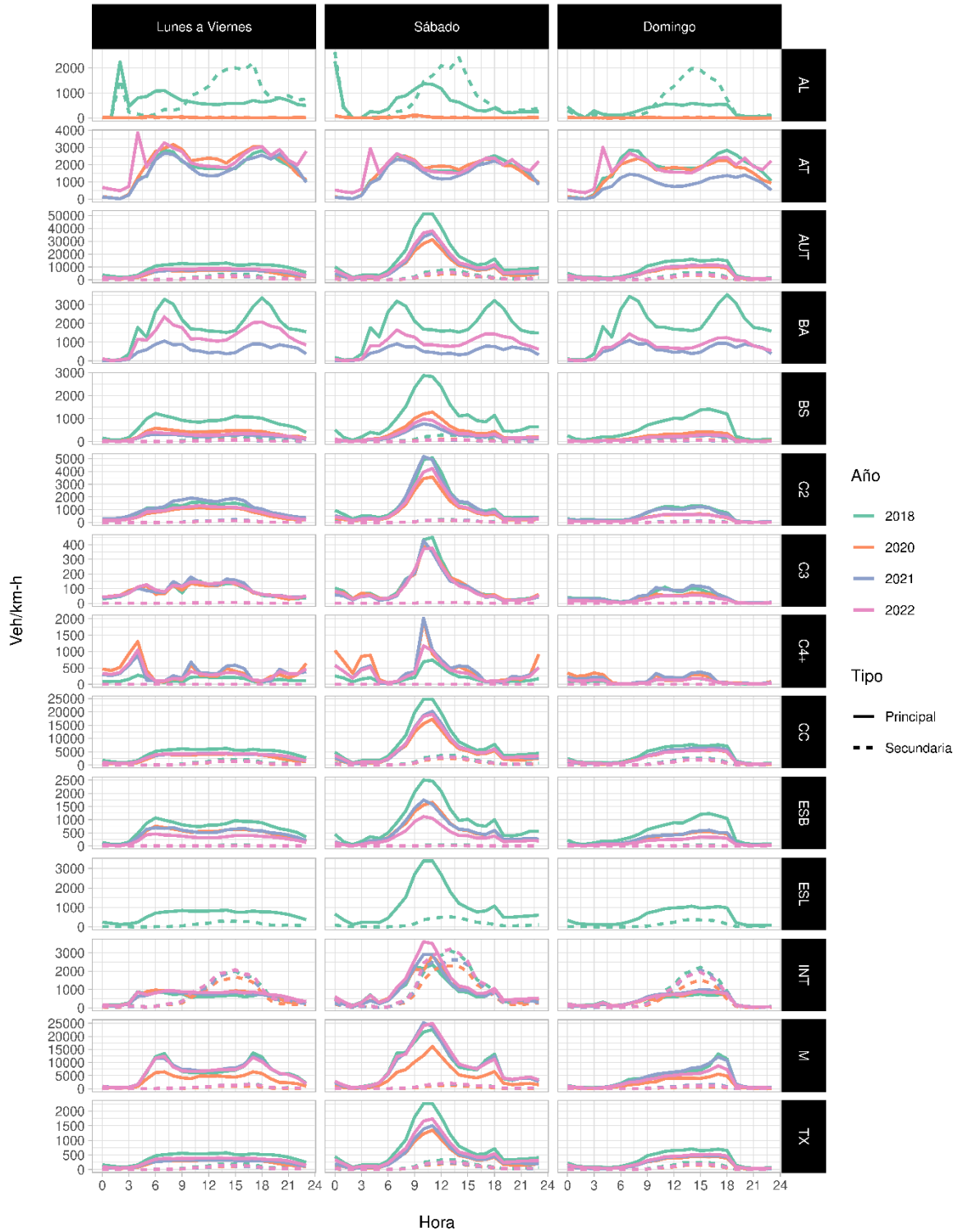
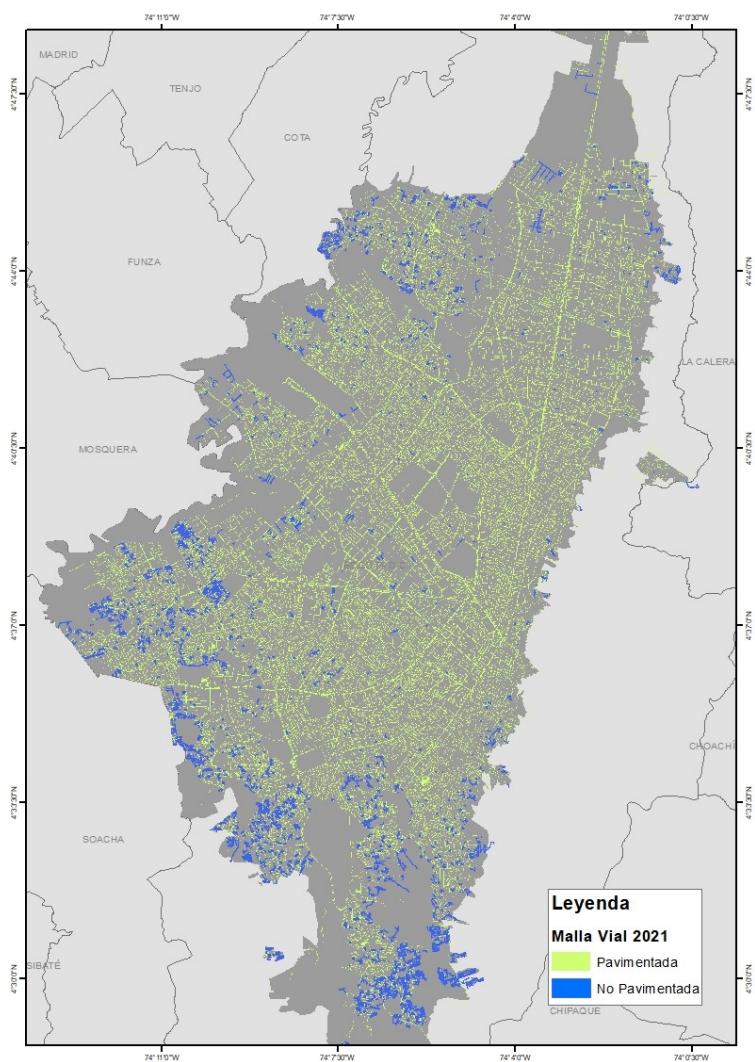


Figura 14. Cantidad de vehículos promedio por hora, por km de vía, entre los años 2018 a 2022.

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.

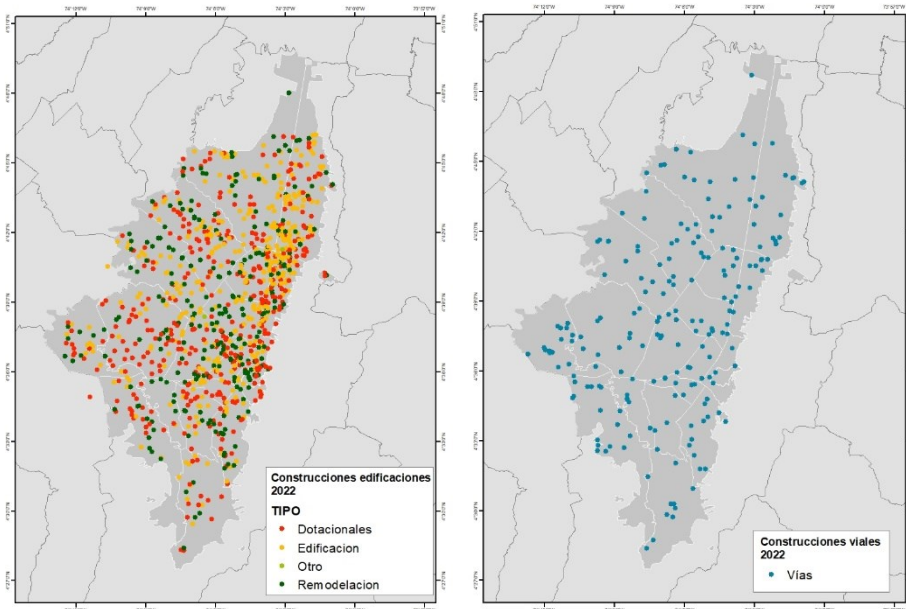
| <i>Tipo</i> | <i>Clasificación IDU</i> | <i>Vía No Pavimentada</i> | <i>vía Pavimentada</i> | <i>Total</i> |
|--------------|----------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------|
| Principal | Arterial | 0,00 | 1.084,17 | 1.084,17 |
| Principal | Malla 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

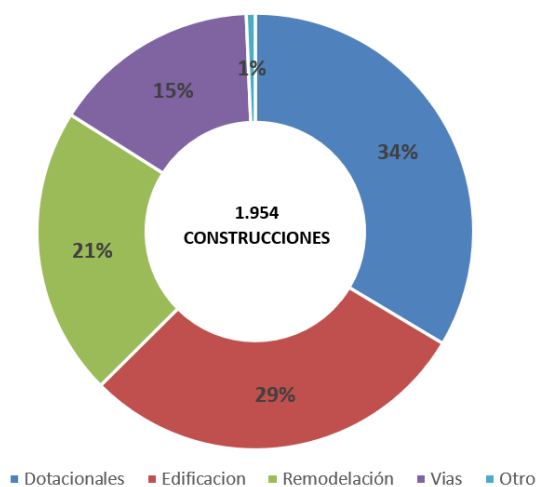
Las obras de construcción son una fuente de emisión de material particulado que pueden presentar un alto impacto durante el tiempo de ejecución en la calidad local del aire. La construcción de edificios y vías, son dos tipos de construcción con un alto potencial de emisiones difusas y directas de PM₁₀ 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).



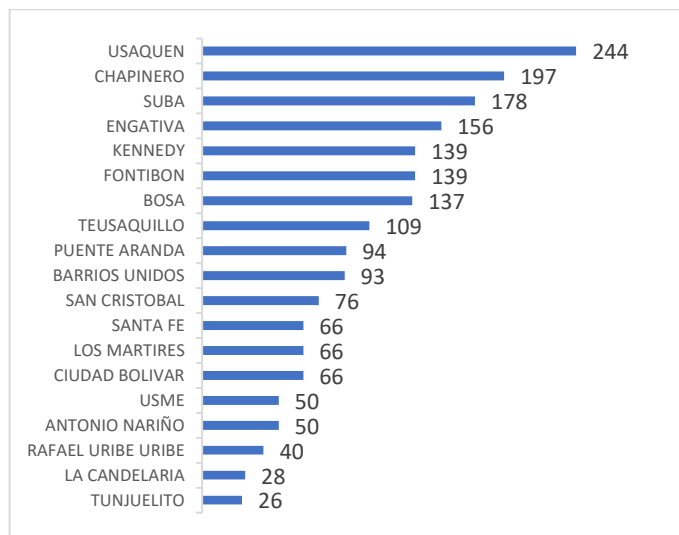
Fuente: Elaboración propia, información basada en los registros de la SDA año 2022.

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

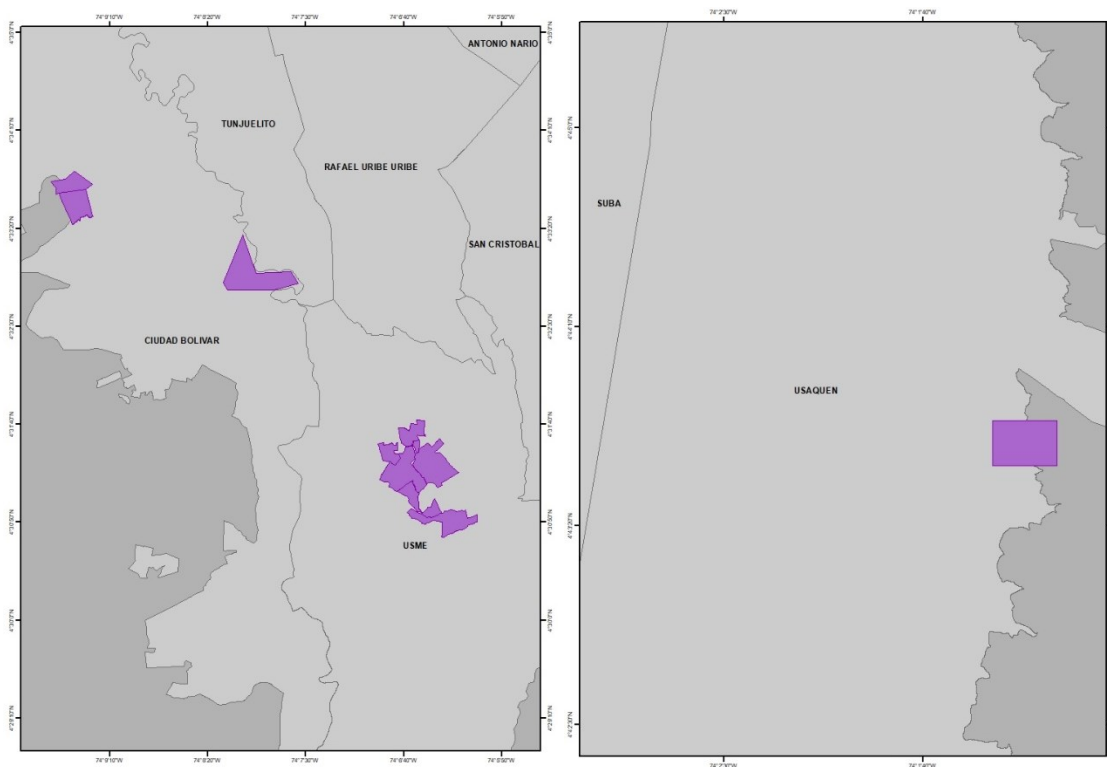
arcillas y arena. Estos cambios se respaldan tras adopción de la Resolución 1499 del 03 de agosto de 2018, en la cual se determinan 28 polígonos de zonas compatibles con las actividades mineras en la Sabana de Bogotá; de los cuales, los polígonos 1, 2, 3 y 4 se encuentran en el Distrito Capital de Bogotá.

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

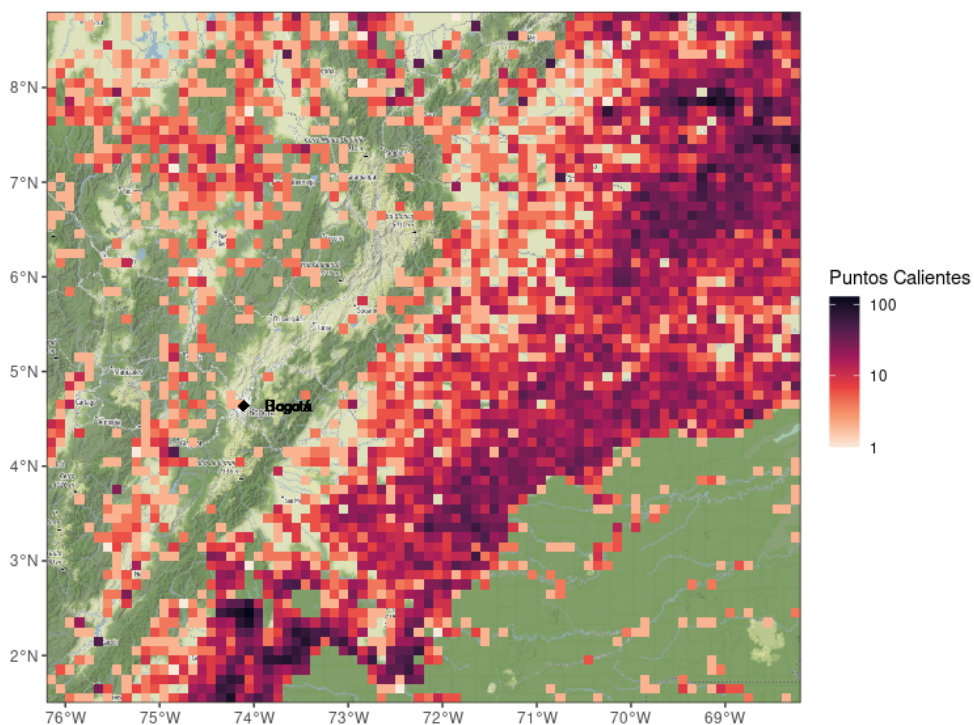
Los incendios forestales son una fuente externa de contaminantes atmosféricos que pueden afectar significativamente la calidad del aire urbano. En los últimos años, se han documentado una gran cantidad de incendios forestales que se presentan en la temporada seca entre los meses de febrero-marzo para la Orinoquía 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*)

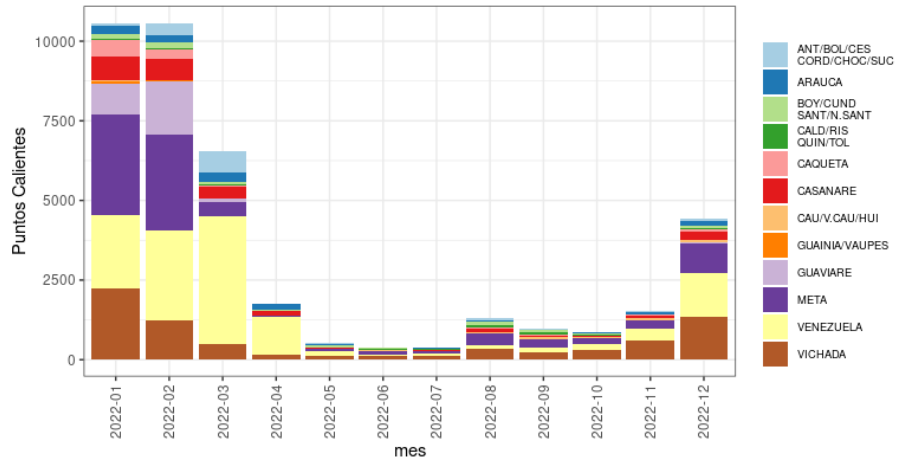
(NCAR/ACOM, 2023) y con la cual se realizó el análisis de puntos calientes asociados a incendios forestales y sus respectivas emisiones para este año, en la zona de influencia directa para la ciudad.

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.

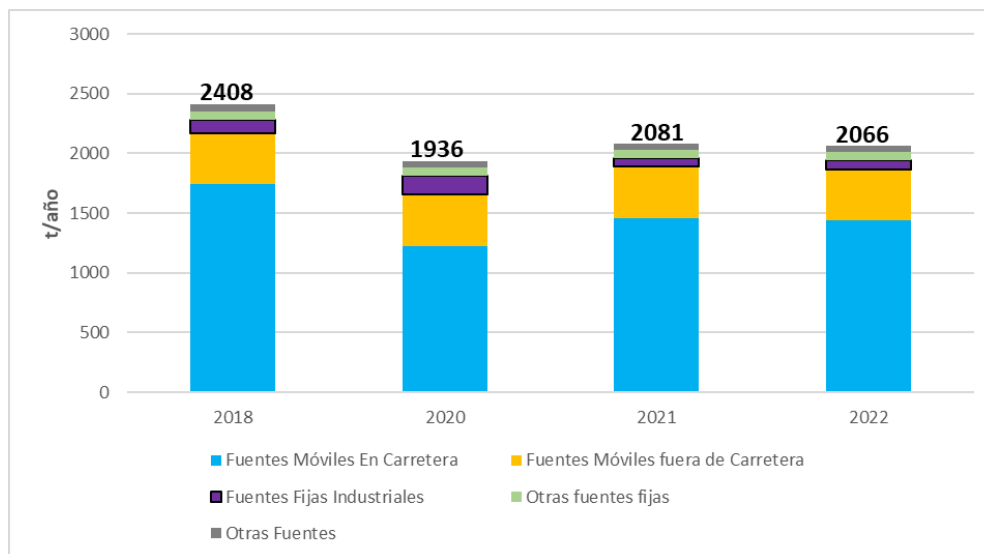
Tabla 12. Histórico de emisiones por Combustión en la ciudad de Bogotá para PM_{2.5}

| <i>Tipo de Fuente</i> | <i>Fuentes de Emisión</i> | <i>Emisiones (t/año)</i> | | | |
|------------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | <i>2018</i> | <i>2020</i> | <i>2021</i> | <i>2022</i> |
| 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.

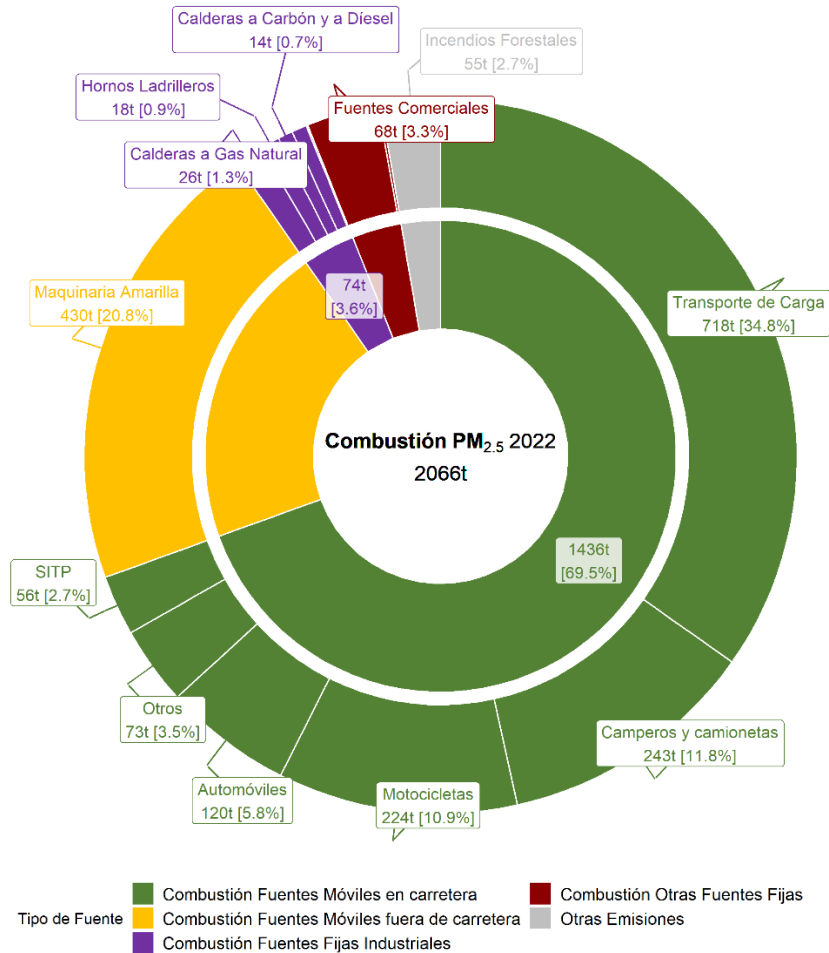


Fuente: Elaboración propia

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.

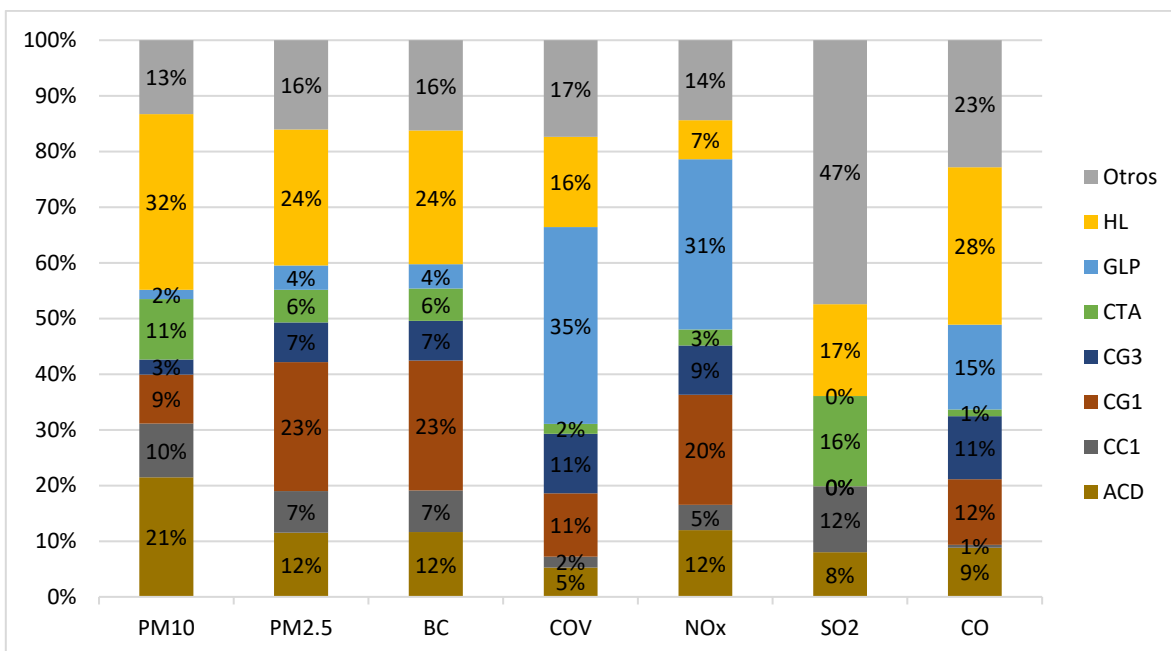
Tabla 14. Inventario de emisiones por fuentes fijas por categoría 2022.

| 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

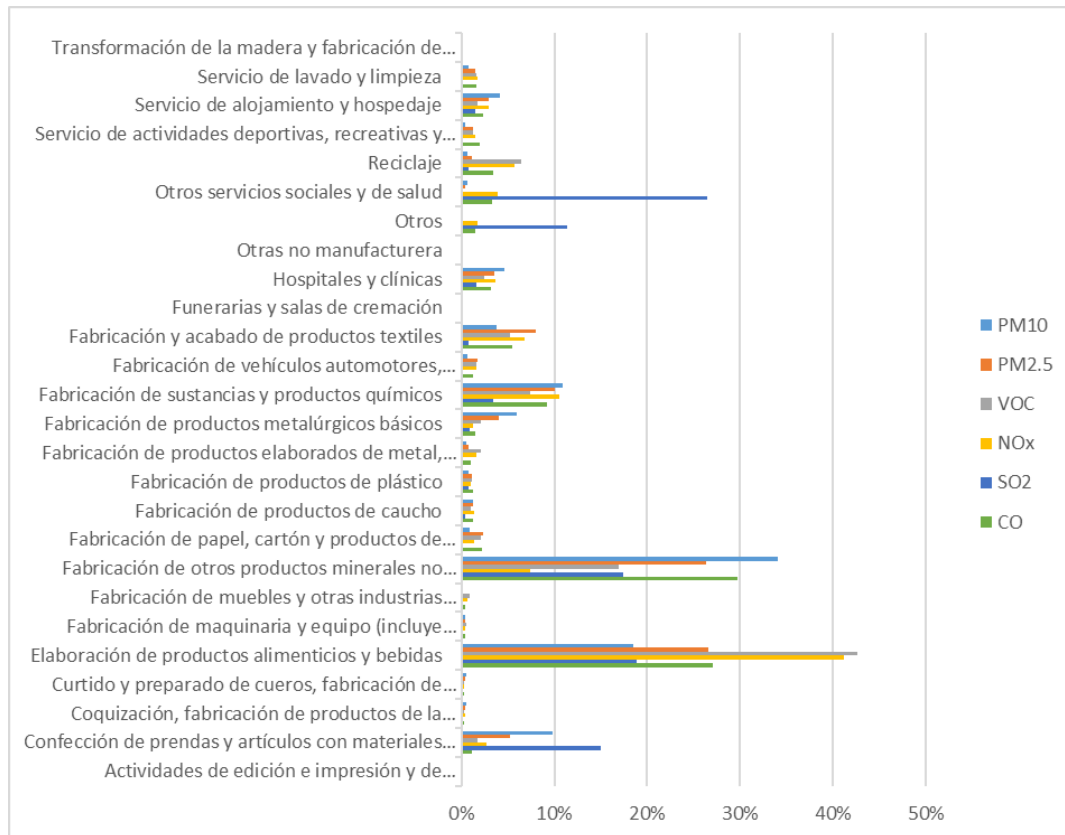
Partiendo de la anterior información, las fuentes fijas industriales por combustión y de combustión+proceso presentan el siguiente comportamiento por tipo de contaminante:

- 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%, fabricación de otros productos minerales no

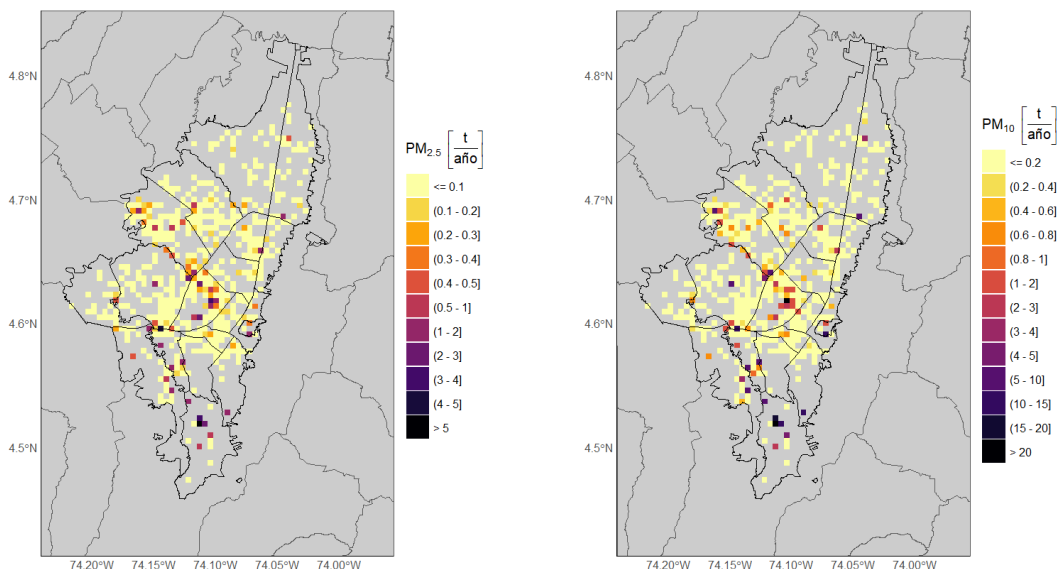
metálicos 8% y fabricación y acabados textiles del 7% y finalmente los demás sectores tienen un aporte menor del 5% de participación del total de emisiones de este contaminante.

Las emisiones de SO₂ 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.

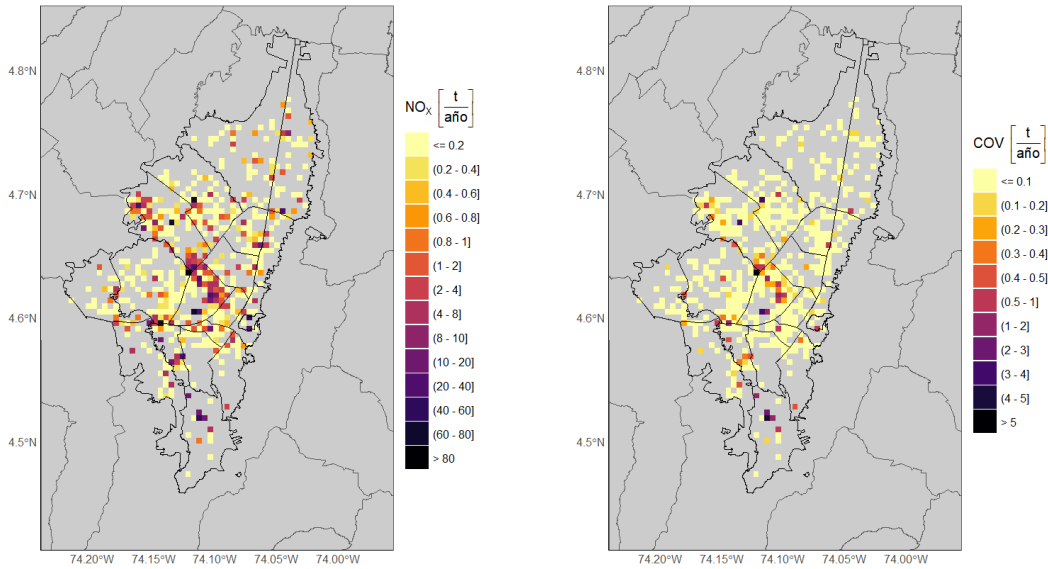
Desagregación espacial de las emisiones

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 occidental, central y sur de la ciudad.



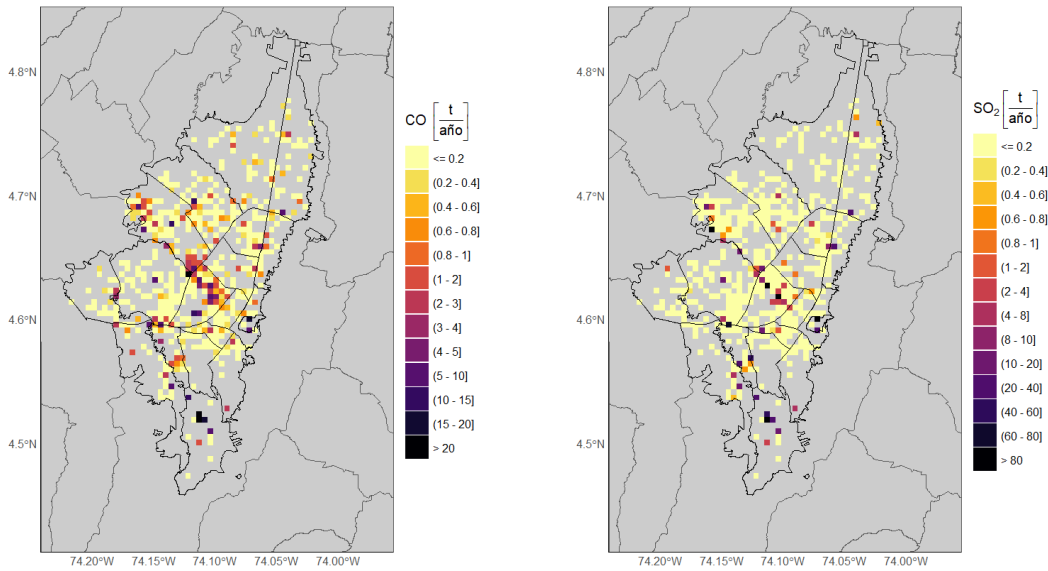
Fuente: Elaboración propia

Figura 26. Distribución espacial de las emisiones PM_{2.5} (izquierda) y PM₁₀ (derecha) generadas por fuentes fijas industriales



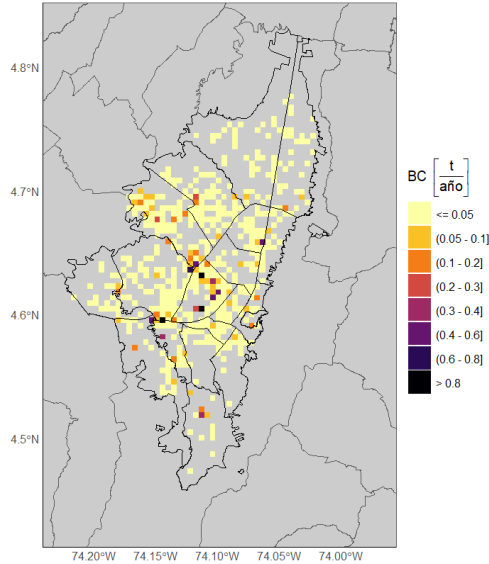
Fuente: Elaboración propia

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



Fuente: Elaboración propia

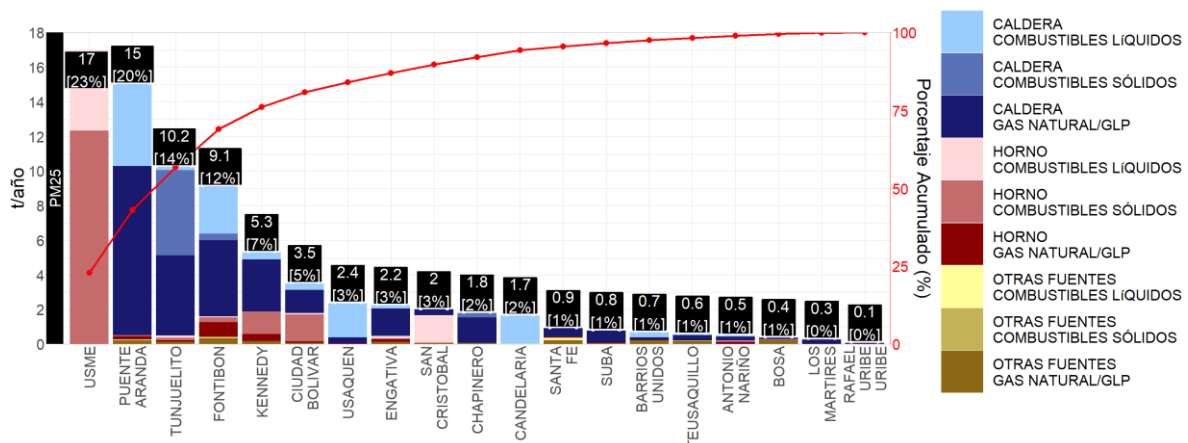
Figura 28. Distribución espacial de las emisiones de SO₂ (izquierda) y CO (derecha) generadas por fuentes fijas industriales



Fuente: Elaboración propia

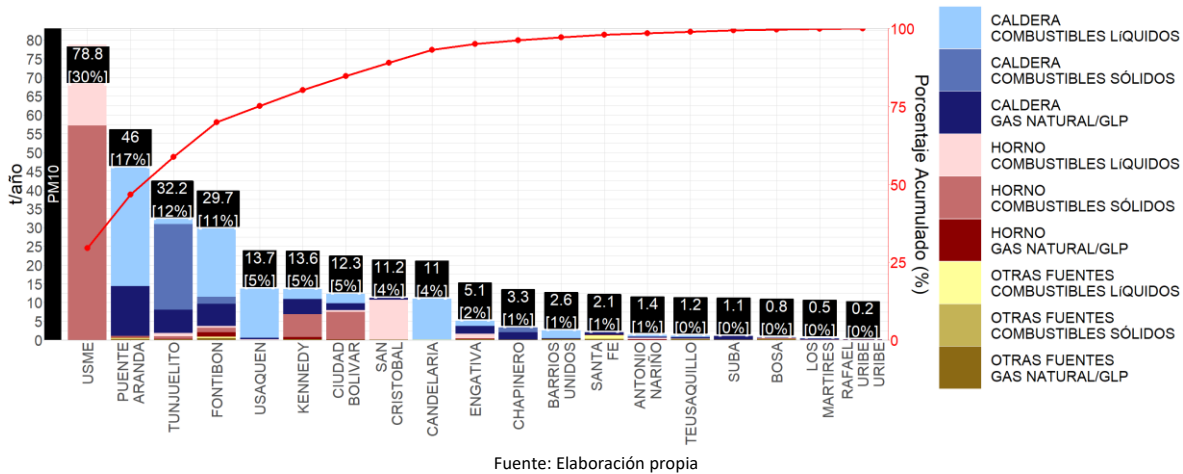
Figura 29. Distribución espacial de las emisiones de BC generadas por fuentes fijas industriales

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 PM₁₀, 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.

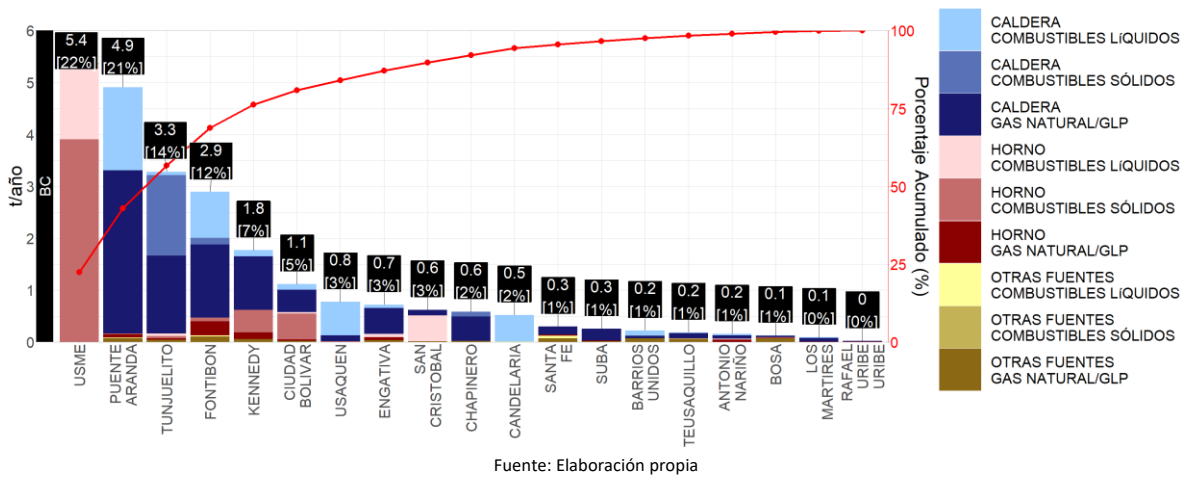


Fuente: Elaboración propia

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



Fuente: Elaboración propia
Figura 31. Participación por localidad de las emisiones de PM₁₀ para fuentes fijas industriales



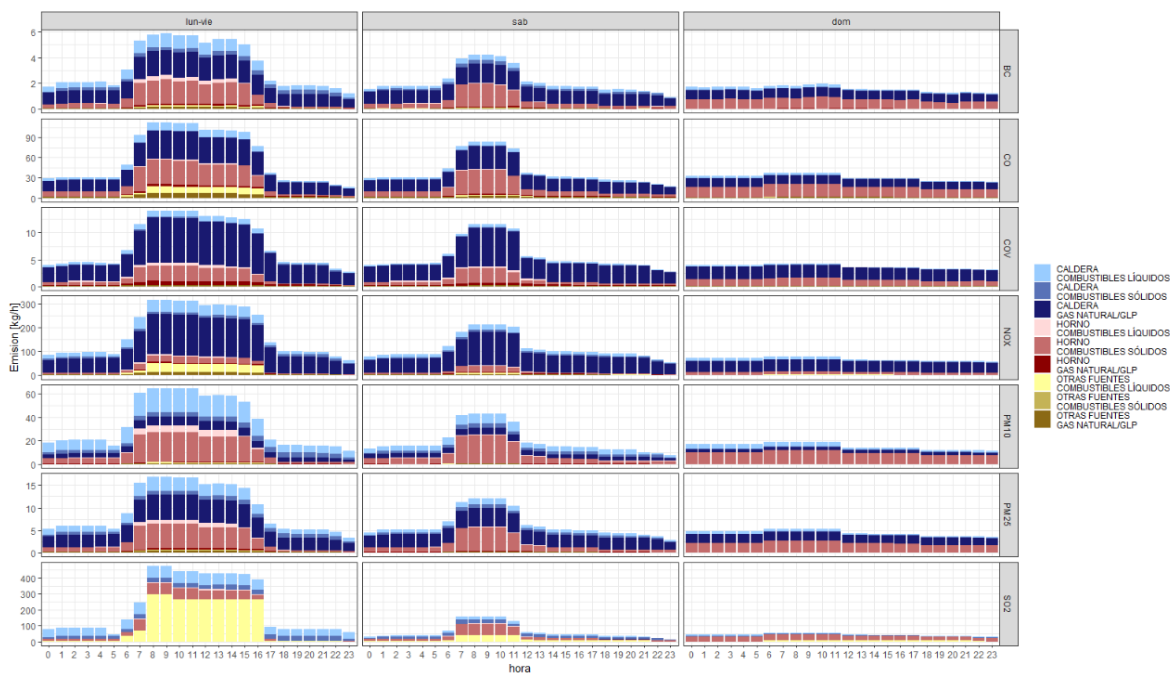
Fuente: Elaboración propia
Figura 32. Participación por localidad de las emisiones de BC para fuentes fijas industriales

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.



Fuente: Elaboración propia

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

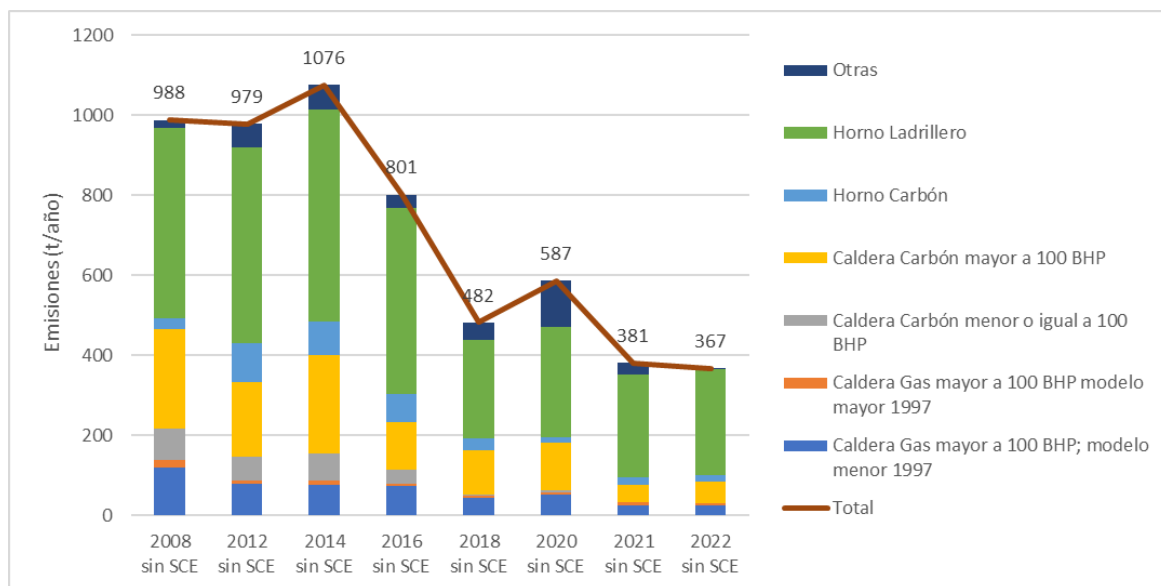
Conforme a las estimaciones de emisiones de cada uno de los contaminantes criterio para fuentes fijas industriales, desde el año 2008 hasta el 2022, se tiene una disminución de dichas emisiones desde el año 2014. Este comportamiento se asocia a la conversión de varias de las fuentes que utilizan combustibles 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.



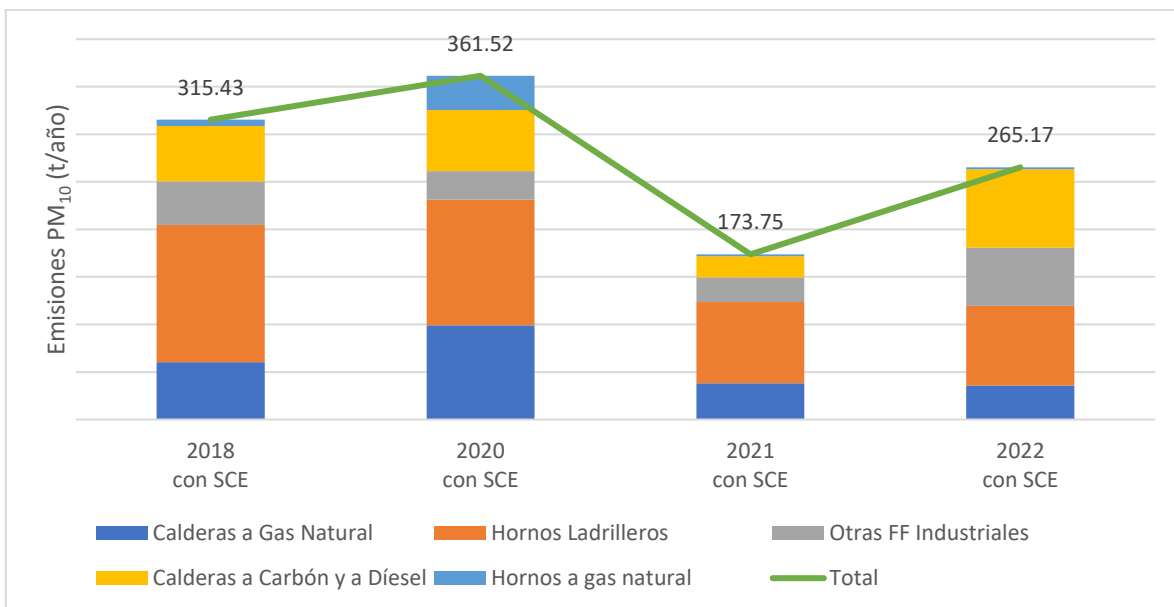
Fuente: Elaboración propia

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

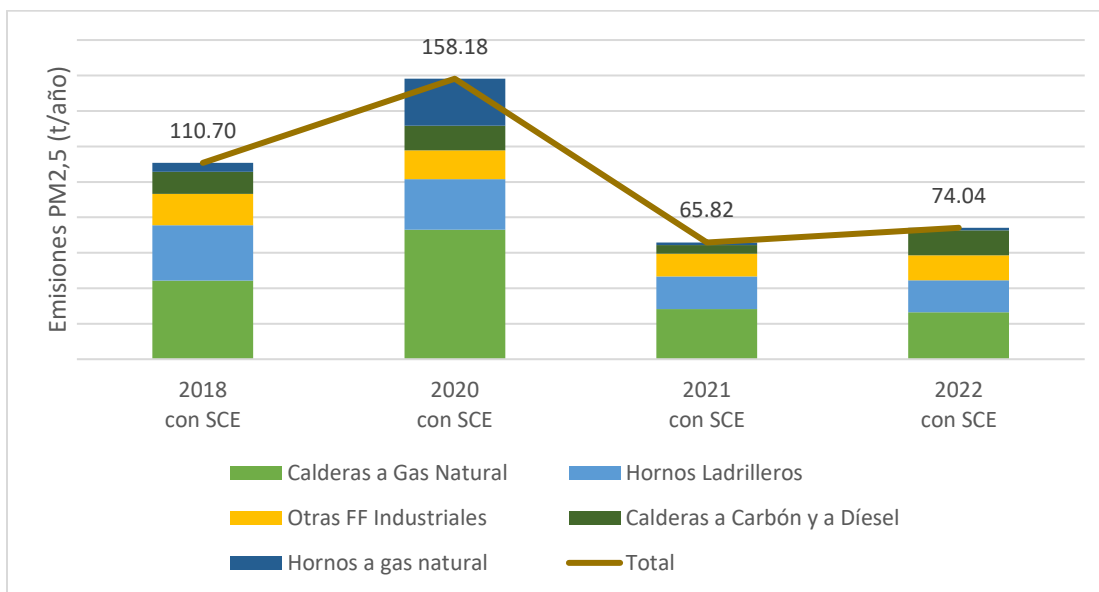
| Tipo de fuente | Emisiones (t/año) | | | | | | | |
|--|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | 2008 sin SCE | 2012 sin SCE | 2014 sin SCE | 2016 sin SCE | 2018 sin SCE | 2020 sin SCE | 2021 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

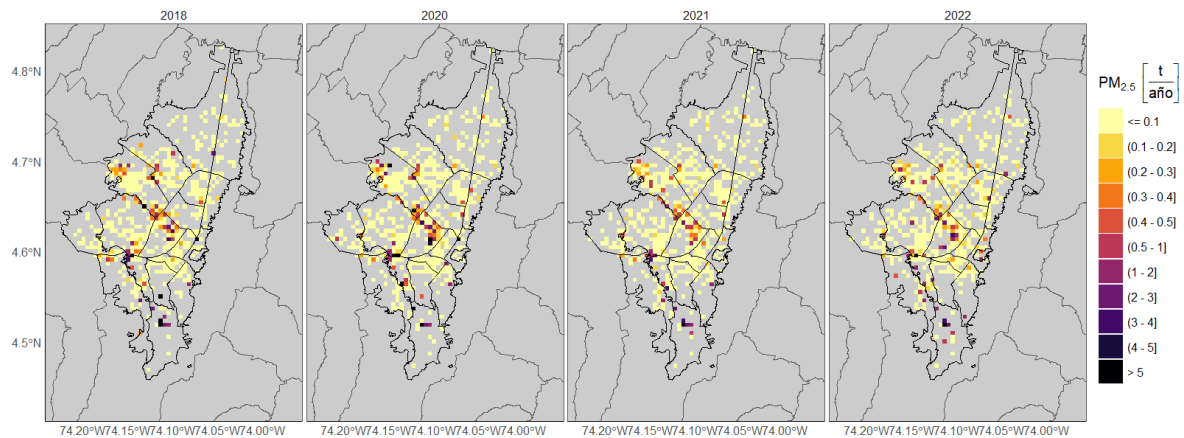
Conforme a lo presentado en las Figura 34, Figura 35 y Figura 36, se mantiene el comportamiento histórico de participación de emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5} por tipo de fuente, con SCE, de las emisiones de los hornos ladrilleros y calderas a gas, presentando variaciones de reducción de emisiones en hornos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

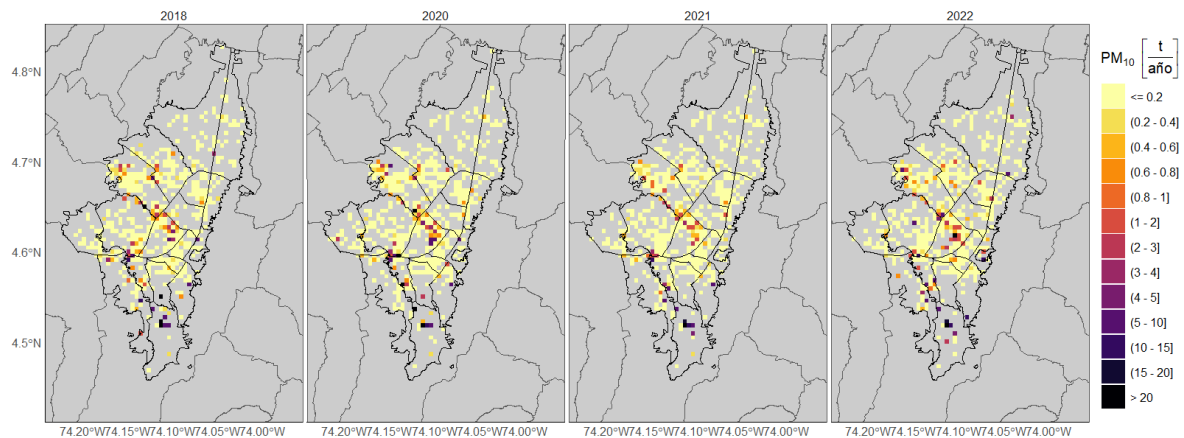
Distribución espacial histórica

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.



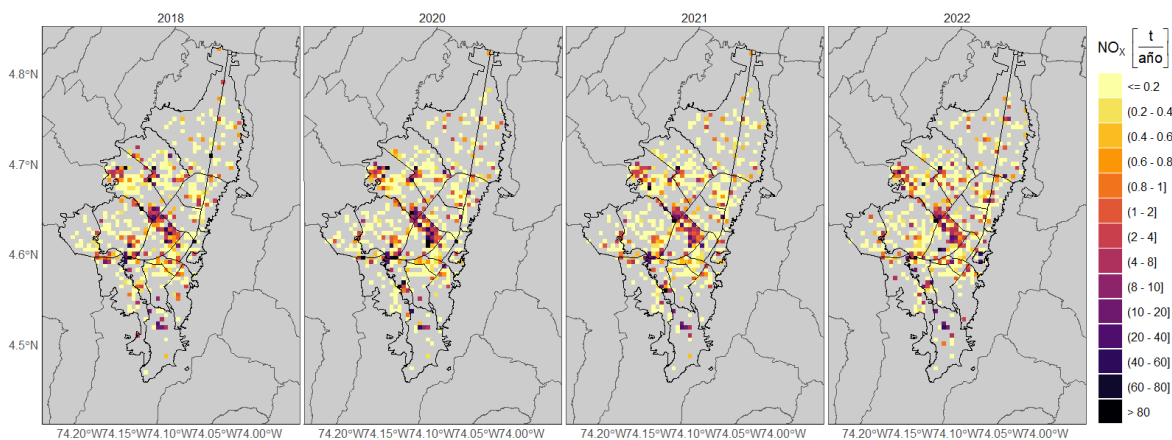
Fuente: Elaboración propia

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



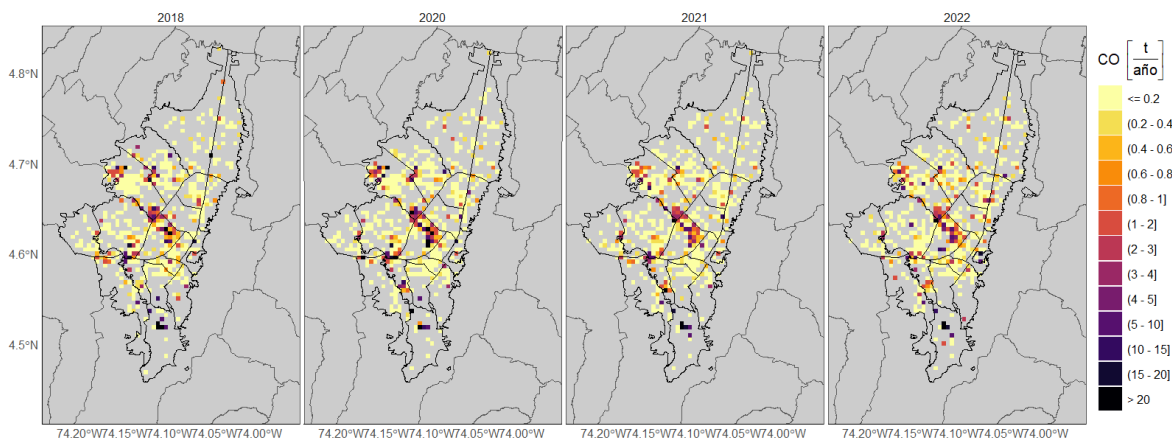
Fuente: Elaboración propia

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



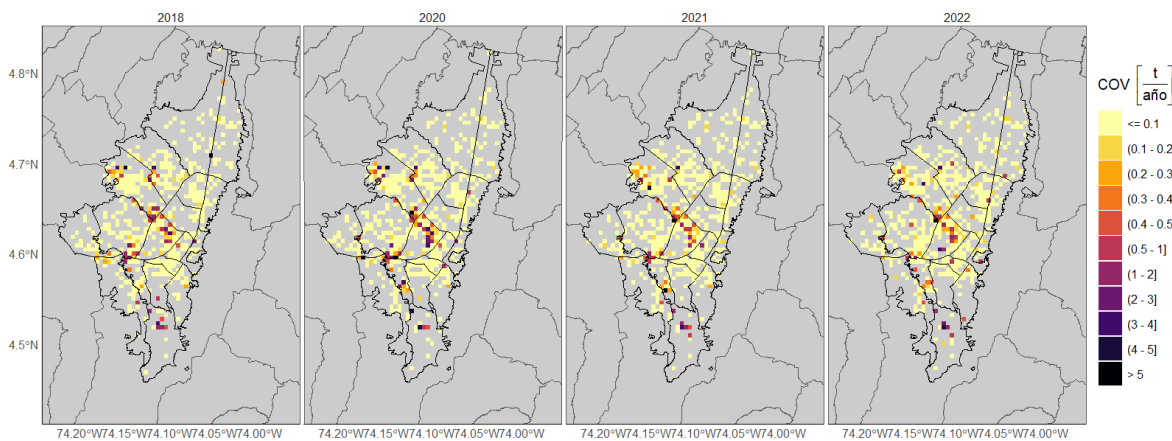
Fuente: Elaboración propia

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



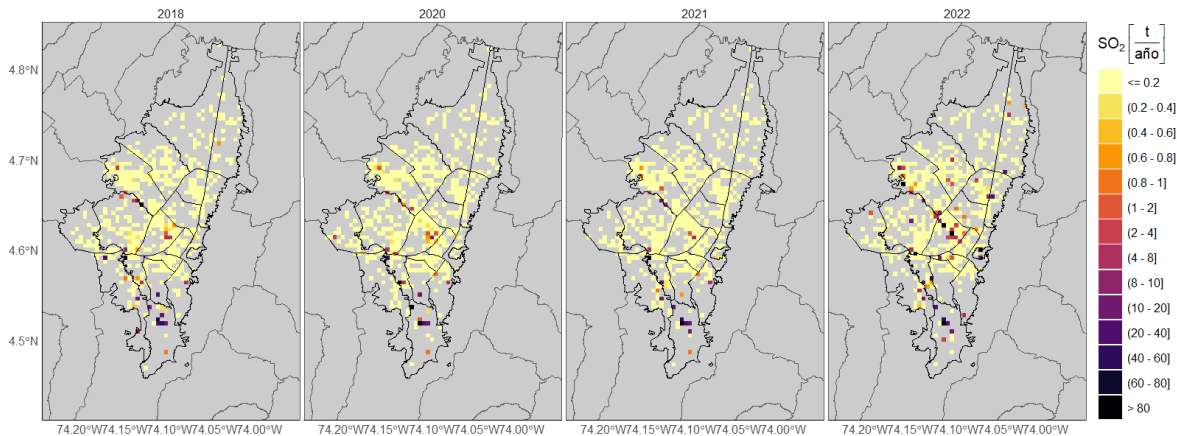
Fuente: Elaboración propia

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



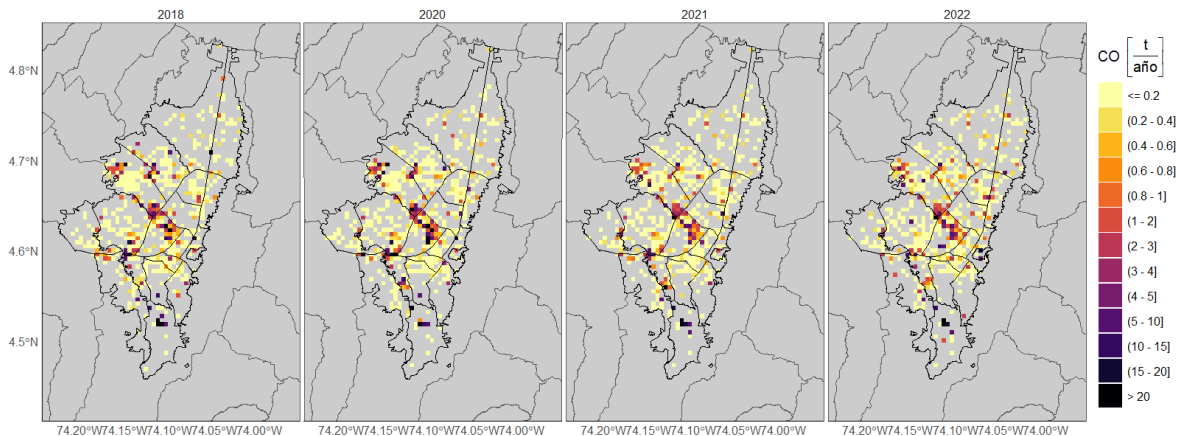
Fuente: Elaboración propia

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*

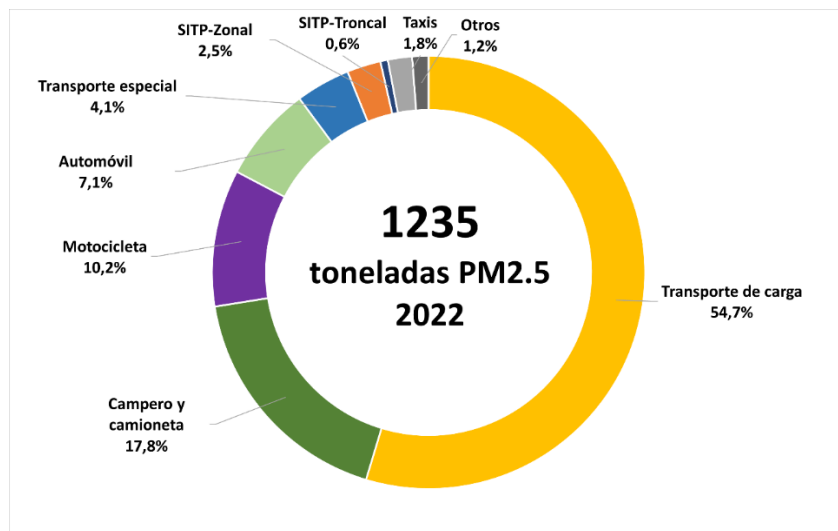
El inventario de emisiones del año 2022 estimado por enfoque *Top-Down* por categorías vehiculares y contaminantes criterio se presenta en la Tabla 18.

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



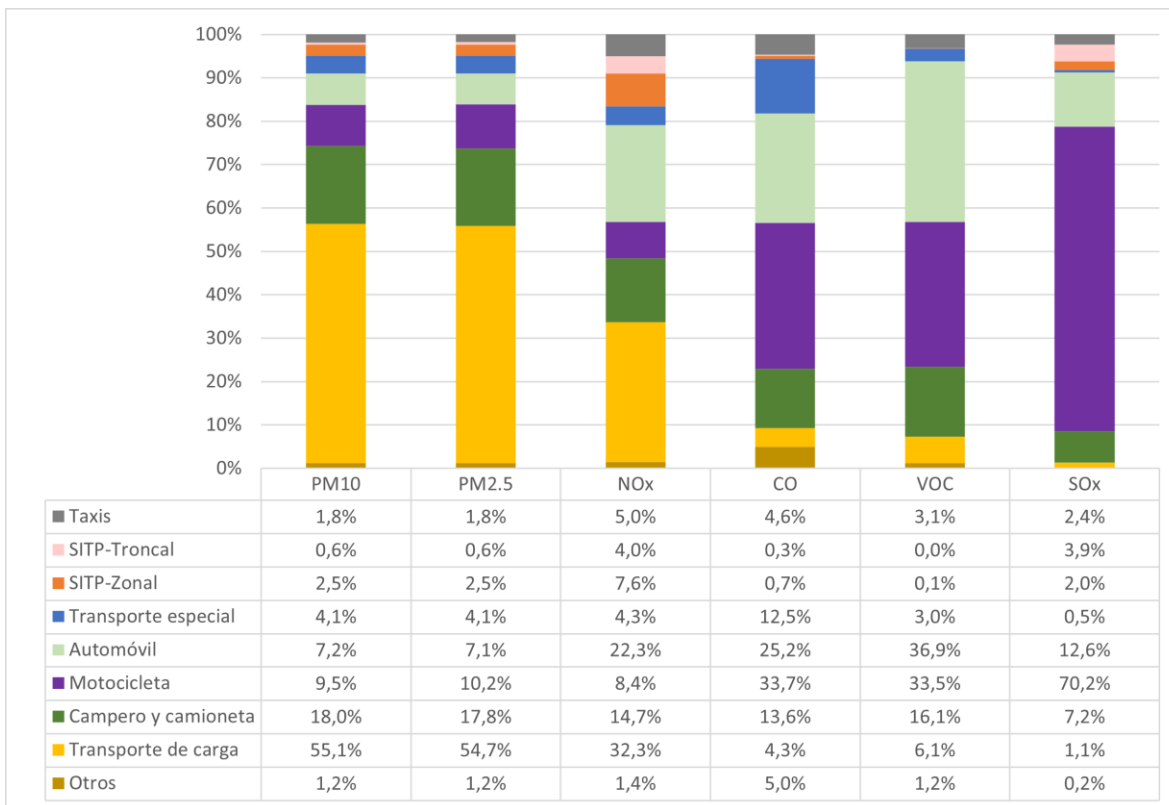
Fuente: Elaboración propia

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*.

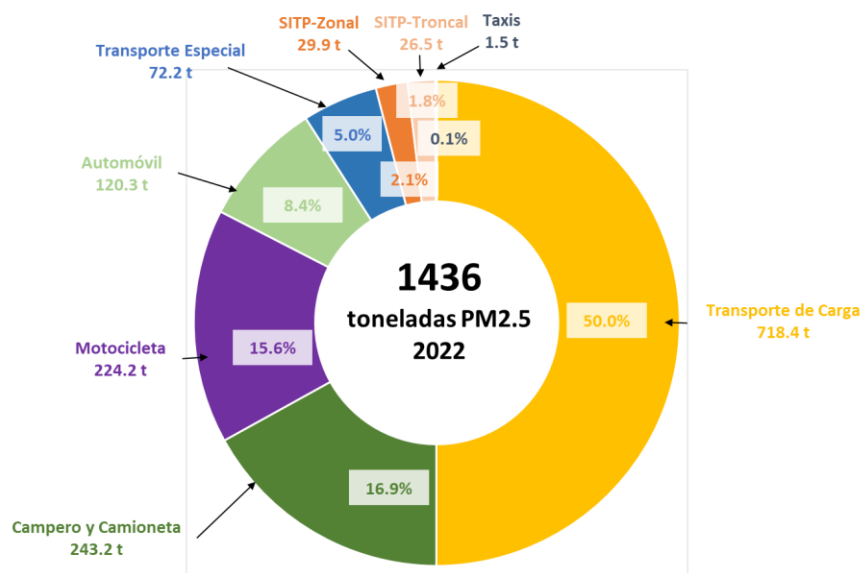
| Categoría vehicular | Emisiones (t/año) | | | | | | |
|----------------------|-------------------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|-------------------|--------------|
| | CO | COV | NOx | PM ₁₀ | SOx | PM _{2.5} | BC |
| Transporte de Carga | 3.777,4 | 2.236,8 | 5.078,6 | 798,3 | 7,1 | 718,4 | 280,4 |
| Campero 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

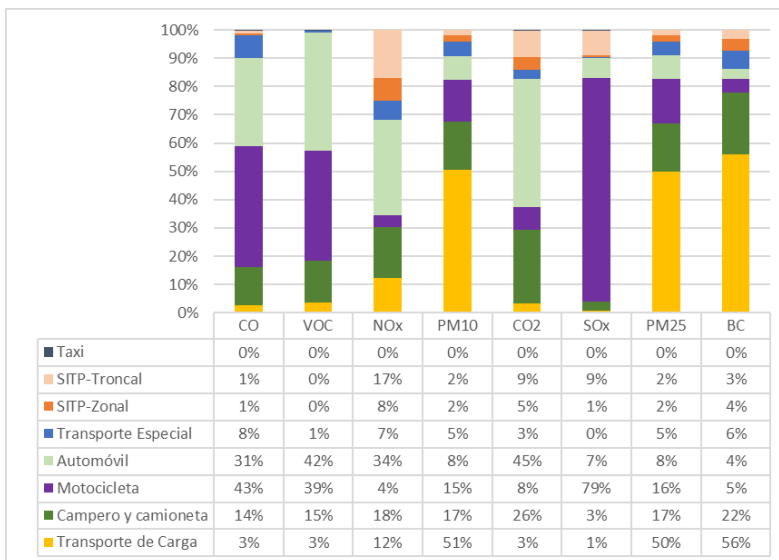
La distribución de emisiones de PM_{2.5} (Figura 46) y la de los demás contaminantes criterio (Figura 47) tienen un comportamiento similar a las estimadas a la metodología *Top-Down* descritas en la sección 4.3.1, obteniendo para el año 2022 un valor de 1.436 t para PM_{2.5}. Algunos cambios relevantes 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, 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.



Fuente: Elaboración propia

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

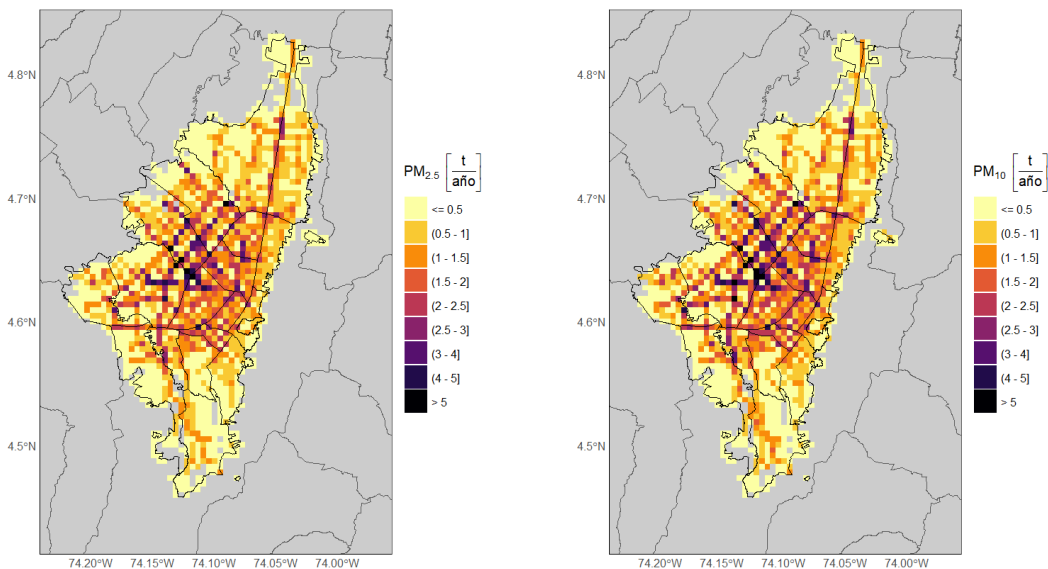


Fuente: Elaboración propia

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.

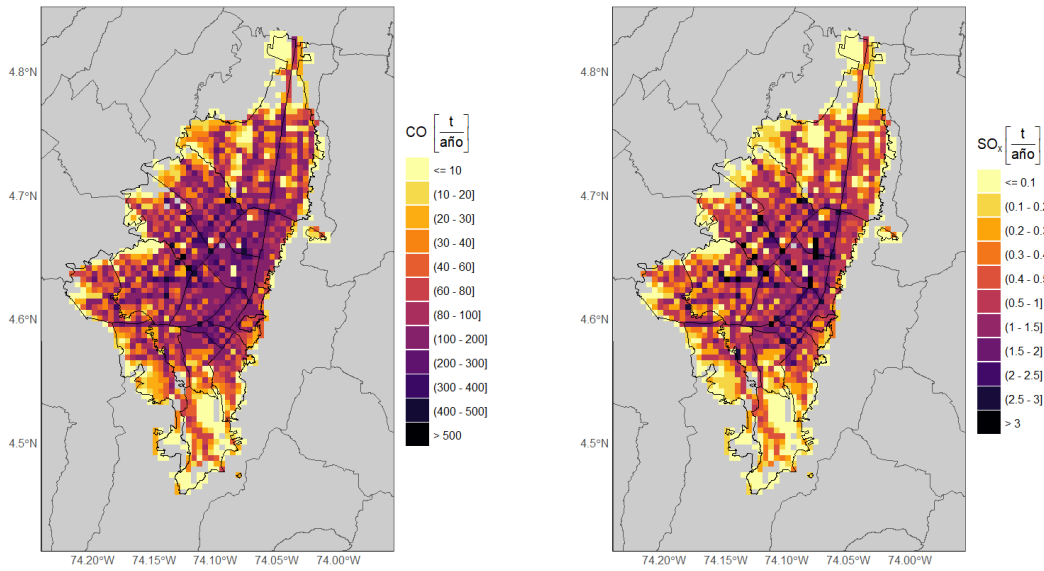
Desagregación espacial para emisiones

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.



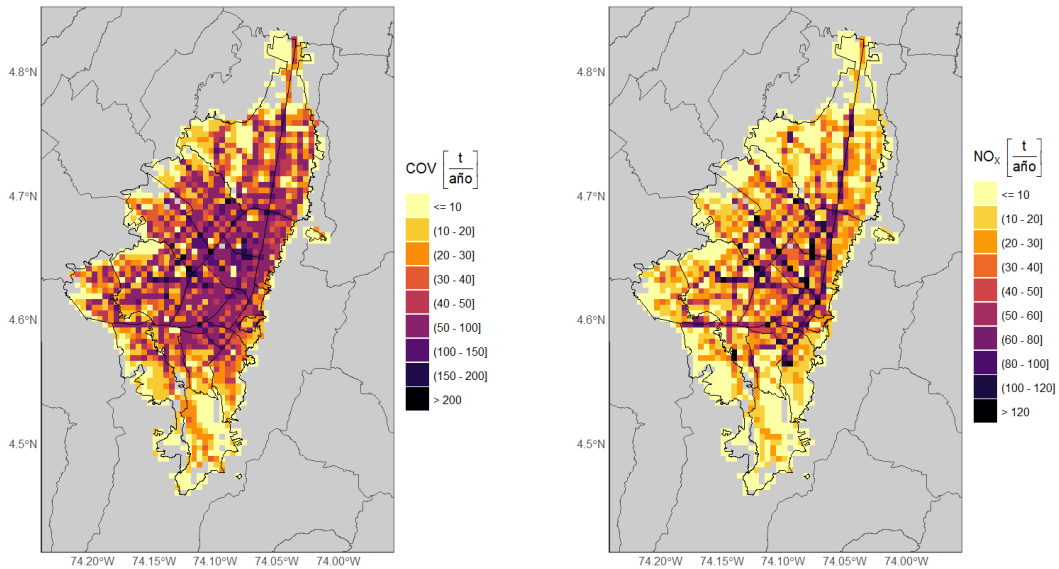
Fuente: Elaboración propia

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.



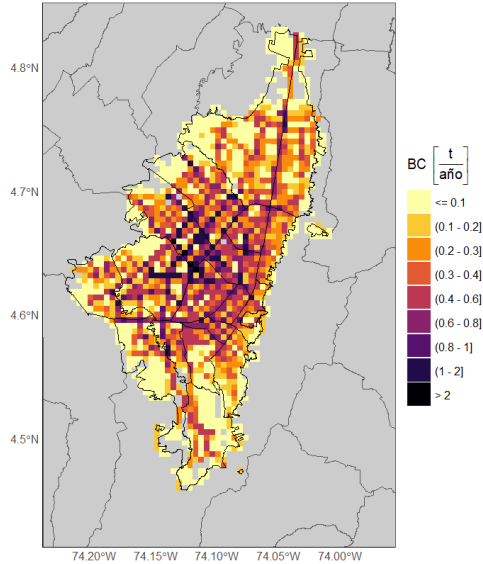
Fuente: Elaboración propia

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

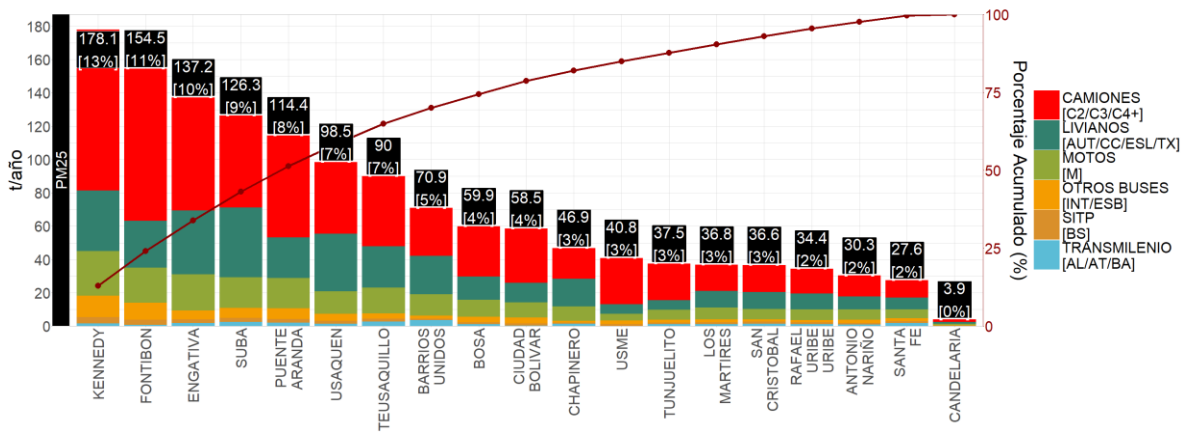
Figura 50. Distribución espacio temporal de las emisiones de NO_x (derecha) y COV (izquierda) generadas por las fuentes móviles por combustión para el año 2022.



Fuente: Elaboración propia

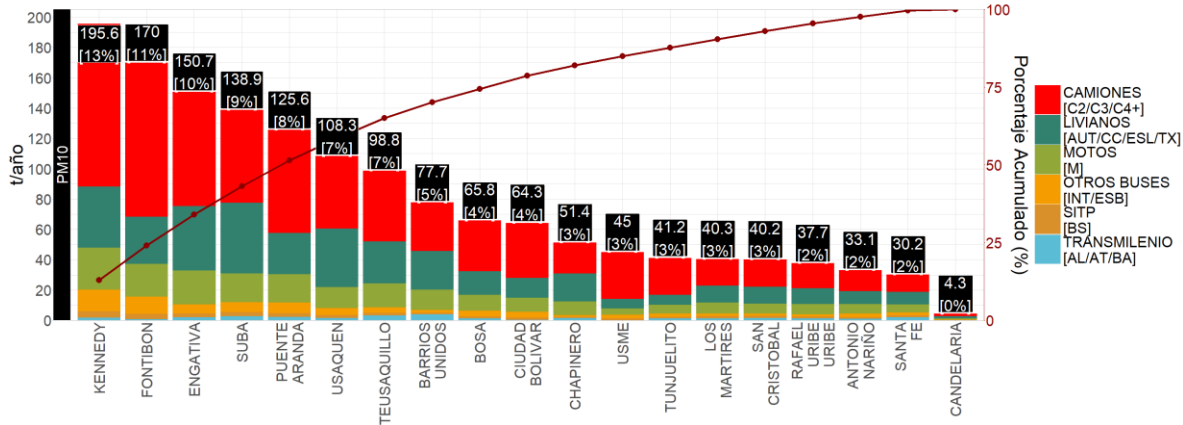
Figura 51. Distribución espacio temporal de las emisiones de BC generadas por las fuentes móviles por combustión para el año 2022.

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 deber 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.



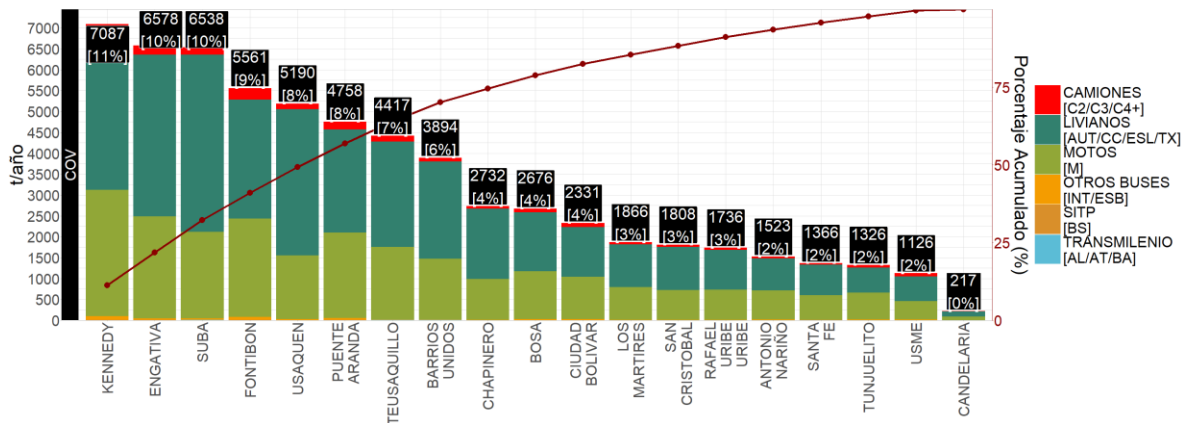
Fuente: Elaboración propia

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



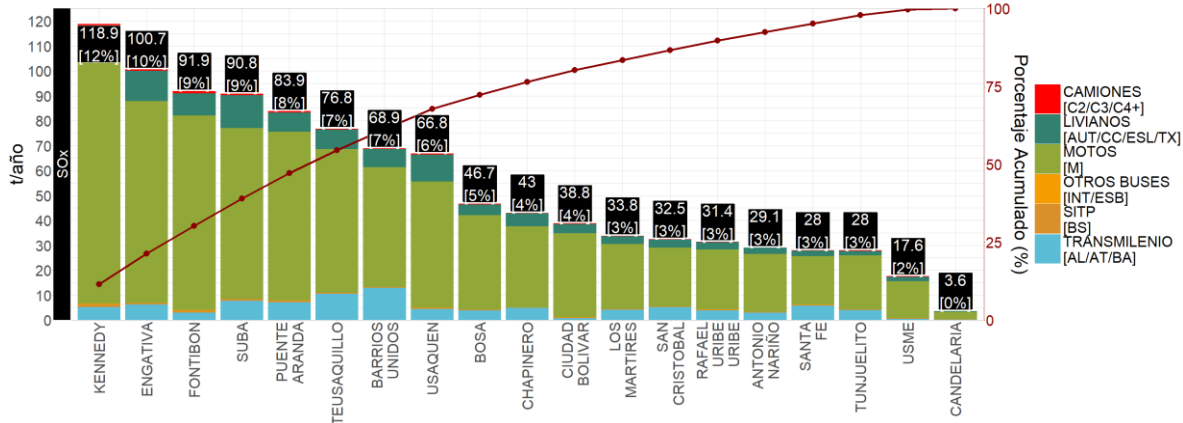
Fuente: Elaboración propia

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



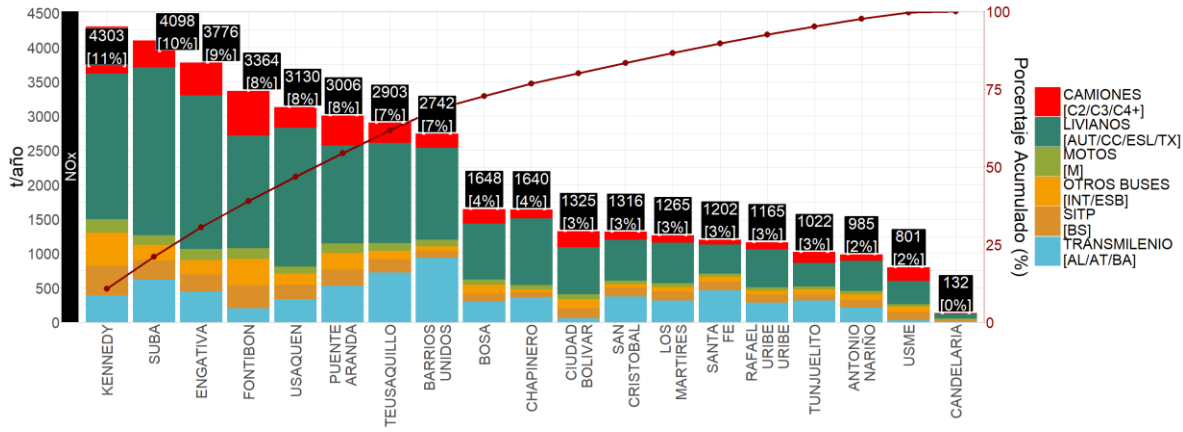
Fuente: Elaboración propia

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



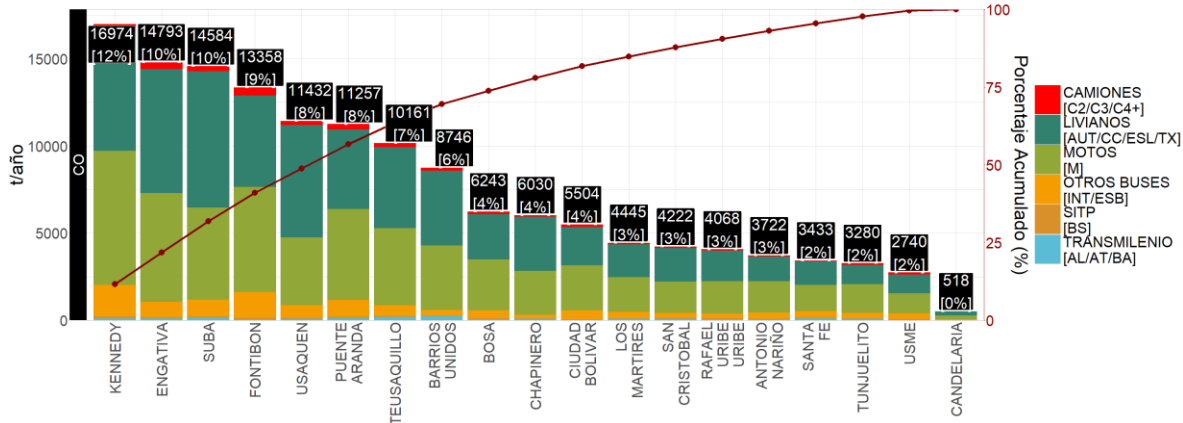
Fuente: Elaboración propia

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



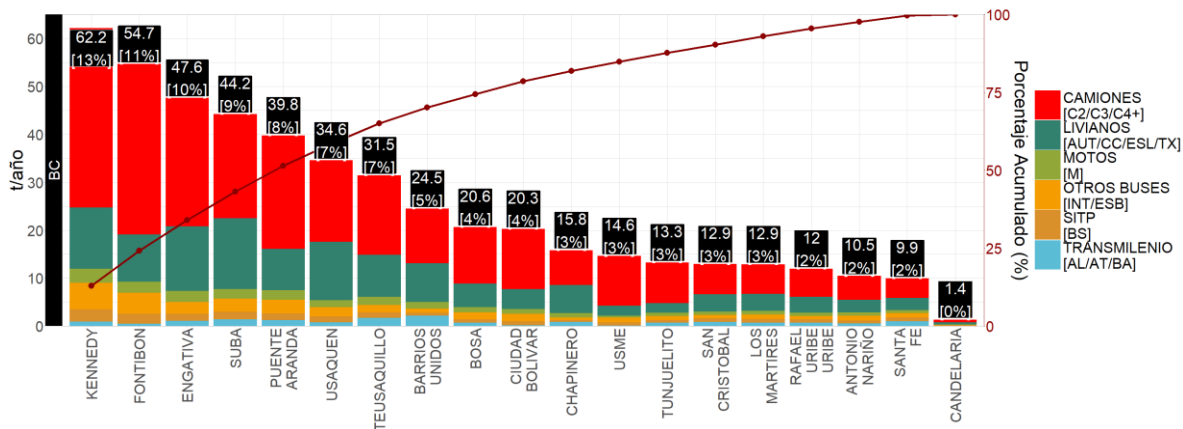
Fuente: Elaboración propia

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).

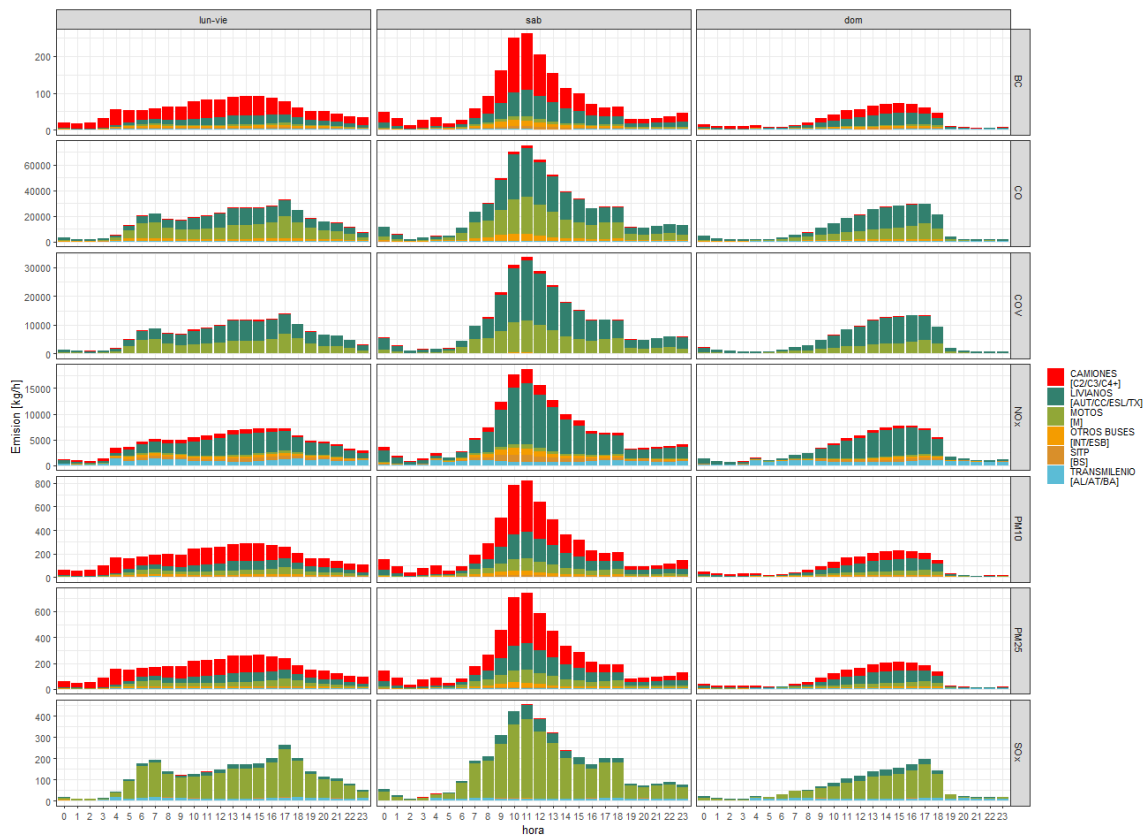
En los días hábiles (lun-vie), las emisiones de los contaminantes BC, $PM_{2.5}$ y PM_{10} , son generadas principalmente por vehículos de carga e inician su aumento desde las 2:00, incrementando gradualmente con menos intensidad hasta las 10:00. Estas emisiones permanecen casi constantes hasta las 15:00, 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 técnica 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:

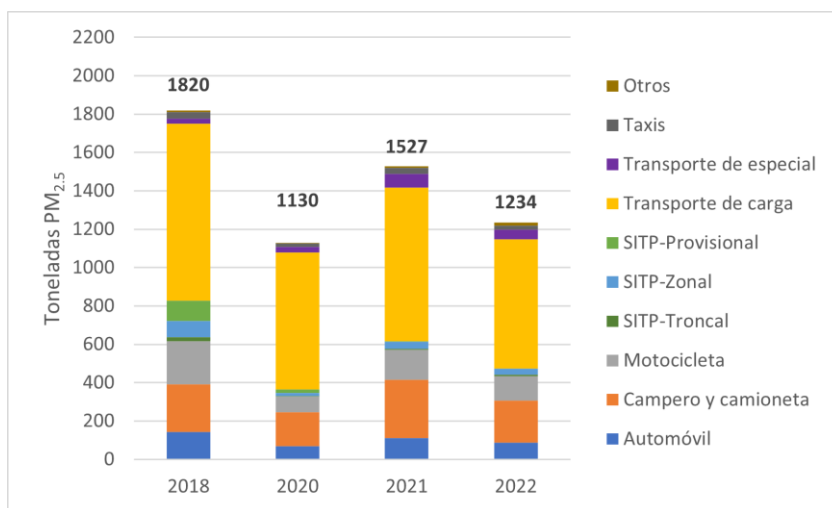
⁵ Entre los ajustes se encuentra: - El uso de los factores de expansión aplicados a la cantidad de vehículos para las categorías de motocicletas y transporte de carga, para considerar vehículos que transitan en Bogotá pero que su placa se encuentra registrada en municipios aledaños. – Uso de las mismas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

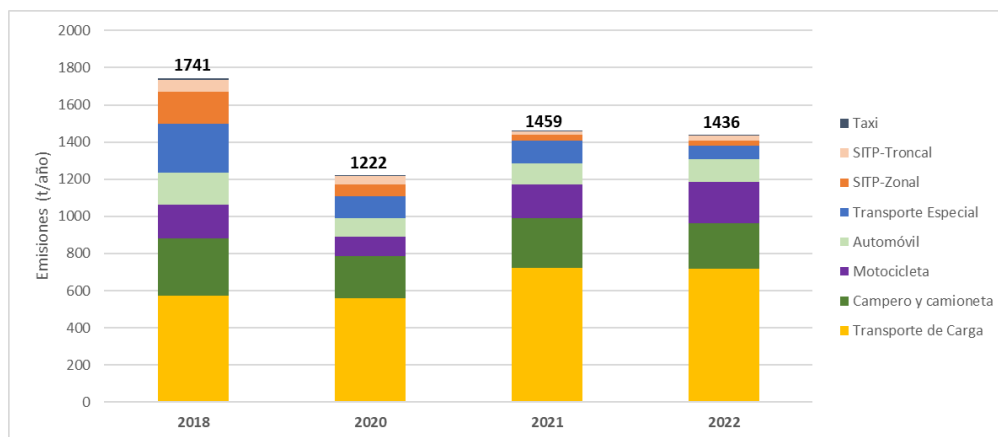
En cuanto a las categorías de motocicleta, SITP-Zonal y transporte de carga, se reportan reducciones entre el 16 y 18%, mientras que SITP-Provisional se reduce al 100% ya que, para el 11 de diciembre de 2021 se retiraron en su totalidad las rutas que cubrían esta tipología vehicular por lo que esta categoría 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

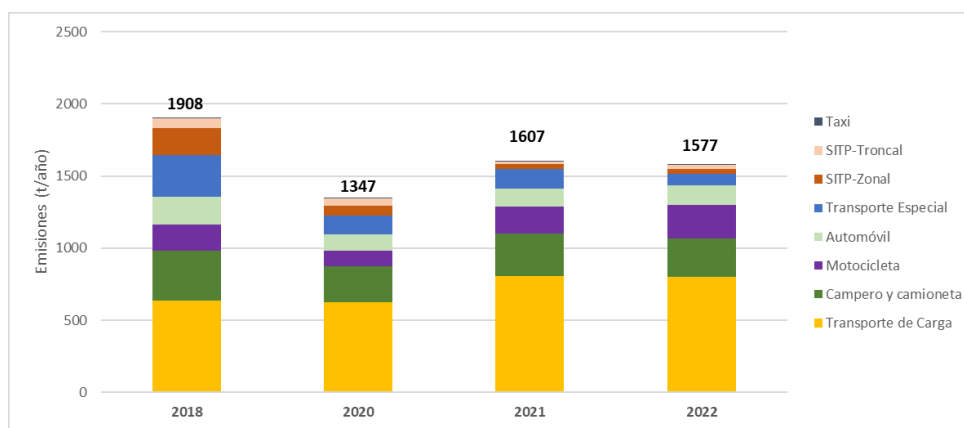
Figura 61. Emisiones de 2018, 2020, 2021 y 2022 de PM_{2.5} estimadas con enfoque *Bottom-Up*

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



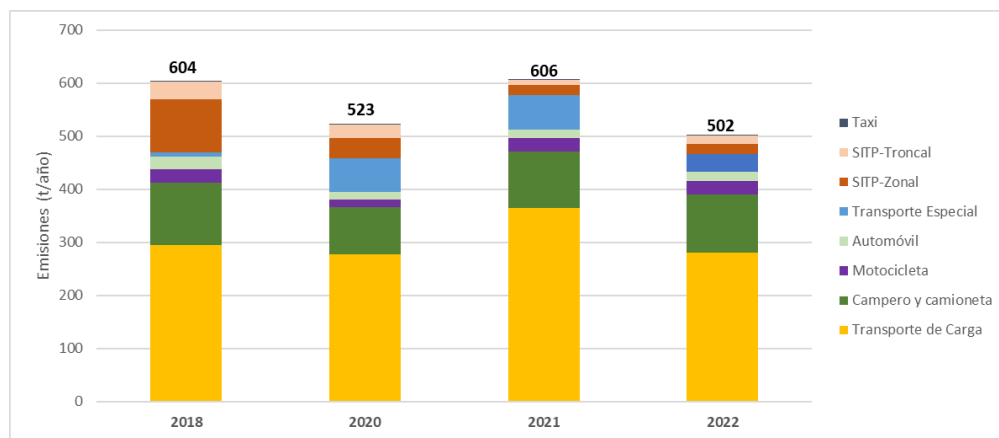
Elaboración propia

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

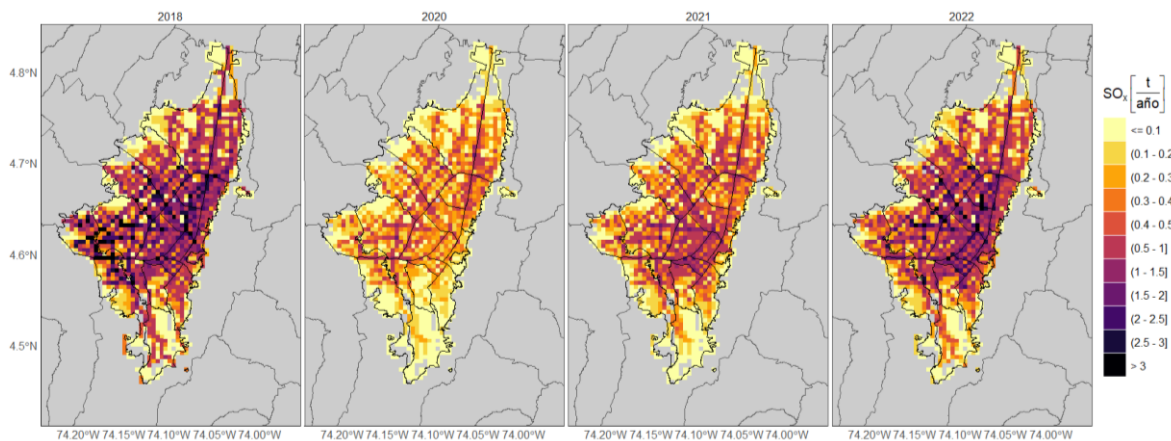


Fuente: Elaboración propia

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

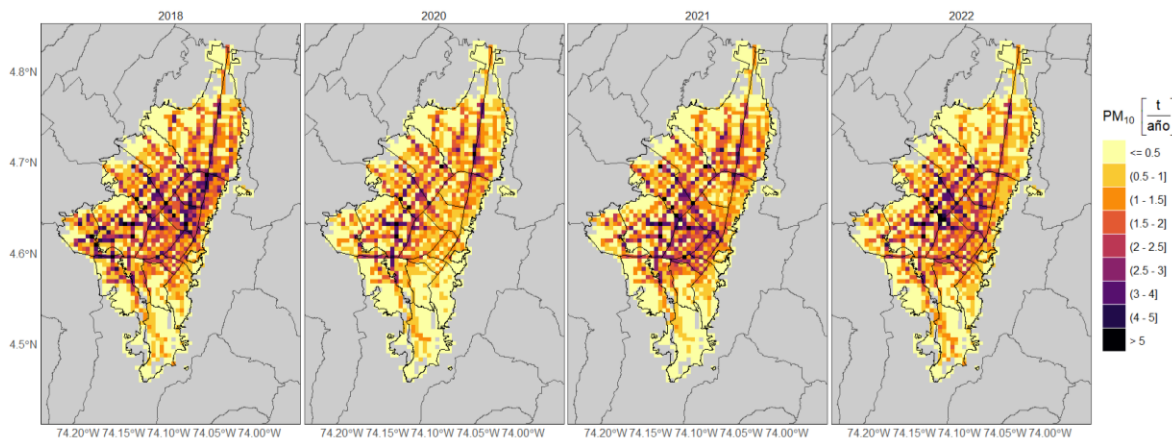
Ambas metodologías presentan diferencias en proporciones distintas por categoría vehicular (como se presentó en la sección 4.3.). Sin embargo, refleja tendencias similares, como la mayoritaria participación en emisiones de $PM_{2.5}$ por parte de los vehículos de carga. De la misma forma, se destaca 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.



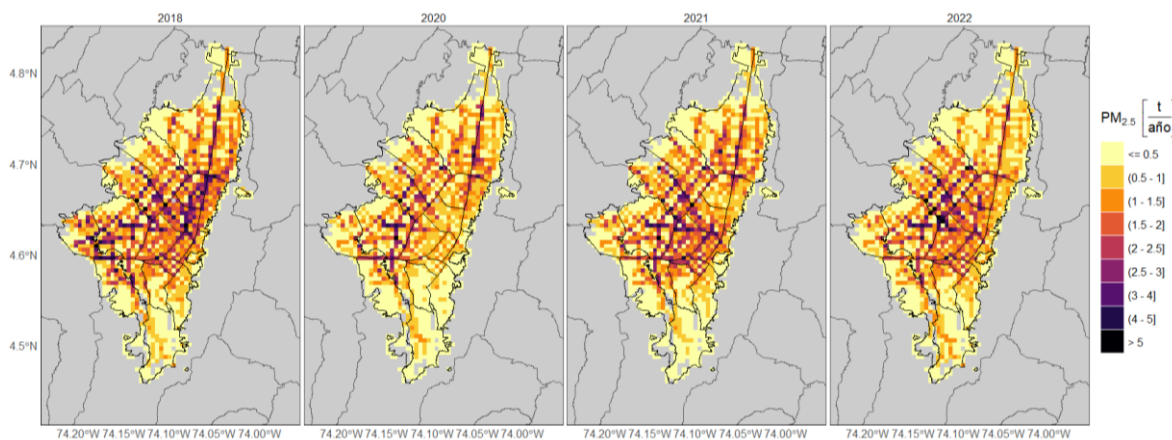
Elaboración propia

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.



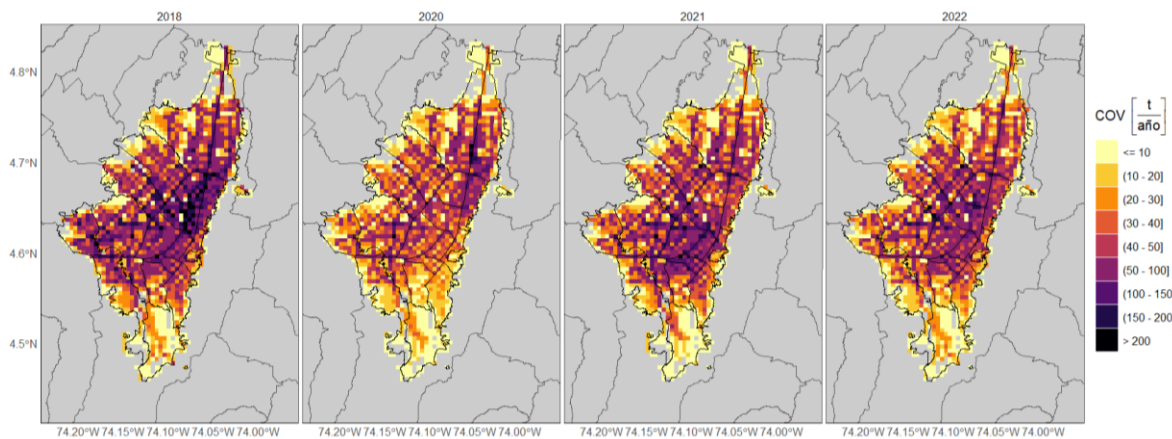
Fuente: Elaboración propia

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.



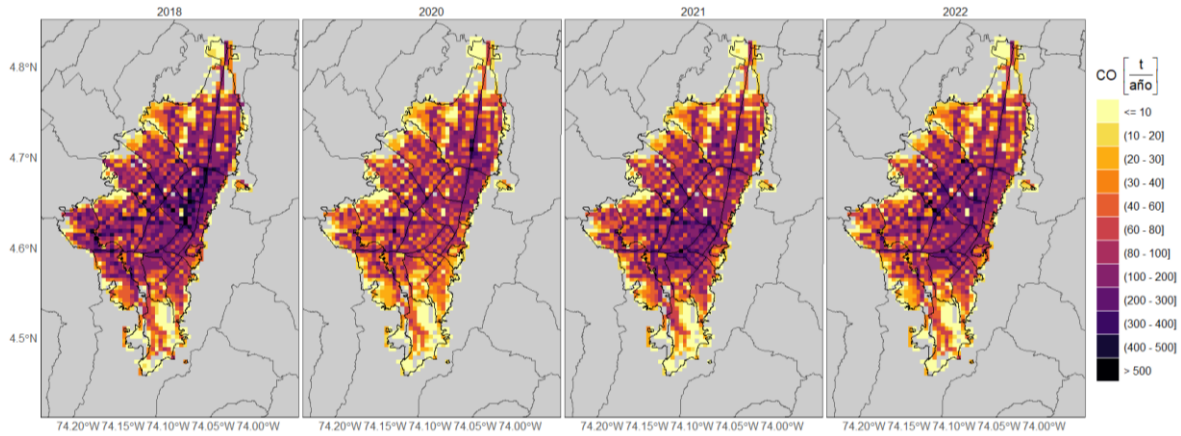
Fuente: Elaboración propia

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.



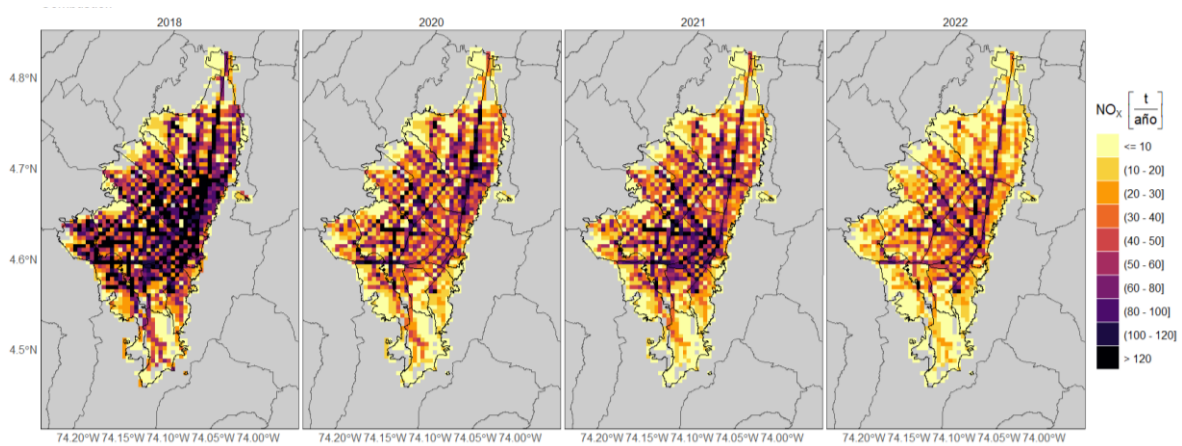
Fuente: Elaboración propia

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.



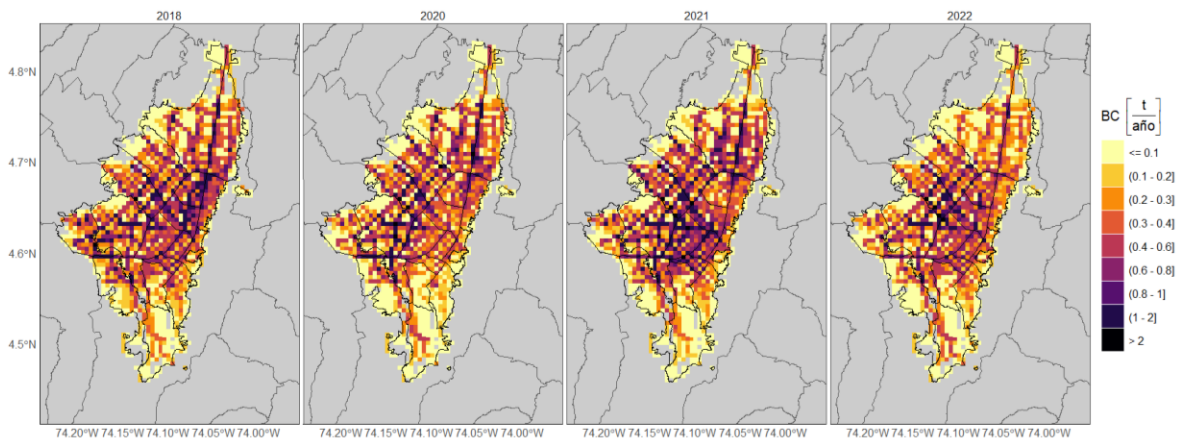
Fuente: Elaboración propia

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 NATUALES 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

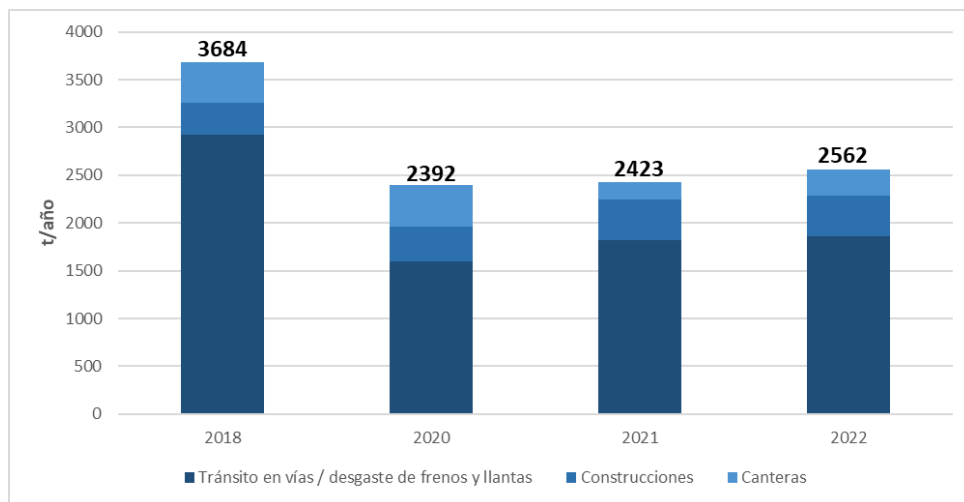
A lo largo de este capítulo se detallarán las emisiones de las fuentes de emisión por combustión, sin embargo, en esta parte introductoria, en la Tabla 28 se resumen las emisiones por combustión históricas para PM_{2.5}. Dentro del comportamiento histórico se destaca la reducción de las emisiones asociadas 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.

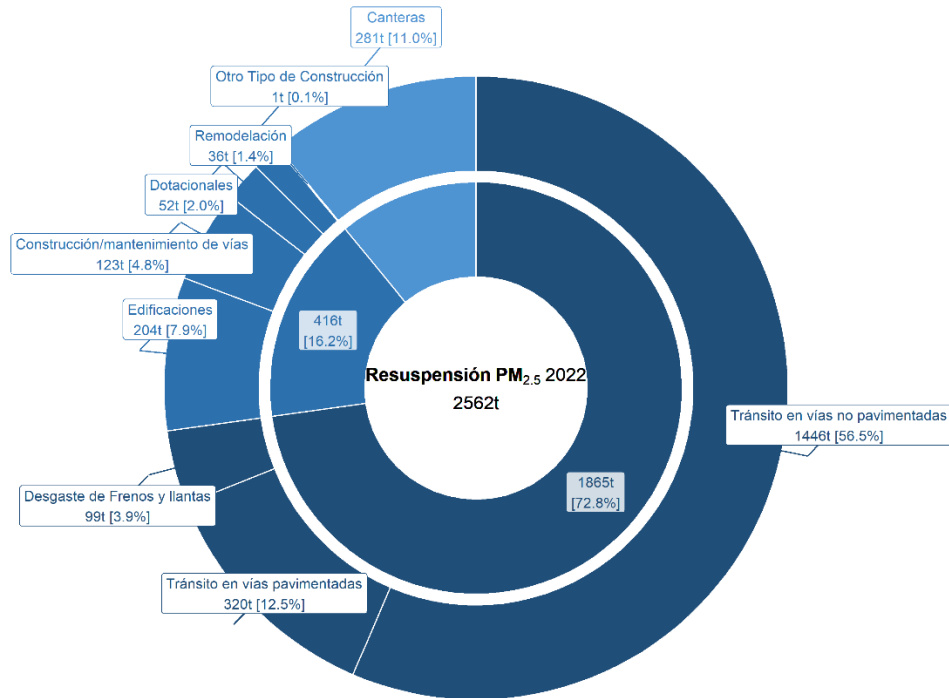


Fuente: Elaboración propia

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.



Tipo de Fuente ■ Material Resuspendido Canteras ■ Material Resuspendido Construcciones ■ Material Resuspendido Vías
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 PM₁₀, PM_{2.5} y BC respectivamente. Esto se asocia al alto factor de emisión de este tipo de vías, en conjunto con la estimación de los flujos vehiculares en vías secundarias.

Tabla 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

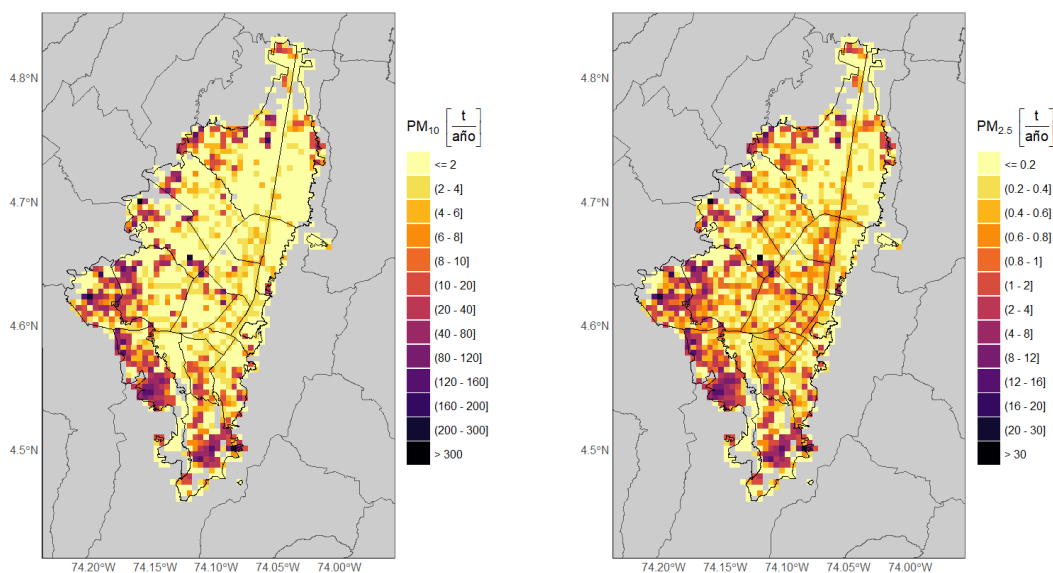
| Categoría vehicular | Emisiones (t/año) | | |
|---------------------|-------------------|-------------------|------------|
| | PM ₁₀ | PM _{2.5} | BC |
| Automóvil | 7.234,6 | 774,9 | 0,7 |
| Campero y camioneta | 3.938,7 | 430,4 | 1,0 |
| Motocicleta | 2.735,9 | 279,7 | 0,4 |
| Transporte de Carga | 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

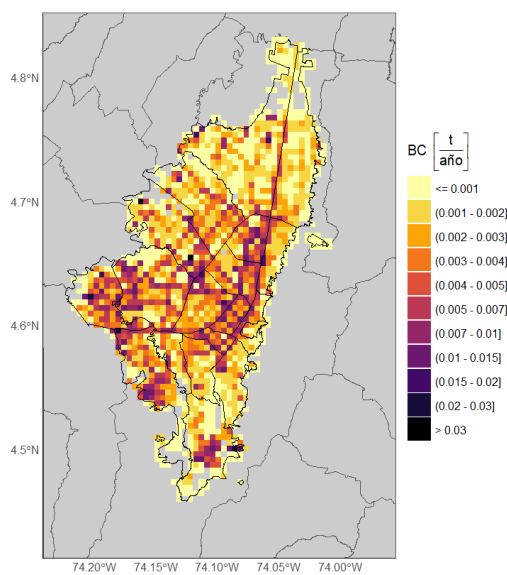
La distribución espacial de las emisiones de material resuspendido de las vías se presenta en los mapas de la Figura 73 en donde se observa una concentración de emisiones en la zona sur y sur

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.



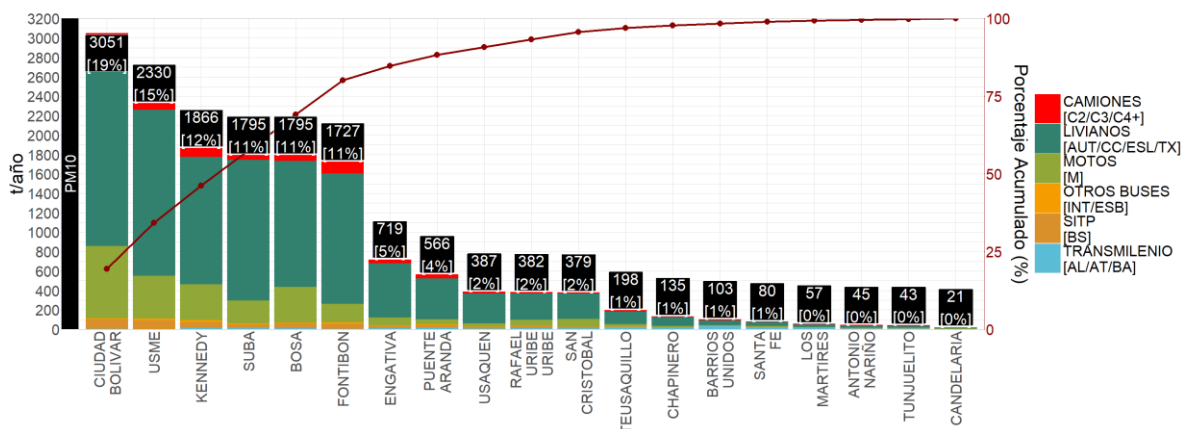
Fuente: Elaboración propia

Figura 73. Distribución espacial de las emisiones de PM_{10} (izquierda) y $PM_{2.5}$ (derecha) por resuspensión de material particulado en vías.



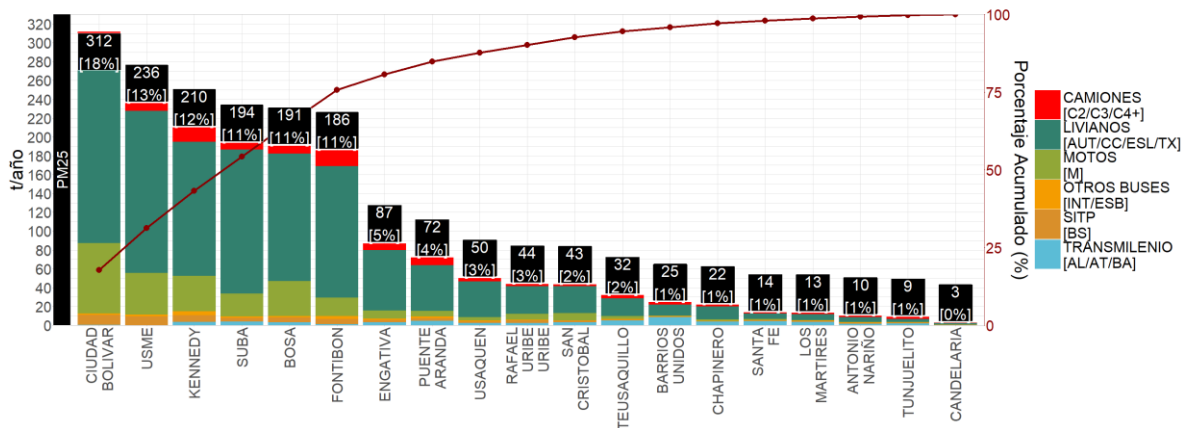
Fuente: Elaboración propia

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



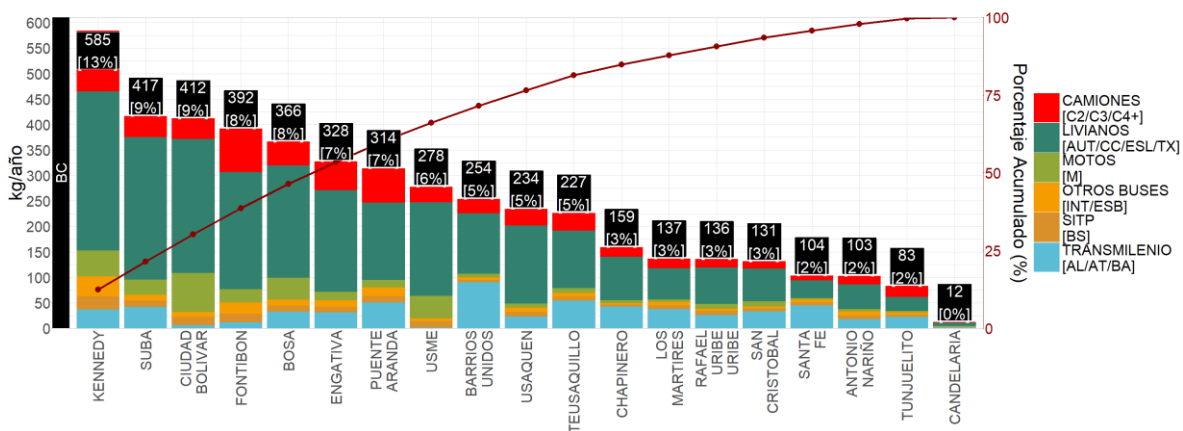
Fuente: Elaboración propia

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



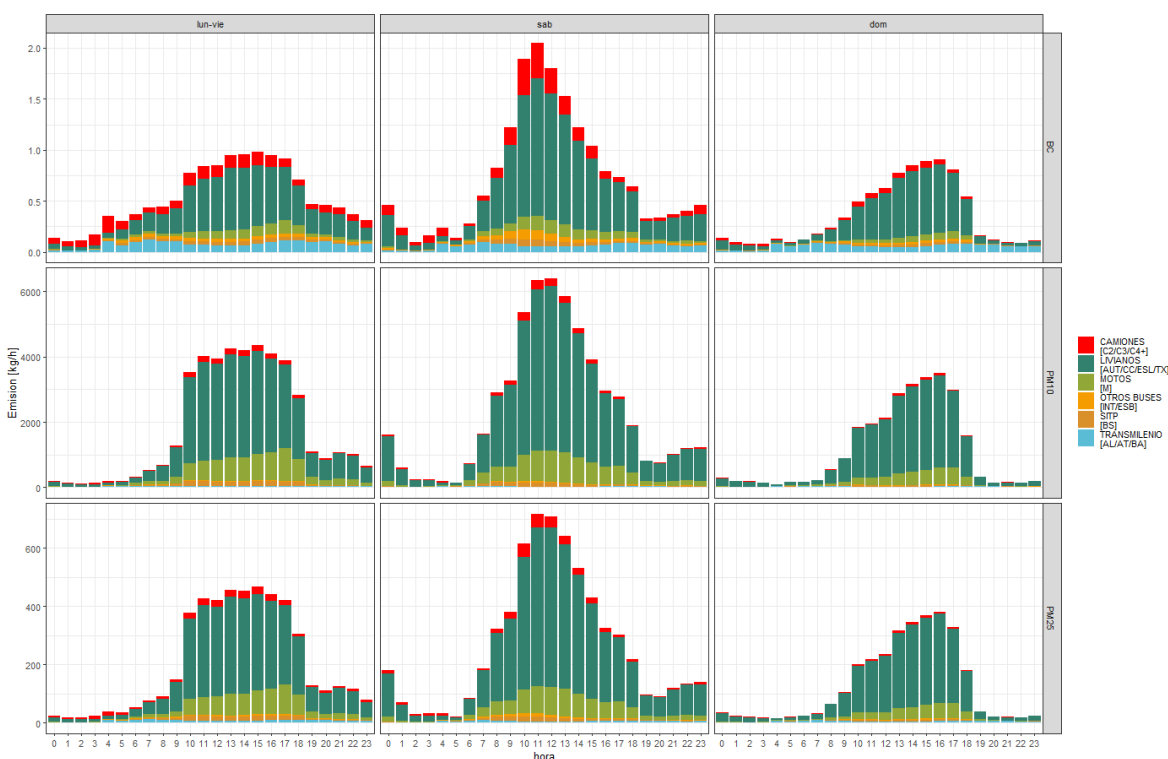
Fuente: Elaboración propia

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 PM₁₀ 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

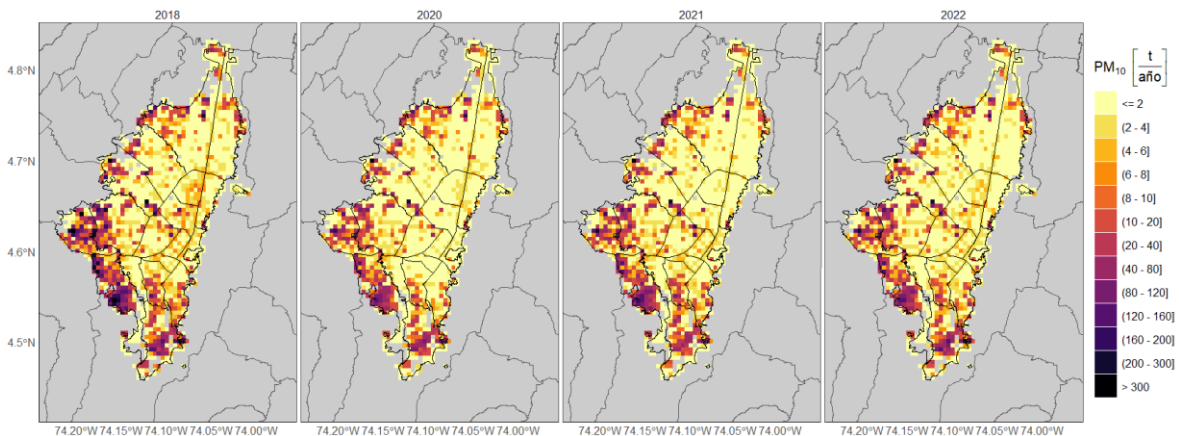
Los resultados generales por tipo de vía se presentan en la Tabla 32, en donde se observa un leve repunte de emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5} comparados con el año 2018, debido a que para el 2022 ya se cuenta con una condición similar de tráfico comparado con el año 2018, luego del cambio del dinamismo de 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 |

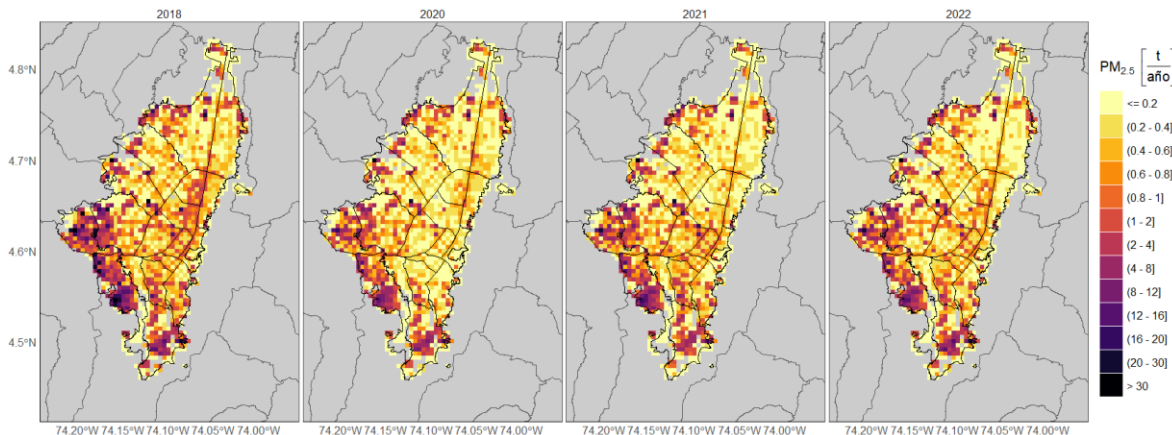
Elaboración propia

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.



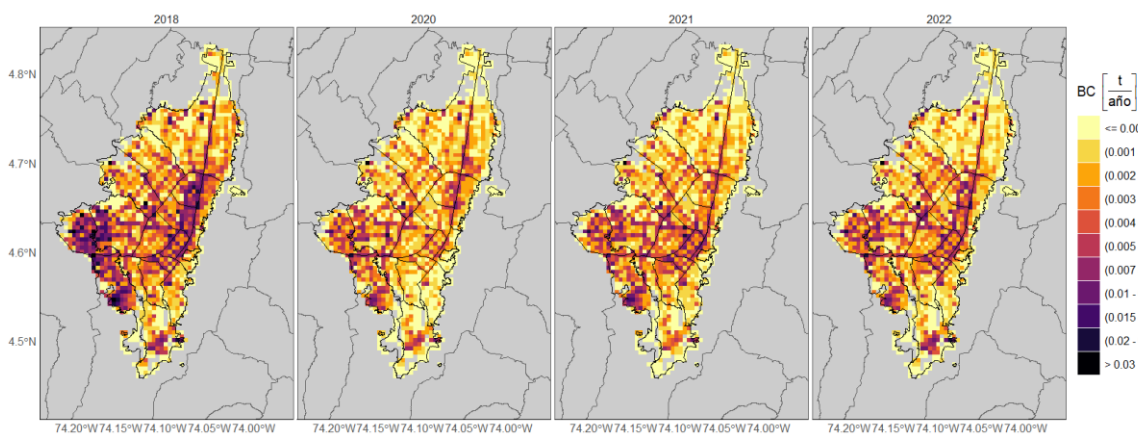
Fuente: Elaboración propia

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.

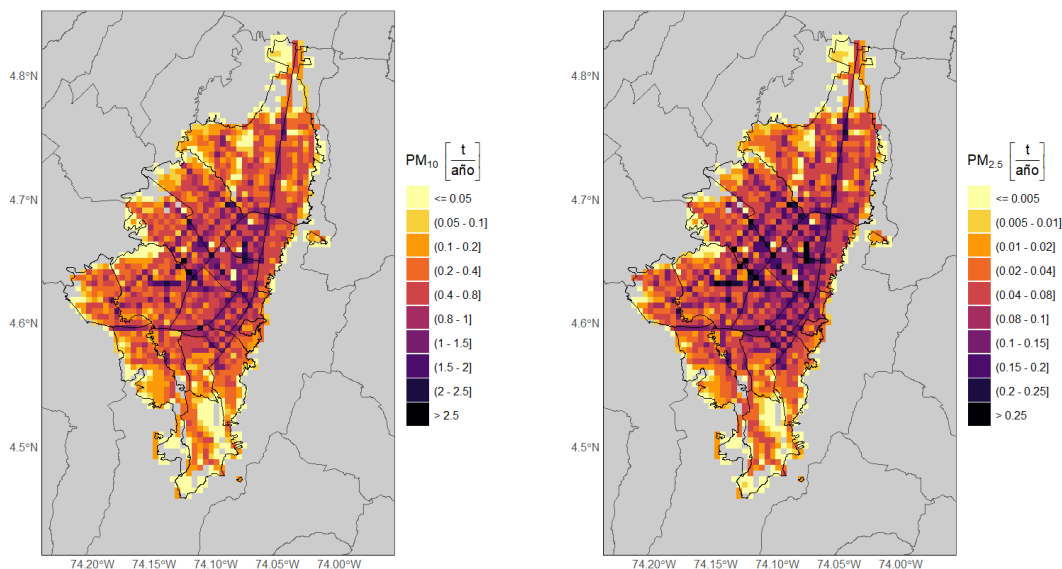
Tabla 33. Emisiones por desgaste de frenos y llantas para el año 2022 por categoría vehicular

| 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

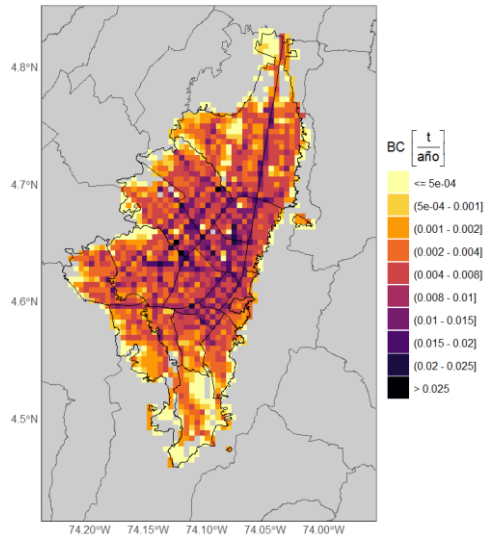
Desagregación espacial para emisiones por desgaste de frenos y llantas

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.



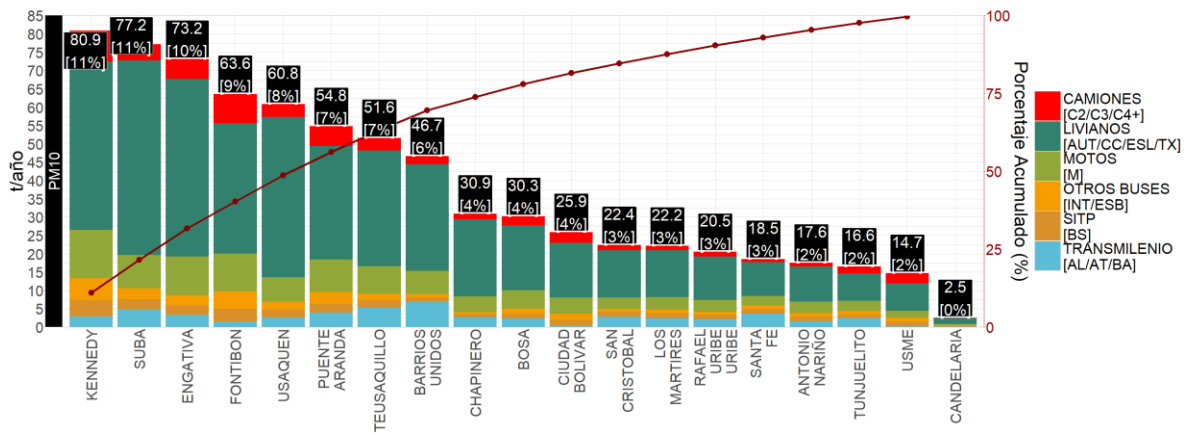
Fuente: Elaboración propia

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



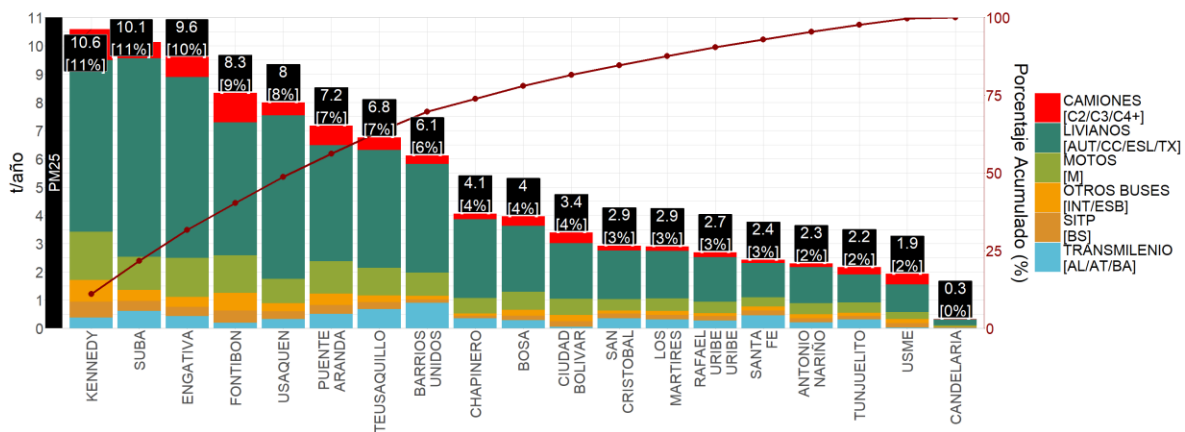
Fuente: Elaboración propia

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



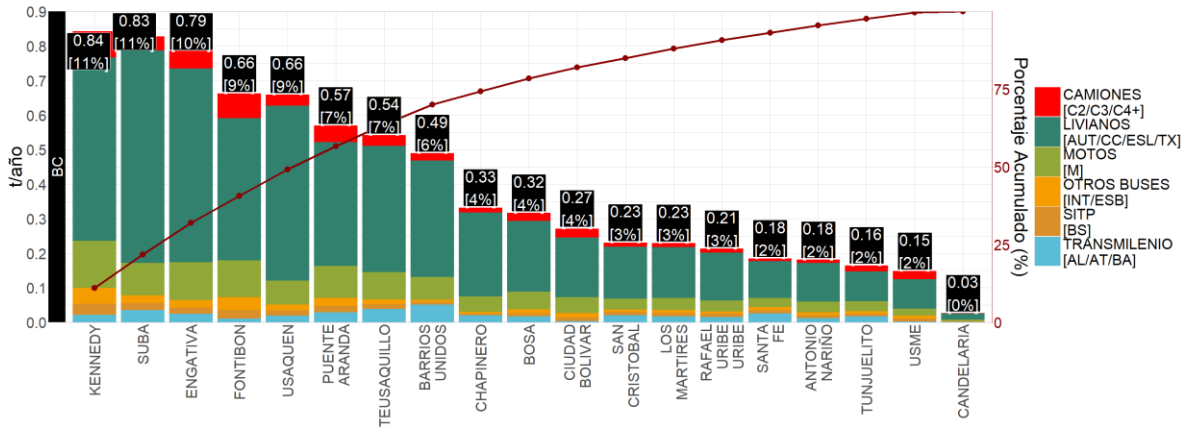
Fuente: Elaboración propia

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

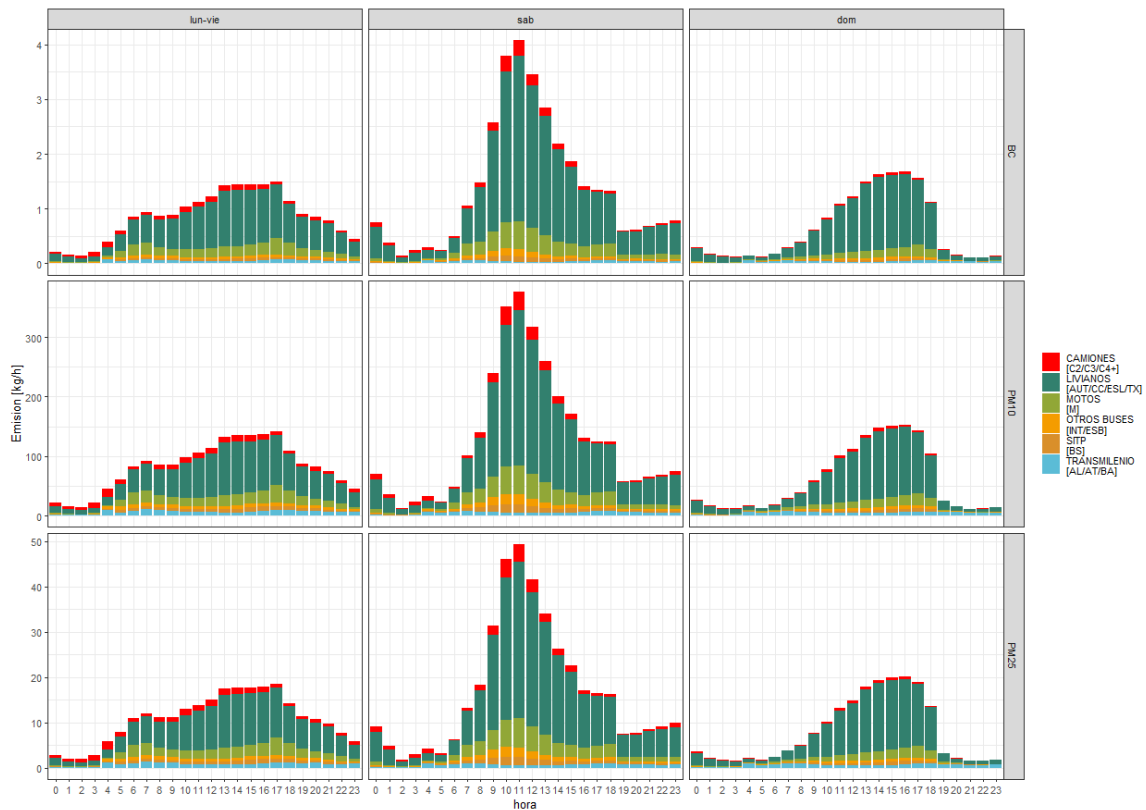


Fuente: Elaboración propia

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

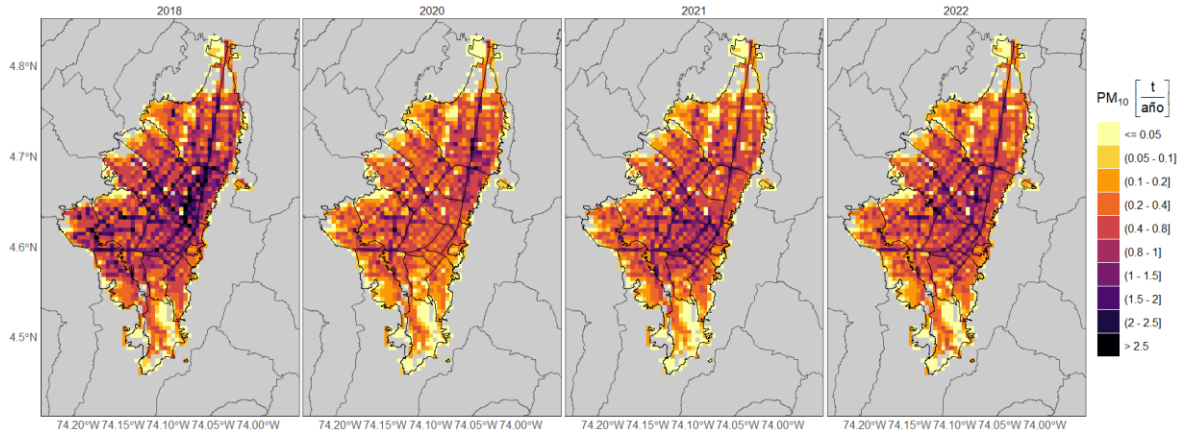
Tabla 35. Emisiones de PM₁₀ por el desgaste de frenos y llantas para los años 2018, 2020, 2021 y 2022

| 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

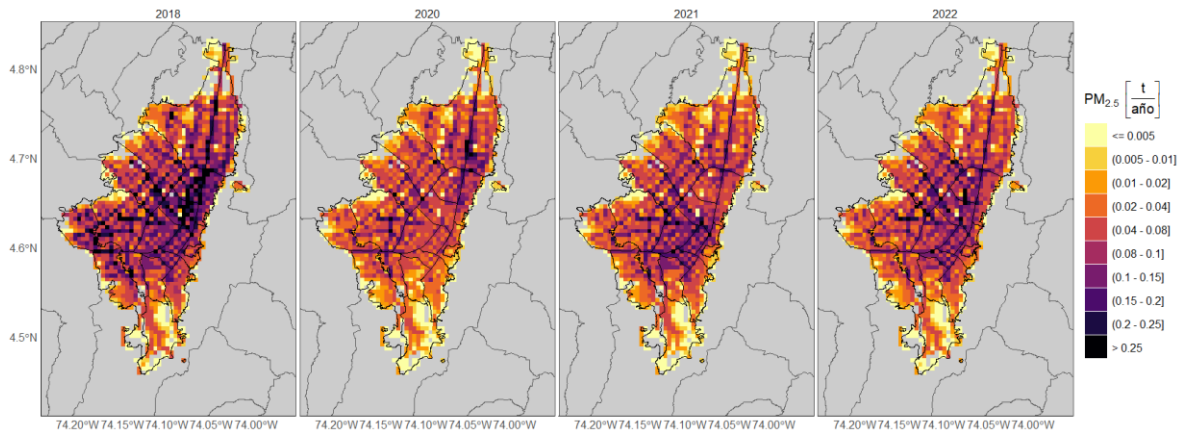
Tabla 36. Emisiones de BC por el desgaste de frenos y llantas para los años 2018, 2020, 2021 y 2022

| 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% |



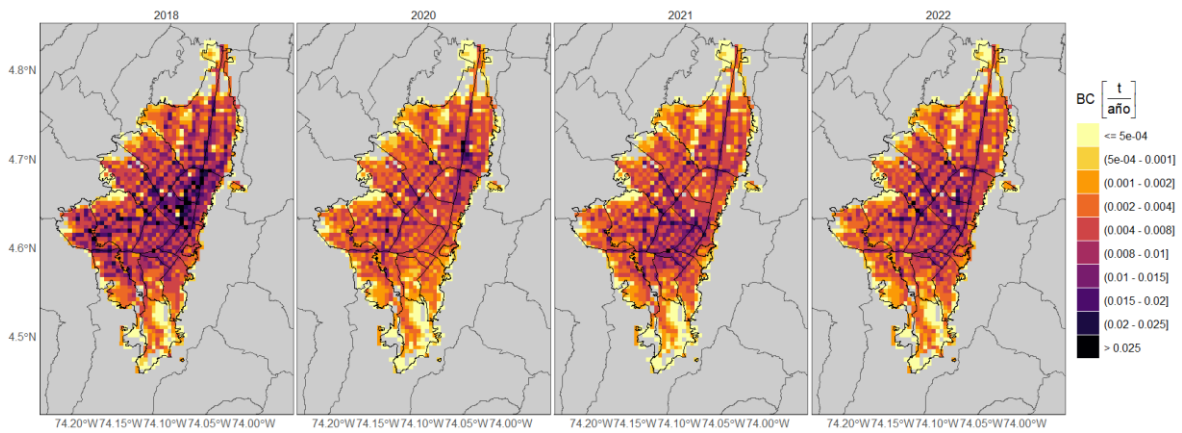
Fuente: Elaboración propia

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.

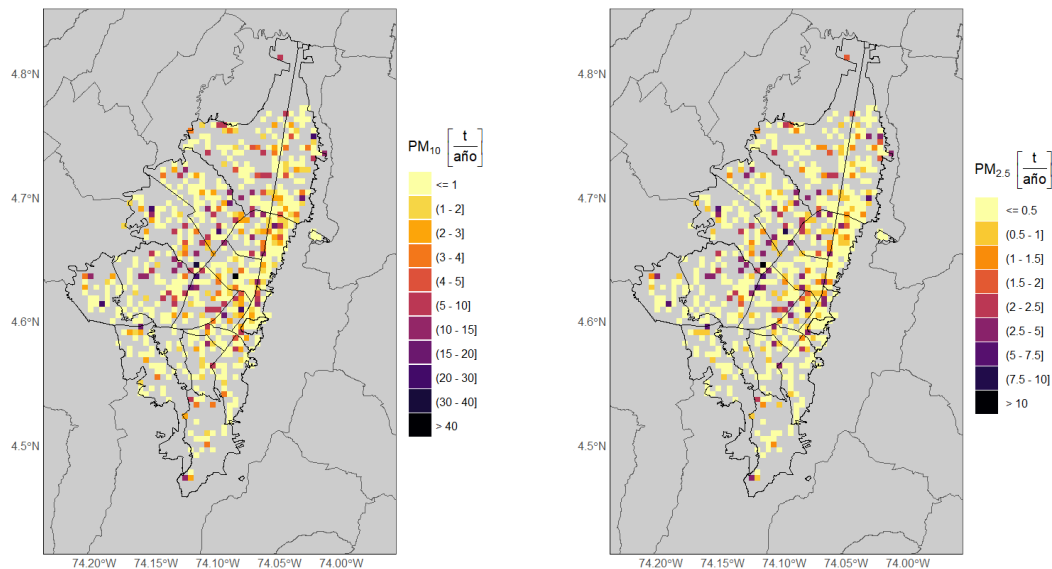
Tabla 38. Participación por localidad en generación de emisiones de PM_{2.5} y PM₁₀ resuspendido por construcciones

| 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.

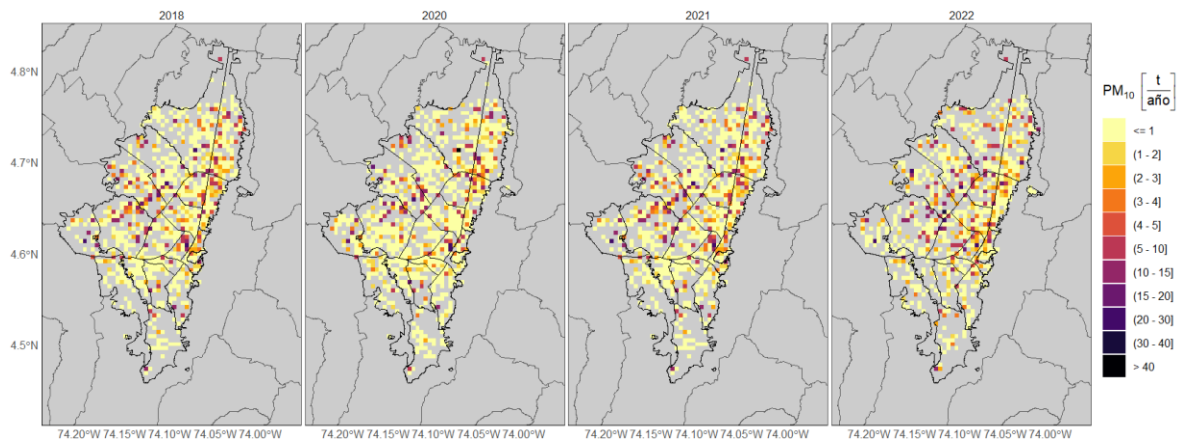
5.3.2. Resultados Históricos de los inventarios de emisiones generadas por construcciones

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.

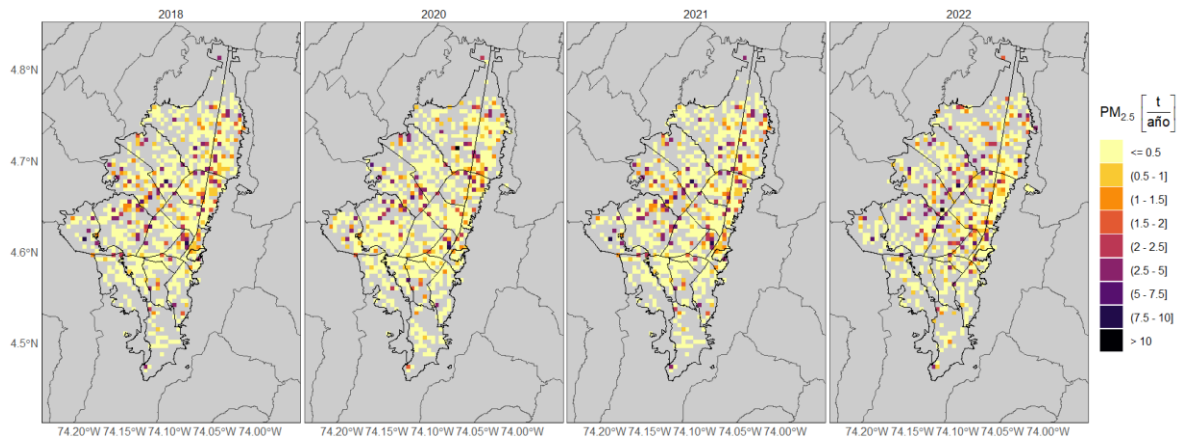
| Tipo de construcción | Emisiones (t/año) | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|------------------|--------------|--------------|-----------------|
| | PM _{2.5} | | | | PM ₁₀ | | | |
| | 2018 | 2020 | 2021 | 2022 | 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

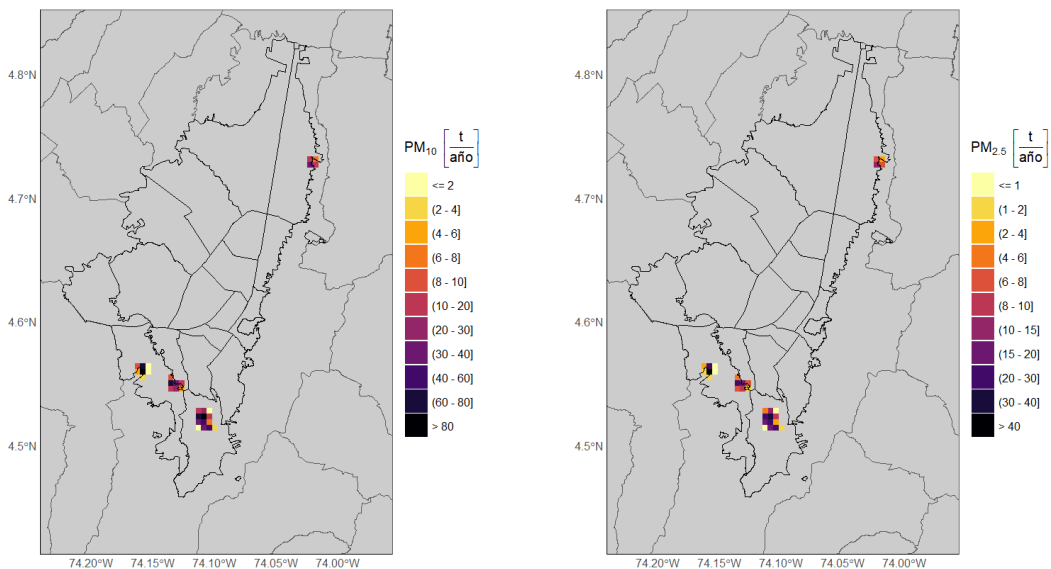
Desagregación espacial de emisiones

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

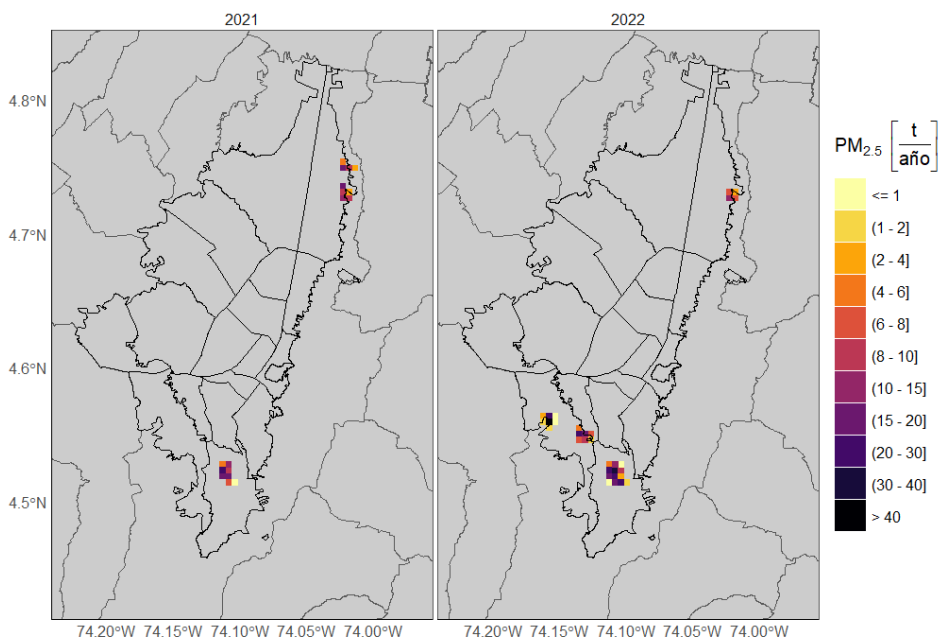
Gracias a la caracterización de fuentes por canteras se ha realizado un seguimiento a la participación de esta actividad en calidad de aire en la ciudad. Finalmente, en las Figura 95 y Figura 96, se evidencia la desagregación de las emisiones, en donde Usme lidera con el aporte de emisiones, puesto que 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 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



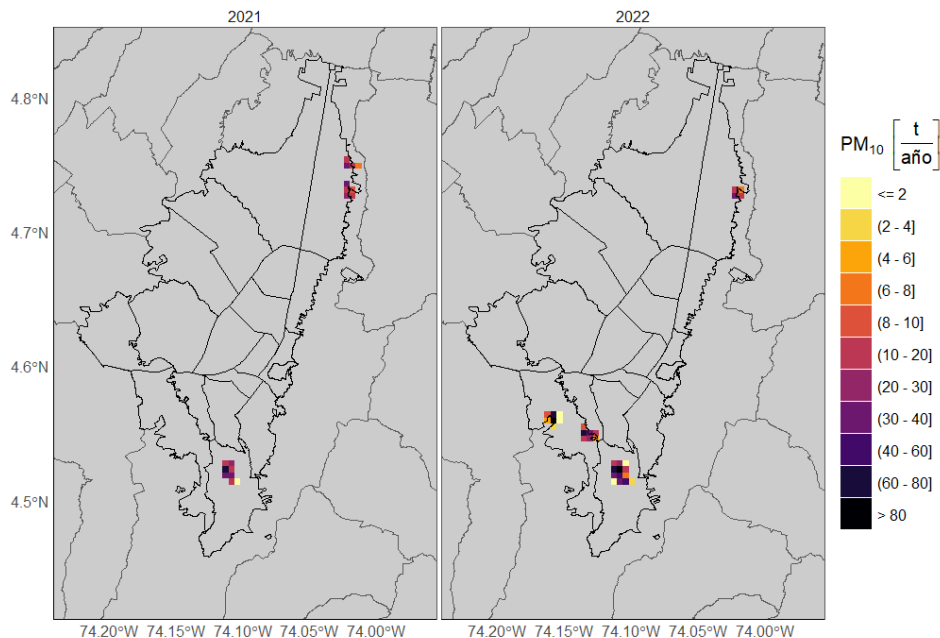
Fuente: Elaboración propia

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 PM_{2.5}.



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 | 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+.

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.

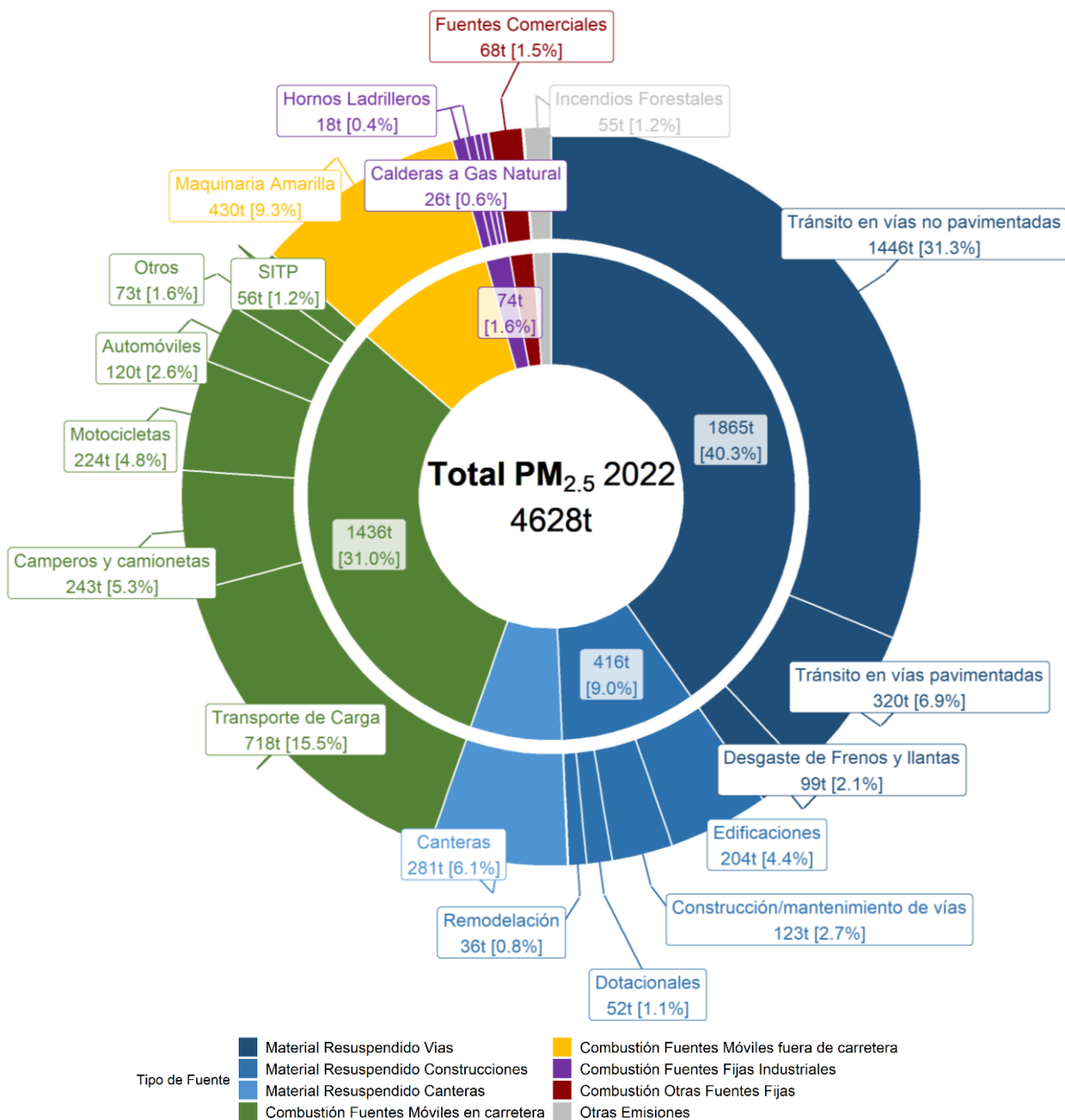
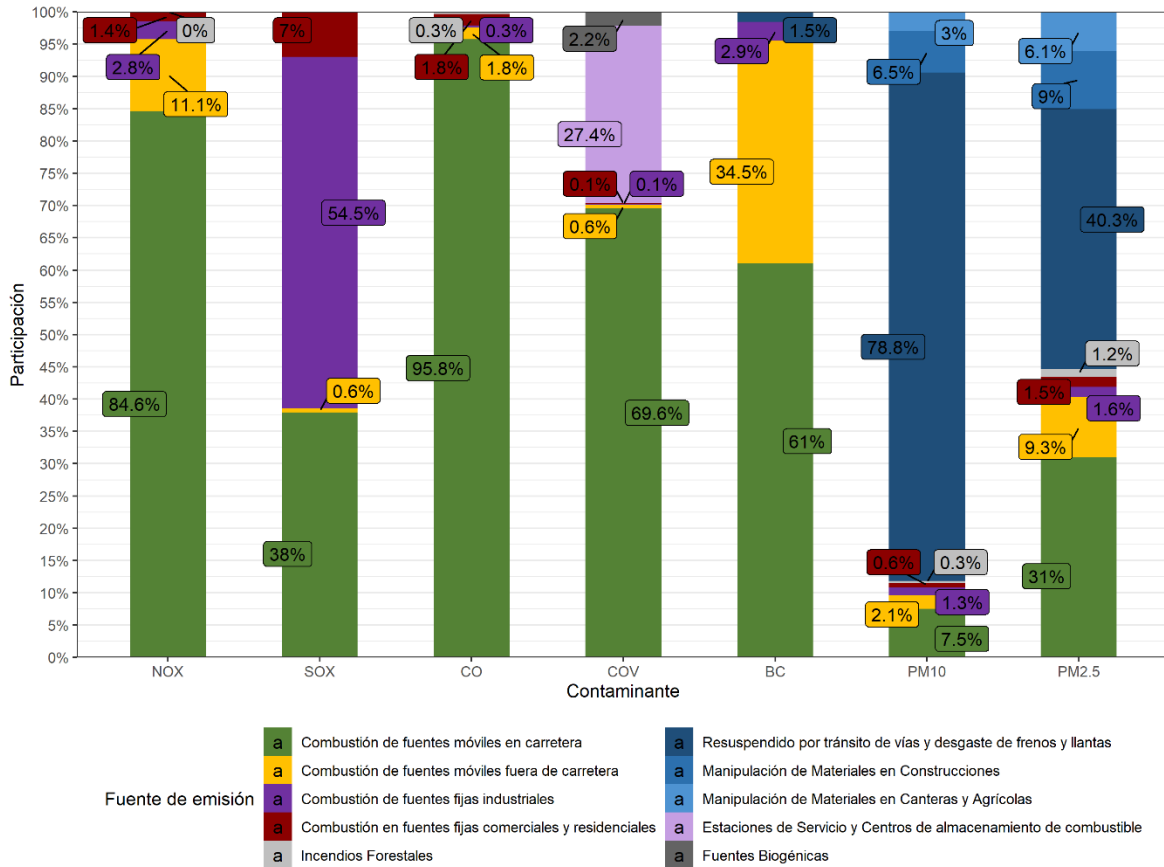


Figura 97. Participación porcentual en emisiones de PM_{2.5} por tipo de fuente.

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.

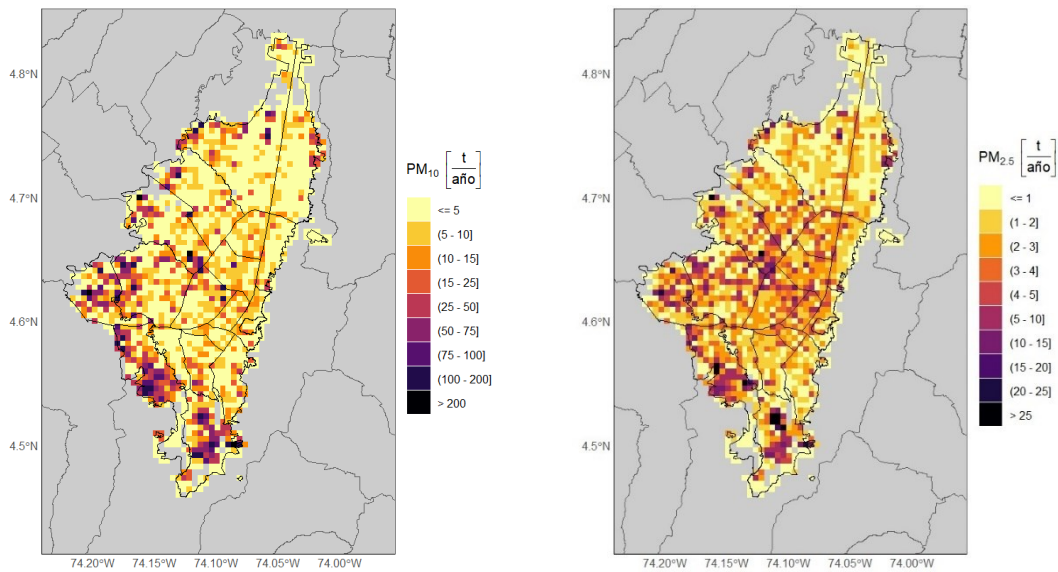
6.1. Desagregación espacial de las emisiones totales

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 resuspensionado 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 espacial 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.

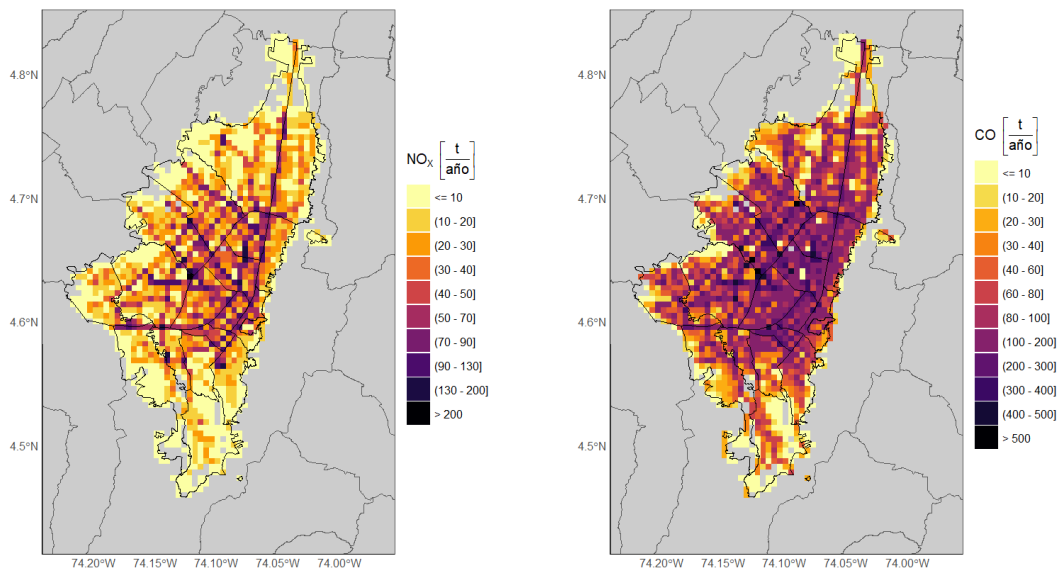
En cuando demás contaminantes como SO₂, se observa cómo la localidad de Usme es la que genera las mayores emisiones de este contaminante (Figura 101), asociadas principalmente a las

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.



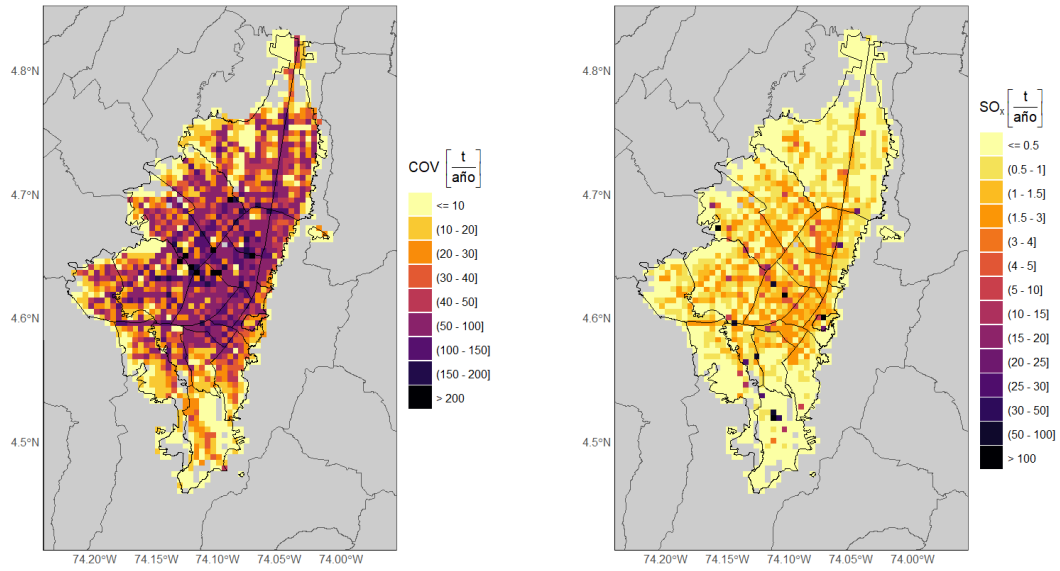
Fuente: Elaboración propia

Figura 99. Distribución espacial de las emisiones totales PM₁₀ (izquierda) y PM_{2.5} (derecha) generadas en el año 2022.



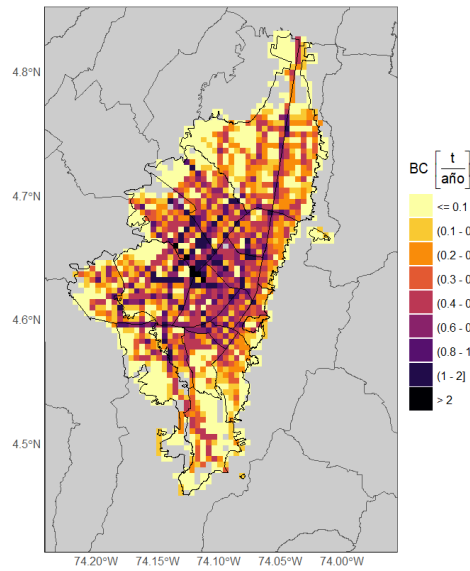
Fuente: Elaboración propia

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



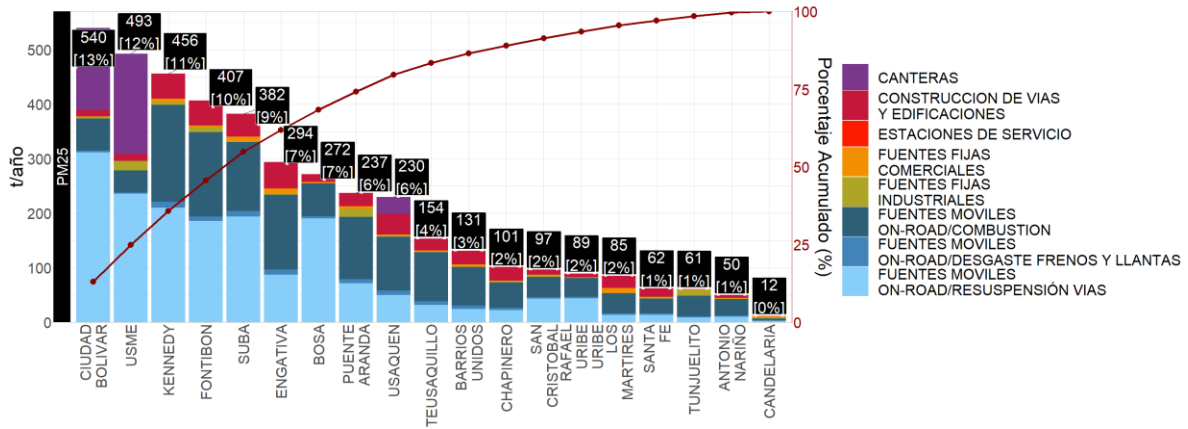
Fuente: Elaboración propia

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



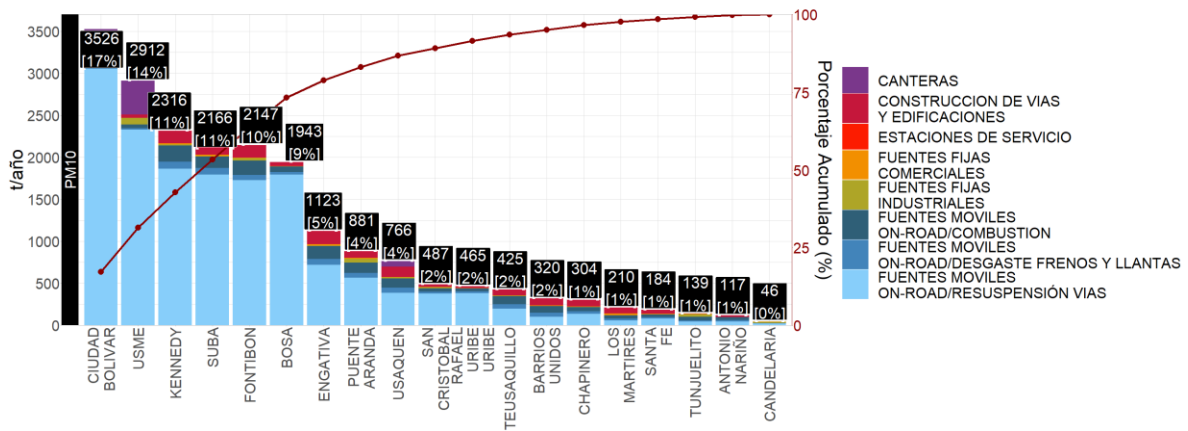
Fuente: Elaboración propia

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



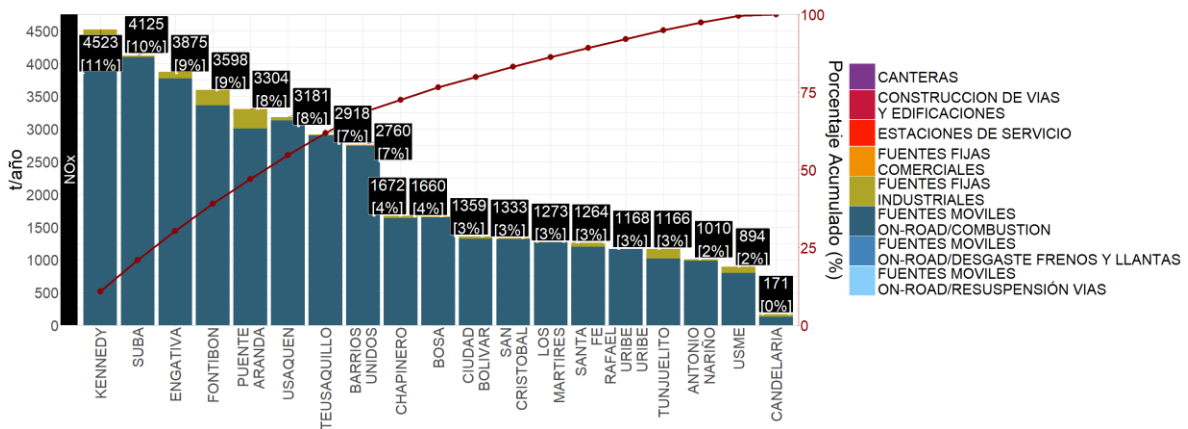
Fuente: Elaboración propia

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



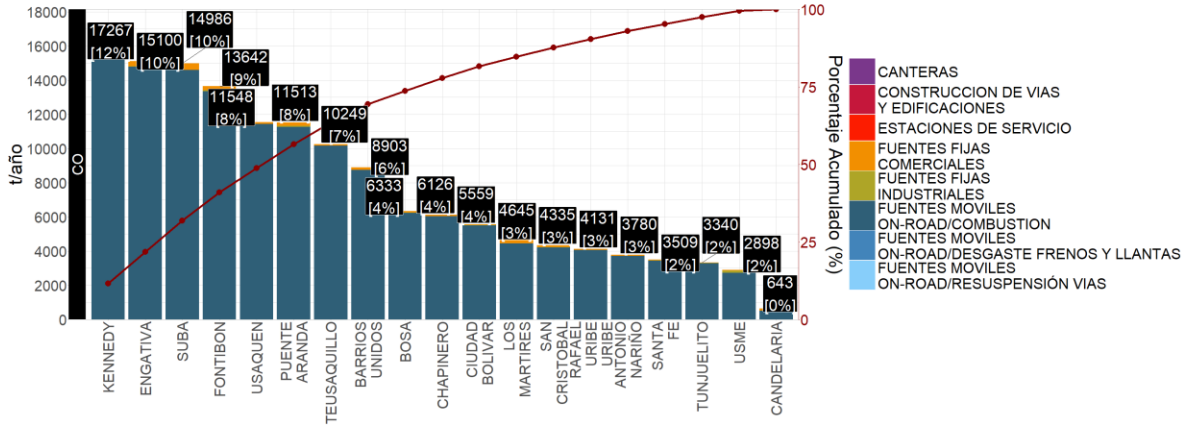
Fuente: Elaboración propia

Figura 104. Participación localidad en la emisión de PM₁₀



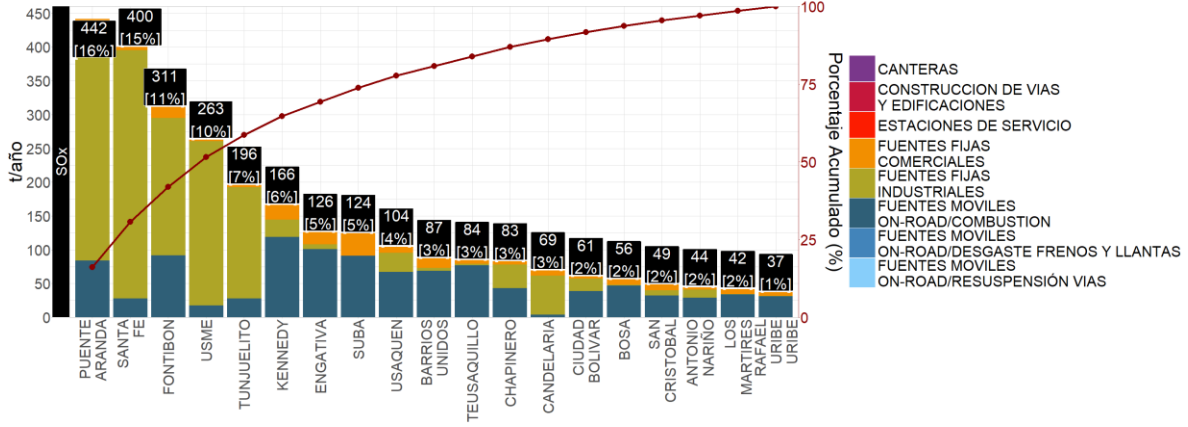
Fuente: Elaboración propia

Figura 105. Participación localidad en la emisión de NO_x



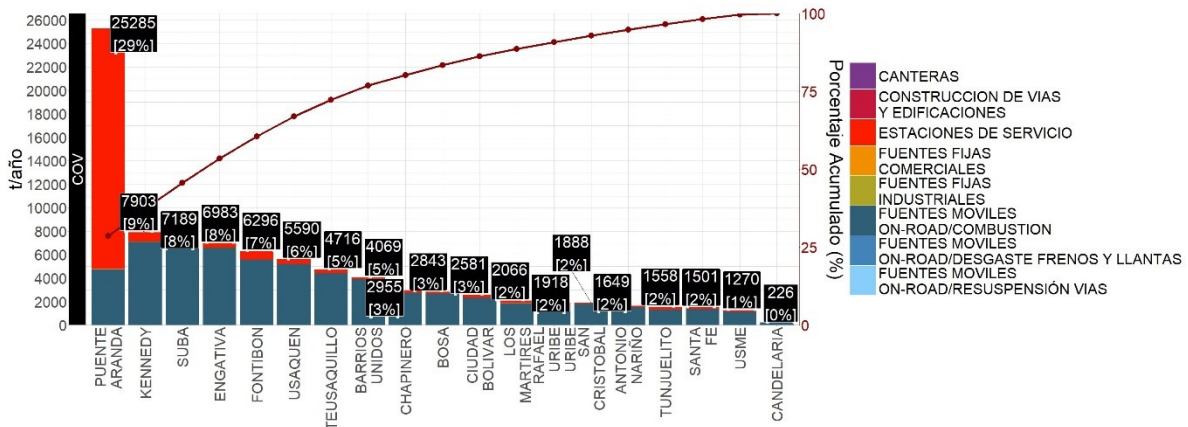
Fuente: Elaboración propia

Figura 106. Participación localidad en la emisión de CO



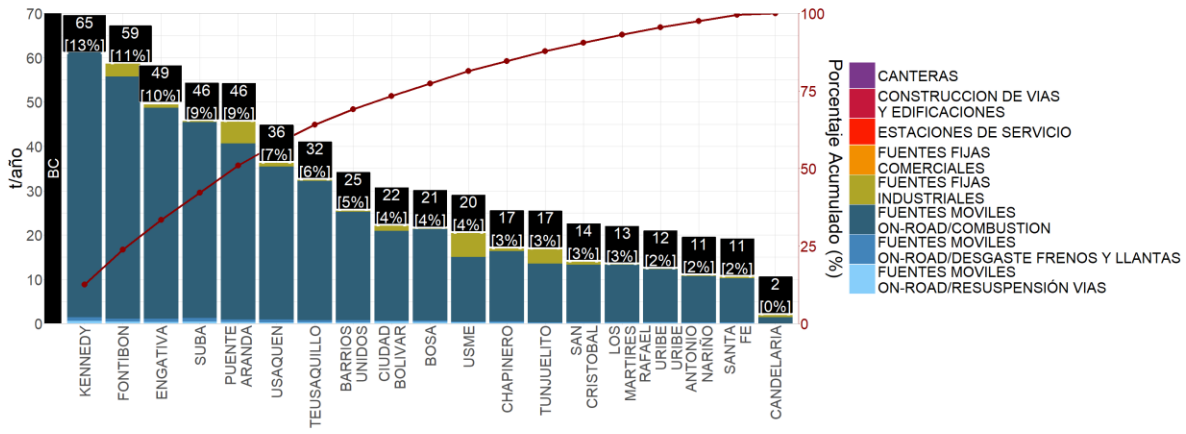
Fuente: Elaboración propia

Figura 107. Participación localidad en la emisión de SO_x



Fuente: Elaboración propia

Figura 108. Participación localidad en la emisión de COV



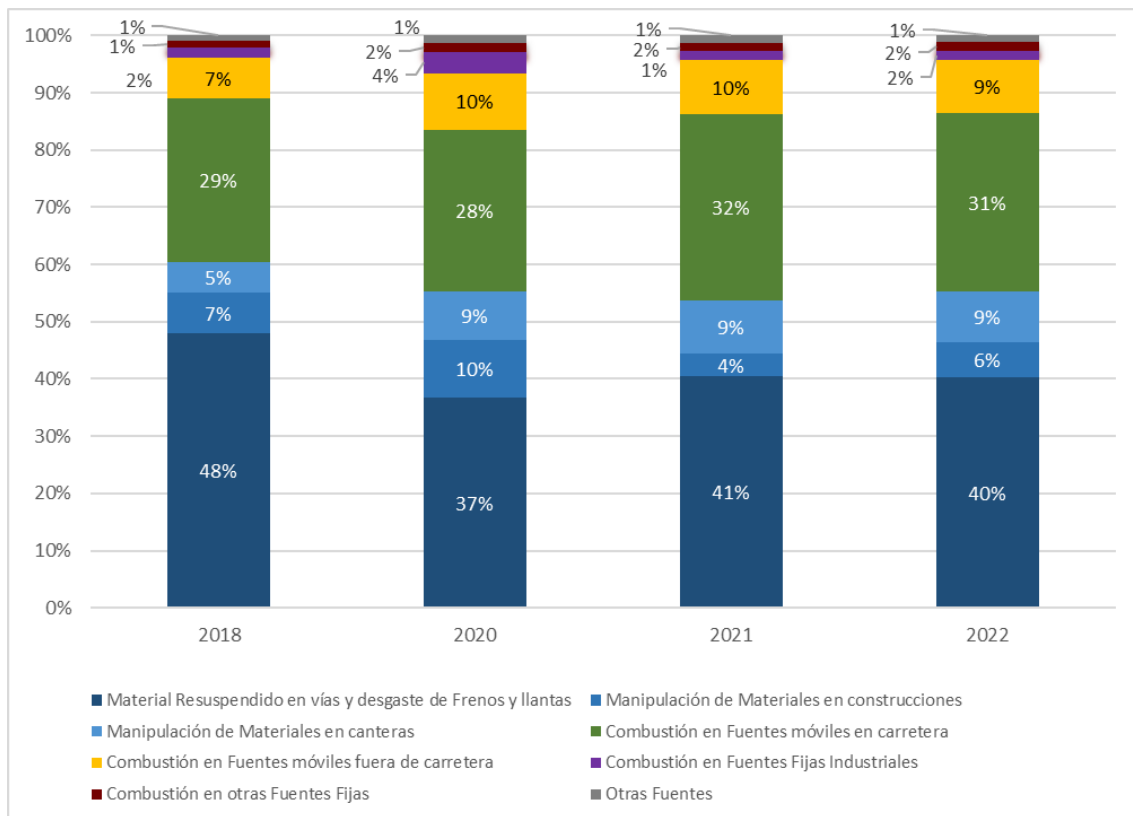
Fuente: Elaboración propia
Figura 109. Participación localidad en la emisión de BC

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 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.

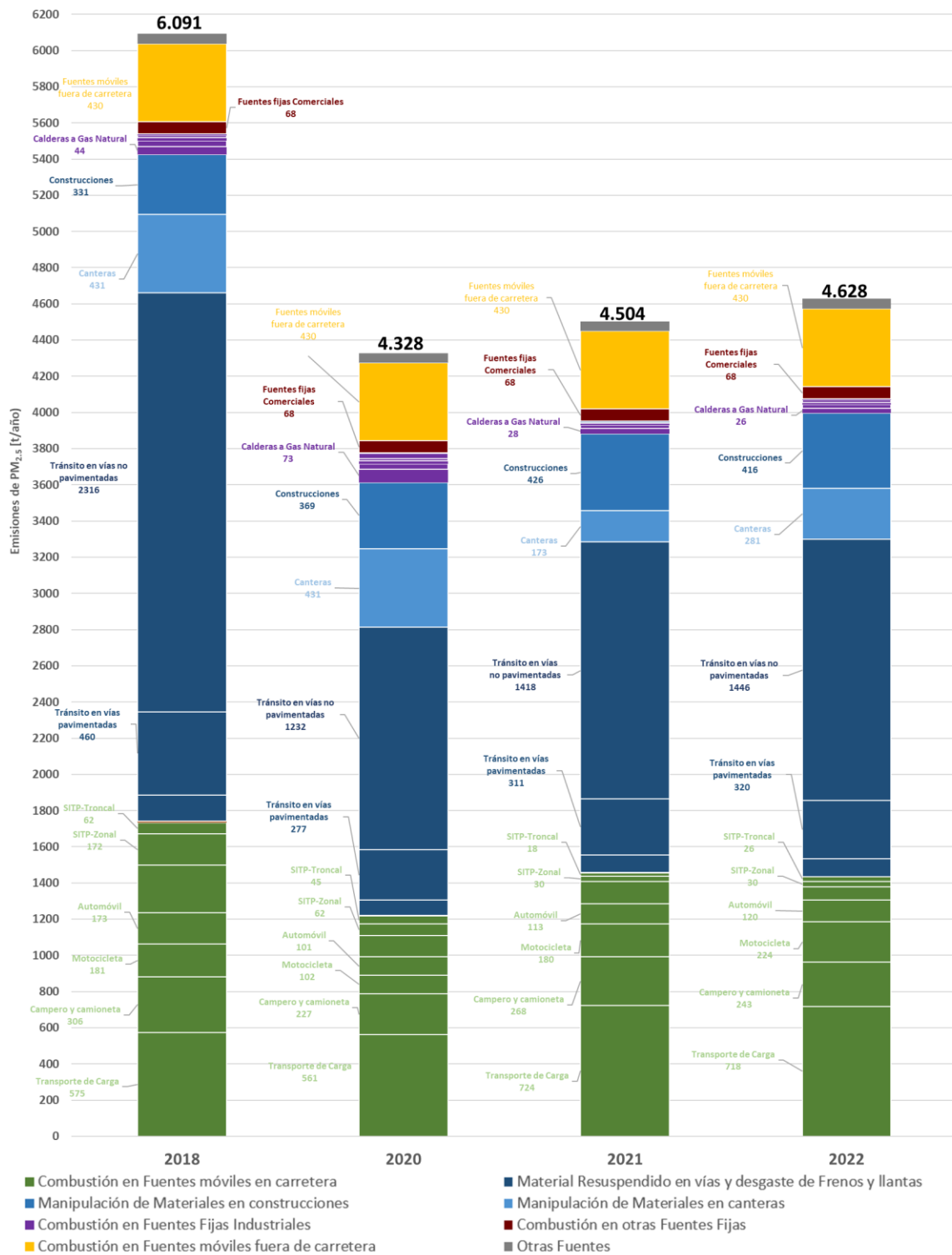


Fuente: Elaboración propia

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

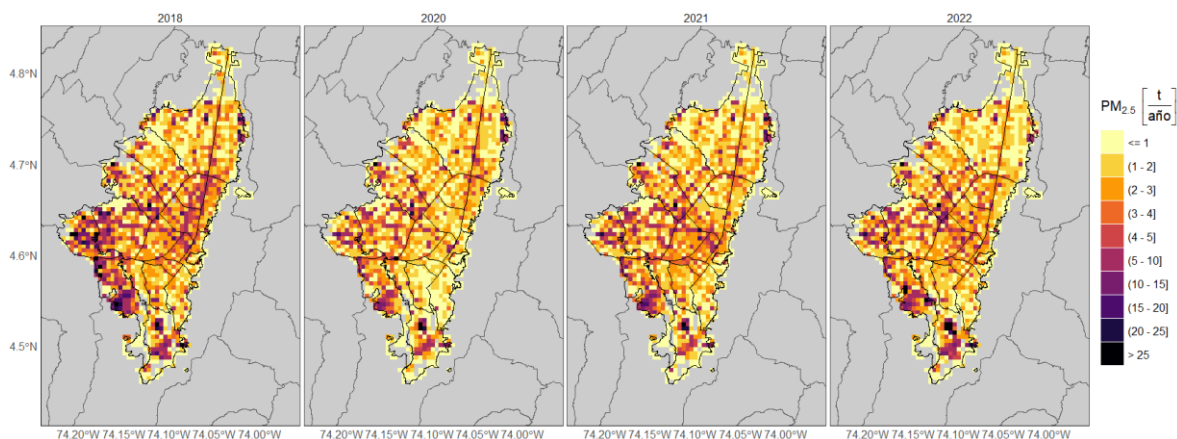
6.3. Resultados de Emisiones desagregadas espacialmente

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

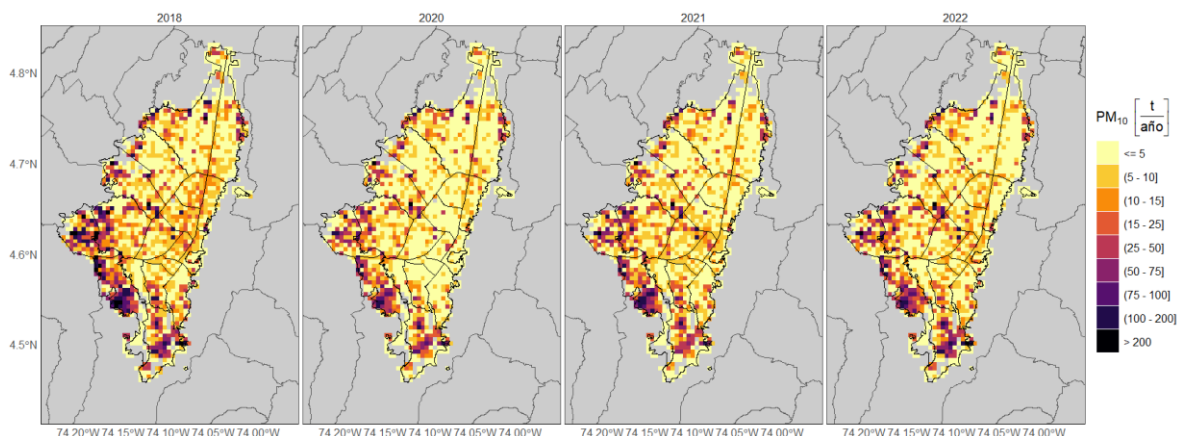
el suroccidente de la ciudad debido al alto aporte de material resuspendido por el tránsito en vías destapadas de esas zonas.

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.



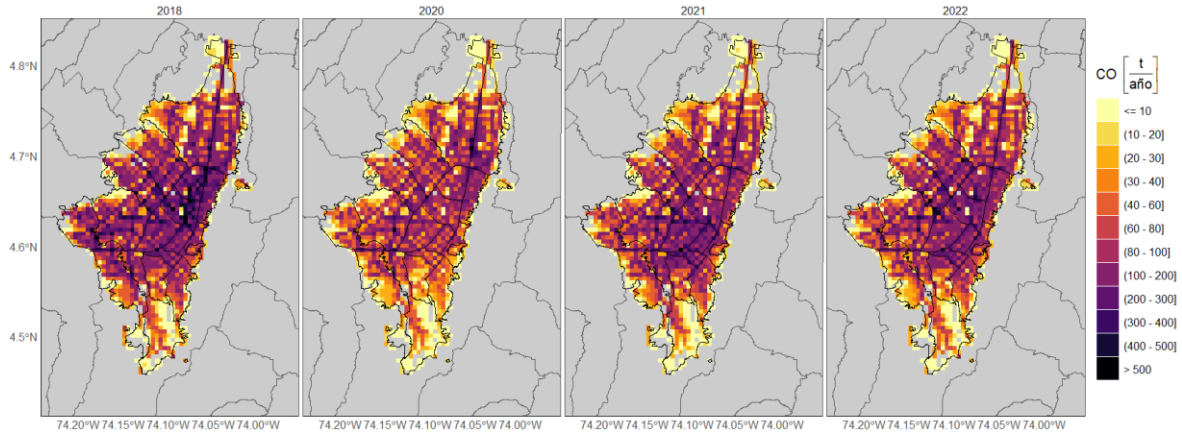
Elaboración propia

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



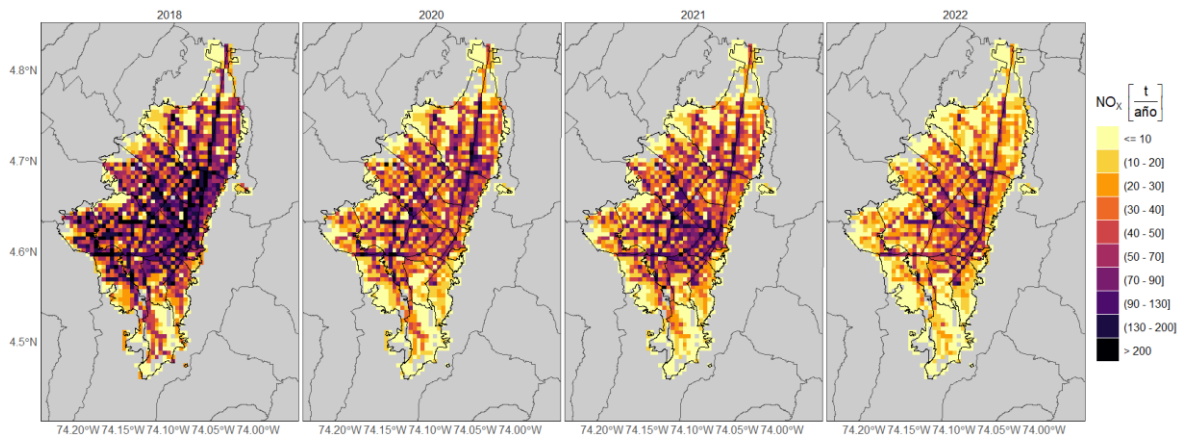
Elaboración propia

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



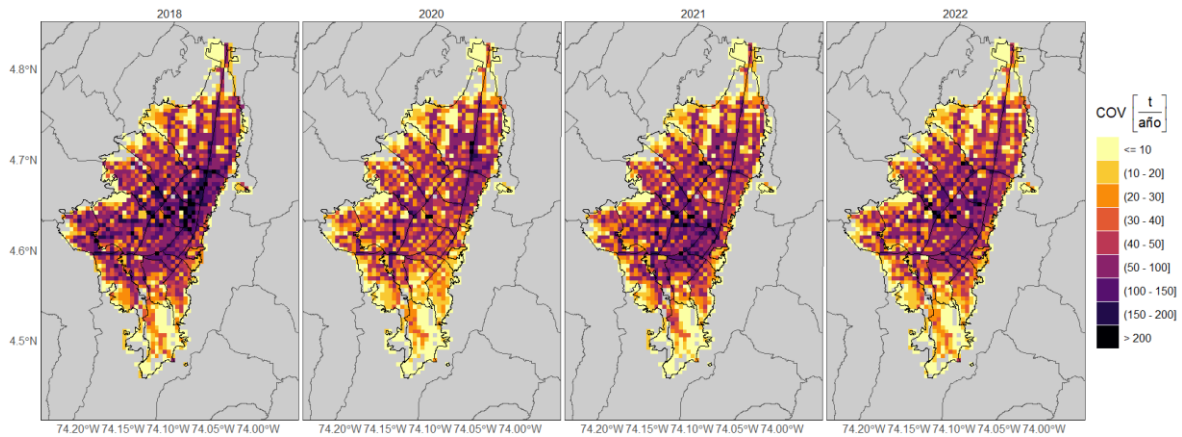
Elaboración propia

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



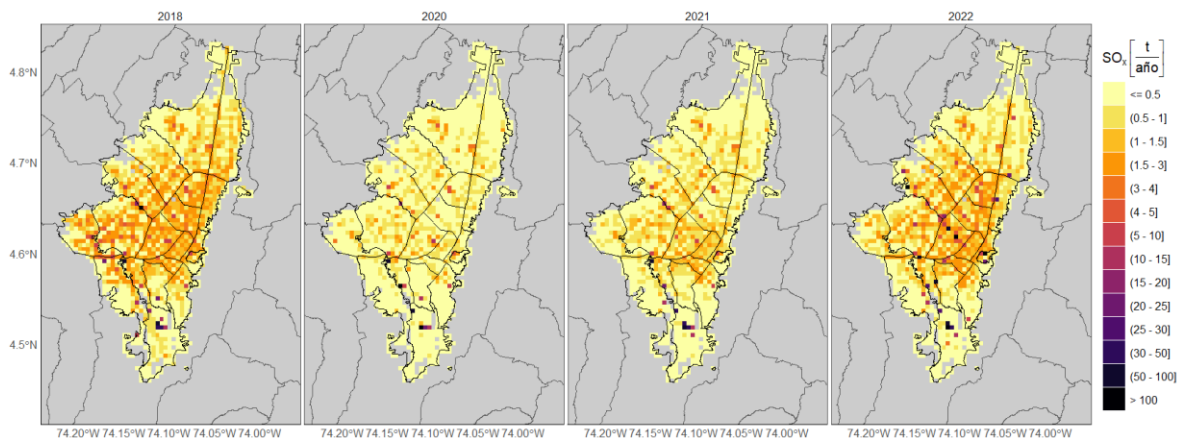
Elaboración propia

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



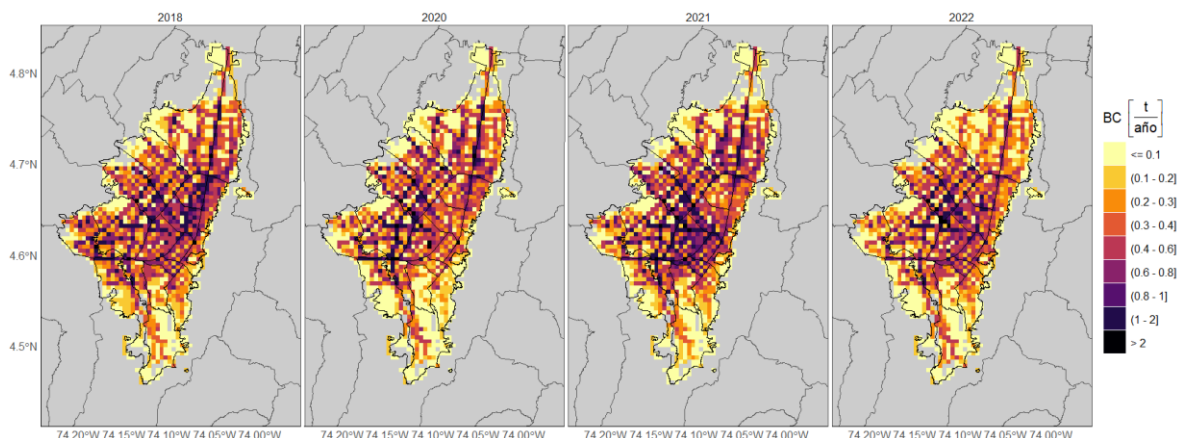
Elaboración propia

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 CIUU 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 UPCC | | 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 |

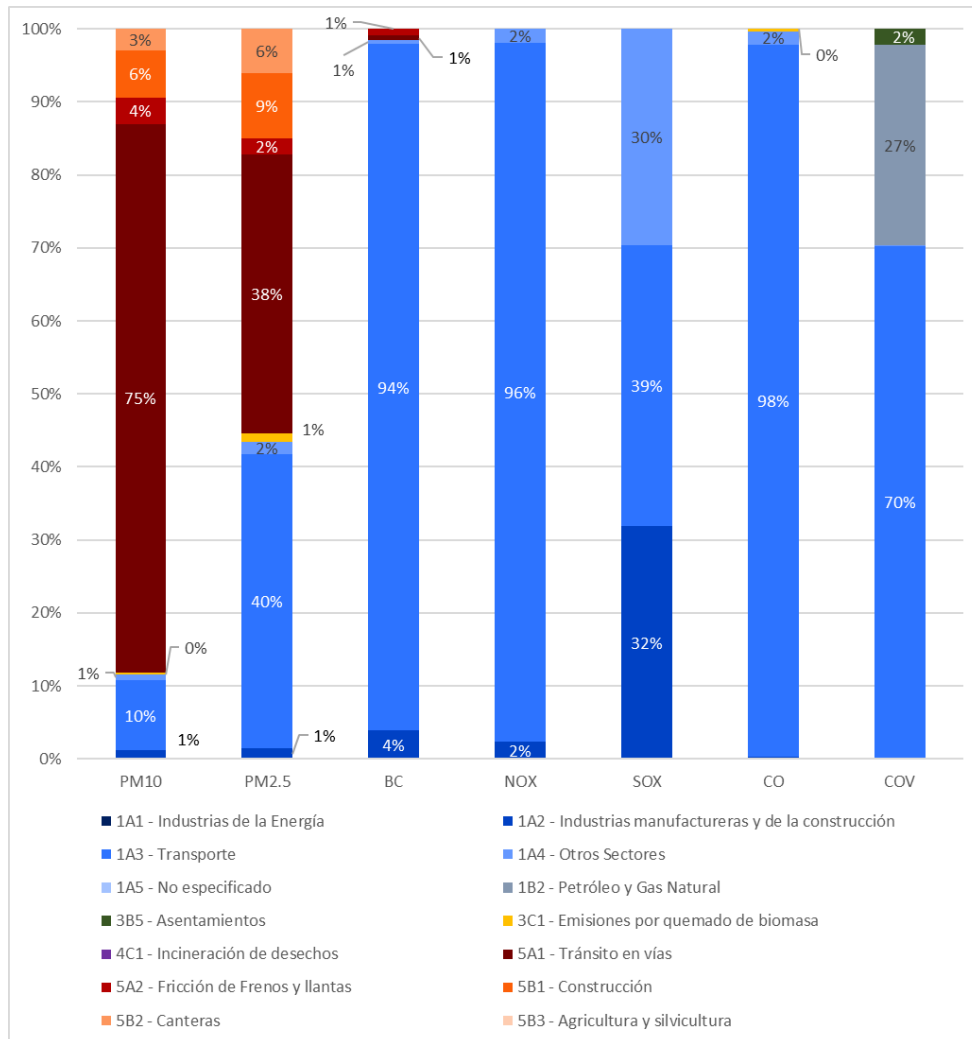
| | Categoría UPCC | PM₁₀ | PM_{2.5} | BC | NO_x | SO_x | CO | COV |
|------------|--|------------------------|-------------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|------------------|-----------------|
| 1A2e | Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco | 48,6 | 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 |
| 1B2aii | 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 | Tierras | 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

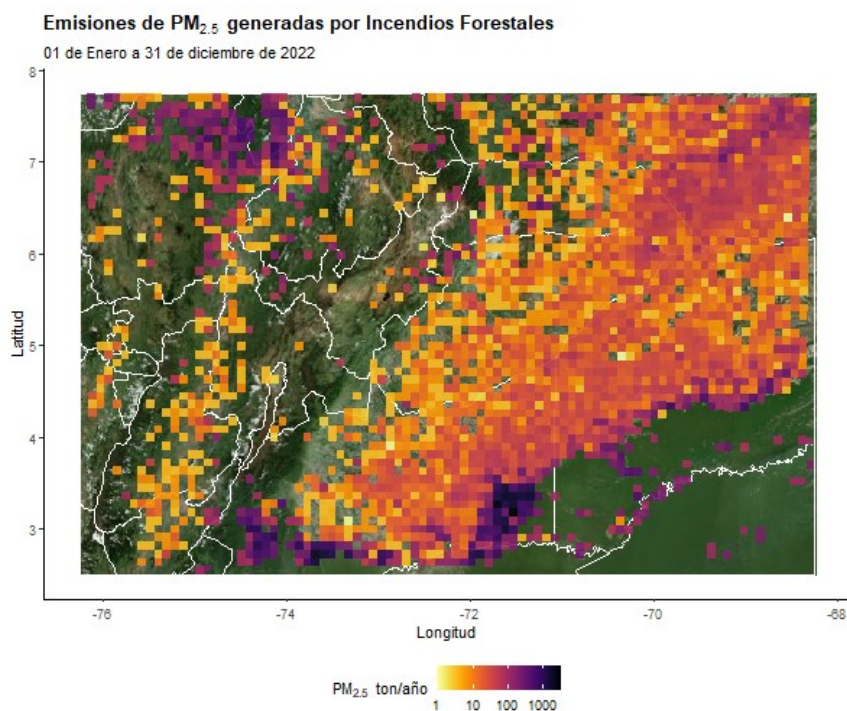
Figura 119. Distribución porcentual de las emisiones totales para 2022 por categorías IPCC

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

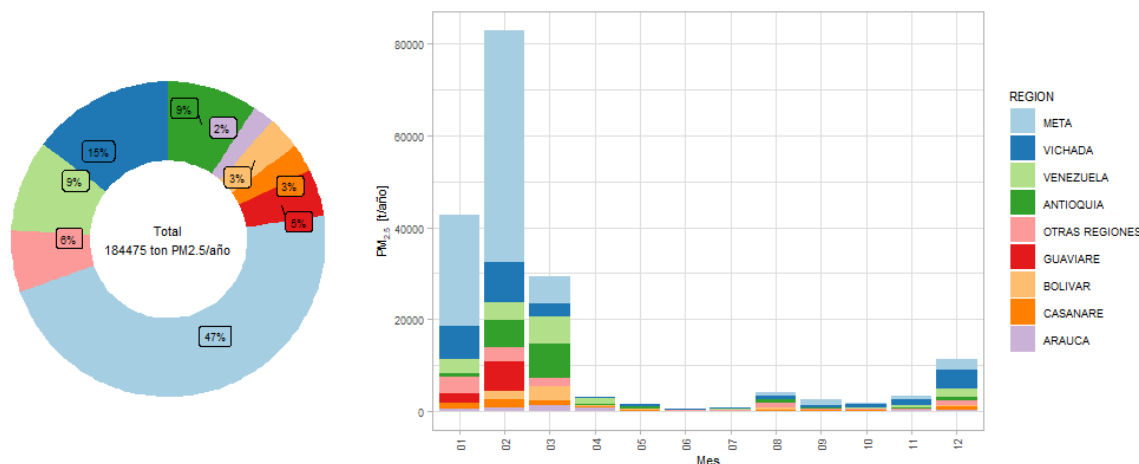
Para el área de influencia, se estima que las emisiones de $PM_{2.5}$ por quema de biomasa fueron de 152.756 t/año (Figura 120). Se puede evidenciar que el departamento del Meta aportó la mayoría de las emisiones en el área de influencia, con un porcentaje de participación de 47%, aumentando un 16% respecto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

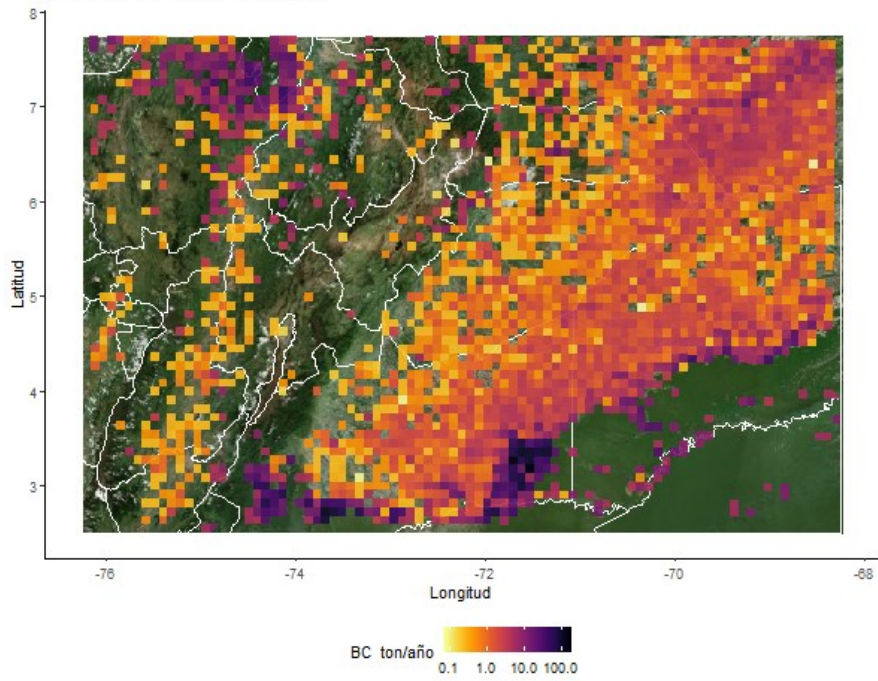
Figura 121. Emisiones de $PM_{2.5}$ departamentales de incendios forestales para el año 2021.

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.

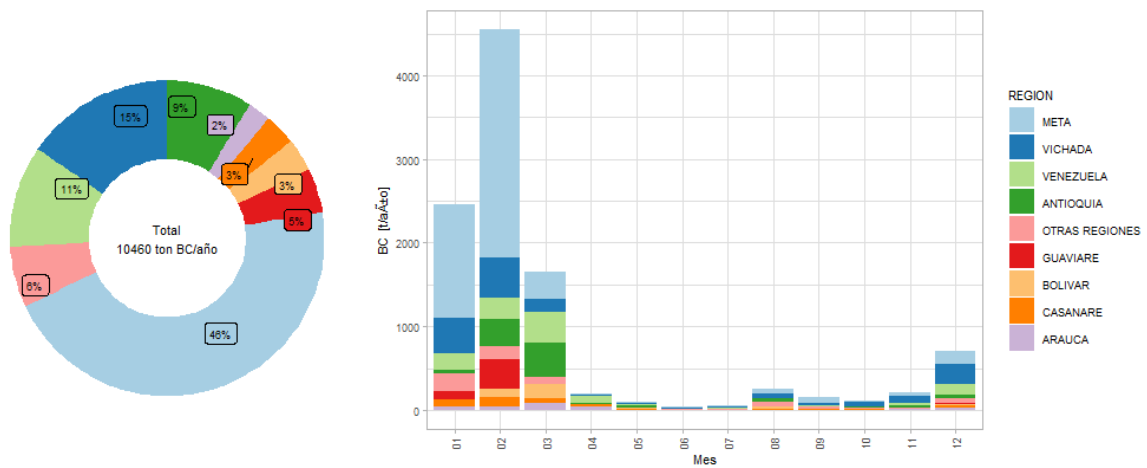
Emisiones de BC generadas por Incendios Forestales

01 de enero a 31 de diciembre de 2022



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

Figura 122. Emisiones BC de incendios para el año 2022



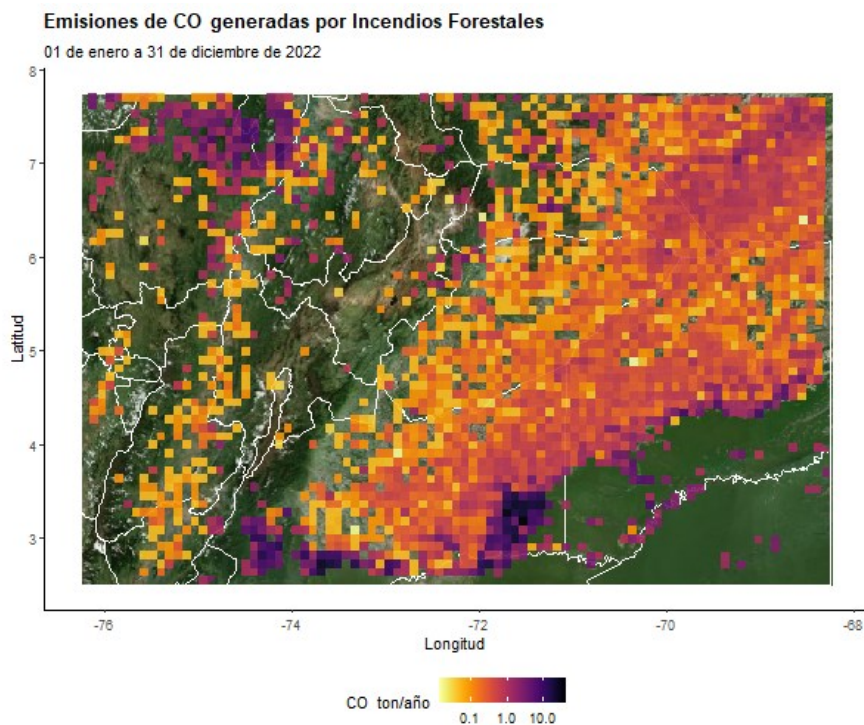
Fuente: Adaptado de NCAR-ACOM por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá

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

7.1. Gases

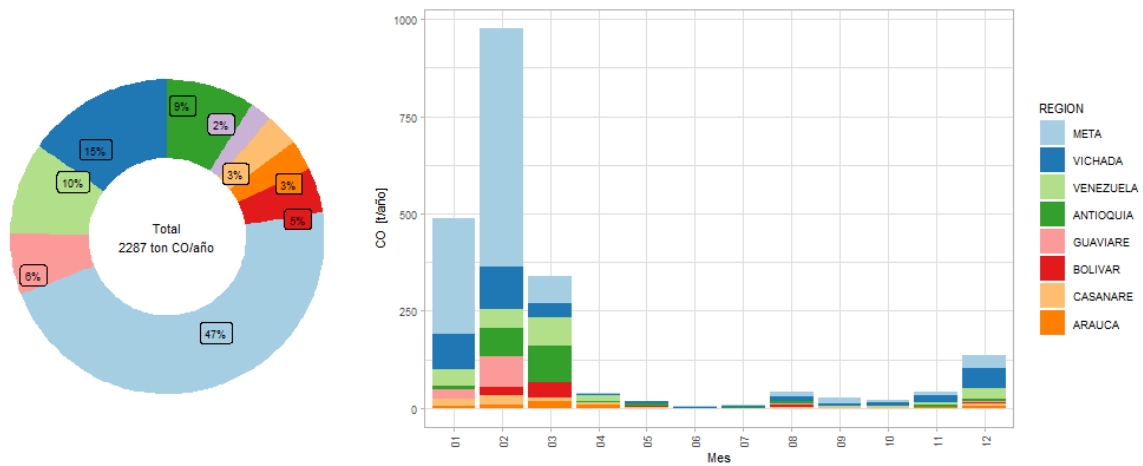
Para los gases, se estimaron emisiones de 2.287 t/año de CO, 161.005 t/año de SO₂, y 1'644.232 t/año de NO₂. El departamento del Meta aportó ~31% de las emisiones de los gases, seguido de Vichada, el cual aportó ~16%, como se puede evidenciar en las Figura 125, Figura 127 y Figura 127.

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.

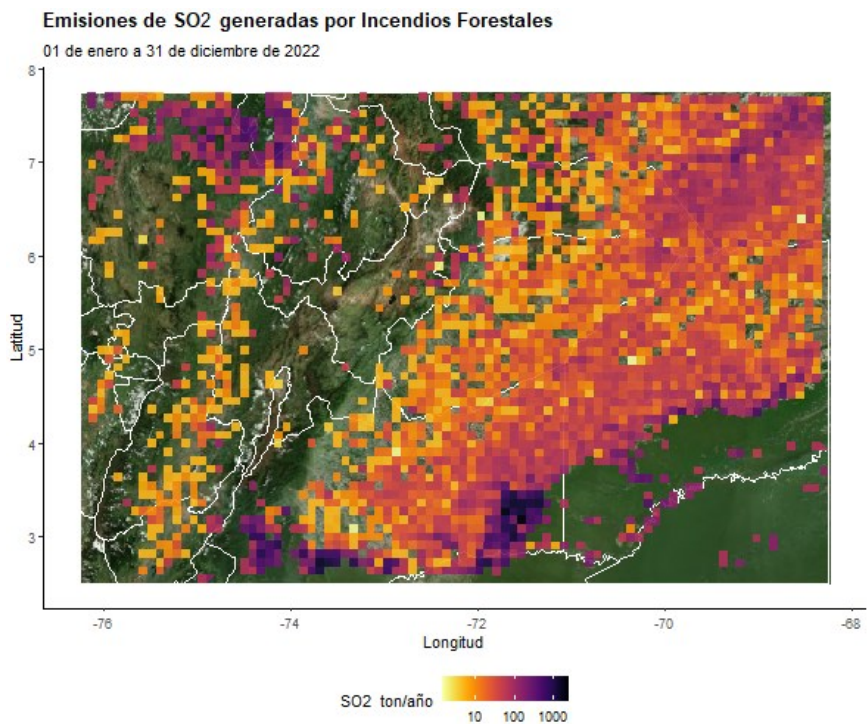


Fuente: Adaptado de NCAR-ACOM por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá

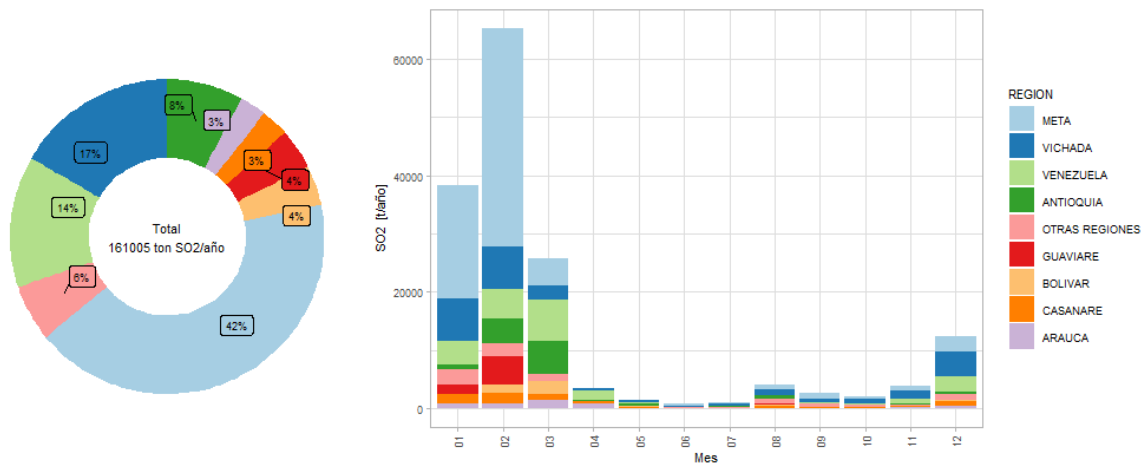
Figura 124. Emisiones CO de incendios para el año 2022



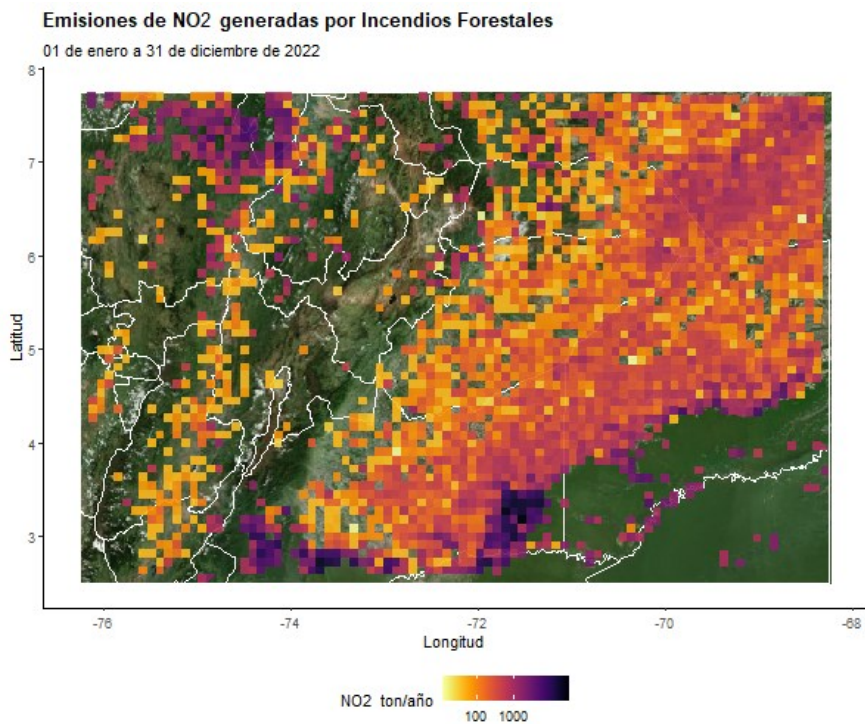
Elaboración propia: Adaptado de NCAR-ACOM por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá
Figura 125. Emisiones de CO departamentales de incendios forestales para el año 2022



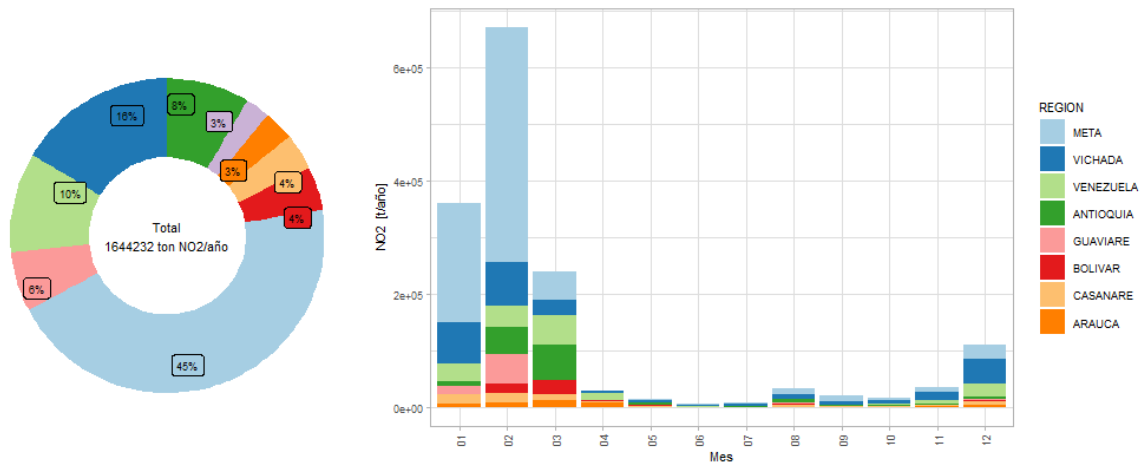
Fuente: Adaptado de NCAR-ACOM por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá
Figura 126. Emisiones SO₂ de incendios para el año 2022



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 | |
|-----------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | 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 2% | 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-promediomensual/>
- 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 - SIFF (versión 10)[Plataforma web de uso interno]. Bogotá.
- Steer Davies. (2015). *Actualización y ajuste de la matriz origen destino de transporte de carga en la ciudad de Bogotá D.C*. Bogotá.
- Universidad de La Salle, & SDA. (2013). *Informe estimación inventario de material particulado resuspendido, contrato 1467 de 2013*.
- Universidad de La Salle, SDA, & Ecopetrol. (2018). *INFORME ACUERDO DE COOPERACIÓN N° 02 DERIVADO DEL CONVENIO N° 5224377ECP-20171354SDA*.



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

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

UPME. (2022). Obtenido de

https://www1.upme.gov.co/Hidrocarburos/publicaciones/Dem_Gas_Nat_Esc_Med_Nod_Sect_PAGN_Jun2020.xlsx

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

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

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

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

CONTENIDO

| | | |
|--------|--|----|
| A. | METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE FUENTES MÓVILES EN CARRETERA..... | 5 |
| A.1. | Estimación de emisiones Estimación de emisiones Top-Down | 5 |
| A.1.1. | <i>Factores de Actividad</i> | 5 |
| A.1.2. | <i>Factores de expansión</i> | 21 |
| A.1.3. | <i>Cantidad de vehículos</i> | 21 |
| A.1.4. | <i>Factores de emisión</i> | 23 |
| A.2. | Estimación de emisiones Bottom-Up..... | 41 |
| A.2.1. | <i>Diagnóstico de conteos vehiculares</i> | 41 |
| A.2.2. | <i>Análisis de conteos vehiculares</i> | 45 |
| A.2.3. | <i>Distribución espacial de los conteos</i> | 50 |
| A.2.4. | <i>Estimación de los flujos vehiculares</i> | 55 |
| A.2.5. | <i>Estimación de emisiones por combustión desagregadas espacial y temporalmente</i> 56 | |
| B. | METODOLOGIA ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE FUENTES FIJAS INDUSTRIALES | 59 |
| B.1. | Estimación de emisiones Bottom-Up..... | 59 |
| B.1.1. | <i>Factores de Emisión para las fuentes fijas industriales</i> | 59 |
| B.1.2. | <i>Eficiencia de los sistemas de control de emisiones</i> | 61 |
| B.1.3. | <i>Desagregación horaria de las emisiones por combustión de fuentes fijas</i> | 62 |
| B.1.4. | <i>Desagregación espacial de las emisiones por combustión de fuentes fijas</i> | 63 |
| C. | ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR DESGASTE DE FRENOS Y DE LLANTAS EN FUENTES MÓVILES | 64 |
| D. | ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE RESUSPENSIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN VÍAS..... | 65 |
| D.1. | Estimación Bottom-Up | 65 |
| D.1.1. | Estimación de los factores de emisión | 65 |
| D.1.2. | Variables asociadas a la estimación de factores de emisión..... | 66 |
| D.1.3. | Estimación de las emisiones..... | 71 |
| E. | ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO RESUSPENDIDO POR CONSTRUCCIONES..... | 73 |
| F. | ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CANTERAS | 75 |
| G. | ESTIMACIÓN DE EMISIONES RESIDENCIALES..... | 76 |



| | | |
|------|--|--------------------------------------|
| H. | ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE BLACK CARBON | 77 |
| H.1. | Black Carbon para fuentes fijas industriales | 77 |
| H.2. | Black Carbon para fuentes móviles | 77 |
| I. | Referencias..... | ¡Error! Marcador no definido. |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura A-1. Análisis con diagrama de caja de años modelos por tipo de combustible (izquierda) y clase de servicio (derecha) | 22 |
| Figura A-2. Curva de supervivencia de años modelos para camiones . ¡Error! Marcador no definido. | |
| Figura A-3. Perfiles de conteos vehiculares normalizados con respecto a los flujos de las 18:00 para toda la ciudad, por categorías vehiculares y día de la semana..... | 44 |
| Figura A-4. Proporciones Isab e Idom para extrapolar conteos realizados en el año 2021 para los fines de semana. | 45 |
| Figura A-5. Nodos vehiculares analizados en los conteos vehiculares del año 2021 de SDM. | 47 |
| Figura D-1. Mapa de Coberturas y puntos de medición de Cs y S. | 68 |
| Figura D-2. Distribución espacial de Cs (izquierda) y S (derecha). | 69 |
| Figura D-3. Número de días con precipitación mayor a 0.254 por estación para el año 2021..... | 70 |
| Figura D-4. Perfiles de velocidad para la ciudad de Bogotá para el 2018, según día tipo | 71 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----------|
| Tabla A-1. Actividad vehicula y cantidad de vehículos por categoría para el año 2021 | 7 |
| Tabla A-2. Años modelos corte para filtro de la base de datos del RDA..... | 22 |
| Tabla A-3. Factores de emisión utilizados en metodología Top-Down..... | 24 |
| Tabla A-4. Categorías Vehiculares homologadas de los conteos vehiculares..... | 41 |
| Tabla A-5 Nodos vehiculares analizados en los conteos 2021 realizados por la SDM..... | 45 |
| Tabla A-6. División de categorías en subcategorías que incluyen combustibles. | 48 |
| Tabla A-7. Atributos del archivo shape de la malla vial de la ciudad e Bogotá..... | 50 |
| Tabla A-8. Coeficientes de ajuste para estimar el Factor de corrección a vías secundarias..... | 52 |
| Tabla A-9. Factores de emisión empleados en la estimación Bottom-up de fuentes móviles por combustión..... | 57 |
| Tabla B-1. Factores de emisión de fuentes fijas industriales | 60 |
| Tabla B-2. Porcentaje de remoción del Sistema de Control de emisiones..... | 62 |
| Tabla C-1. Factores de emisión por desgaste de frenos y llantas. | 64 |
| Tabla D-1. Cargas de sedimentos empleadas en este inventario. | 67 |
| Tabla D-2. Porcentaje de finos empleados en este documento. | 67 |
| Tabla D-3. Pesos representativos de categorías vehiculares. | 69 |
| - Tabla E-1. Factores de emisión por construcción de edificaciones y vías en la Ciudad de Bogotá. | 74 |
| Tabla F-1. Factores de emisión para extracción de material en canteras..... | 75 |
| Tabla G-1. Factores de emisiones de fuentes residenciales | 76 |
| Tabla H-1. Fracciones de BC presente en las emisiones de PM _{2.5} generadas por las fuentes fijas industriales..... | 77 |
| Tabla H-2. Fracciones másicas de carbón elemental para las emisiones por combustión de las fuentes móviles | 78 |
| Tabla H-3. Porcentaje para fuentes móviles por resuspensión | 78 |
| Tabla H-4. Porcentaje para fuentes móviles por freno y desgaste de llantas..... | 78 |

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

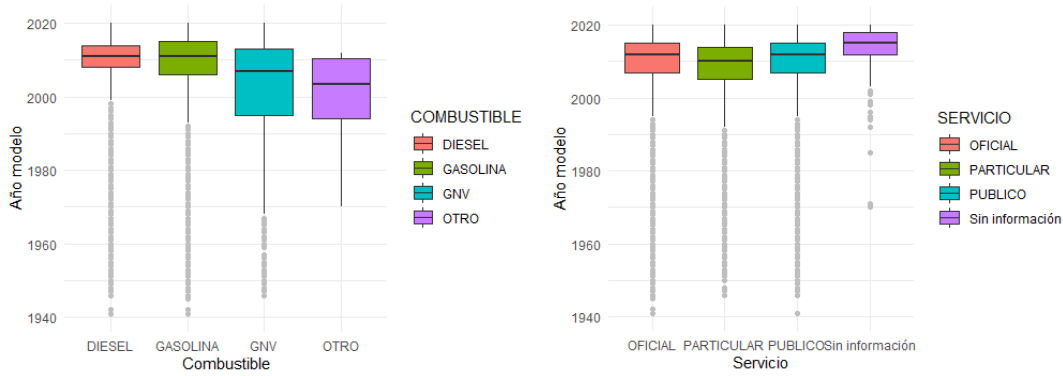
A.1.2. Factores de expansión

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 |
| Buseteta/Buse ton. | BT | BS |
| Buseteta/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.

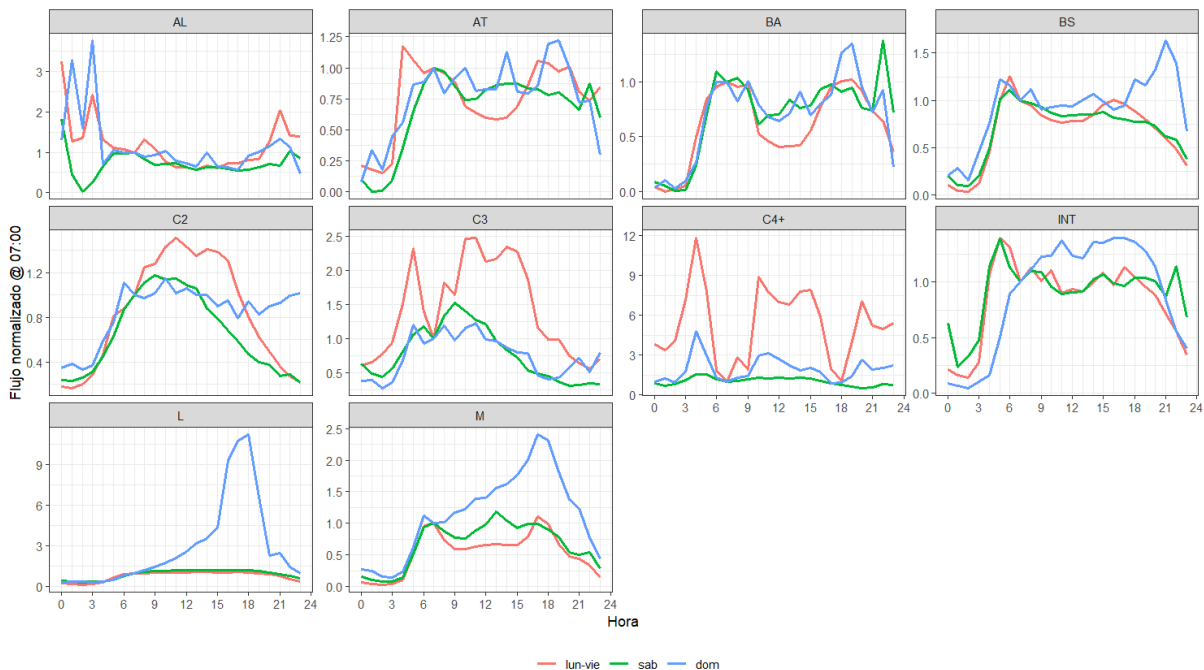
| Categoría en los conteos | Abreviatura | Abreviatura dentro del módulo |
|---|--------------------|---|
| Camiones de 2 ejes. | C2P | C2 |
| Camiones de 2 ejes pequeño. | C2P | C2 |
| Camiones de 2 ejes. | C2P Y C2G | C2 |
| Camiones de 2 ejes pequeños y grandes. | C2P Y C2G | C2 |
| Camiones de 3 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 |

| Categoría en los conteos | Abreviatura | Abreviatura dentro del módulo |
|---|--------------------|--------------------------------------|
| 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.

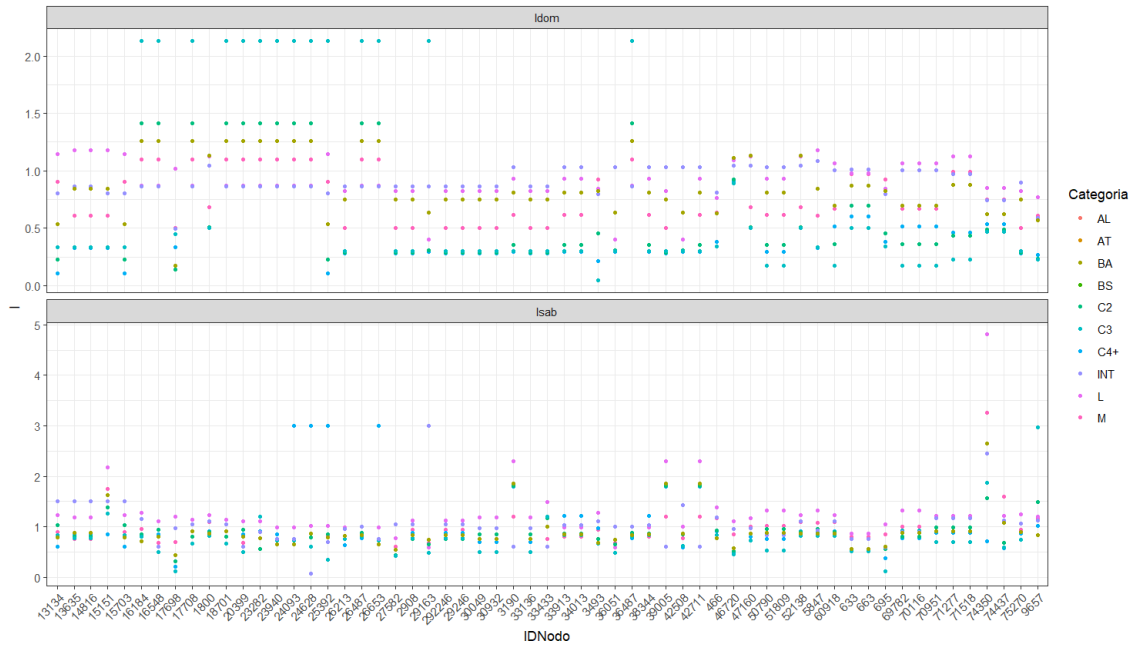


Elaboración propia basada en información de conteos vehiculares de la Secretaría Distrital de Movilidad

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 |

| <i>ID Nodo</i> | <i>Latitud</i> | <i>Longitud</i> | <i>Carriles totales sin carriles exclusivos de Transmilenio</i> |
|----------------|----------------|-----------------|---|
| 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

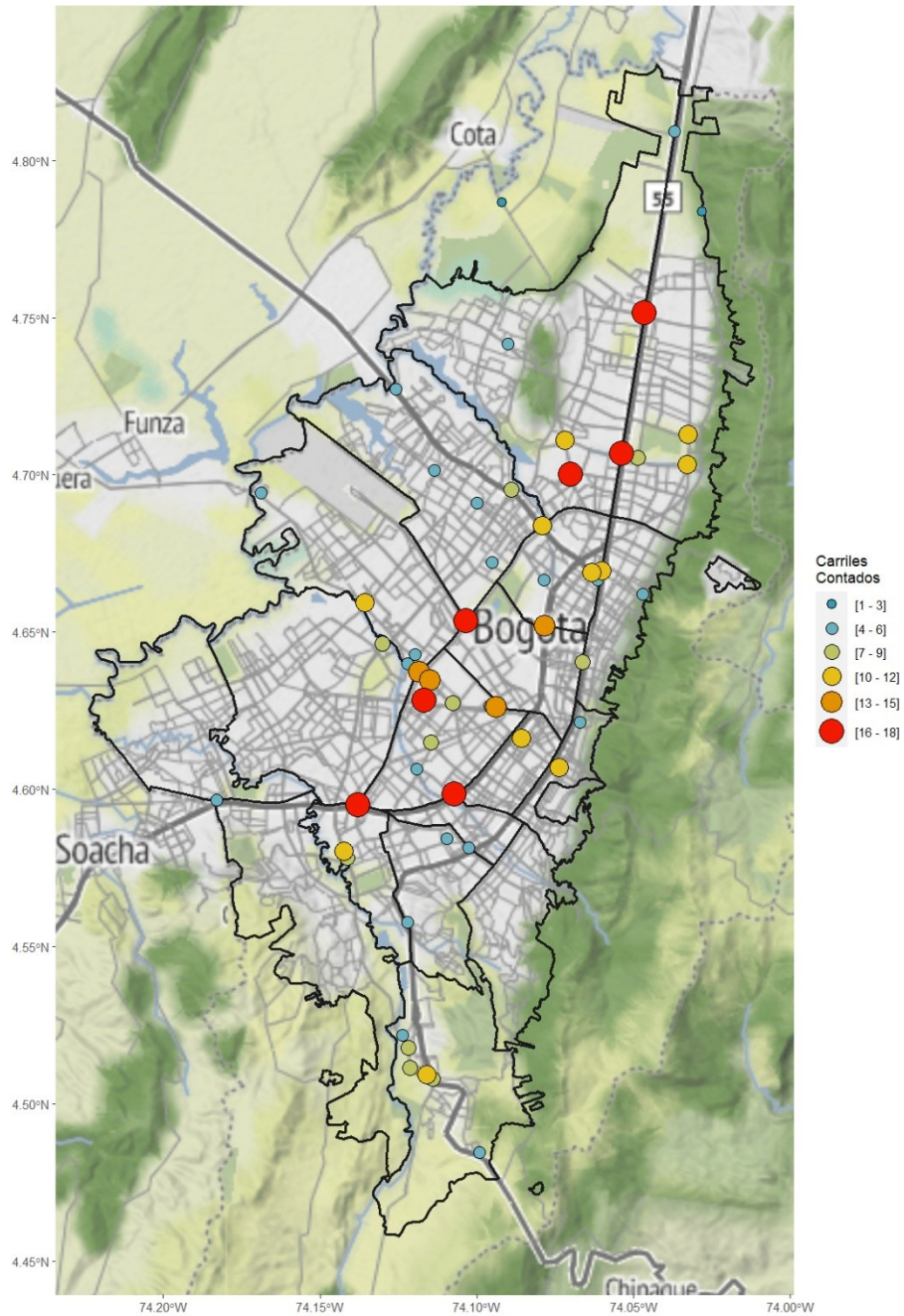
Dentro de la extracción de los conteos del 2022, se realizan las homologaciones respectivas según la Tabla A-4 y se almacenan los conteos por fecha, nodo y cantidad de vehículos por categoría y hora. Al cruzar los conteos para cada uno de los nodos con sus respectivos valores de carriles totales, excluyendo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

| Categoría | Subcategoría ^a | Nombre Subcategoría | Porcentaje de participación 2018 | Porcentaje de participación 2020 | Porcentaje de participación 2021 | Porcentaje de participación 2022 |
|-----------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | 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 está pavimentada (P) o no pavimentada (NP), este atributo a su vez depende de una revisión visual de la categorización de vías no pavimentadas. |

Elaboración propia

- **Procesamiento inicial de información geográfica:** a la información vial se le añaden los siguientes atributos:

- a) La ubicación de una malla de distribución de emisiones de 1 km x 1 km, el uso de suelo.
 - b) Categorización de cada una de las vías por uso de suelo, las cuales se dividen en: Central, Comercio y servicios, dotacional, industrial, minero, residencial, y urbana integral.
 - c) Se realiza la asignación de cada objeto a una celda del enmallado empleado para los modelos de calidad de aire
 - d) Con SHAPE_LEN (P) y SHAPE_AREA (A), se estima la longitud (Km) y el ancho de las vías por medio de la resolución de una ecuación cuadrática $-2x^2+Px-2A$; la menor de las raíces se asume como el ancho de la vía (W) y la raíz mayor como la longitud (L). Asumiendo un ancho por carril (Wc) de 3.5m, se estimó el número de carriles para cada uno de los polígonos con la relación W/Wc.
 - e) Se categorizan las vías como principales y secundarias, siendo las vías principales todas aquellas que corresponden a la clasificación del IDU (CLASIFIC dentro del archivo geográfico) de Troncal, Arterial y Principal rural, siendo las demás clasificaciones asignadas a vías secundarias.
 - f) En este análisis también se estiman los valores de Carga de Sedimentos para vías pavimentadas (Cs) y porcentaje de PM sujeto a resuspenderse (%S), proceso que se detalla en la sección D.1.2 de estimación de material particulado resuspendido en la malla vial.
- **Extrapolación de flujos por carril (FCL):** La extrapolación de flujos a cada uno de los polígonos se realizó con el módulo 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.

$$FD_{j,k} = \max(A_j \cdot \exp(-B_j \cdot Fdt_k), C_j) \quad \text{Ecuación A.6}$$

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

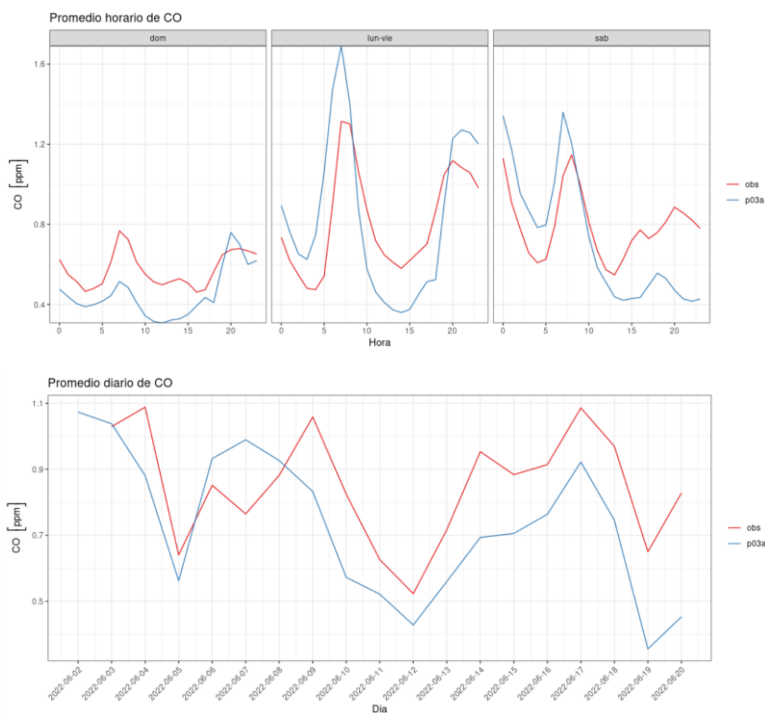
Se estimó un inventario preliminar de fuentes móviles en carretera, que incluyen las emisiones de combustión, desgaste de frenos y llantas, y material resuspendido, sin aplicar factores de ajuste (factores que se detallarán mas adelante), y, en conjunto con los resultados de la estimación de emisiones 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 datos 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.

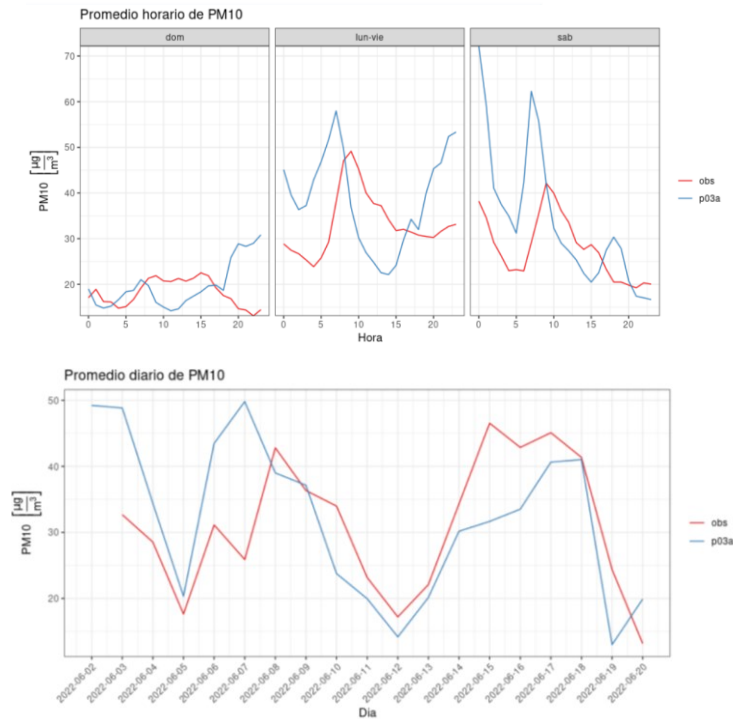


Figura A-6. Comparación de promedios horarios y diarios para PM10 entre los datos observados (obs) y el mejor escenario modelado identificado (p03a).

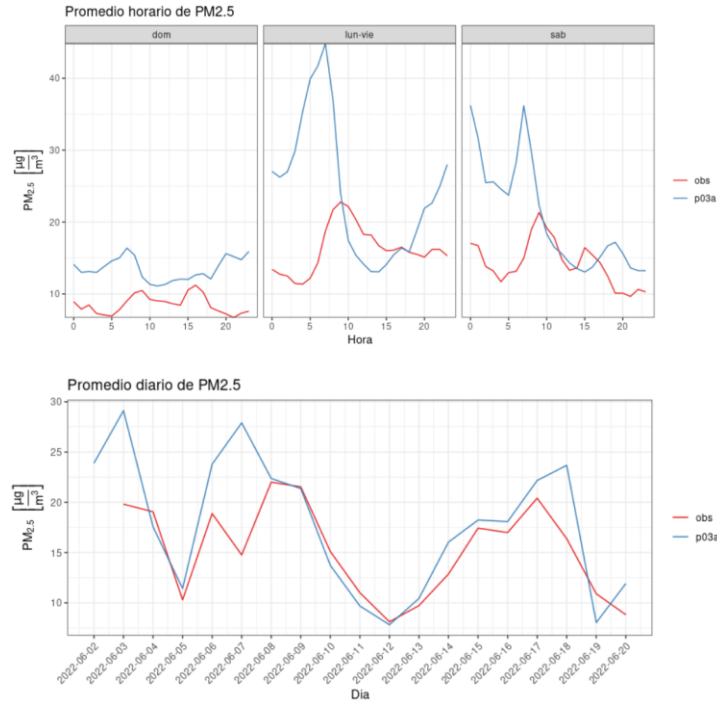


Figura A-7. Comparación de promedios horarios y diarios para PM2.5 entre los datos observados (obs) y el mejor escenario modelado identificado (p03a).

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.

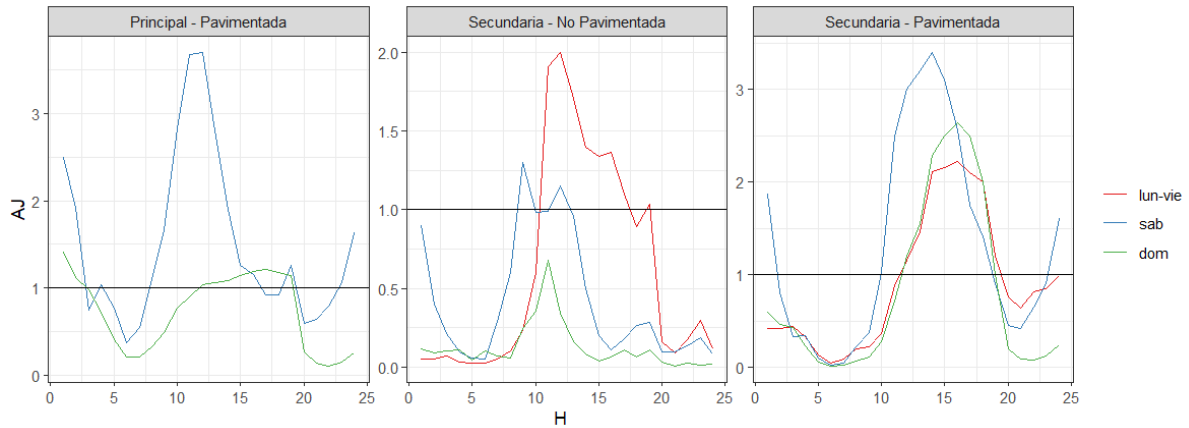


Figura A-8. Factores de Corrección de Flujo (AJ) estimados con modelación de escenarios para el 2022.

A.2.5. Estimación de los flujos vehiculares

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

$$FT_{h,j,k,w} = FCL_{h,j,w,k} \cdot FD_k \cdot NC_k \cdot AJ_{h,j,k,w} \quad \text{Ecuación A.7}$$

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.

$$EMcb_{h,j,w,k,c} = FT_{h,j,k,w} \cdot L_k \cdot FE_{j,c} \quad \text{Ecuación A.8}$$

| | |
|--------------------|--|
| $EMcb_{h,i,w,k,c}$ | 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 |

| <i>Subcategoría^a</i> | <i>Factores de emisión (g/km)</i> | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| | <i>CO^b</i> | <i>COV</i> | <i>NO_x</i> | <i>SO₂</i> | <i>PM₁₀</i> | <i>PM_{2.5}</i> |
| 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:

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

horas de operación al año

Ecuación B.2

Donde:

- E_{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,i,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

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/m²) |
| 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) |
|------------------|--|

- 0.457K_{i,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

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

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)
- 0.457K_{p,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’, (%)
- K_v** Factor de corrección de velocidad promedio a vías secundarias, se asume como 1/5; se corrige la velocidad promedio, dado que las velocidades promedio de la ciudad son medidas usualmente en vías principales.
- V_{w,h}** Velocidad Promedio para la ciudad para la hora ‘h’ en el día tipo ‘w’, (km/h)
- P** Número de días al año, con al menos 0,254 mm de precipitación diaria acumulada en el año (días)

D.1.2. Variables asociadas a la estimación de factores de emisión

Carga de Sedimentos (Cs) y Porcentaje de Finos (%)

Los valores de carga de sedimento fueron tomados del estudio (Universidad de La Salle, Ecopetrol, & SDA, 2018); por otro lado, los valores de porcentaje de finos en las vías no pavimentadas, fue tomado del estudio (Universidad de La Salle & SDA, 2013). A continuación, se enlistan los valores de Cs y S empleados en este inventario para cada punto de medición de estos, además, la ubicación de los puntos de medición se encuentra representada en la Figura D-1; en esta figura también se encuentra representados los tipos de cobertura para la ciudad, extraídos de LANDSAT 8.

Tabla D-1. Cargas de sedimentos empleadas en este inventario.

| Punto | Ubicación | Latitud | Longitud | Cs (mg/m ²) |
|-------|--|---------|----------|-------------------------|
| 1 | Avenida Calle 145 X Carrera 104 | 4,747 | -74,096 | 4,81 |
| 2 | Avenida Carrera 72 (Avenida Boyacá) X Avenida Calle 138 | 4,730 | -74,069 | 1,67 |
| 3 | Avenida Carrera 45 X Avenida Calle 127 | 4,706 | -74,054 | 2,97 |
| 4 | Avenida Carrera 80 X Avenida Calle 55 Sur | 4,614 | -74,175 | 21,48 |
| 5 | Diagonal 78 BIS Sur X Avenida Carrera 1 | 4,510 | -74,118 | 2,07 |
| 6 | Avenida Calle 60 A Sur X Carrera 19C | 4,565 | -74,139 | 7,36 |
| 7 | Calle 68 Sur X Carrera 51 | 4,580 | -74,157 | 8,75 |
| 8 | Carrera 95A X Calle 54 Sur | 4,638 | -74,188 | 10,66 |
| 9 | Avenida Carrera 50 X Avenida Calle 3 | 4,615 | -74,115 | 2,25 |
| 10 | Avenida Carrera 72 X Avenida Calle 26 Sur | 4,619 | -74,139 | 3,92 |
| 11 | Carrera 10 X Calle 17 Sur | 4,578 | -74,093 | 5,06 |
| 12 | Avenida Calle 26 X Transversal 93 | 4,685 | -74,125 | 28,63 |
| 13 | Avenida Carrera 86 X Avenida Calle 17 | 4,662 | -74,134 | 6,99 |
| 14 | Avenida Carrera 7 X Avenida Calle 45 | 4,631 | -74,064 | 9,22 |
| 15 | Avenida Carrera 7 X Avenida Calle 85 | 4,665 | -74,047 | 7,23 |
| 16 | Avenida Carrera 7 X Avenida Calle 127 | 4,702 | -74,029 | 1,19 |
| 17 | Avenida Calle 24 (Avenida la esperanza) X Carrera 68B | 4,652 | -74,110 | 5,3 |
| 18 | Avenida Calle 100 X Transversal 60 (Avenida Suba) | 4,689 | -74,065 | 7,39 |
| 19 | Avenida Carrera 45 (Autopista Norte) X Avenida Calle 170 | 4,751 | -74,047 | 6,57 |
| 20 | Avenida Carrera 86 X Avenida Calle 80 | 4,703 | -74,101 | 8,63 |

Elaboración propia

Tabla D-2. Porcentaje de finos empleados en este documento.

| Punto | Ubicación | Latitud | Longitud | S (%) |
|-------|------------------------------------|---------|----------|-------|
| 1 | Transversal 68F x Calle 36 Sur | 4,607 | -74,135 | 17,18 |
| 2 | Carrera 36 X Calle 25B | 4,630 | -74,086 | 25,5 |
| 3 | Carrera 53A X Calle 5C | 4,622 | -74,111 | 21,01 |
| 4 | Carrera 83 X Calle 15 ^a | 4,656 | -74,138 | 25,65 |
| 5 | Avenida Carrera 116 X Calle 22 | 4,687 | -74,151 | 26,49 |
| 6 | Avenida 1 mayo X Carrera 80 | 4,615 | -74,175 | 21,03 |
| 7 | Calle 140B X Carrera 96 | 4,740 | -74,089 | 19,4 |
| 8 | Calle 161 X Carrera 18A | 4,741 | -74,042 | 30,25 |
| 9 | Calle 78 Sur X Carrera 87J | 4,619 | -74,203 | 14,37 |
| 10 | Carrera 89A BIS N° 80-98 Sur | 4,623 | -74,207 | 23,62 |
| 11 | Carrera 16 X Calle 76 Sur | 4,540 | -74,137 | 19,92 |
| 12 | Transversal 5J X Calle 48L Sur | 4,556 | -74,110 | 3,26 |
| 13 | Diagonal 45F Sur X Transversal 16G | 4,570 | -74,122 | 18,83 |
| 14 | Calle 35 Sur X Carrera 12B Este | 4,551 | -74,084 | 9,8 |
| 15 | Calle 62 X Carrera 3 | 4,645 | -74,057 | 17,2 |
| 41 | Peaje Siberia | 4,780 | -74,185 | 22,95 |
| 43 | Peaje Fusca | 4,835 | -74,029 | 30,25 |

Elaboración propia

Se crearon buffers de 1 km² para cada sitio de medición, y se estimó la fracción de cobertura vegetal (FV), conformada por pastos y vegetación densa, y la fracción de suelos desnudos (FS), y se encontraron las siguientes relaciones entre las fracciones y los valores medidos de S y Cs por km², con un coeficiente de ajuste r² superior a 0.85.

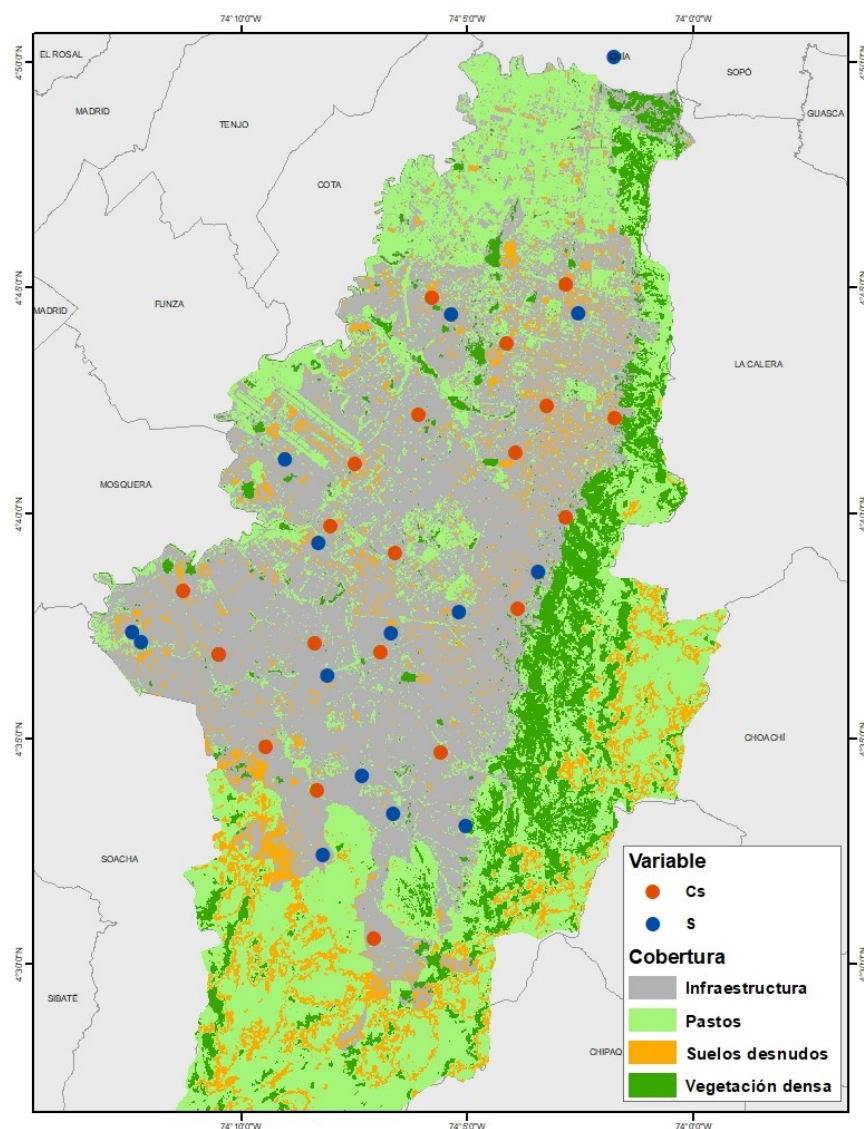
$$Cs = \frac{2.2305}{FV^{0.4}}; FV > 0.001;$$

Ecuación D.4

$$S = 53.455 \cdot FS^{0.7} + \frac{7.107}{FV^{0.2}}; FV > 0.001 \wedge FS > 0.001;$$

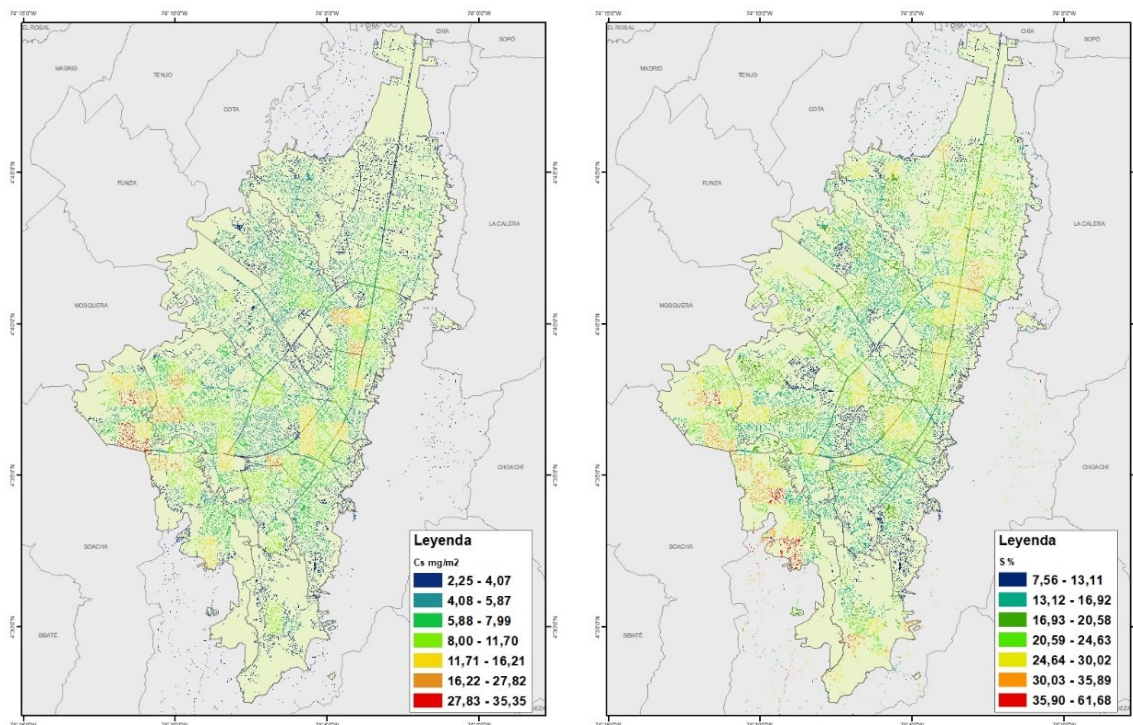
Ecuación D.5

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

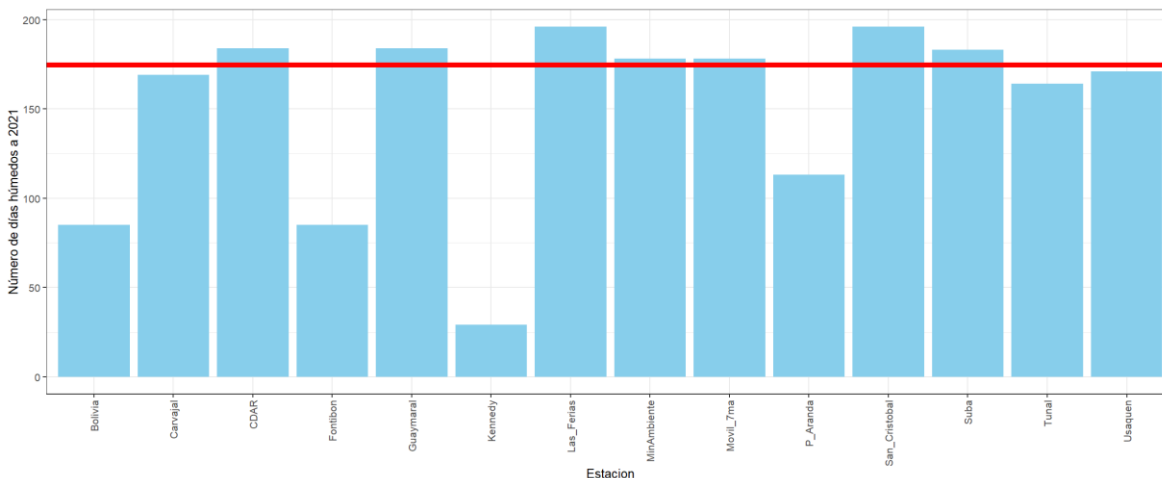
Tabla D-3. Pesos representativos de categorías vehiculares.

| 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.

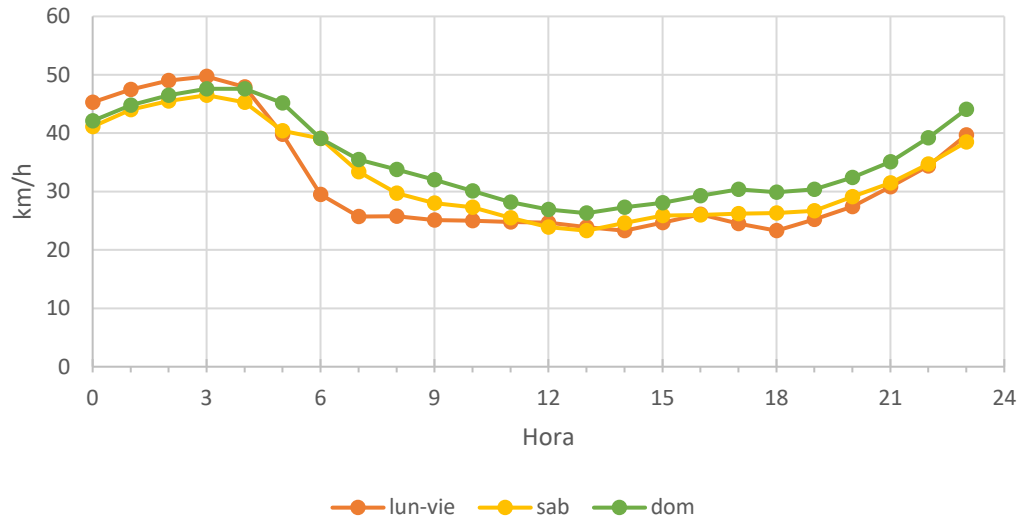


Elaboración propia

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.

$$E_k = \frac{\sum_1^n Ac_j \cdot FE \cdot t_j}{1\ 000\ 000} \quad \text{Ecuación E.1}$$

Donde,

| | |
|-------|---|
| E_k | Emisiones totales del contaminante k (t) |
| Ac | Área construida de la obra número j (m ²) |
| FE | Factor de emisión (g/m ² .s) |
| t | Tiempo de duración de la obra j (s) durante el año |

A continuación, se describe a detalle las fuentes de información y la descripción de las variables de la ecuación de cálculo y procesos adicionales:

Base de datos de construcciones SDA: La base de datos suministrada por la Subdirección de Control Ambiental al Sector Público de las obras de construcción que se vienen desarrollando en la ciudad de Bogotá proporciona el valor de las variables principales para la estimación de las emisiones como es el área de construcción y tiempo de duración basada de en las fechas registradas A esta base de datos se le realiza una serie de filtros que se describen a continuación:

- **Filtro por fecha de inicio y finalización:** Permite seleccionar aquellas construcciones que operaron en 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} | PM₁₀ |
|---------------------|---------------------------------------|-------------------------|------------------------|
| <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)**
- FC₁** Factor de conversión de m³ gas natural a GBTU **(29,6 GBTU/m³)**
- FE_i** Factor de emisión para el contaminante i **(g/GJ)**
- FC₂** 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

| Tipo de combustible | PEC/PM _{2.5} |
|--------------------------|-----------------------|
| Aceite destilado | 0,100 |
| Gas natural | 0,384 |
| Calderas a Gas Natural | 0,130 |
| Quemadores a gas natural | 0,063 |
| Gas natural residencial | 0,067 |
| Aceite residual | 0,010 |
| Carbón bituminoso | 0,0428 |
| Leña | 0,0371 |

Fuente: Base de datos SPECIATE (US-EPA, 2019)

H.2. Black Carbon para fuentes móviles

En esta sección se entenderán como las emisiones de *black carbon* por fuentes móviles como aquellas generadas en procesos de combustión, desgaste de llantas y freno (TBW) y resuspensión de vías (RDST). La estimación de estas emisiones se realiza a partir de los factores de emisión de MOVES de la US-EPA, los cuales cuentan con la fracción másica para 18 especies químicas. En las siguientes tablas se presenta la fracción másica de carbón elemental (PEC) asociada al BC.

En la Tabla H-2 se presenta la fracción másica de carbón elemental (PEC), que fueron usados para la estimación de las emisiones de BC generadas por combustión de las fuentes móviles terrestres de carretera, discriminadas por categoría vehicular y el tipo de combustible que usa cada una.

Tabla H-2. Fracciones másicas de carbón elemental para las emisiones por combustión de las fuentes móviles

| 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 - SIIFF (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>