

# Inventario de Emisiones de Bogotá

Contaminantes atmosféricos

2021



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.

SECRETARÍA DE  
AMBIENTE

BOGOTÁ



**Claudia Nayibe López Hernández**  
Alcaldesa Mayor de Bogotá D.C.

**Carolina Urrutia Vásquez**  
Secretaria Distrital de Ambiente

**Julio Cesar Pulido Puerto**  
Subsecretario General y de Control Disciplinario

**Rodrigo Alberto Manrique Forero**  
Director de Control Ambiental

**Hugo Enrique Sáenz Pulido**  
Subdirector de Calidad del Aire, Auditiva y Visual

#### **AUTORES**

**Edison Yesid Ortiz Durán**  
Coordinador del Grupo de Modelación  
Atmosférica de Bogotá

**July Andrea Vásquez Ramírez**  
Grupo de Modelación Atmosférica de Bogotá

**Karen Johanna Blanco Fajardo**  
Grupo Plan Estratégico para la Gestión Integral  
de la Calidad del Aire de Bogotá

**Diana Lucelly Gómez Gómez**  
Grupo Plan Estratégico para la Gestión Integral  
de la Calidad del Aire de Bogotá

#### **COLABORADORES**

**Francisco Javier Sichacá Avila**  
Coordinador del Plan Estratégico para la Gestión  
Integral de la Calidad del Aire de Bogotá

**Sandra Bibiana Riaño Alarcón**  
**Julian Gómez Tibaquira**  
**Jaime Alexander Rueda**  
**Sergio Steven Peña Santos**  
**Juan Felipe Bojacá Matiz**  
**Joan Esteban Clavijo Gómez**  
**María Paula Ortiz Mantilla**  
Grupo del Plan Estratégico para la Gestión Integral  
de la Calidad del Aire de Bogotá

**Juan Carlos Parra**  
Coordinador del grupo de control a fuentes móviles

**Luis Carlos Páez Leal**  
**Alexander Gómez Salazar**  
**Diego Eduardo Bejarano**  
**Oscar Ricardo Mejía Higuera**  
**Diana Jeised Romero Guata**  
Grupo de control a fuentes móviles

**Mónica Helena Escobar Cardozo**  
Coordinadora del grupo de control a fuentes fijas

**Lady Mateus Fontecha**  
Grupo de Sistema de Alertas Ambiental de Bogotá

**Luis Alexander Castro**  
**Ramiro Cardenas**  
**Juan Pablo Cantor**  
Secretaría Distrital de Movilidad

**Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-**  
**© diciembre de 2022, Bogotá – Colombia**  
**Inventario de emisiones de Bogotá,**  
**Contaminantes Atmosféricos**  
**Año: 2021**

## CONTENIDO

1.	RESUMEN EJECUTIVO.....	12
2.	INTRODUCCIÓN.....	15
2.1.	Dinámica de la contaminación en la atmósfera.....	15
2.2.	Inventario de emisiones y su utilidad para la ciudad.....	17
2.3.	Fuentes de emisión identificadas en Bogotá.....	18
2.3.1.	Fuentes de emisión externas.....	18
2.3.2.	Fuentes de emisión internas.....	19
3.	CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIONES EN BOGOTÁ.....	21
3.1.	Fuentes móviles en carretera.....	21
3.1.1.	Categorías Vehiculares.....	21
3.1.2.	Cantidad de Vehículos.....	22
3.1.3.	Flujos Vehiculares.....	22
3.2.	Fuentes fijas industriales.....	24
3.3.	Malla vial de la ciudad.....	30
3.4.	Obras de construcciones.....	31
3.5.	Canteras.....	33
3.6.	Fuentes residenciales.....	34
3.7.	Incendios forestales.....	35
4.	INVENTARIO DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE FUENTES MÓVILES EN CARRETERA.....	38
4.1.	Inventario de emisiones <i>Top-Down</i> .....	38
4.2.	Inventario de emisiones <i>Bottom-Up</i> .....	40
4.2.1.	Desagregación espacial para emisiones.....	41
4.2.2.	Desagregación temporal horaria de las emisiones.....	46
4.3.	Comparación entre metodologías de estimación <i>Top-Down</i> y <i>Bottom-Up</i> .....	47
4.4.	Resultados históricos de inventarios de emisión por combustión de fuentes móviles en carretera	47
5.	INVENTARIO DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE FUENTES FIJAS INDUSTRIALES.....	54
5.1.	Inventario de emisiones <i>Bottom-Up</i> .....	54
5.1.1.	Desagregación espacial de las emisiones.....	58

5.1.2.	Desagregación temporal horaria de las emisiones .....	61
5.2.	Resultados históricos de los inventarios de emisiones por combustión en las fuentes fijas industriales .....	62
6.	INVENTARIO DE EMISIONES RESIDENCIALES .....	68
7.	INVENTARIO DE EMISIONES DE MATERIAL RESUSPENDIDO PROVENIENTE DE LAS VÍAS .....	69
7.1.	Inventario de emisiones <i>Bottom-up</i> .....	69
7.1.1.	Desagregación espacial de emisiones .....	70
7.1.2.	Desagregación temporal horaria de emisiones .....	71
7.2.	Resultados históricos de los inventarios de emisiones por resuspensión de material particulado en vías .....	72
8.	INVENTARIO DE EMISIONES POR DESGASTE DE FRENOS Y LLANTAS (TBW) .....	74
8.1.	Inventario de emisiones <i>Bottom-up</i> .....	74
8.1.1.	Desagregación espacial para emisiones por desgaste de frenos y llantas.....	74
8.1.2.	Desagregación temporal horaria de emisiones .....	76
8.2.	Resultados históricos de los inventarios de emisiones generadas por desgaste de frenos y llantas .....	76
9.	INVENTARIO DE EMISIONES DE MATERIAL RESUSPENDIDO PROVENIENTE DE CONTRUCCIONES .....	78
9.1.	Inventario de emisiones <i>Bottom-up</i> .....	78
9.1.1.	Desagregación espacial de emisiones .....	78
9.1.2.	Desagregación temporal horaria de emisiones .....	79
10.	INVENTARIO DE EMISIONES DE MATERIAL RESUSPENDIDO PROVENIENTE DE CANTERAS .....	81
10.1.	Inventario de emisiones <i>Bottom-up</i> .....	81
10.1.1.	Desagregación espacial de emisiones .....	81
11.	INVENTARIO DE EMISIONES DE BLACK CARBON.....	83
11.1.	Emisiones de BC generadas por las fuentes fijas industriales.....	84
11.1.1.	Desagregación espacial para fuentes fijas industriales.....	84
11.1.2.	Desagregación temporal horaria de las emisiones .....	85
11.2.	Emisiones de BC generadas por las fuentes móviles en carretera.....	86
11.2.1.	Desagregación espacial para fuentes móviles .....	86
11.2.2.	Desagregación temporal horaria de las emisiones .....	87
12.	INVENTARIO CONSOLIDADO DE EMISIONES.....	89
12.1.	Desagregación espacial de las emisiones totales.....	91
12.2.	Resultados históricos de los inventarios de emisiones totales.....	95



12.3.	Resultados de Emisiones desagregadas espacialmente .....	97
13.	INVENTARIO DE EMISIONES REGIONAL DE INCENDIOS FORESTALES.....	101
13.1.	Material Particulado.....	101
13.2.	Gases .....	104
14.	OPORTUNIDADES DE MEJORA .....	108
15.	BIBLIOGRAFÍA .....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de los contaminantes en la atmósfera.....	17
Figura 2. Utilidad de los inventarios de emisiones .....	18
Figura 3. Fuentes de emisiones identificadas para la ciudad de Bogotá. ....	20
Figura 4. Cantidad de vehículos por categoría vehicular del inventario <i>Top-Down</i> .....	22
Figura 5. Cantidad de vehículos promedio por hora, por km de vía.....	23
Figura 6. Distribución por tipo de fuente de combustión y combustión+proceso. ....	25
Figura 7. Distribución de las fuentes fijas por tipo de combustible usado. ....	26
Figura 8. Participación de uso de combustibles por sectores productivos.....	27
Figura 9. Distribución de fuentes y establecimientos por localidad. ....	28
Figura 10. Distribución de uso de combustibles por localidad. ....	29
Figura 11. Ubicación de las fuentes fijas industriales para el año 2021 por tipo de combustible....	29
Figura 12. Estado de la malla vial para el año 2021 .....	30
Figura 13. Mapa de las construcciones de edificaciones (izquierda) y de construcciones de vías (derecha), identificadas en el inventario 2021. ....	32
Figura 14. Distribución por tipo de construcción.....	32
Figura 15. Cantidad de construcciones por localidad .....	32
Figura 16. Ubicación de canteras en Usme y Usaquén en Bogotá.....	34
Figura 17. Consumo energético de gas natural por fuentes residenciales en la ciudad de Bogotá .	35
Figura 18. Comportamiento espacial de puntos calientes asociados a incendios forestales para el año 2021.....	36
Figura 19. Comportamiento temporal de puntos calientes asociados a incendios forestales para el año 2021.....	37
Figura 20. Participación porcentual por categoría vehicular de las emisiones de PM <sub>2.5</sub> estimada con enfoque <i>Top-Down</i> para el año 2021.....	39
Figura 21. Participación porcentual en emisiones por categoría vehicular para los contaminantes criterio estimada con enfoque <i>Top-Dow</i> para el año 2021. ....	40
Figura 22. Participación porcentual por categoría vehicular de las emisiones de PM <sub>2.5</sub> , estimada con enfoque <i>Bottom-Up</i> , año 2021. ....	41
Figura 23. Participación porcentual en emisiones por categoría vehicular para los contaminantes criterio estimada con enfoque <i>Bottom-Up</i> para el año 2021. ....	42
Figura 24. Distribución espacio temporal de las emisiones PM <sub>2.5</sub> (derecha) y PM <sub>10</sub> (izquierda) generadas por las fuentes móviles por combustión. ....	42
Figura 25. Distribución espacio temporal de las emisiones de CO (izquierda) y SO <sub>2</sub> (derecha) generadas por las fuentes móviles por combustión. ....	43
Figura 26. Distribución espacio temporal de las emisiones de NO <sub>x</sub> (izquierda) y COV (derecha) generadas por las fuentes móviles por combustión. ....	43
Figura 27. Distribución de emisiones por localidad para las emisiones de PM <sub>2.5</sub> .....	44
Figura 28. Distribución de emisiones por localidad para las emisiones de PM <sub>10</sub> .....	44
Figura 29. Distribución de emisiones por localidad para las emisiones de COV.....	44
Figura 30. Distribución de emisiones por localidad para las emisiones de SO <sub>x</sub> .....	45
Figura 31. Distribución de emisiones por localidad para las emisiones de NO <sub>x</sub> .....	45
Figura 32. Distribución de emisiones por localidad para las emisiones de CO.....	45
Figura 32. Distribución horaria de emisiones del año 2021 por categoría vehicular .....	46

Figura 33. Emisiones de 2018, 2020 y 2021 de PM <sub>2.5</sub> estimadas con enfoque Top-Down .....	49
Figura 34. Emisiones de 2018, 2020 y 2021 de PM <sub>2.5</sub> estimadas con enfoque Bottom-Up.....	50
Figura 36. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para SO <sub>x</sub> en los años 2018, 2020 y 2021.....	51
Figura 37. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para PM <sub>10</sub> en los años 2018, 2020 y 2021.....	51
Figura 38. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para PM <sub>2.5</sub> en los años 2018, 2020 y 2021.....	52
Figura 39. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para COV en los años 2018, 2020 y 2021.....	52
Figura 39. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para CO en los años 2018, 2020 y 2021.....	53
Figura 40. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para NO <sub>x</sub> en los años 2018, 2020 y 2021.....	53
Figura 41. Participación en las emisiones de fuentes fijas industriales por cada categoría y contaminante .....	56
Figura 42. Participación de las emisiones por contaminante, por sectores productivos .....	57
Figura 43. Distribución espacial de las emisiones PM <sub>2.5</sub> (izquierda) y PM <sub>10</sub> (derecha) generadas por fuentes fijas industriales .....	59
Figura 44. Distribución espacial de las emisiones de NO <sub>x</sub> (izquierda) y COV (derecha) generadas por fuentes fijas industriales .....	59
Figura 45. Distribución espacial de las emisiones de CO (izquierda) y SO <sub>2</sub> (derecha) generadas por fuentes fijas industriales .....	60
Figura 46. Participación por localidad de las emisiones de PM <sub>2.5</sub> para fuentes fijas industriales ....	60
Figura 47. Participación por localidad de las emisiones de PM <sub>10</sub> para fuentes fijas industriales ....	61
Figura 48. Perfiles horarios de emisiones para fuentes fijas industriales.....	62
Figura 49. Emisiones históricas de PM <sub>10</sub> de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, sin considerar la remoción por SCE, periodo 2008-2021 .....	63
Figura 50. Emisiones históricas de PM <sub>10</sub> (izquierda) y PM <sub>2.5</sub> (derecha) de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, considerando la remoción por SCE, periodo 2018-2021 .....	64
Figura 51. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para PM <sub>2.5</sub> .....	65
Figura 52. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para PM <sub>10</sub> .....	65
Figura 53. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para NO <sub>x</sub> .....	66
Figura 54. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para CO.....	66
Figura 55. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para COV.....	67
Figura 56. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para SO <sub>2</sub> .....	67
Figura 57. Distribución espacial de las emisiones de PM <sub>10</sub> (derecha) y PM <sub>2.5</sub> (izquierda) por resuspensión de material particulado en vías.....	70

Figura 58. Participación por localidad de las emisiones de PM <sub>10</sub> para resuspensión de material particulado en vía.....	71
Figura 59. Participación por localidad de las emisiones de PM <sub>2.5</sub> para resuspensión de material particulado en vía.....	71
Figura 60. Perfiles horarios de emisiones de material particulado para fuentes móviles por material resuspendido.....	72
Figura 61. Histórico de emisiones de material resuspendido para PM <sub>10</sub> .....	73
Figura 62. Histórico de emisiones de material resuspendido para PM <sub>2.5</sub> .....	73
Figura 63. Distribución espacial de las emisiones PM <sub>10</sub> (izquierda) y PM <sub>2.5</sub> (derecha) generadas por desgaste de frenos y llantas.....	75
Figura 64. Participación por localidad de las emisiones de PM <sub>10</sub> generas por desgaste de frenos y llantas.....	75
Figura 65. Participación por localidad de las emisiones de PM <sub>2.5</sub> generas por desgaste de frenos y llantas.....	75
Figura 66. Perfiles horarios de emisiones de material particulado para fuentes móviles por desgaste de llantas y frenos.....	76
Figura 67. Distribución espacial de emisiones histórico por desgaste de llantas y frenos para PM <sub>10</sub> .....	77
Figura 68. Distribución espacial de emisiones histórico por desgaste de llantas y frenos para PM <sub>2.5</sub> .....	77
Figura 69. Distribución espacio temporal de las PM <sub>10</sub> (izquierda) y PM <sub>2.5</sub> (derecha) por resuspensión de construcciones.....	79
Figura 70. Perfil horario de las emisiones de material resuspendido construcción de vías y edificaciones.....	80
Figura 71. Distribución espacio temporal de las PM <sub>10</sub> (izquierda) y PM <sub>2.5</sub> (derecha) por resuspensión de construcciones.....	82
Figura 72. Porcentaje de participación BC para industrias.....	84
Figura 73. Degradación de emisiones para BC en fuentes fijas industriales.....	85
Figura 74. Participación por localidad de las emisiones de BC generas por las fuentes fijas industriales.....	85
Figura 75. Perfil horario BC Industrias.....	86
Figura 76. BC para fuentes móviles en carretera del año 2021.....	87
Figura 77. Participación por localidad de las emisiones de BC generas por las fuentes móviles en carretera.....	87
Figura 78. Perfil horario BC fuentes móviles para el año 2021.....	88
Figura 79. Participación porcentual en emisiones de PM <sub>2.5</sub> por tipo de fuente.....	90
Figura 80. Participación porcentual del total de emisiones de contaminantes criterio y BC por tipo de fuente para el año 2021.....	90
Figura 81. Distribución espacial de las emisiones PM <sub>10</sub> (izquierda) y PM <sub>2.5</sub> (derecha) generadas en el año 2021.....	91
Figura 82. Distribución espacial de las emisiones NO <sub>x</sub> (izquierda) y CO (derecha) generadas en el año 2021.....	92
Figura 83. Distribución espacial de las emisiones COV (izquierda) y SO <sub>2</sub> (derecha) generadas en el año 2021.....	92

Figura 84. Participación localidad en la emisión de $PM_{2.5}$ .....	93
Figura 85. Participación localidad en la emisión de $PM_{10}$ .....	93
Figura 86. Participación localidad en la emisión de $NO_x$ .....	93
Figura 87. Participación localidad en la emisión de CO .....	94
Figura 88. Participación localidad en la emisión de $SO_x$ .....	94
Figura 89. Participación localidad en la emisión de COV .....	94
Figura 90. Comparación de la participación porcentual de las emisiones de $PM_{2.5}$ por tipo de fuente para los años 2018, 2020 y 2021.....	95
Figura 91. Comparación de participación porcentual y total de emisiones de $PM_{2.5}$ para 2018, 2020 y 2021, por subcategorías de fuentes de emisión .....	96
Figura 92. Emisiones $PM_{2.5}$ de incendios para el año 2021.....	101
Figura 93. Emisiones de $PM_{2.5}$ departamentales de incendios forestales para el año 2021. ....	102
Figura 94. Emisiones BC de incendios para el año 2021 .....	103
Figura 95. Emisiones de BC departamentales de incendios forestales para el año 2021.....	103
Figura 96. Emisiones CO de incendios para el año 2021.....	104
Figura 97. Emisiones de CO departamentales de incendios forestales para el año 2021 .....	105
Figura 98. Emisiones $SO_2$ de incendios para el año 2021.....	105
Figura 99. Emisiones de $SO_2$ departamentales de incendios forestales para el año 2021 .....	106
Figura 100. Emisiones de $NO_2$ de incendios para el año 2021.....	106
Figura 101. Emisiones de $NO_2$ departamentales de incendios forestales para el año 2021 .....	107

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Inventario Consolidado de emisiones para la ciudad representativo para el año 2021 – Resumen Ejecutivo .....	13
Tabla 2. Emisiones históricas totales de PM <sub>2.5</sub> para los años 2018, 2020 y 2021 .....	14
Tabla 3. Categorías Vehiculares homologadas dentro del inventario .....	21
Tabla 4. Longitud de polígonos por tipo de vía, en km. ....	31
Tabla 5. Caracterización de las canteras del inventario de emisiones del año 2021 .....	33
Tabla 6. Inventario de emisiones de combustión por las fuentes móviles en carretera por categoría vehicular para el año 2021 con enfoque <i>Top-Down</i> . ....	38
Tabla 7. Inventario de emisiones de combustión por las fuentes móviles en carretera por categoría vehicular para el año 2021 con enfoque <i>Bottom-Up</i> . ....	40
Tabla 8. Comparación de emisiones estimadas enfoques <i>Top-Down</i> y <i>Bottom-Up</i> .....	47
Tabla 9. Emisiones de PM <sub>2.5</sub> y participación por categoría vehicular estimadas con metodología <i>Top-Down</i> .....	48
Tabla 10. Emisiones de PM <sub>2.5</sub> y participación por categoría vehicular estimadas con metodología <i>Bottom-Up</i> .....	49
Tabla 11. Inventario de emisiones por fuentes fijas por categoría.....	54
Tabla 12. Emisiones históricas de PM <sub>10</sub> de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, sin considerar la remoción por SCE, periodo 2008-2021 .....	63
Tabla 13. Emisiones históricas de PM <sub>10</sub> y PM <sub>2.5</sub> de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, considerando la remoción por SCE, periodo 2018-2021 .....	64
Tabla 14. Emisiones residenciales de año 2021 .....	68
Tabla 15. Inventario de emisiones de material particulado resuspendido en vías por estado de la malla vial .....	69
Tabla 16. Inventario de emisiones de material particulado resuspendido en vías por categoría vehicular .....	70
Tabla 17. Emisiones de material resuspendido en vías para los años 2018, 2020 y 2021.....	72
Tabla 18. Emisiones de TBW por categoría vehicular .....	74
Tabla 19. Emisiones de material resuspendido por desgaste de frenos y llantas para los años 2018, 2020 y 2021 .....	76
Tabla 20. Emisiones del año 2021 generadas por construcciones.....	78
Tabla 21. Participación por localidad en generación de emisiones de PM <sub>2.5</sub> y PM <sub>10</sub> resuspendido por construcciones .....	78
Tabla 22. Resultados de inventario de emisiones de construcciones año 2012 y 2021 .....	81
Tabla 23. resultados de BC para fuentes industriales .....	84
Tabla 24. BC para fuentes móviles en carretera .....	86
Tabla 25. Inventario Consolidado de emisiones para la ciudad representativo para el año 2021 ...	89
Tabla 26. Consolidado de emisiones de PM <sub>2.5</sub> por tipo de fuente para los años 2018, 2020 y 2021	97

## LISTA DE ACRÓNIMOS

BC	Carbono Negro (por sus siglas en ingles <i>Black Carbon</i> )
CCrBC	Contaminantes criterio y <i>Black Carbon</i>
CAC	Centros de Almacenamiento de Combustible
CALAC	programa Clima y Aire limpio en Ciudades de América Latina
CDA	Centros de Diagnóstico Automotor
EDS	Estaciones de Servicio
EPA	por sus siglas en ingles <i>Environmental Protection Agency</i>
IDU	Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá
IVE	Por sus siglas en ingles <i>International Vehicle Emissions</i>
MEDINE	Módulo de Estimación De Inventarios de Emisiones
MOVES	por sus siglas en ingles <i>Motor Vehicle Emission Simulator</i>
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 &amp; Brake Wearing</i> )
CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
NCAR	<i>National Center of Atmospheric Research</i>
ACOM	<i>Atmospheric Chemistry Observations &amp; Modeling</i> (división del NCAR)
FINN	<i>Fire Inventory form NCAR</i>
COV	Compuestos orgánicos volátiles



## ANEXOS

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

## 1. RESUMEN EJECUTIVO

Los inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos son una herramienta de gestión en donde se cuantifican las emisiones de una zona en específica, como una ciudad, generadas por las diferentes fuentes; estos inventarios de emisiones proporcionan información técnica que sirve a las autoridades ambientales para los siguientes propósitos: 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, entre otros propósitos que ayudan a decisiones de políticas públicas.

Los inventarios de emisiones estimados para Bogotá y presentados en este documento contemplan las siguientes fuentes según la disponibilidad de información: fuentes móviles en ruta (vehículos), fuentes móviles fuera de ruta (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, canteras, entre otras.

En este consolidado, se han estimado emisiones para distintas fuentes empleando (1) el enfoque *Bottom-Up*, en el cual se emplea la información desagregada espacial y temporalmente sobre la ciudad, como insumo a las estimaciones, y (2) el enfoque *Top-Down*, en el cual se emplean valores representativos de la ciudad para realizar las estimaciones, con una resolución temporal anual.

El inventario de emisiones presentado en este documento actualiza las emisiones con información del año 2021 para las siguientes fuentes: combustión en fuentes fijas industriales, combustión en fuentes móviles en ruta, emisiones por resuspensión de polvo en vías y por desgaste de frenos y llantas, construcciones y canteras. En el caso de las emisiones por fuentes fijas residenciales, este inventario presenta la primera realizada por la SDA para estas fuentes. Las demás fuentes reportadas como fuentes móviles fuera de carretera, incendios forestales, estaciones de servicio, terrenos agrícolas y emisiones biogénicas, corresponden a inventarios de emisiones realizados para los años de 2014 o en 2018.

Como resultado de las distintas estimaciones, a continuación (Tabla 1), se muestra el inventario representativo para el año 2021 de las emisiones de material particulado con diámetro igual o menor a 10 micrómetros ( $PM_{10}$ ), material particulado con diámetro igual o menor a 2.5 micrómetros ( $PM_{2.5}$ ), óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ), dióxido de azufre ( $SO_2$ ), monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles (VOC) y por segunda vez reportado en los inventarios de Bogotá el *black carbon* (BC).

La fuente con mayor aporte corresponde aquellas emisiones generadas como resuspensión de material particulado en vías secundarias (57%) y principales (3%) de la ciudad por asociadas al flujo vehicular y a la no pavimentación, en donde el 93% de estas emisiones se generan en vías sin pavimentar. Por su parte las emisiones de fuentes móviles por combustión generan el 22% de las emisiones de  $PM_{2.5}$ , teniendo la mayor participación en generación de emisiones por parte de

camiones (12%), camperos y camionetas (4%), motocicletas (2%) y automóviles (2%). Las emisiones de maquinaria amarilla representan el 5% de las emisiones, sin embargo, estos valores corresponden a estimaciones realizadas para el año 2018, las cuales serán actualizadas en próximos inventarios. Por su parte, las fuentes fijas industriales y fuentes comerciales representan el 1% de las emisiones.

**Tabla 1. Inventario Consolidado de emisiones para la ciudad representativo para el año 2021 – Resumen Ejecutivo**

Fuente de Emisión		Metodología	Años del inventario	Emisiones (t/año) <sup>a</sup>						
				PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	COV	BC
MÓVILES	En carretera	Top- Down	2021	1.684	1.527	61.115	561	440.557	69.984	NE
		Bottom-Up	2021	1.511	1.373	55.985	576	433.726	66.567	570
	Fuera de carretera <sup>b</sup>	Top- Down	2018	450	437	5.457	16	2.858	534	NE
FIJAS	Industriales	Bottom-Up	2021	184	68	1.637	420	496	87	24
	Comerciales	Bottom-Up	2014	130	68	67	190	2.529	105	NE
	EDS Y CAC	Bottom-Up	2012	NA	NA	NA	NA	NA	25.586	NE
	Residenciales	Top- Down	2021	3	3	641	5	336	27	NE
FUENTES NATUALES Y FORESTALES	Incendios Forestales	Bottom-Up	2014	61	55	14	NE	500	NE	NE
	Biogénicas	Bottom-Up	2012	NA	NA	NA	NA	NA	2.037	NE
RESUSPENDIDO	Desgaste de frenos y llantas	Bottom-Up	2021	684	89	NA	NA	NA	NA	7,2
	Vías pavimentadas	Bottom-Up	2021	1.212	293	NA	NA	NA	NA	6,8
	Vías no pavimentadas	Bottom-Up	2021	38.806	3.881	NA	NA	NA	NA	
	Rehabilitación de vías	Bottom-Up	2021	206	58	NA	NA	NA	NA	NE
	Terrenos Agrícolas	Bottom-Up	2012	5	NE	NA	NA	NA	NA	NE
	Canteras	Bottom-Up	2021	380	172	NA	NA	NA	NA	NE
	Construcciones de edificaciones	Bottom-Up	2021	904	253	NA	NA	NA	NA	NE
				<b>44.709</b>	<b>6.903</b>	<b>68.931</b>	<b>1.192</b>	<b>447.276</b>	<b>98.360</b>	<b>608</b>

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 Top-Down con excepción de las emisiones de BC.

Para los demás contaminantes criterio se encontró que las emisiones de las fuentes móviles en carretera aportan la mayoría de las emisiones de los contaminantes gaseosos (NO<sub>x</sub>, COV y CO). En cuanto a SO<sub>2</sub>, que es un contaminante clave al ser un precursor de material particulado secundario en la atmosfera, las fuentes fijas industriales aportan cerca del 35% 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 98% por las emisiones de combustión de las fuentes móviles en carretera.

En este documento se presentan de forma comparativa los resultados de los inventarios de los años 2018, 2020 y la actualización de este inventario 2021. Los resultados se presentan en Tabla 2.

Las emisiones de los años 2018 y 2020 son emisiones recalculadas con ajustes metodológicos<sup>1</sup> el fin de ser comparables un año entre otro, por lo que estos valores pueden diferir aquellos realizados en anteriores publicaciones.

De estos resultados se observa una reducción de emisiones del año 2018 hasta el 2020, en cerca de un 43% asociado al efecto de la pandemia, que se vio reflejado en una mejor calidad del aire. Entre 2020 a 2021 se observa un incremento del 17%, siendo las emisiones de 2021 aún más bajas con respecto a 2018, dado que en este año no se alcanzó a la normalidad total de dinámica de ciudad.

**Tabla 2. Emisiones históricas totales de PM<sub>2.5</sub> para los años 2018, 2020 y 2021**

Tipo de fuente	2018	2020	2021
Fuentes móviles en carretera (Top-Down)	1.820	1.130	1.527
Fuentes móviles fuera de carretera (Top-Down)	437	437	437
Fuentes fijas industriales (Bottom-Up)	316	158	68
Fuentes fijas comerciales (Bottom-Up) y residenciales (Top-Down)	71	71	71
Incendios Forestales (Bottom-up)	55	55	55
Material Resuspendido (Bottom-Up)	7.643	4.014	4.746
<b>Total</b>	<b>10.341</b>	<b>5.865</b>	<b>6.903</b>

Elaboración propia

<sup>1</sup> 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. – mejora de la metodología de extrapolación de conteos vehiculares en la malla vial para las vías secundarias. – 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 COVID19.

## 2. INTRODUCCIÓN

La Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá (SDA) desde el año 2008 ha venido desarrollando cada dos (2) años la actualización de los inventarios de emisiones de contaminantes criterio provenientes de las fuentes contaminantes de la ciudad<sup>2</sup>. 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. A partir del año 2020, diversos profesionales y contratistas de la entidad han aunado esfuerzos para documentar y publicar los inventarios de emisiones para los años 2018, 2020 y 2021 en los informes técnicos de inventarios de emisiones de contaminantes criterio y *black carbon*, basados en consultorías previas, y desarrollo de metodologías propias de estimación para la entidad.

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 2021, 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<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, COV y *black carbon* (BC), del cual se actualizó el inventario para las fuentes móviles en carretera y las fuentes fijas industriales.

Así mismo, al final del documento 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.

### 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 1. A continuación, se

---

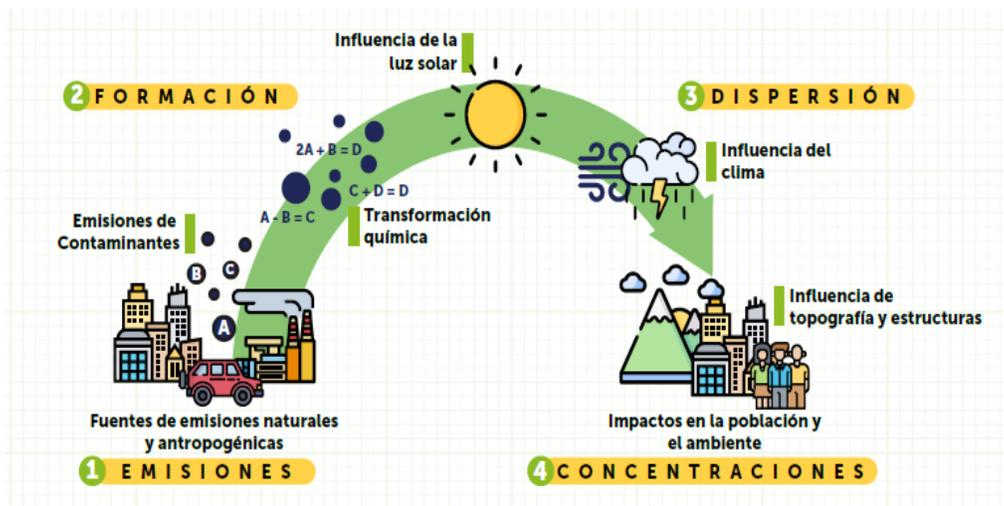
<sup>2</sup> De aquí en adelante, a menos que se especifique lo contrario, se referirá “Inventario de Emisiones” al Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio y Black Carbon, el cual es diferente al “Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero”

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 aire<sup>3</sup> 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>.

---

<sup>3</sup> Establecida en la Resolución 2254 de 2017



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

Figura 1. 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 como las actividades diarias de la ciudadanía impactan directa o indirectamente a la calidad del aire, haciéndonos más conscientes de nuestra participación en esta problemática y permitiéndonos identificar acciones sencillas mitigación.



Elaboración Propia

Figura 2. Utilidad de los inventarios de emisiones

### 2.3. Fuentes de emisión identificadas en Bogotá

La identificación de las fuentes de emisión responsables la contaminación atmosférica de la ciudad ha sido un trabajo de varios años, iniciado desde la estimación del primer inventario oficial para Bogotá en el año 2008, desarrollado en el marco de la formulación del Plan Decenal de Descontaminación del Aire en su momento y de ahí en adelante para el apoyo de planes de descontaminación vigentes, como el Plan Aire 2030, así como para alimentar y fortalecer los modelos de pronóstico del Sistema de Modelación Atmosférica 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 de acuerdo con su ubicación en internas y externas, es decir, si se encuentran 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 Ambiente<sup>4</sup>, 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

<sup>4</sup> La jurisdicción de la SDA corresponde a la zona urbana de Bogotá.



es el sur occidente de la Capital. Este tipo de emisiones no son cuantificadas en los inventarios de la ciudad, sin embargo, se tienen consideradas en los inventarios globales usados por Sistema de 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.

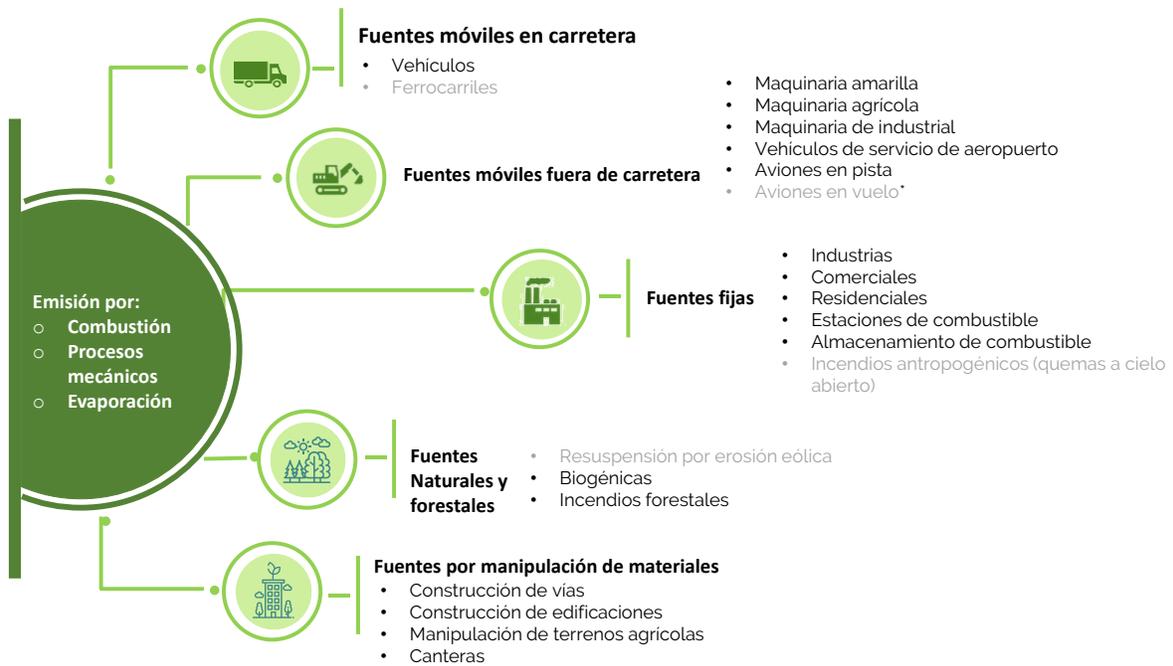
### 2.3.2. Fuentes de emisión internas

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 3. Cabe resaltar que algunas fuentes de emisión no tienen inventarios de emisiones estimados para Bogotá<sup>5</sup> o no cuentan con inventarios actualizados para el año 2021.

---

<sup>5</sup> 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.



Elaboración propia

**Figura 3. Fuentes de emisiones identificadas para la ciudad de Bogotá.**

### 3. CARACTERIZACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIONES EN BOGOTÁ

Este capítulo presenta la una breve caracterización de las fuentes de emisión de los inventarios actualizados para el año 2021. 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 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.

##### 3.1.1. 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

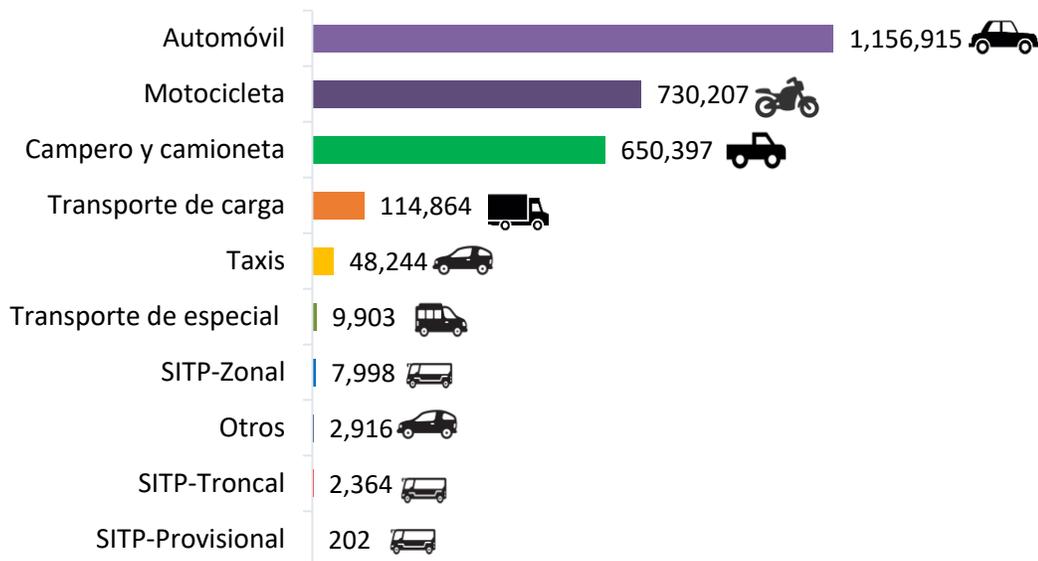
Tabla 3. Categorías Vehiculares homologadas dentro del inventario

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
	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

### 3.1.2. Cantidad de Vehículos

Para el año 2021, se estima que en la ciudad de Bogotá transitan activamente 2'724.009 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.1.4. la cantidad de vehículos para el total de las 220 utilizadas en el enfoque *Top-Down*. De forma resumida en la Figura 4 se presenta la cantidad vehículos por categorías generales vehiculares para el año 2021.

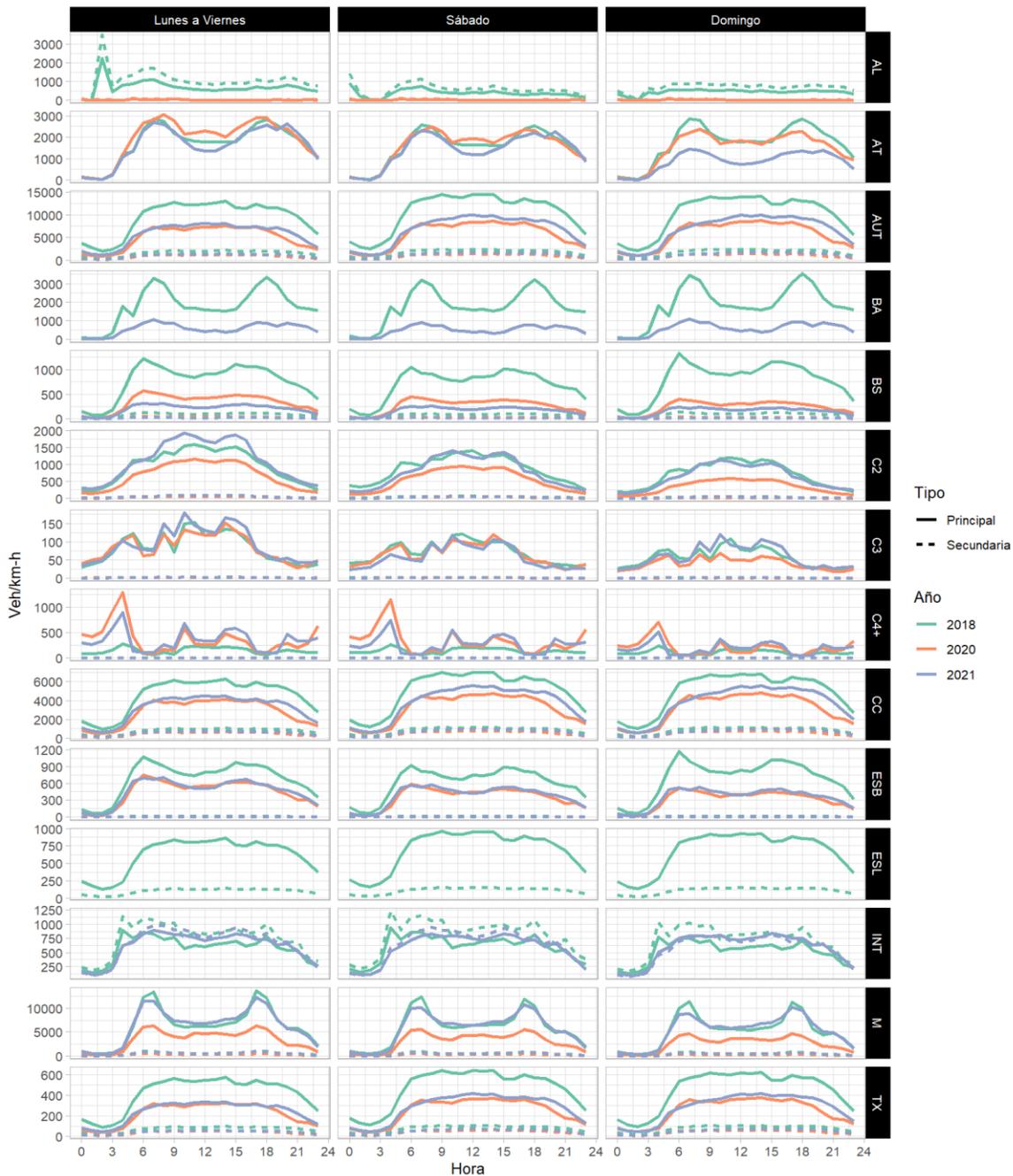


Elaboración propia

Figura 4. Cantidad de vehículos por categoría vehicular del inventario *Top-Down*

### 3.1.3. Flujos Vehiculares

Los flujos vehiculares en la ciudad son estimados a partir de la metodología expuesta en la sección A.2. del Anexo 1; a partir de los resultados generados para los años 2018, 2020 y 2021, se pudo establecer el comportamiento promedio de cada una de las categorías vehiculares los cuales se representan en la siguiente figura.



Elaboración propia

**Figura 5. Cantidad de vehículos promedio por hora, por km de vía.**

De acuerdo con lo observado en la Figura 5, los vehículos livianos<sup>6</sup> (AUT, CC, TX), tuvieron un descenso en el flujo vehicular de la ciudad entre el 2018 y el 2020, producido principalmente por las cuarentenas del COVID-19, y entre el 2020 y 2021 aumentaron ligeramente, pero no a los valores esperados para el año 2018, debido a que en el año 2021 aun existían condiciones inusuales de

<sup>6</sup> Se omite del análisis los vehículos especiales livianos (ESL), ya que desde el 2020 no se ha podido contabilizar directa o indirectamente la cantidad de vehículos en esta categoría.

flujos debido a medidas focalizadas debidas a la pandemia del COVID-19. Por otro lado, las motocicletas (M), pese a la reducción de flujos en el año 2020 producto del COVID-19, en el año 2021 volvió a tener flujos vehiculares similares al año 2018.

En el caso del transporte de carga, los camiones de dos ejes (C2) han tenido un incremento leve entre el 2018 y 2021, y fue la única categoría en la cual los flujos vehiculares se redujeron producto de las medidas del COVID-19 en el año 2021, en contraposición, los camiones de 4 ejes o más (C4+) han mostrado un incremento sostenido en los flujos entre el año 2018 y 2021; finalmente la categoría de 3 ejes ha tenido flujos relativamente constantes en los últimos años. Se destaca que los incrementos en los flujos vehiculares para los camiones son más notorios en los días hábiles (lunes a viernes).

En el caso de los vehículos asociados a Transmilenio<sup>7</sup>, los vehículos articulados (AT) han mantenido un comportamiento similar para cada año, excepto para los domingos en donde los flujos vehiculares de esta categoría descendieron cerca del 50% entre el 2018 y 2021. En el caso de los biarticulados, el descenso entre el año 2018 y 2021 de los flujos vehiculares también estuvo cerca del 50%, pero fue notorio en cada uno de los días tipo.

Para los buses del Sistema Integrado de Transporte Público (BS), entre el 2018 y 2021 tuvieron un descenso sostenido, mientras que los buses especiales (ESB) han mantenido un comportamiento similar a lo registrado en el 2020 cuando se presentaron las restricciones por el COVID-19. Finalmente, el comportamiento de los flujos vehiculares de los buses intermunicipales (INT) creció levemente entre el año 2018 y 2021, principalmente en horas del día<sup>8</sup>.

### **3.2. 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, 2018), se identificaron 2233 fuentes instaladas de combustión y de combustión+proceso, de las cuales 2088 se encuentran en operación, teniendo que, las 145 fuentes que no están en operación, corresponden a las que se encuentran como respaldo a otras fuentes, a las que tienen medidas preventivas impuestas por la SDA y a las fuentes que no están en funcionamiento por la capacidad operativa de la industria.

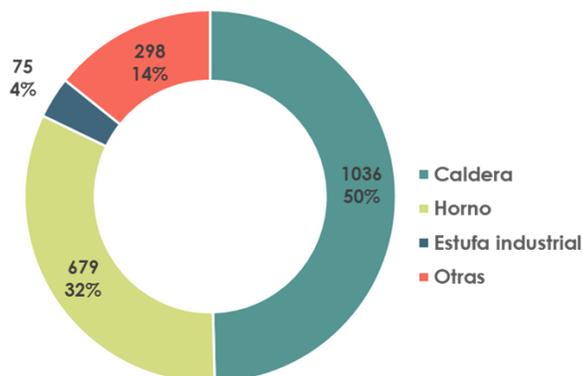
Por lo anterior, de las fuentes fijas que efectivamente se encuentran en operación, se tiene que los principales tipos de fuentes corresponden a calderas y hornos (ver Figura 6), donde el 50% de éstas corresponde a calderas y el 32% a hornos, de los cuales se encuentra subtipos como de: alimentos, ladrilleros, 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%, tostadoras, secadoras y marmitas, cada una con el 2% y, el 8% restante, a otro

---

<sup>7</sup> Se omite el análisis de los vehículos alimentadores (AL), ya que estos para el 2020 fueron difíciles de caracterizar y ya para el 2021 no son tenidos en cuenta dentro de los aforos vehiculares de la secretaría de movilidad, la cual contabiliza este tipo de vehículos dentro de los buses del SITP (BS).

<sup>8</sup> Los buses intermunicipales no fueron categorizados en los aforos vehiculares hechos en el año 2020 por la Secretaría de Movilidad, razón por la cual no se incluye en el análisis.

tipo de fuentes como ramas de termofijado, torres de secado, impresoras de gran formato, entre otras.

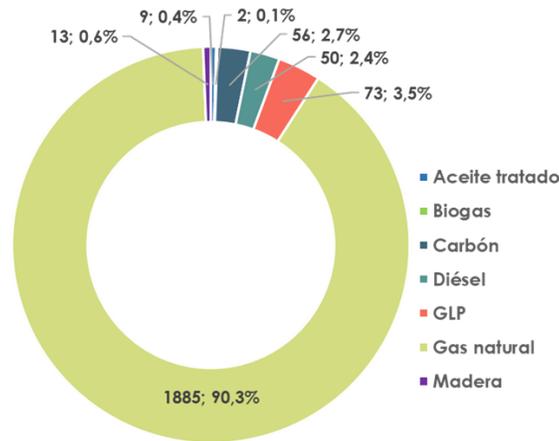


Elaboración propia

**Figura 6. 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 7), se tiene que el gas natural es el de mayor uso, con un 90% de uso dentro de los procesos productivos; le sigue el gas licuado de petróleo - GLP con un 3,5%, el carbón con el 2,7% y el diésel con el 2,4%. Otros combustibles utilizados, con menor participación, corresponden a madera con un 0,6%, aceite usado tratado con un 0,4% y el 0,1% restante con biogás.

En la Figura 8 se presenta la distribución de tipo de combustibles por sector productivo, teniendo que el gas natural es utilizado en todos los sectores, principalmente en el sector de alimentos y bebidas (32%), seguido de servicio de lavado y limpieza, incluso la limpieza en seco, de productos textiles y de piel (9,9%); posteriormente en los sectores de fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo (6,8%), fabricación y acabado de productos textiles (6%) y servicio de alojamiento y hospedaje (5,8%). Para el caso del consumo de GLP, es usado principalmente en los sectores de alimentos y bebidas (28,8%) y de fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo (26%); algunos otros sectores, con menor participación de uso, corresponden a: fabricación de productos metalúrgicos básicos (6,8%), fabricación de sustancias y productos químicos (5,5%) y fabricación de muebles y otras industrias manufactureras (5,5%).



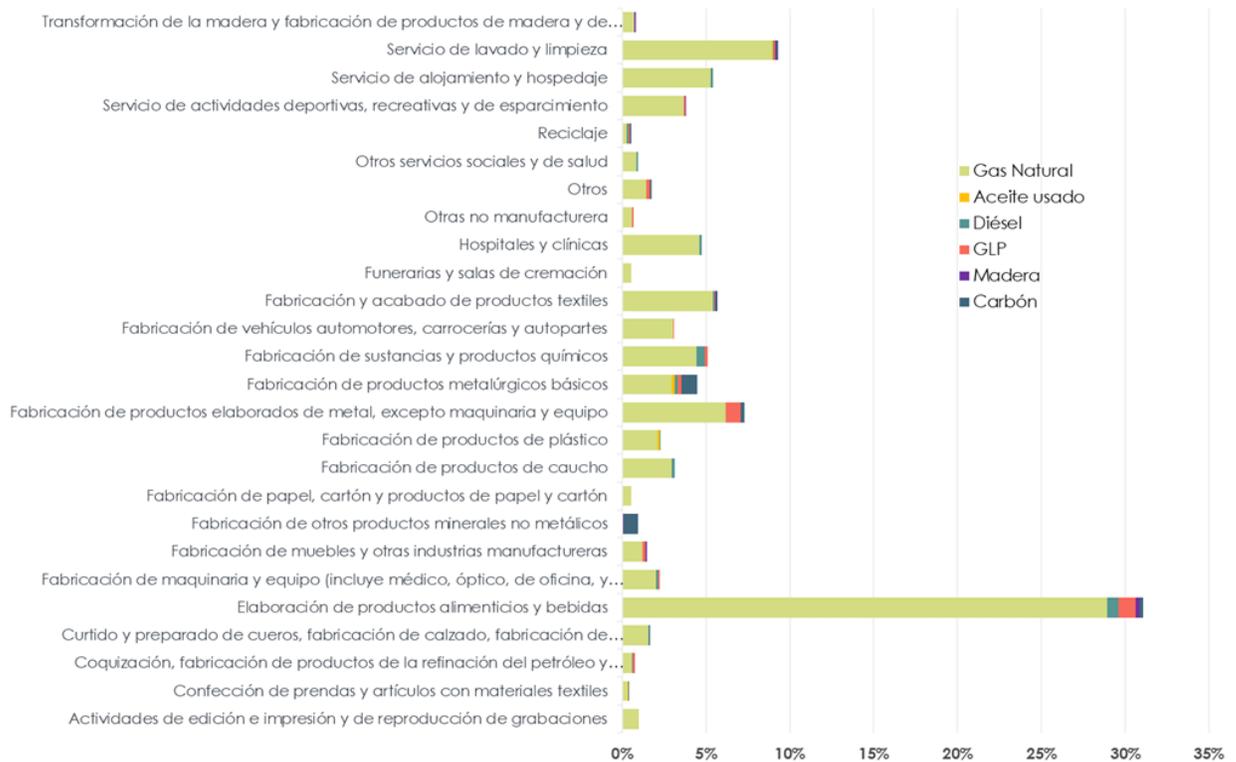
Elaboración propia

**Figura 7. Distribución de las fuentes fijas por tipo de combustible usado.**

Respecto al carbón, este combustible es utilizado en la fabricación de productos metalúrgicos básicos (35,7%), seguido, muy de cerca, por el sector de fabricación de otros productos minerales no metálicos (32,1%) y ya en menor porcentaje en los sectores de elaboración de productos alimenticios y bebidas (8,9%) y fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo (7,1%). Otros sectores con uso de carbón dentro de sus procesos productivos corresponden a: fabricación y acabado de productos textiles (3,6%), servicio de lavado y limpieza, incluso la limpieza en seco, de productos textiles y de piel (3,6%), entre otros.

El diésel es usado en los sectores de elaboración de productos alimenticios y bebidas (28%) y fabricación de sustancias y productos químicos (20%), principalmente. Entre otros sectores, con menor participación de uso, están: fabricación de productos de caucho (8%); fabricación de maquinaria y equipo (incluye médico, óptico, de oficina, y eléctrico) (6%); fabricación de productos metalúrgicos básicos (6%); hospitales y clínicas (6%) y servicio de alojamiento y hospedaje (6%). Para el caso de la madera, este combustible es utilizado en el sector de elaboración de productos alimenticios y bebidas (38,5%), así como de transformación de la madera y fabricación de productos de madera y de corcho y, fabricación de muebles y otras industrias manufactureras, cada uno con un 15,4%; con menor participación, los sectores de: fabricación de otros productos minerales no metálicos; fabricación y acabado de productos textiles; servicio de actividades deportivas, recreativas y de esparcimiento y, servicio de lavado y limpieza, incluso la limpieza en seco, de productos textiles y de piel, cada uno con una participación del 7,7%.

Para finalizar, el aceite usado tratado es empleado en los sectores de fabricación de productos metalúrgicos básicos (44,4%), fabricación de productos de plástico (33,3%) y en los sectores de confección de prendas y artículos con materiales textiles y, servicio de lavado y limpieza, incluso la limpieza en seco, de productos textiles y de piel, cada uno con una participación del 11,1%.

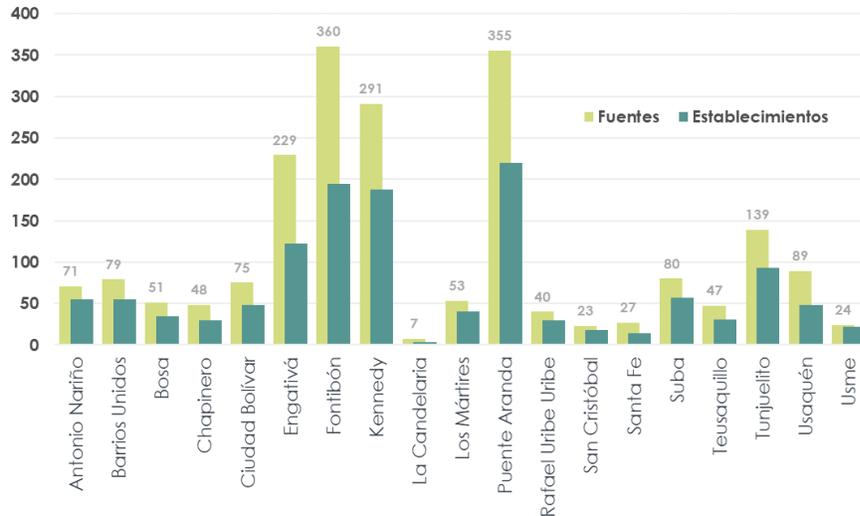


Elaboración propia

**Figura 8. Participación de uso de combustibles por sectores productivos.**

Con relación a la localización de fuentes fijas industriales por combustión y combustión+proceso, en la Figura 9 se presenta la distribución de establecimientos y fuentes industriales por localidad. Según la información del SIIFF (Secretaría Distrital de Ambiente, 2018) se mantiene la misma dinámica de localización que se presentó en el inventario de emisiones de 2018 y 2020, teniendo que las localidades donde hay mayor presencia de fuentes son: Fontibón y Puente Aranda, donde se localizan las principales áreas industriales o con zonas específicas para el desarrollo industrial; seguidas por Kennedy, Engativá, Tunjuelito y Usaquén.

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% de las fuentes fijas y el 15% de establecimientos que se encuentran operando en la ciudad; en Puente Aranda se localiza el 17% de las fuentes fijas y el 17% de establecimientos, en la localidad de Kennedy se encuentra el 14% de fuentes fijas de la ciudad y el 14% de establecimientos; en la localidad de Engativá se encuentra el 11% de fuentes fijas y el 9% de establecimientos y, finalmente, dentro de las localidades con mayor representatividad de cantidad de fuentes fijas está Tunjuelito, con el 7% de participación de fuentes fijas y el 7% de establecimientos.

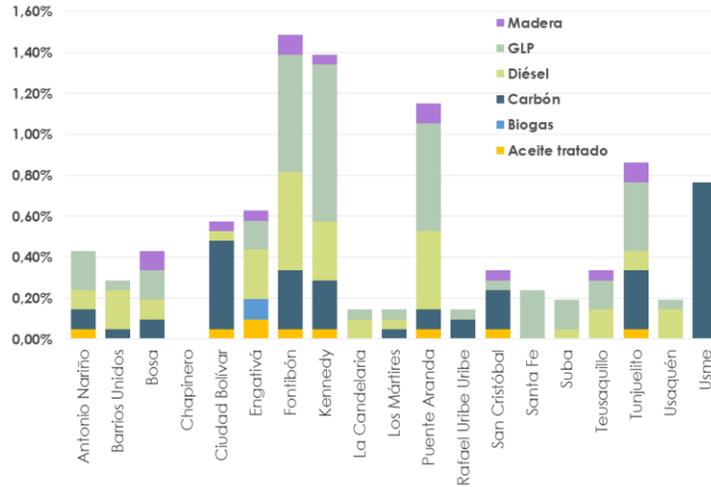


Elaboración propia

**Figura 9. Distribución de fuentes y establecimientos por localidad.**

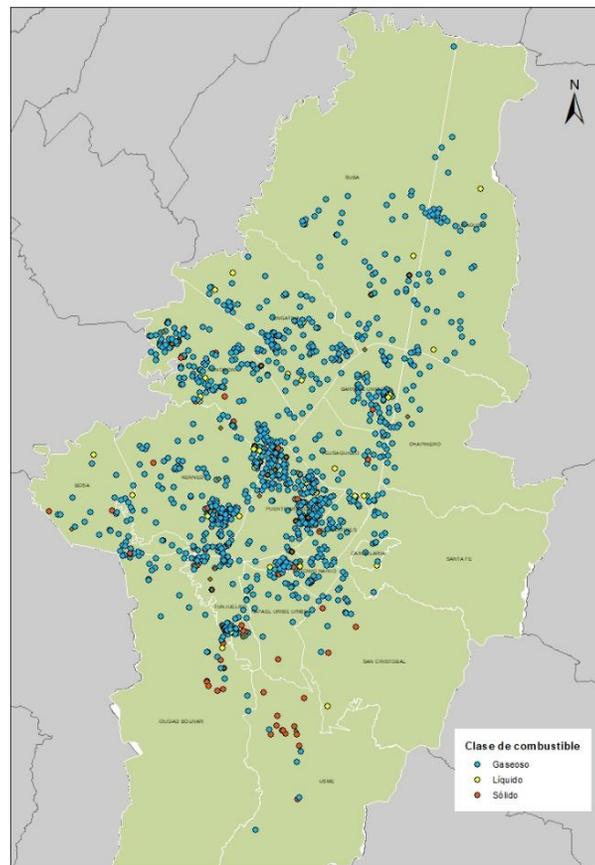
Las localidades que presentan menor cantidad de fuentes fijas y establecimientos son La Candelaria, con solo el 0,3% del total de fuentes y el 0,2% de establecimientos; San Cristóbal y Santa Fe, cada una, con 1% de fuentes y un 1% de establecimientos, así como la localidad de Usme, con el 1% del total de fuentes de la ciudad y el 2% de los establecimientos.

Respecto a los usos de combustible por localidad, el uso de gas natural es generalizado en todas las localidades, por lo cual, en la Figura 10 se presenta exclusivamente los otros tipos de combustibles, encontrando que, el carbón es principalmente utilizado en las localidades de Usme, Ciudad Bolívar, Tunjuelito, Fontibón, Kennedy y San Cristóbal. El GLP es usado dentro de los procesos productivos en la mayoría de las localidades, principalmente en las zonas industriales de Kennedy, Fontibón, Puente Aranda y Tunjuelito; por su parte, el diésel, así como el GLP, es usado principalmente en las zonas industriales de Kennedy, Fontibón, Puente Aranda, y también en Engativá y Barrios Unidos. La madera, es usada con mayor frecuencia en fuentes ubicadas en las localidades de Fontibón, Puente Aranda, Tunjuelito y Bosa y, finalmente, el aceite usado tratado es utilizado principalmente en las localidades de Engativá, San Cristóbal, Puente Aranda, Fontibón, Kennedy, Ciudad Bolívar, Antonio Nariño y Tunjuelito. Por otro lado, en la Figura 11 se presenta, como complemento a la anterior información, los mapas con la localización de las fuentes fijas con uso de combustibles sólidos, líquidos y gaseosos.



Elaboración propia

Figura 10. Distribución de uso de combustibles por localidad.

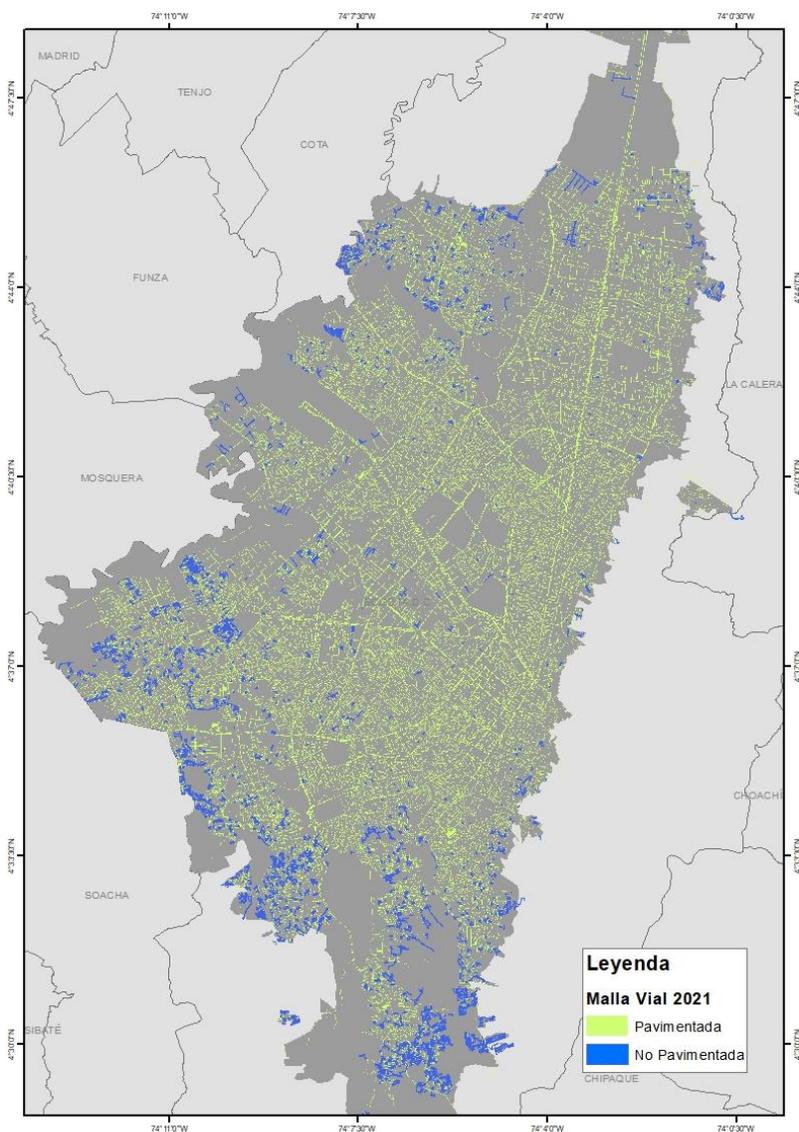


Elaboración propia

Figura 11. Ubicación de las fuentes fijas industriales para el año 2021 por tipo de combustible

### 3.3. Malla vial de la ciudad

La caracterización de la malla vial se realizó acorde a la manipulación del archivo geográfico que representa las vías de la ciudad para el año 2021 proporcionado por el IDU, el cual esta detallado en la sección B del Anexo1, 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 12 se observa la distribución de vías pavimentadas y no pavimentadas, y en la Tabla 4 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.



Elaboración propia, información basada en IDU (2021) con ajustes del autor

**Figura 12. Estado de la malla vial para el año 2021**

**Tabla 4. Longitud de polígonos por tipo de vía, en km.**

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

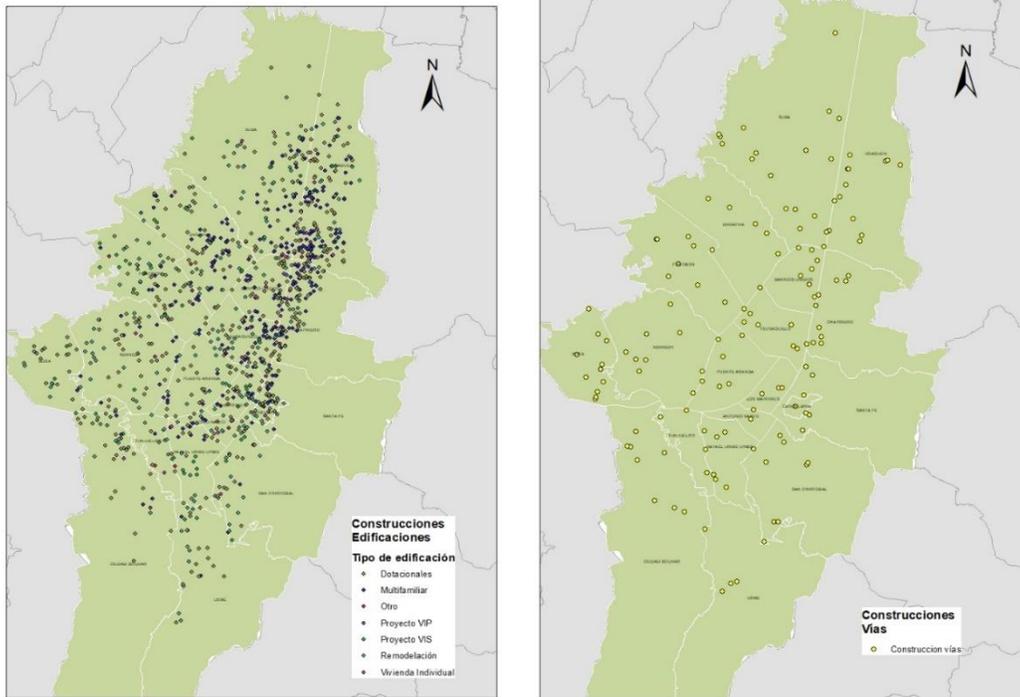
Elaboración propia

### 3.4. 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 PM<sub>10</sub> y el PM<sub>2.5</sub>; 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, las obras de construcción generan emisiones asociadas a la maquinaria empleada para las mismas, pero éstas son contabilizadas en la categoría de fuentes móviles fuera de carretera.

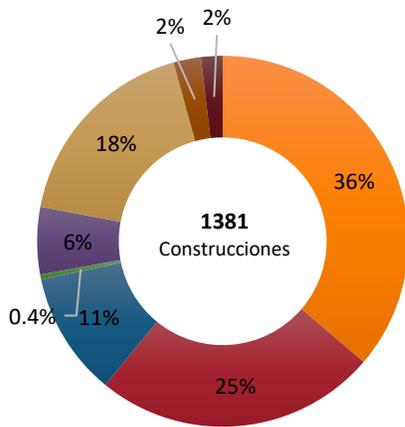
La cantidad y tipo de obras de construcción se fundamenta en la base de datos suministrada por la Subdirección de Control Ambiental al Sector Público de la Secretaría Distrital de Ambiente, que contiene el valor de las variables principales para la estimación de las emisiones como es el área de construcción y tiempo de duración basada de en las fechas registradas. Realizando una serie de filtros a esta base de datos se identificaron 1.381 construcciones con información viable para su cálculo de emisiones y que realizaron actividades durante el año 2021.

En la Figura 13 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 15) son Usaquén, Suba y Chapinero que en conjunto acogen cerca del 34% de las construcciones identificadas; finalmente, dentro de las construcciones del año 2021 ha predominado aquellas al dipo multifamiliar y dotacional, con un porcentaje de participación conjunto de 61%, y se destaca la participación de las obras en la infraestructura vial del 11%.



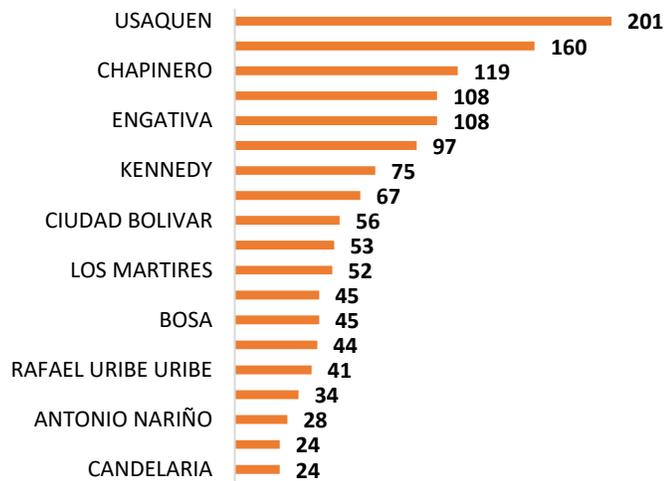
Fuente: Elaboración propia, información basada en los registros de la SDA año 2021.

**Figura 13. Mapa de las construcciones de edificaciones (izquierda) y de construcciones de vías (derecha), identificadas en el inventario 2021.**



Fuente: Elaboración propia, información basada en los registros de la SDA año 2021.

**Figura 14. Distribución por tipo de construcción.**



Fuente: Elaboración propia, información basada en los registros de la SDA año 2021.

**Figura 15. Cantidad de construcciones por localidad**

### 3.5. Canteras

Las canteras generan emisiones contaminantes como material resuspendido por procesos como excavación, transporte de material, uso de maquinaria, entre otras. Para el año 2021 se llevó a cabo la actualización del inventario de emisiones de canteras que se estimó inicialmente en el año 2012 por la Universidad de La Salle (Universidad de La Salle & SDA, 2013). 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.

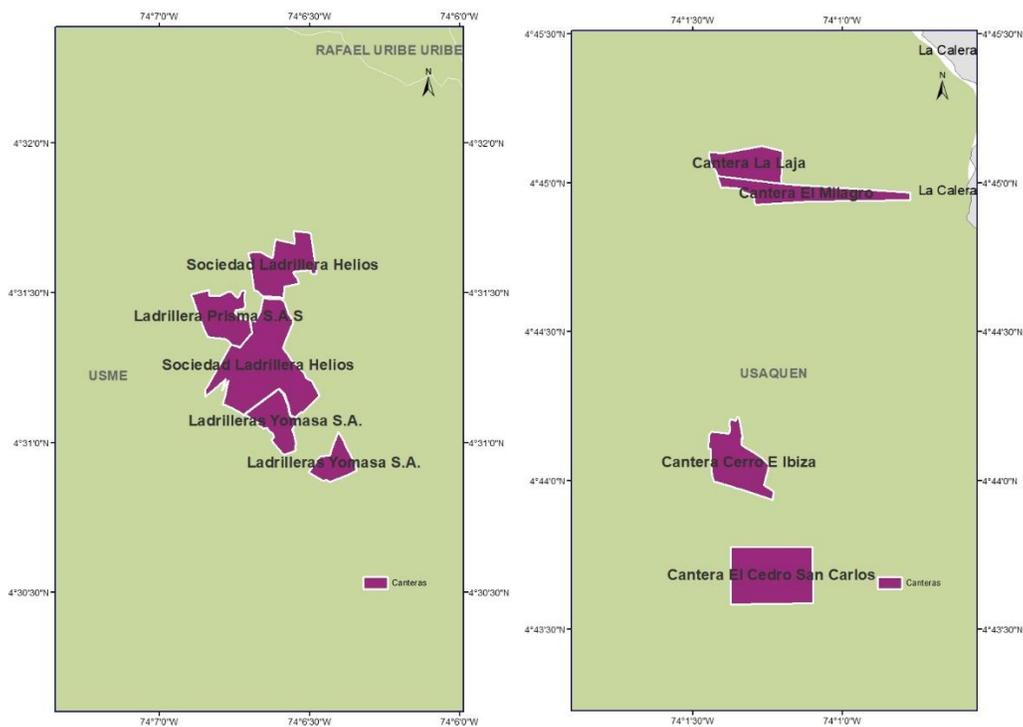
Las actividades mineras se desarrollan en el sur y nororiente de Bogotá en las localidades de Usme y Usaquén respectivamente, como se presentan en los mapas de la Figura 16. Adicionalmente, en la Tabla 5 se presentan las características de las canteras usadas en el inventario de emisiones incluyendo 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.

Adicionalmente, existen otras canteras ubicadas en la localidad de ciudad Bolívar a las cuales la Secretaría Distrital de Ambiente realiza actividades de seguimiento y control, pero al estar ubicadas por fuera del perímetro urbano no son cuantificadas en este inventario.

**Tabla 5. Caracterización de las canteras del inventario de emisiones del año 2021**

LOCALIDAD	CANTERA	AREA (m <sup>2</sup> )	MATERIAL EXTRAIDO	ESTADO
Usme	Ladrillera Prisma S.A.S	82.702,0	Arena y arcilla	PMA
Usme	Sociedad Ladrillera Helios_1	241.153,0	Arena y arcilla	PMA
Usme	Sociedad Ladrillera Helios_2	99.962,0	Arena y arcilla	PMA
Usme	Sociedad Ladrilleras Yomasa S.A.	116.696,0	Arena y arcilla	PMA
Usaquén	Cantera El Cedro San Carlos	175.000,0	Arena	PMRRA
Usaquén	Cantera El Milagro	83.300,0	Arena	PMRRA
Usaquén	Cantera La Laja	83.300,0	Arena	PMRRA
Usaquén	Cantera Cerro E Ibiza	109.000,0	Arena	PMRRA

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

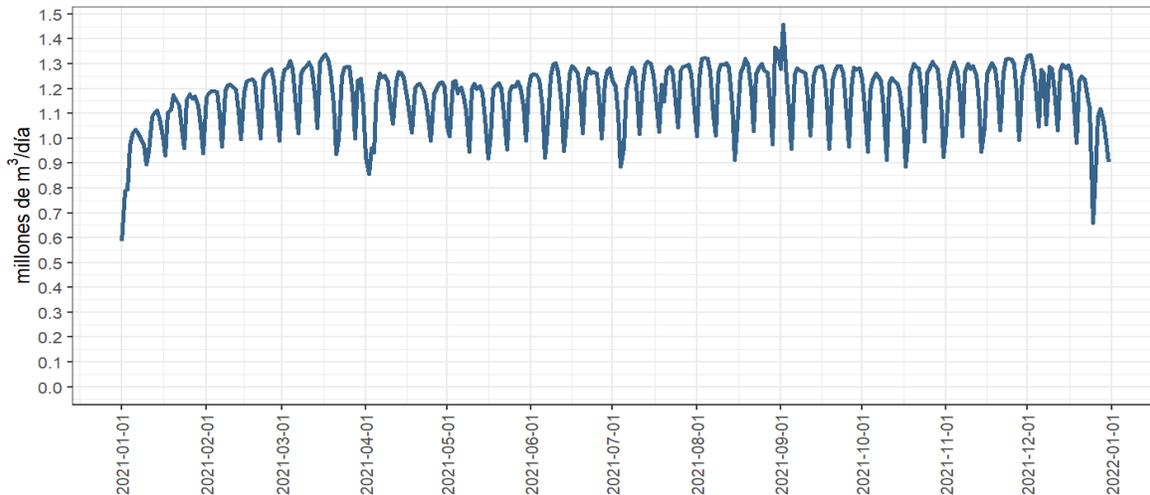


Fuente: Elaboración propia, información basada en base de datos de la Subdirección del recurso hídrico y del suelo de la SDA

**Figura 16. Ubicación de canteras en Usme y Usaquén en Bogotá**

### 3.6. 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 2021. La cantidad de energía consumida por el consumo de gas natural residencial para la ciudad en el año 2021 se presenta en la Figura 17, en donde se evidencia reducción a final y principio de año y durante semana santa.



Elaboración propia, basada en la información del Gestor del Mercado del Gas Natural en Colombia (2022)

**Figura 17. Consumo energético de gas natural por fuentes residenciales en la ciudad de Bogotá**

### 3.7. Incendios forestales

Los incendios forestales son una fuente importante de contaminantes atmosféricos a escala global, que pueden afectar la calidad del aire a escala urbana. Por medio de imágenes satelitales, en los últimos años, se ha identificado que estos eventos ocurren durante todo el año en el norte de sur América, con un incremento significativo durante la temporada seca (principalmente en los meses de febrero-marzo y septiembre-octubre) y en donde estudios han reportado que los incendios que ocurren en la Orinoquía y la Amazonía colombo-venezolana, son los que tienen el potencial de 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. Cuando existe una afectación por este tipo de emisiones, se han 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.

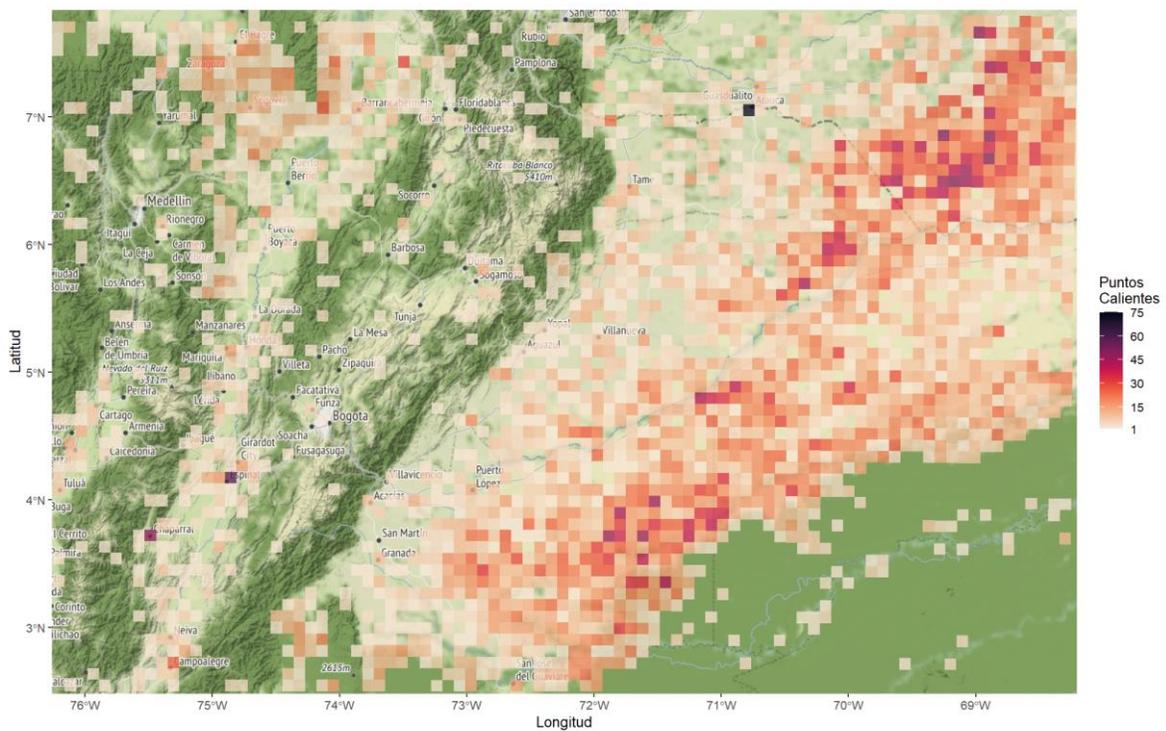
Dada la importancia de los incendios forestales en la calidad del aire de la ciudad, en este inventario se analizan los datos reportados para el año 2021, con el fin de realizar seguimiento de los posibles impactos, y poder conocer con mayor veracidad el impacto sobre la calidad del aire de la ciudad de Bogotá.

Como parte del seguimiento a las emisiones de incendios forestales, el Grupo de Modelación Atmosférica de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá, emplea bases de datos globales que permiten dimensionar las emisiones por quema de biomasa, dentro de las cuales se encuentra el Inventario de Emisiones de Incendios de la NCAR - FINN (NCAR/ACOM, 2022) y con la cual se realizó el análisis de puntos calientes asociados a incendios forestales y sus respectivas emisiones para este año (Figura 18), en la zona de influencia directa para la ciudad.

FINN emplea las mediciones del sensor VIIRS de alta precisión. Con la información del inventario global FINN, se identificaron puntos calientes, como los píxeles que reportaron áreas con incendios y luego se agruparon para cada 10 km<sup>2</sup> en la zona de influencia de la ciudad de Bogotá, los cuales están representados en la Figura 18. Adicionalmente, se hizo un conteo de incendios por

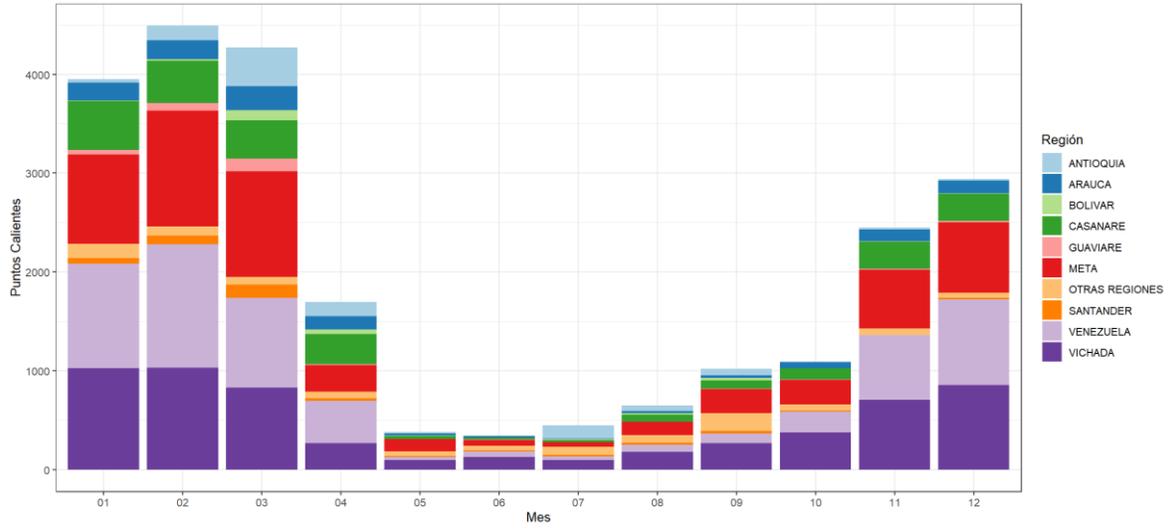
departamento y se agruparon temporalmente como se visualiza en la Figura 19. Para el 2021 en total se presentaron 23.738 puntos calientes asociados a incendios forestales en el área de influencia de Bogotá, los cuales fueron más frecuentes en los meses de enero a marzo, noviembre y diciembre de 2021 con valores superiores a 2000 puntos calientes por mes, adicionalmente, las regiones en las cuales se concentraron la mayoría de los puntos calientes fueron Vichada, Meta, Casanare y Venezuela. Se resalta finalmente que la mayor concentración de puntos calientes se encontró en los municipios de Arauca, El Espinal y Chaparral con valores superiores a los 40 puntos calientes por cada 10 km<sup>2</sup>.

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 presenta detalla en la sección 13 de este documento.



Elaboración propia, basada en la información proporcionada por el NCAR/ACOM (2022)

**Figura 18. Comportamiento espacial de puntos calientes asociados a incendios forestales para el año 2021**



Elaboración propia, basada en la información proporcionada por el NCAR/ACOM (2022)

**Figura 19. Comportamiento temporal de puntos calientes asociados a incendios forestales para el año 2021**

## 4. INVENTARIO DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE FUENTES MÓVILES EN CARRETERA

Los inventarios de emisiones en este documento se estiman a través de dos enfoques. El primero corresponde a un enfoque *Top-Down*, el cual utiliza información en un rango de tiempo y zona específica, para así obtener emisiones globales para la ciudad, 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. 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 vale la pena realizar y 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 según lo requerido por la Secretaría Distrital de Ambiente.

### 4.1. Inventario de emisiones *Top-Down*

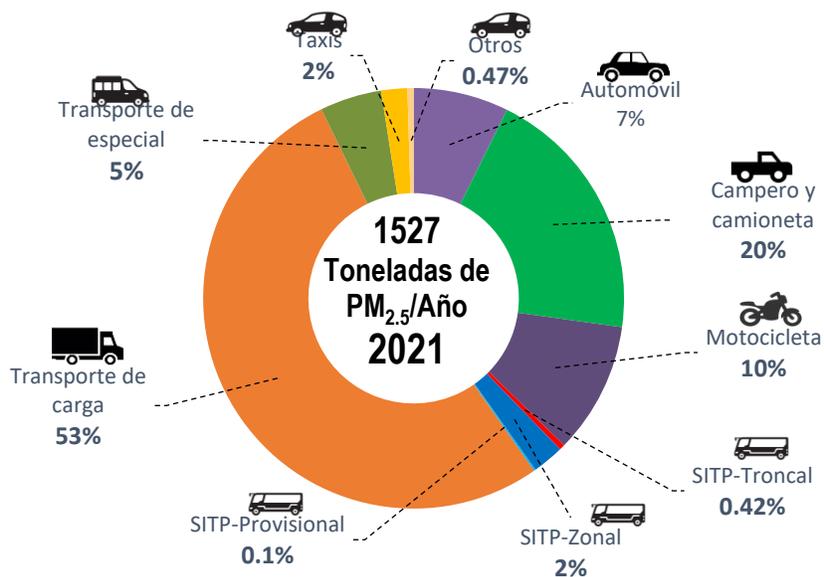
El inventario de emisiones del año 2021 estimado por enfoque *Top-Down* por categorías vehiculares y contaminantes criterio se presenta en la Tabla 6.

**Tabla 6. Inventario de emisiones de combustión por las fuentes móviles en carretera por categoría vehicular para el año 2021 con enfoque *Top-Down*.**

Categoría vehicular	Emisiones (t/año)					
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	VOC	SO <sub>x</sub>
Automóvil	124,2	111,7	13.324,4	139.009,1	28.074,0	71,2
Campero y camioneta	337,3	303,6	9.149,2	72.529,0	14.157,4	43,4
Transporte de carga	890,5	801,4	22.496,4	11.851,8	2.491,3	4,8
Motocicleta	159,0	154,6	4.698,4	173.228,5	22.297,1	394,9
SITP-Troncal	7,2	6,4	17.83,4	1.274,8	15,4	16,8
SITP-Zonal	41,1	37,0	3.499,0	4.051,8	44,3	13,9
SITP-Provisional	2,4	2,1	73,2	23,6	5,2	0,1
Transporte de especial	80,4	72,4	2.482,3	2.994,6	2.34,1	0,9
Taxis	34,0	30,6	3.311,0	28.025,8	2.429,8	14,8
Otros	8,0	7,2	297,6	7.568,4	235,3	0,4
<b>Total</b>	<b>1.684,1</b>	<b>1.527,1</b>	<b>61.114,9</b>	<b>440.557,5</b>	<b>69.983,8</b>	<b>561,2</b>

Elaboración propia

En total se emitieron 1.527 toneladas de  $PM_{2.5}$  (Figura 20) de las cuales, la categoría de camiones o transporte de carga es el que tiene mayor participación con un 53%, seguido de camperos y camionetas (20%) y motocicletas (10%), esta última categoría aumentando su participación con respecto a años anteriores dada los ajustes metodológicos implementados para este inventario del año 2021.

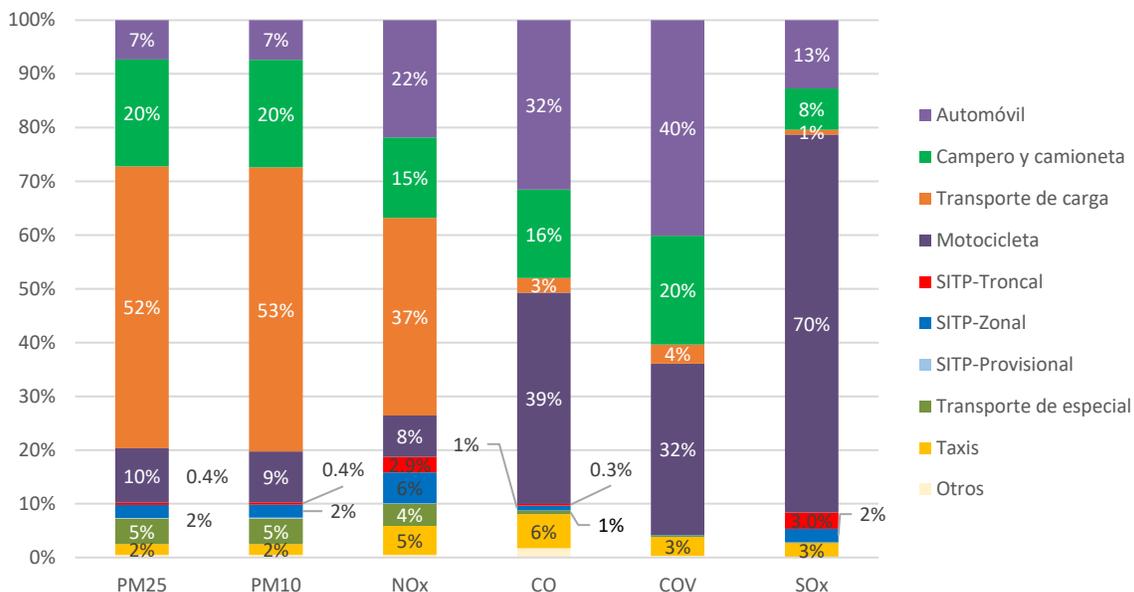


Elaboración propia

**Figura 20. Participación porcentual por categoría vehicular de las emisiones de  $PM_{2.5}$  estimada con enfoque *Top-Down* para el año 2021.**

En cuanto a los demás contaminantes criterio, según lo presentado en la Figura 22, la categoría de motocicletas tiene una participación importante en CO (39%), COV (32%) y mayoritariamente en  $SO_2$  (70%), este último contaminante precursor de material particulado secundario en la atmósfera.

Así mismo en cuanto a CO y COV, los automóviles tienen un mayor aporte que las demás categorías ya que la mayoría de estos vehículos utilizan como combustible Diésel.



Elaboración propia

Figura 21. Participación porcentual en emisiones por categoría vehicular para los contaminantes criterio estimada con enfoque Top-Dow para el año 2021.

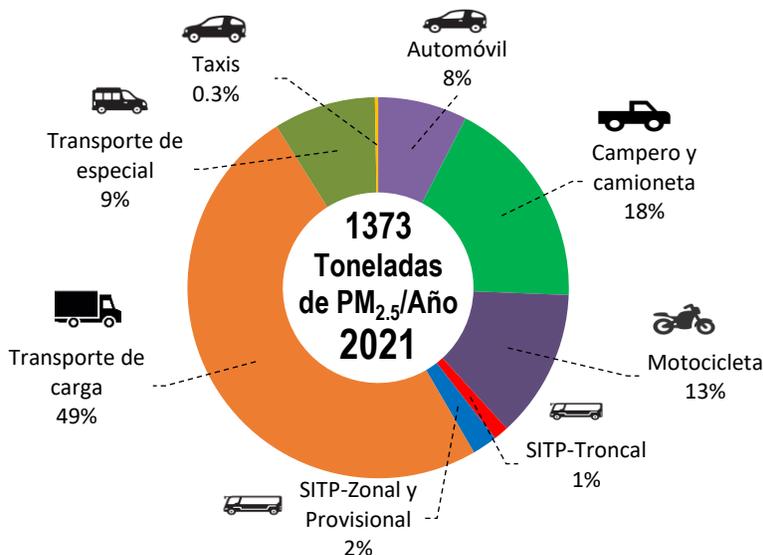
#### 4.2. Inventario de emisiones *Bottom-Up*

En la Tabla 7, se presentan las emisiones totales por categoría vehicular generadas a partir del inventario de la metodología *Bottom-Up*.

Tabla 7. Inventario de emisiones de combustión por las fuentes móviles en carretera por categoría vehicular para el año 2021 con enfoque *Bottom-Up*.

Categoría vehicular	Emisiones (t/año)					
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	COV	SO <sub>x</sub>
Automóvil	115,7	104,2	12.318,4	128.506,6	25.973,3	65,9
Camper y camioneta	275,0	247,5	7.397,5	58.577,8	11.450,1	35,1
Motocicleta	178,3	173,2	5.221,0	192.647,8	24.850,1	438,8
SITP-Troncal	19,4	17,5	4.344,8	3.671,6	32,3	9,7
SITP-Zonal y Provisional	32,5	29,2	2.706,9	2.202,5	28,1	17,8
Transporte de carga	754,3	678,9	19.336,9	14.431,4	2.778,7	4,6
Transporte de especial	132,1	118,9	4.257,5	30.237,5	1.152,9	2,5
Taxis	4,2	3,8	402,5	3.450,5	301,2	1,9
<b>Total</b>	<b>1.511,5</b>	<b>1.373,0</b>	<b>55.985,5</b>	<b>433.725,7</b>	<b>66.566,6</b>	<b>576,2</b>

Elaboración propia



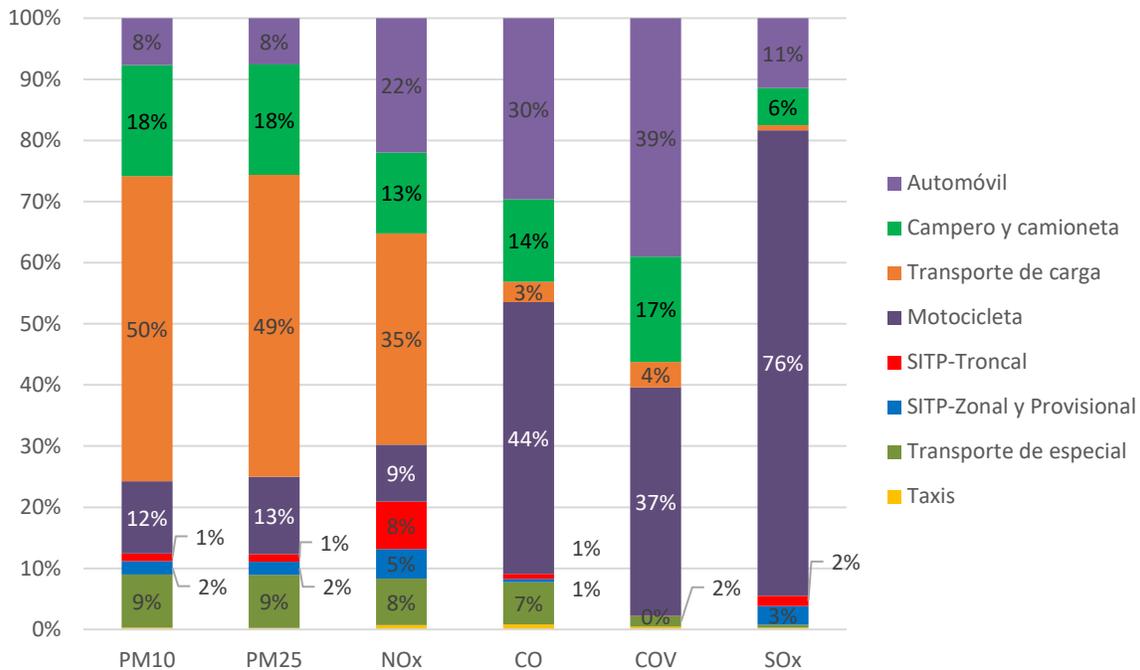
Elaboración propia

**Figura 22. Participación porcentual por categoría vehicular de las emisiones de  $PM_{2.5}$ , estimada con enfoque Bottom-Up, año 2021.**

La distribución de emisiones de  $PM_{2.5}$  (Figura 22) y la de los demás contaminantes criterio (Figura 23) tienen un comportamiento similar a las estimadas a la metodología *Top-Down* descritas en la sección 4.1. 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 8% en emisiones de  $NO_x$ .

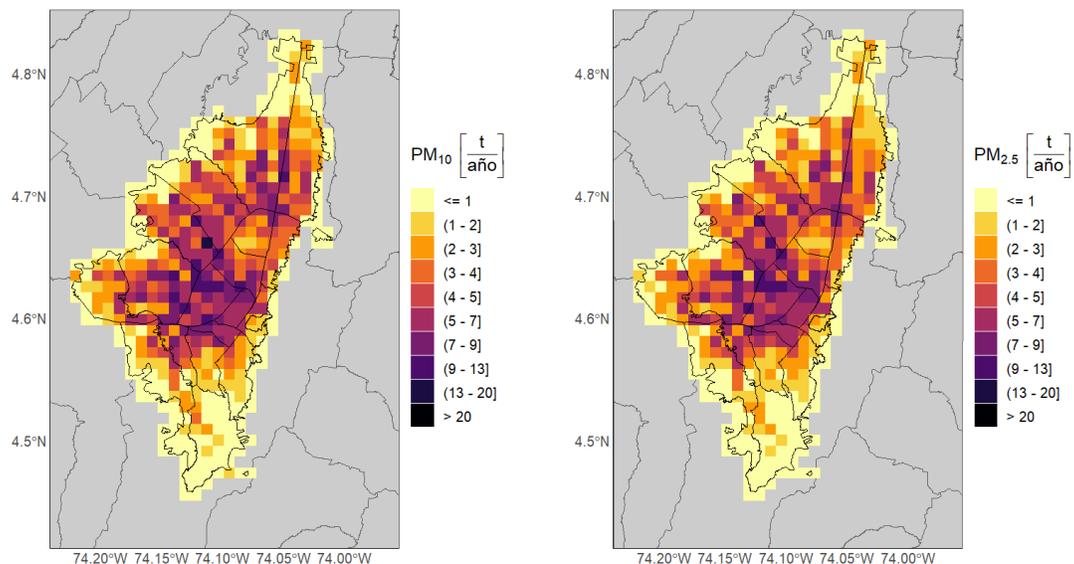
#### 4.2.1. Desagregación espacial para emisiones

La desagregación de emisiones de forma espacial por medio de mapas se presenta desde la Figura 24 a la Figura 26, 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 Caracas.



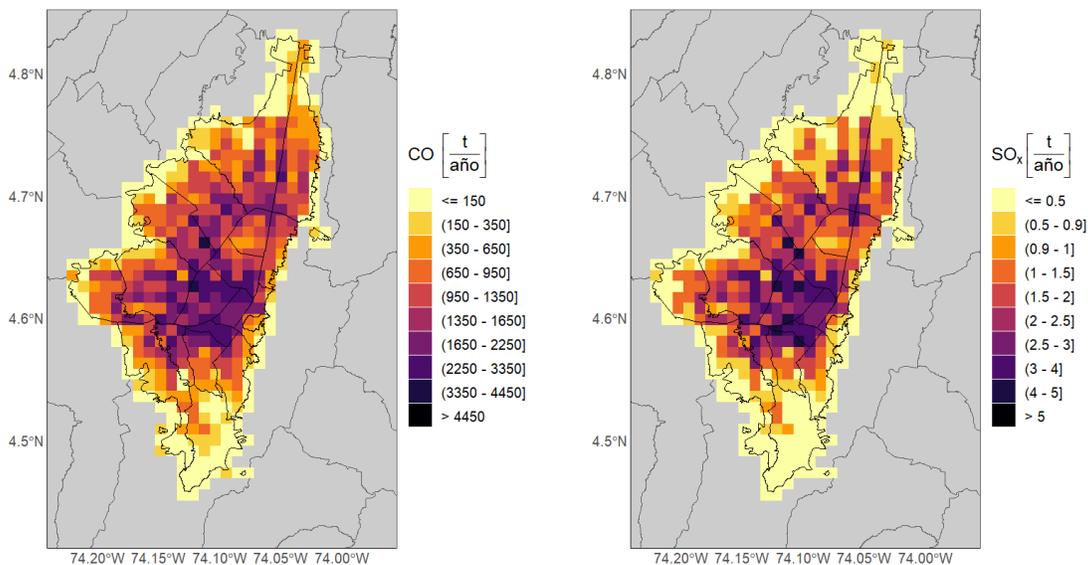
Elaboración propia

**Figura 23. Participación porcentual en emisiones por categoría vehicular para los contaminantes criterio estimada con enfoque *Bottom-Up* para el año 2021.**



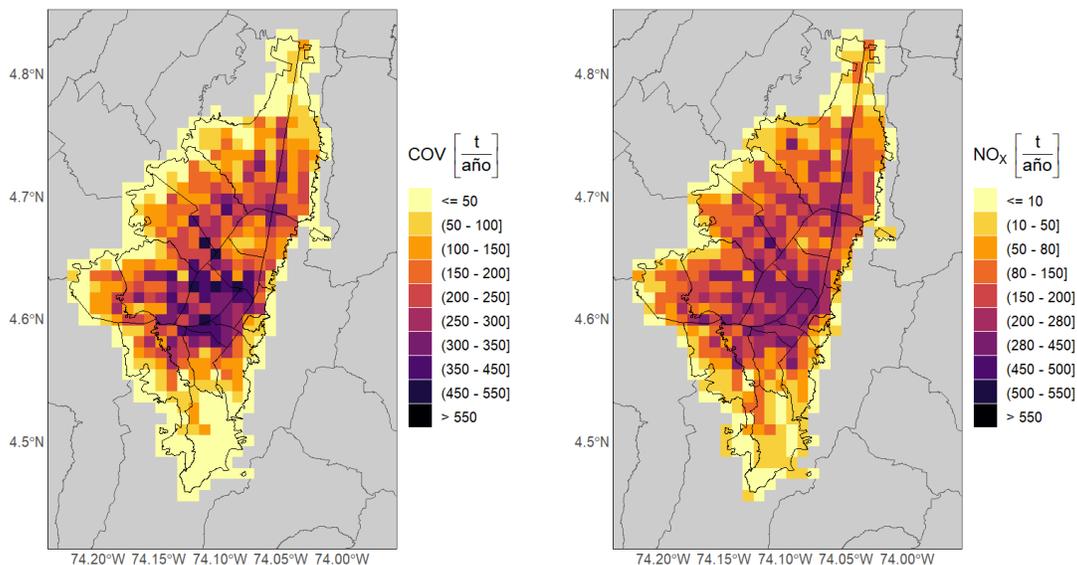
Elaboración propia

**Figura 24. Distribución espacio temporal de las emisiones PM<sub>2.5</sub> (derecha) y PM<sub>10</sub> (izquierda) generadas por las fuentes móviles por combustión para el año 2021.**



Elaboración propia

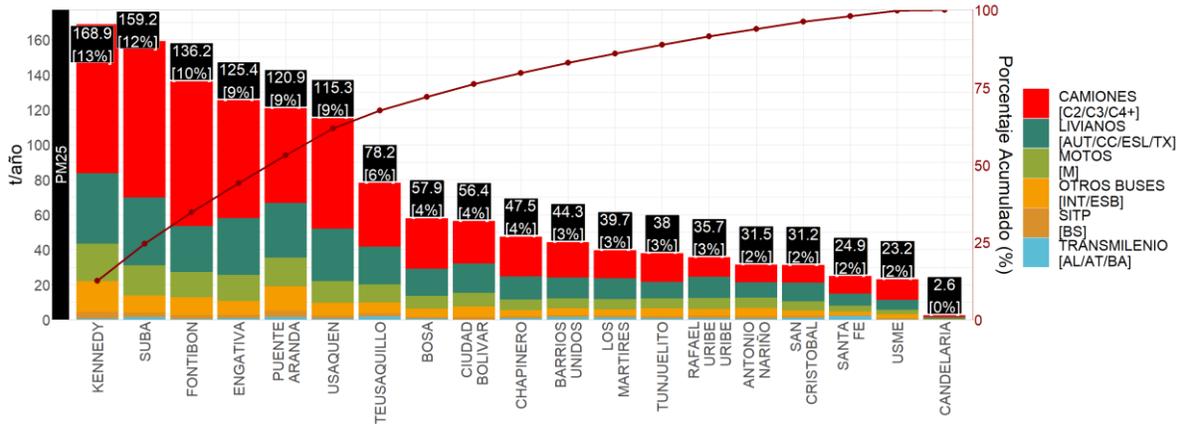
**Figura 25. Distribución espacio temporal de las emisiones de CO (izquierda) y SO<sub>2</sub> (derecha) generadas por las fuentes móviles por combustión para el año 2021.**



Elaboración propia

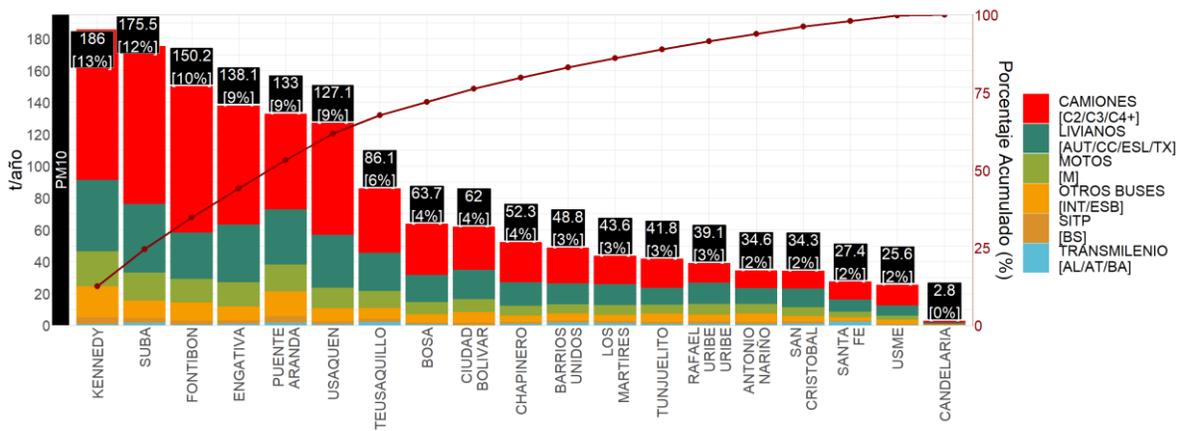
**Figura 26. Distribución espacio temporal de las emisiones de NO<sub>x</sub> (izquierda) y COV (derecha) generadas por las fuentes móviles por combustión para el año 2021.**

En cuanto a las emisiones por localidad se presentan continuación desde la Figura 27 hasta la Figura 32. En este análisis la participación de la localidad de Kennedy se encuentra en primer lugar como emisor de todos los contaminantes analizados. Esto se puede deber al alto flujo vehicular y en especial vehículos de carga pesada por la Autopista Sur. Por su parte, las localidades de Suba, Puente Aranda, Engativá y Fontibón son aquellas que se encuentran distribuidas entre las cinco localidades de mayor emisión para los diferentes contaminantes.



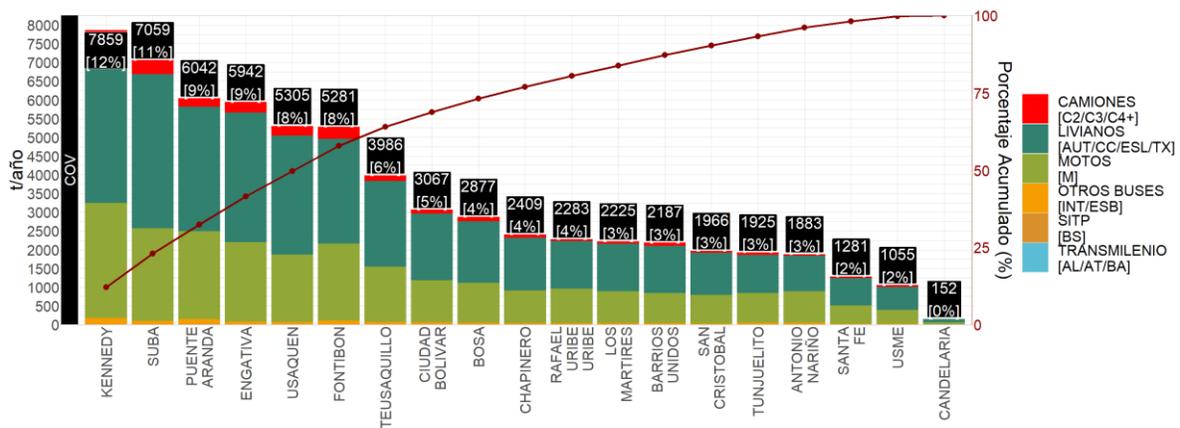
Elaboración propia

Figura 27. Distribución de emisiones por localidad para las emisiones de PM<sub>2.5</sub>



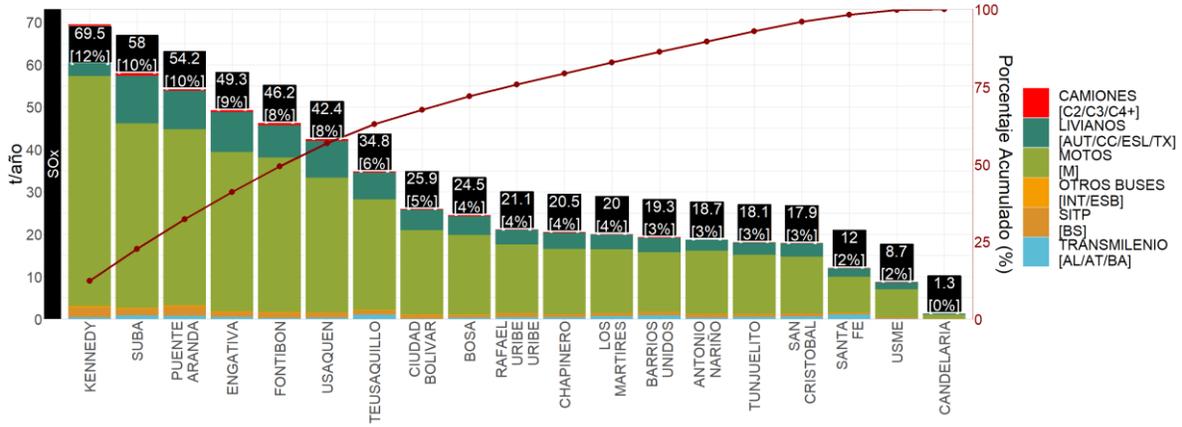
Elaboración propia

Figura 28. Distribución de emisiones por localidad para las emisiones de PM<sub>10</sub>



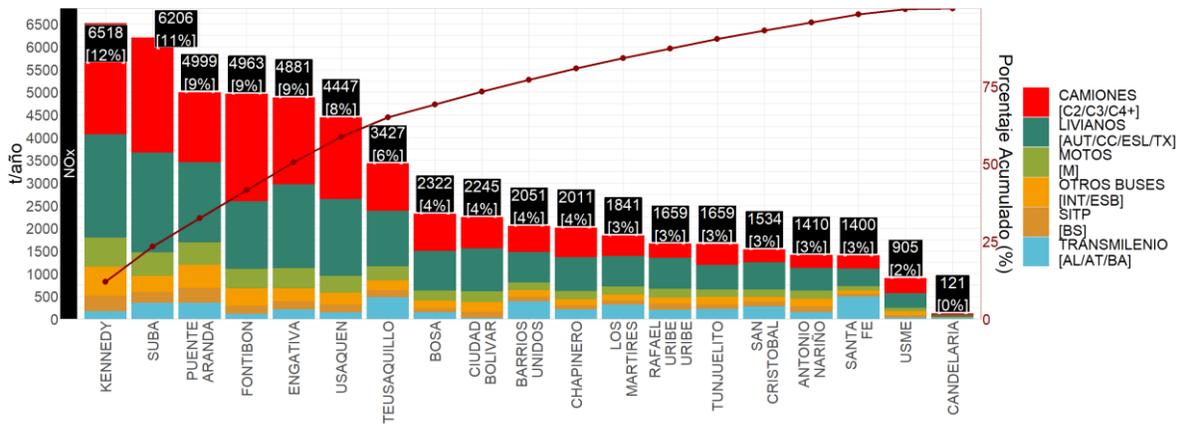
Elaboración propia

Figura 29. Distribución de emisiones por localidad para las emisiones de COV



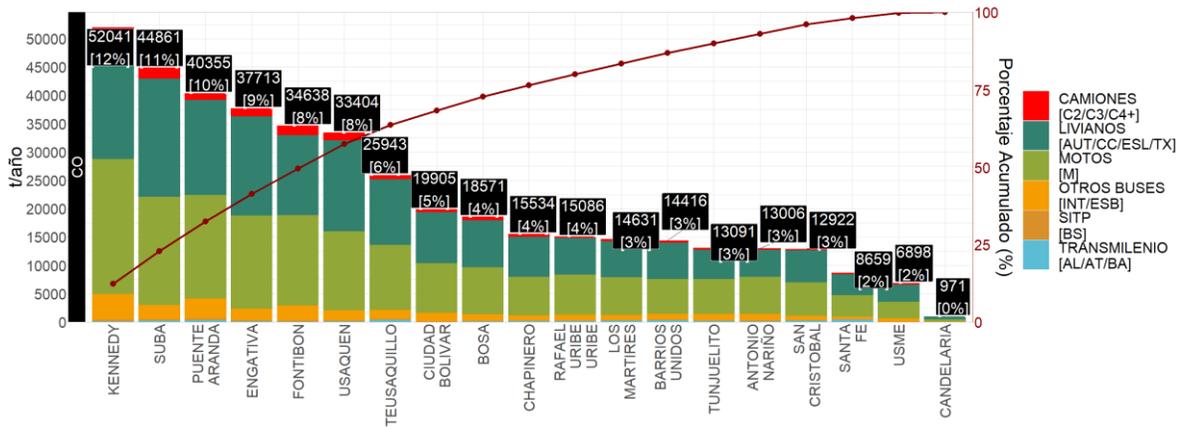
Elaboración propia

Figura 30. Distribución de emisiones por localidad para las emisiones de SO<sub>x</sub>



Elaboración propia

Figura 31. Distribución de emisiones por localidad para las emisiones de NO<sub>x</sub>



Elaboración propia

Figura 32. Distribución de emisiones por localidad para las emisiones de CO

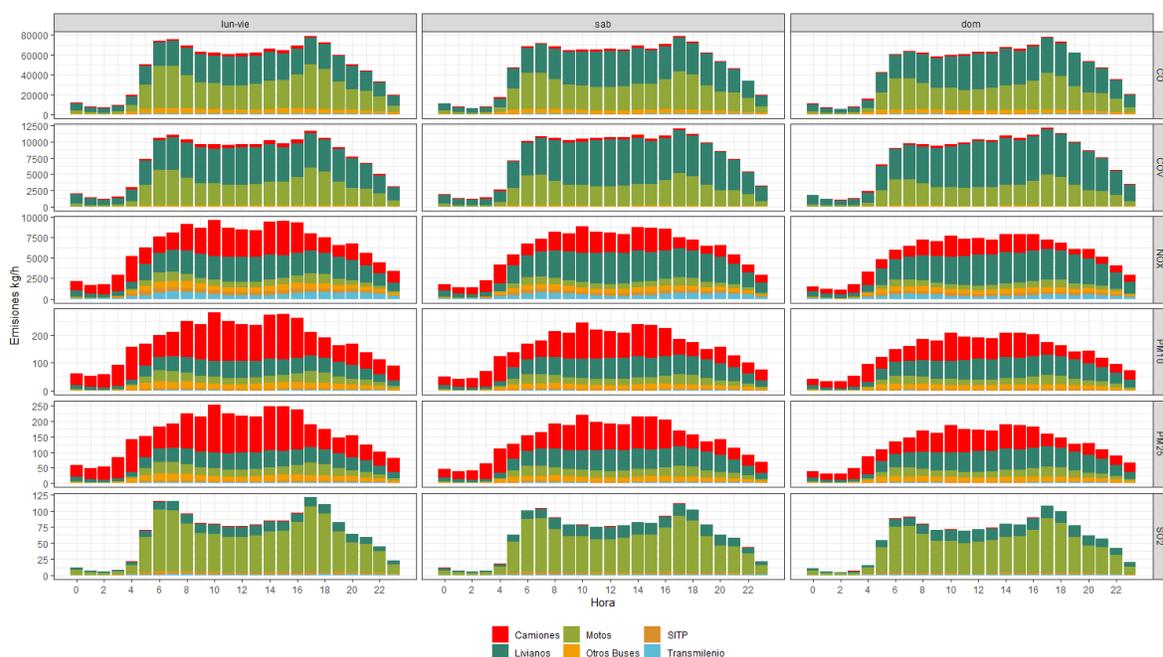
#### 4.2.2. Desagregación temporal horaria de las emisiones

Los perfiles de emisión por combustión en fuentes móviles en carretera se encuentran en la Figura 33, para los contaminantes  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$ , CO,  $NO_x$ ,  $SO_x$  y COV. 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).

Para los contaminantes  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ , las emisiones son generadas principalmente por vehículos de carga e inician su aumento desde las 2:00, encontrando un primer pico de emisiones entre las 5:00 y 6:00, incrementando gradualmente con menos intensidad hasta las 9:00, permaneciendo casi constante hasta las 12:00, hora en la cual empiezan a descender las emisiones. 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 en las horas de la mañana.

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



Elaboración propia

Figura 33. Distribución horaria de emisiones del año 2021 por categoría vehicular

#### 4.3. 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 8 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*.

En general para los valores totales de todos los contaminantes las diferencias no superan más del 11%, en donde el material particulado tiene las mayores diferencias y las emisiones de CO tiene las menores con un valor del 0,2%.

Las categorías con menor diferencia corresponden a la categoría de automóviles, camiones de carga y motocicletas. Estas dos últimas recibieron ajustes en relacionados a los factores de expansión en el inventario *Top-Down*, que permitió obtener una diferencia máxima de 18% en camiones de carga y en motocicletas del 11%.

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 8. Comparación de emisiones de fuentes móviles en carretera del año 2021 estimadas enfoques *Top-Down* y *Bottom-Up***

Categoría	CO	COV	NOx	PM <sub>10</sub>	PM <sub>25</sub>	SOx
Automóvil	8%	8%	8%	7%	7%	8%
Campero o camioneta	24%	24%	24%	23%	23%	24%
Camiones	-18%	-10%	16%	18%	18%	3%
Motocicletas	-10%	-10%	-10%	-11%	-11%	-10%
SITP - Troncal	-65%	-52%	-59%	-63%	-63%	74%
SITP - Zonal y provisional	85%	76%	32%	34%	34%	-21%
Transporte especial	-90%	-80%	-42%	-39%	-39%	-65%
Taxis	712%	707%	723%	716%	716%	694%
<b>Total</b>	<b>-0,2%</b>	<b>5%</b>	<b>9%</b>	<b>11%</b>	<b>11%</b>	<b>-3%</b>

Elaboración propia

#### 4.4. 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 2021 comparado con versiones ajustadas<sup>9</sup> del año 2018 y

<sup>9</sup> 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.

2020, que fueron recalculadas para que los valores sean comparables y evidenciar las reducciones reales de emisiones, como se muestra a continuación:

**Tabla 9. Emisiones de PM<sub>2.5</sub> y participación por categoría vehicular estimadas con metodología *Top-Down***

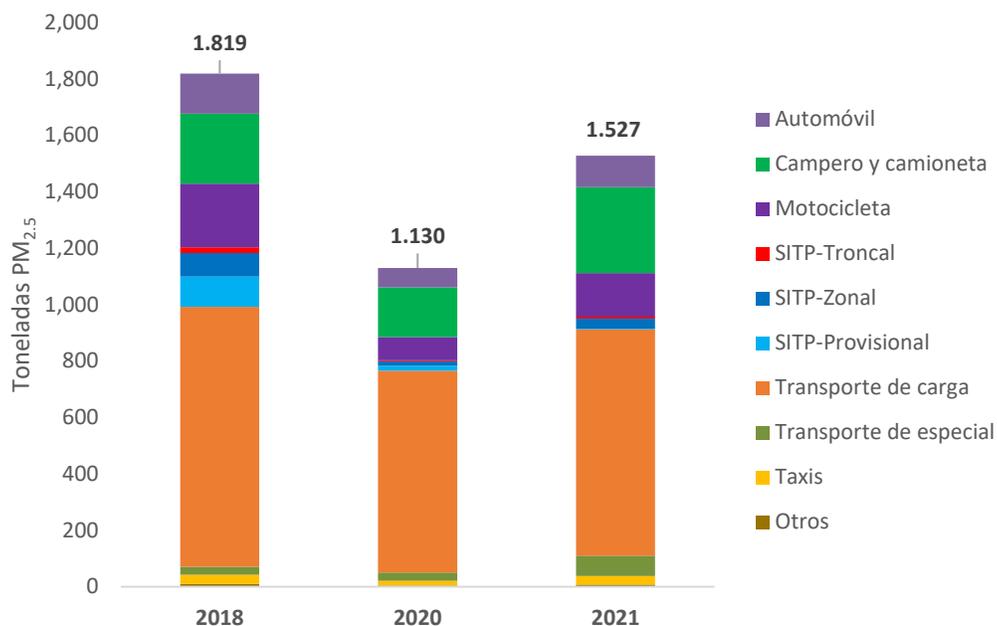
Categoría	Emisiones de PM <sub>2.5</sub> (toneladas/año)			% de participación		
	2018	2020	2021	2018	2020	2021
Automóvil	143	69	112	8%	6%	7%
Campero y camioneta	248	176	304	14%	16%	20%
Motocicleta	226	82	155	12%	7%	10%
SITP-Troncal	21	4	6	1%	0%	0%
SITP-Zonal	83	16	37	5%	1%	2%
SITP-Provisional	107	18	2	6%	2%	0%
Transporte de carga	921	714	801	51%	63%	52%
Transporte de especial	28	30	72	2%	3%	5%
Taxis	33	16	31	2%	1%	2%
Otros	10	5	7	1%	0%	0%
<b>Total</b>	<b>1.819</b>	<b>1.130</b>	<b>1.527</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Elaboración propia

En la Tabla 9 y Figura 34 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. En esta estimación se puede observar la reducción de emisiones debida implementación total del SITP, reduciendo al 2021 las emisiones de SITP provisional en un 98%. Así mismo, la renovación de flota del servicio troncal del Transmilenio reduciéndose en un 71% las emisiones de PM<sub>2.5</sub> de esta categoría vehicular.

La Tabla 10 y la Figura 35 presentan las estimaciones de emisiones de PM<sub>2.5</sub> 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. Esta reducción de emisiones es de aproximadamente del 44% con respecto a 2018. También esta estimación presenta una participación importante en emisiones por parte del transporte especiales donde se redujo en un 54% para el año 2021.

### Top-Down



Elaboración propia

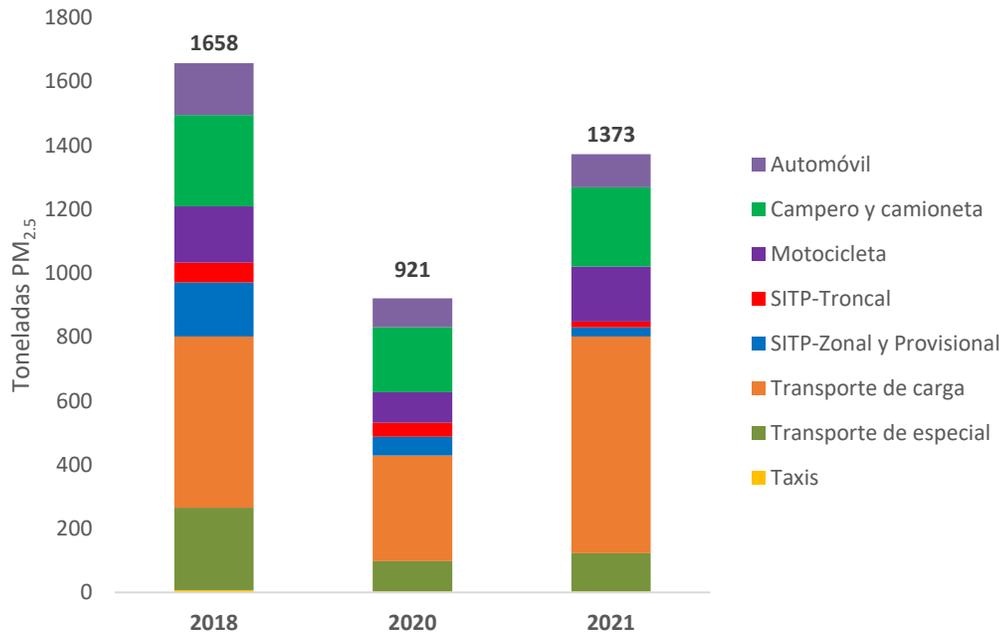
**Figura 34. Emisiones de 2018, 2020 y 2021 de PM<sub>2.5</sub> estimadas con enfoque Top-Down**

**Tabla 10. Emisiones de PM<sub>2.5</sub> y participación por categoría vehicular estimadas con metodología Bottom-Up**

Categoría	Emisiones de PM <sub>2.5</sub> (toneladas/año)			% de participación		
	2018	2020	2021	2018	2020	2021
Automóvil	162	90	104	10%	10%	8%
Camperos y camionetas	287	204	247	17%	22%	18%
Motocicleta	176	95	173	11%	10%	13%
SITP-Troncal	62	44	18	4%	5%	1%
SITP-Zonal y Provisional	169	59	29	10%	6%	2%
SITP-Provisional	0	0	0	0%	0%	0%
Transporte de carga	536	331	679	32%	36%	49%
Transporte de especial	259	94	119	16%	10%	9%
Taxis	7	4	4	0%	0%	0%
Otros	0	0	0	0%	0%	0%
<b>Total</b>	<b>1658</b>	<b>921</b>	<b>1373</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

Elaboración propia

### Bottom-up

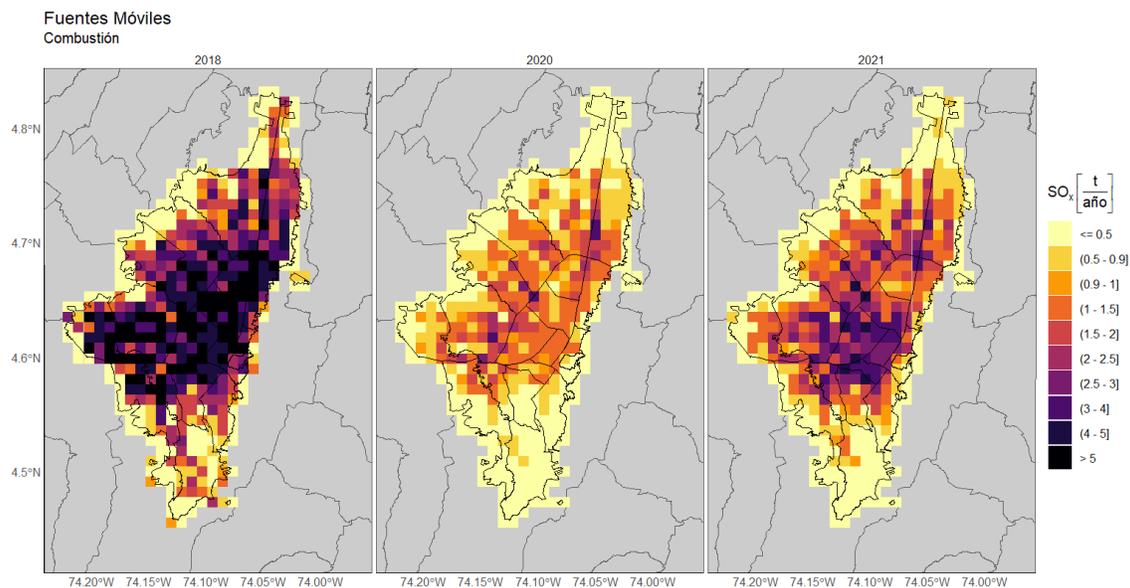


Elaboración propia

**Figura 35. Emisiones de 2018, 2020 y 2021 de PM<sub>2.5</sub> estimadas con enfoque Bottom-Up**

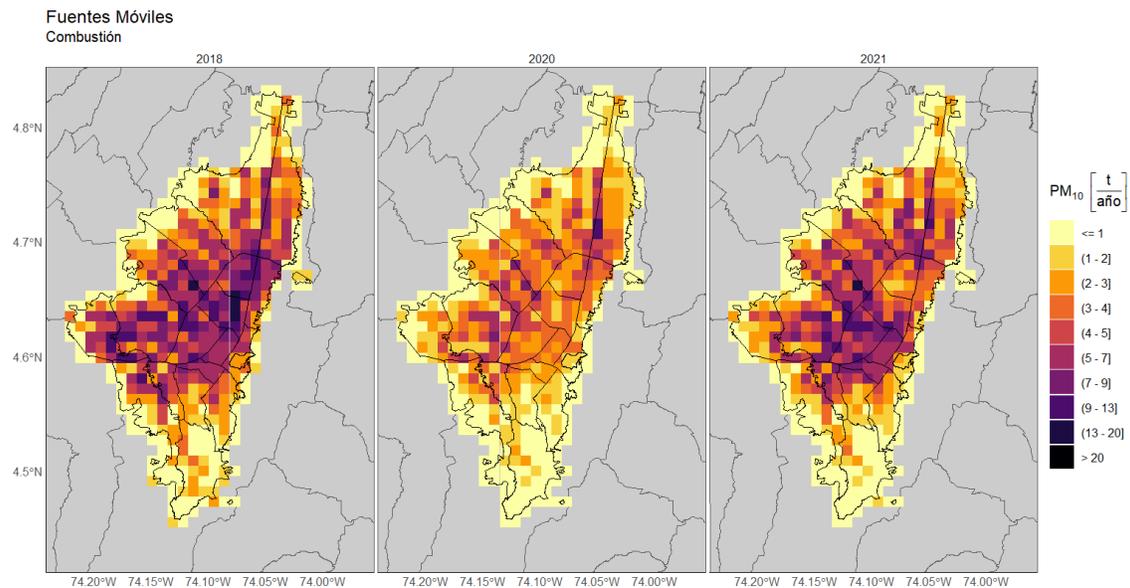
Ambas metodologías presentan diferencias en proporciones distintas por categoría vehicular (como se presentó en la sección 4.3.). Sin embargo, refleja tendencias similares, como la mayoritaria participación en emisiones de PM<sub>2.5</sub> por parte de los vehículos de carga. De la misma forma, se destaca 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 2021 en un 16% y 17% 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 36 a la Figura 41. 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, pero menor cantidad que los valores de 2018. Este comportamiento se ve de forma más clara para PM<sub>2.5</sub>. Como se ha mencionado en varias ocasiones en este documento, este comportamiento es reflejo del efecto de la pandemia que tuvo mayores restricciones en 2020.



Elaboración propia

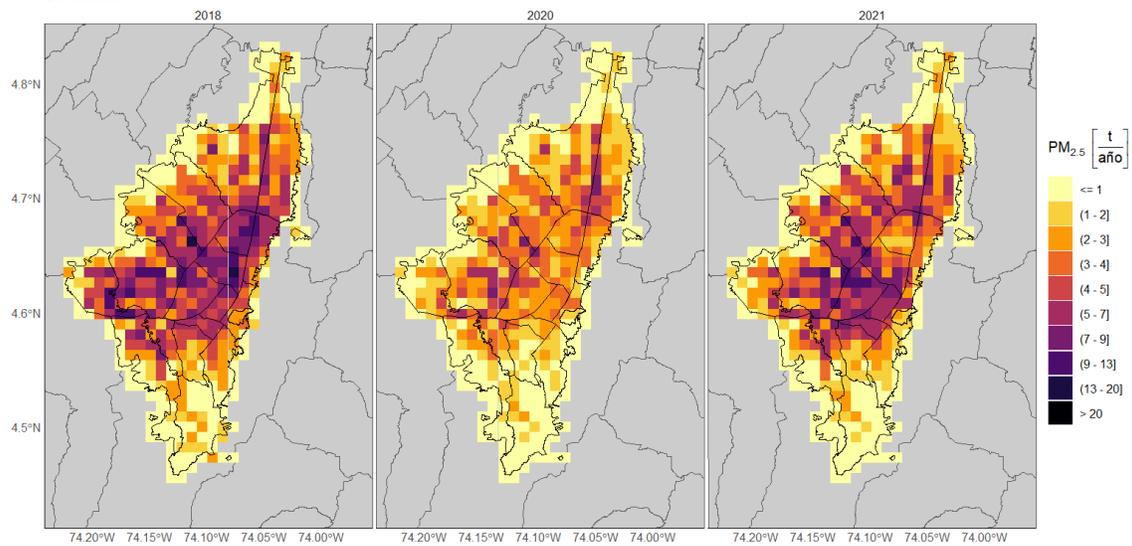
**Figura 36. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para  $SO_x$  en los años 2018, 2020 y 2021.**



Elaboración propia

**Figura 37. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para  $PM_{10}$  en los años 2018, 2020 y 2021.**

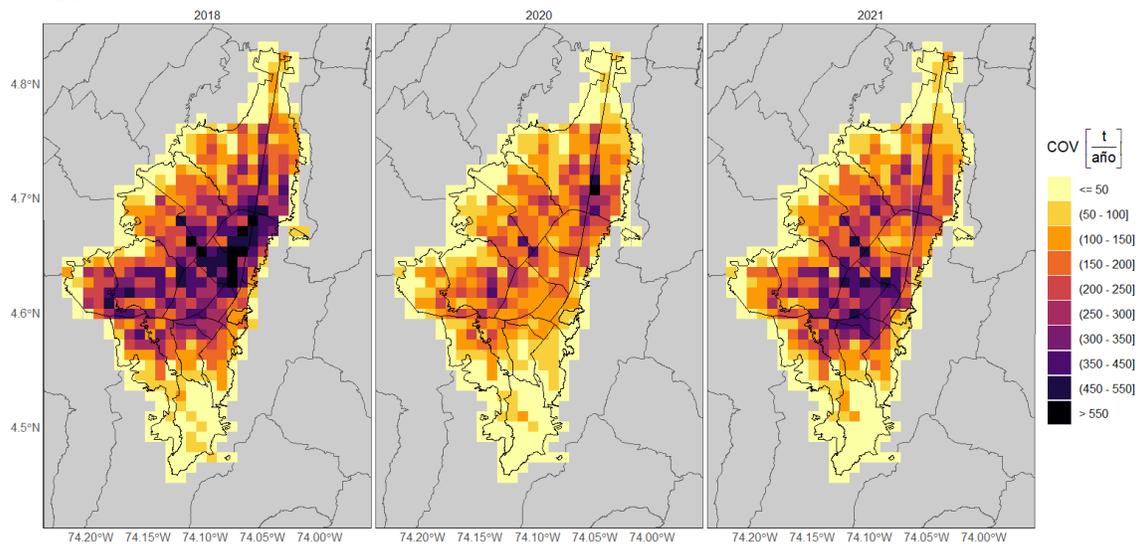
Fuentes Móviles  
Combustión



Elaboración propia

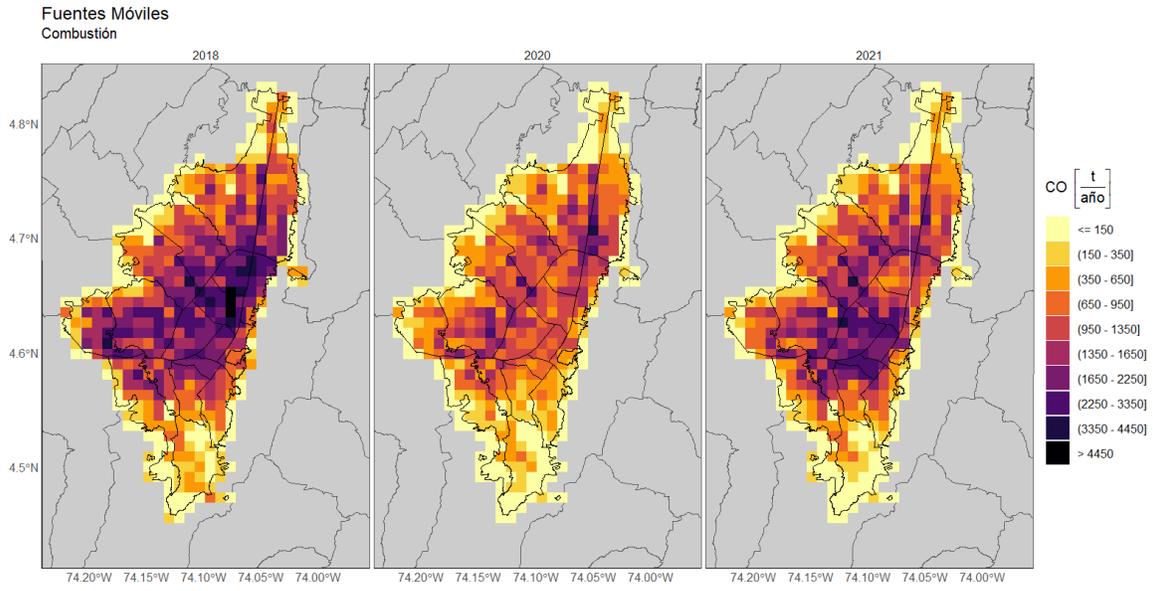
**Figura 38. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para PM<sub>2.5</sub> en los años 2018, 2020 y 2021.**

Fuentes Móviles  
Combustión

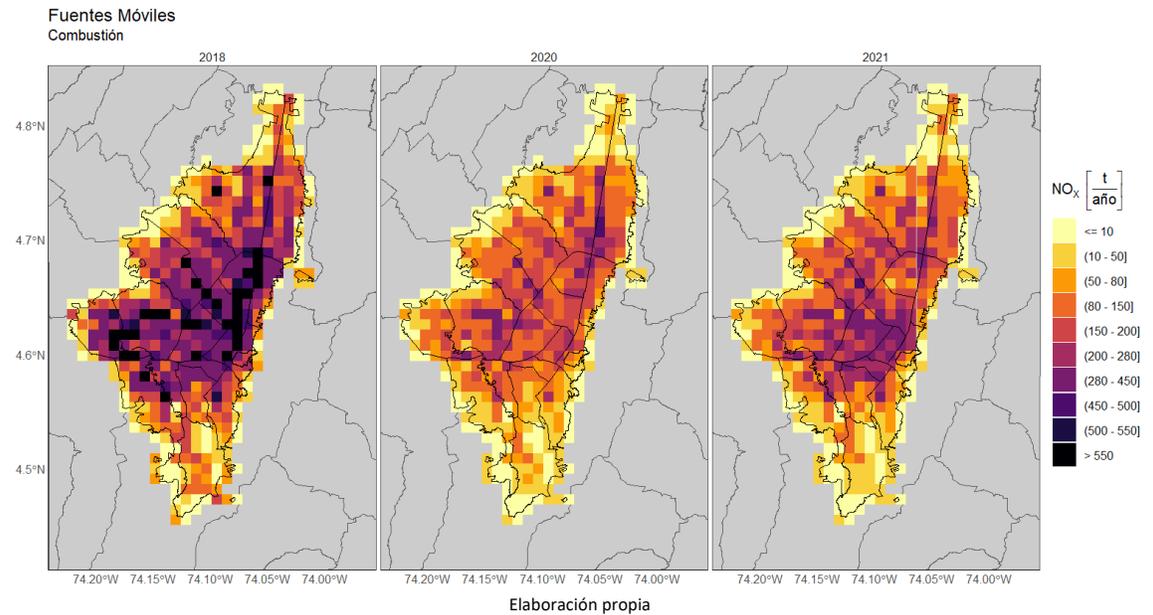


Elaboración propia

**Figura 39. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para COV en los años 2018, 2020 y 2021.**



**Figura 40. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para CO en los años 2018, 2020 y 2021.**



**Figura 41. Comparación de distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes móviles en carretera para NO<sub>x</sub> en los años 2018, 2020 y 2021.**

## 5. 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).

### 5.1. Inventario de emisiones *Bottom-Up*

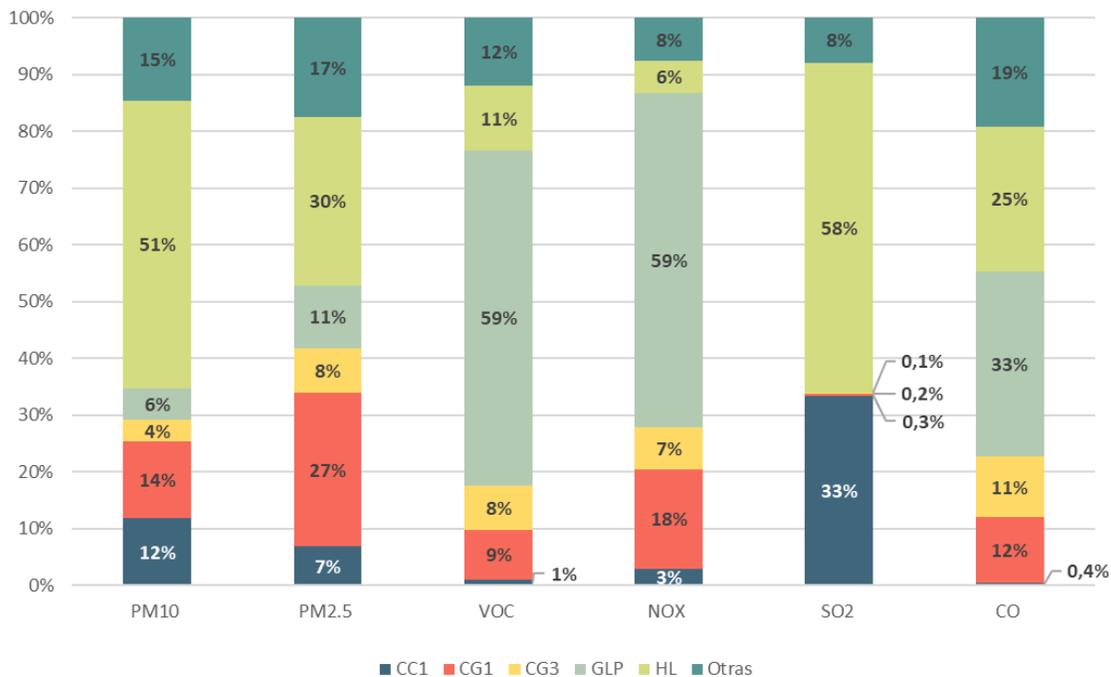
Conforme a los resultados de la metodología implementada y a las categorías en las que se encuentran las fuentes de la ciudad, según su tipo y tecnología, así como al combustible utilizado para su operación, en la Tabla 11 se presentan las emisiones (t/año) totales de los contaminantes criterio y por cada categoría, y en la Figura 42 las categorías de mayor aporte en la generación de contaminantes.

Tabla 11. Inventario de emisiones por fuentes fijas por categoría

Categoría	Tecnología	Combustible	Emisión (t/año)					
			PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	COV	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO
ACD	Caldera industrial y comercial > 15 BHP	Diésel	0,363	0,054	0,021	1,038	0,779	0,260
AGG	Aglutinadora	Gas natural	0,001	0,001	0,001	0,009	0,000	0,004
AHF	Horno	Diésel	0,008	0,001	0,006	0,042	0,034	0,012
BOG	Bombo	Gas natural	0,002	0,001	0,001	0,024	0,000	0,010
CC1	Caldera >100 BHP	Carbón	21,716	4,691	0,951	48,293	140,309	1,902
CC2	Caldera ≤100 BHP	Carbón	0,889	0,192	0,025	0,759	1,969	0,051
CG1	Caldera >100 BHP (año de fabricación menor o igual a 1997)	Gas natural	24,843	18,334	7,595	287,864	1,152	57,996
CG2	Caldera >100 BHP (año de fabricación mayor a 1997)	Gas natural	6,059	4,471	4,787	18,902	0,014	36,553
CG3	Caldera ≤100 BHP	Gas natural	7,180	5,299	6,683	121,192	0,877	52,398
CGL	Calentador	Gas licuado de petróleo	0,265	0,195	0,000	4,961	0,005	2,778
CM	Caldera	Madera	0,457	0,069	0,024	0,690	0,035	0,845
CRG	Calentador	Gas natural	0,199	0,147	0,144	2,462	0,016	1,048
CTA	Caldera (vapor) textiles	Aceite usado	1,686	0,253	0,054	1,877	11,916	0,270
CUG	Cuba	Gas natural	0,002	0,001	0,001	0,020	0,000	0,009
EGL	Estufa industrial	Gas licuado de petróleo	1,152	0,851	0,000	21,609	0,023	12,101
ESG	Estufa industrial	Gas natural	0,049	0,036	0,036	0,609	0,004	0,259
EXG	Extrusora	Gas natural	0,003	0,002	0,002	0,039	0,000	0,017
GLP	Horno y caldera con aplicaciones industriales	Gas licuado de petróleo	10,189	7,519	51,107	962,948	0,511	162,26
HC	Horno	Carbón	11,488	2,481	0,708	6,670	17,654	9,134
HFA	Horno fundición	Aceite usado	0,047	0,007	0,002	0,018	0,033	0,010

Categoría	Tecnología	Combustible	Emisión (t/año)					
			PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	COV	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO
HG1	Horno de alimentos	Gas natural	0,859	0,634	1,245	7,349	0,001	4,526
HG2	Horno de secado y curado	Gas natural	0,854	0,588	1,059	7,344	0,419	3,850
HG3	Horno de fundición y cremación	Gas natural	0,355	0,262	0,613	5,235	0,033	2,228
HL	Horno ladrillero	Carbón	93,026	20,094	9,780	92,177	243,982	126,23
HM	Horno	Madera	0,012	0,002	0,001	0,017	0,001	0,021
IGL	Inyectora	Gas licuado de petróleo	0,120	0,089	0,000	2,259	0,002	1,265
IMG	Impresora de gran formato	Gas natural	0,038	0,028	0,082	1,408	0,009	0,599
ING	Inyectora	Gas natural	0,001	0,001	0,001	0,015	0,000	0,006
ICG	Intercambiador de calor	Gas natural	0,147	0,109	0,107	1,823	0,012	0,776
ICM	Intercambiador de calor	Madera	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
LAG	Lacadora	Gas natural	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,002
MGL	Marmita	Gas licuado de petróleo	0,470	0,347	0,000	8,813	0,009	4,935
MRG	Marmita	Gas natural	0,075	0,056	0,055	0,932	0,006	0,397
OTG	Otra	Gas natural	0,275	0,203	0,266	4,539	0,029	1,931
PLG	Peletizadora	Gas natural	0,002	0,001	0,001	0,020	0,000	0,008
QGL	Quemador	Gas licuado de petróleo	0,234	0,172	0,000	4,379	0,005	2,452
QMG	Quemador	Gas natural	0,170	0,125	0,126	2,153	0,014	0,916
RTG	Rama de Termofijado	Gas natural	0,140	0,103	0,101	1,729	0,011	0,736
SEG	Secadora	Gas natural	0,072	0,053	0,053	0,898	0,006	0,382
TOD	Tostadora	Diésel	0,000	0,000	0,000	0,001	0,009	0,000
TOG	Tostadora	Gas natural	0,100	0,074	0,178	3,038	0,019	1,293
TSG	Torre de secado	Gas natural	0,333	0,246	0,737	12,590	0,080	5,358
VUG	Vulcanizadora	Gas natural	0,003	0,003	0,002	0,042	0,000	0,018
<b>Emisiones totales</b>			<b>183,9</b>	<b>67,8</b>	<b>86,5</b>	<b>1.636,8</b>	<b>420,0</b>	<b>495,8</b>

Elaboración propia



CC1 - Caldera >100 BHP a carbón; CG1 - Caldera >100 BHP (año de fabricación menor o igual a 1997), a gas natural; CG3 - Caldera ≤100 BHP, a gas natural; GLP- Horno y caldera con aplicaciones industriales, a GLP; HL – Horno ladrillero a carbón

Elaboración propia

**Figura 42. Participación en las emisiones de fuentes fijas industriales por cada categoría y contaminante**

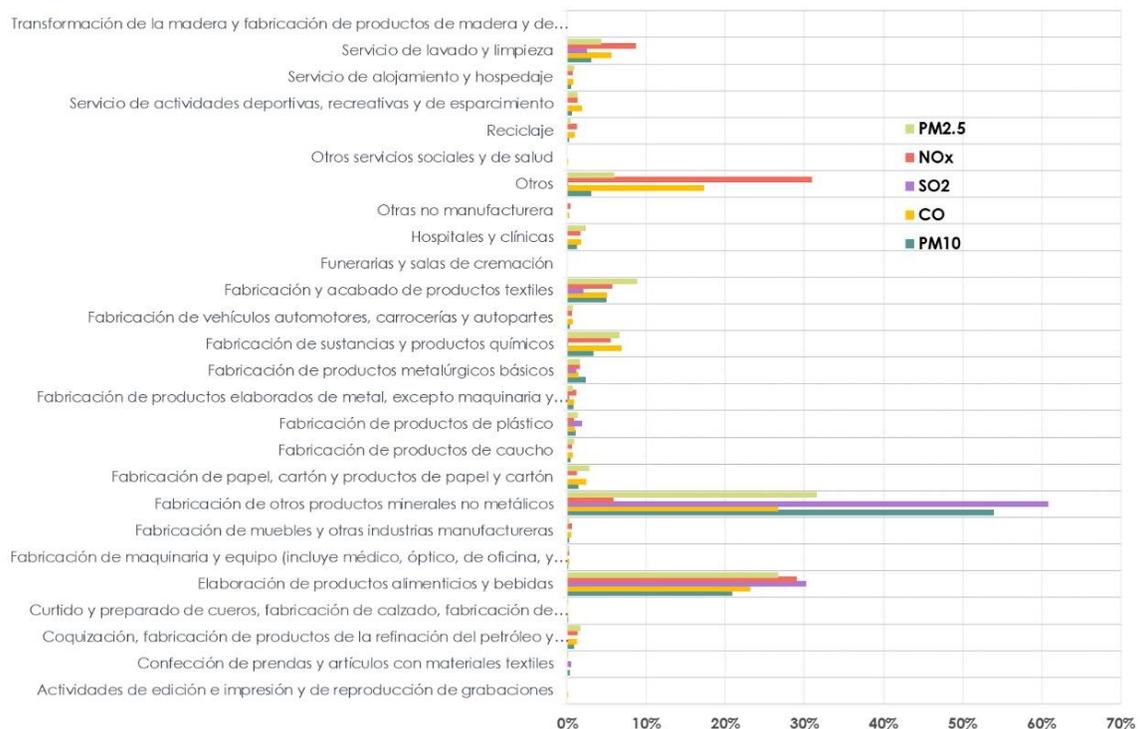
Partiendo de la anterior información, las fuentes fijas industriales por combustión y de combustión+proceso presentan el siguiente comportamiento por tipo de contaminante:

- Las emisiones de PM<sub>10</sub> corresponden a 183,8 t/año, donde las principales categorías aportantes son **HL** – Horno ladrillero a carbón, con una participación del 51% y **CG1** - Caldera >100 BHP (año de fabricación menor o igual a 1997) con uso de gas natural, con una participación del 14% y 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<sub>2.5</sub> corresponden a 67,8 t/año, donde, la categoría **HL** – Horno ladrillero a carbón tiene una participación del 30%; la categoría **CG1** - Caldera >100 BHP (año de fabricación menor o igual a 1997) con uso de gas natural un aporte del 27% y la categoría **GLP**- Horno y caldera con aplicaciones industriales, a GLP, con un aporte del 11% del total de emisiones de este contaminante. En esta última categoría los principales sectores que usan este tipo de fuentes son el de fabricación de productos elaborados de metal, excepto maquinaria y equipo y el sector de elaboración de productos alimenticios y bebidas.
- Las emisiones de NO<sub>x</sub> son de 1636,7 t/año, teniendo que la principal categoría aportante de emisión corresponde a los hornos y calderas que operan con GLP, con el 59% 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 18% del total de emisiones de este contaminante.
- Respecto a las emisiones de SO<sub>2</sub>, se generaron 419,9 t/año, donde las principales categorías aportantes corresponden a **HL** – Horno ladrillero a carbón, con una participación del 58% y **CC1** - Caldera >100 BHP a carbón, con un aporte del 33% del total de emisiones de este contaminante. En esta última categoría los principales sectores que usan este tipo de fuentes

son el de elaboración de productos alimenticios y bebidas y, fabricación y acabado de productos textiles.

- Con relación a las emisiones de CO, las fuentes fijas emitieron 495,8 t/año, teniendo que las principales categorías aportantes corresponden a **GLP- Horno y caldera con aplicaciones industriales**, a **GLP**, con un aporte del 33% y **HL – Horno ladrillero a carbón** con el 11% del total de emisiones de este contaminante.

Por otra parte, la participación de sectores en la emisión de contaminantes atmosféricos se presenta en la Figura 43, donde se puede evidenciar el consolidado de sectores productivos identificados en la ciudad, tanto de manufactura como de servicios.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 43. Participación porcentual de las emisiones por contaminante, por sectores productivos**

De acuerdo con la anterior Figura 43, las emisiones de PM<sub>10</sub> 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 54% y el sector de elaboración de productos alimenticios y bebidas, con un 21% de aporte del total de las emisiones de este contaminante. Otros sectores, de menor aporte de emisión son el de fabricación y acabado de productos textiles, con un 5%, y con un 3% de aporte, cada uno, los sectores de fabricación de sustancias y productos químicos y el de servicio de lavado y limpieza (limpieza en seco, de productos textiles y de piel – incluidas las tintorerías).

Para el caso de  $PM_{2.5}$ , las emisiones de este contaminante son generadas, al igual que para  $PM_{10}$ , por el sector de fabricación de otros productos minerales no metálicos, con una participación del 32% y el sector de elaboración de productos alimenticios y bebidas, con un 27%. Dentro de otros sectores aportantes, pero en con menor participación, se encuentran el de fabricación y acabado de productos textiles, con un 9%, seguido del sector de fabricación de sustancias y productos químicos, con un 7% y el sector de servicio de lavado y limpieza (tintorerías), con un 4% de participación del total de emisiones de este contaminante.

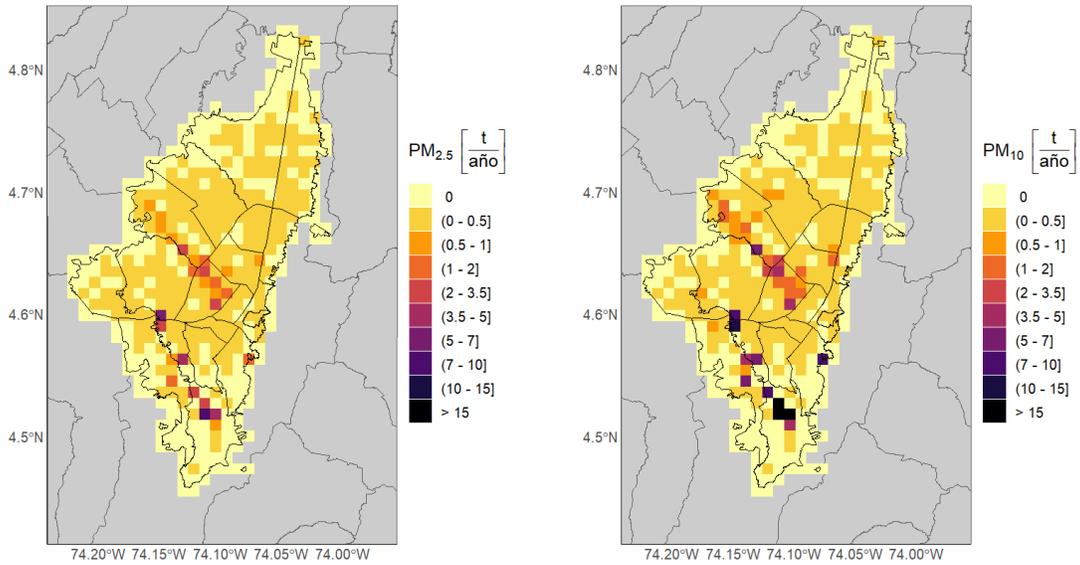
Con relación a los  $NO_x$ , los sectores de principal aporte son el de elaboración de productos alimenticios y bebidas con un 29% de participación, el sector de Otros, que abarca varias actividades económicas de manufactura, con una participación del 30%; seguido del sector de servicio de lavado y limpieza (limpieza en seco, de productos textiles y de piel – incluidas las tintorerías) con una participación del 9% y, fabricación de otros productos minerales no metálicos, con un 6% de participación del total de emisiones de este contaminante.

Las emisiones de  $SO_2$  son generadas, principalmente por los sectores de fabricación de otros productos minerales no metálicos (ladrilleras), con un 61%, seguido del sector de elaboración de productos alimenticios y bebidas, con un 30% 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, pero con una muy baja participación, son los de lavado y limpieza, incluso la limpieza en seco, de productos textiles y de piel (incluidas tintorerías) con un 3%; el de fabricación y acabado de productos textiles (2%) y fabricación de productos de plástico (2%).

Para finalizar, los sectores de mayor aporte a las emisiones de CO son la fabricación de otros productos minerales no metálicos, con un 27% de participación en la emisión, seguido del sector de elaboración de productos alimenticios y bebidas, con un aporte del 23% del total de emisiones para este contaminante.

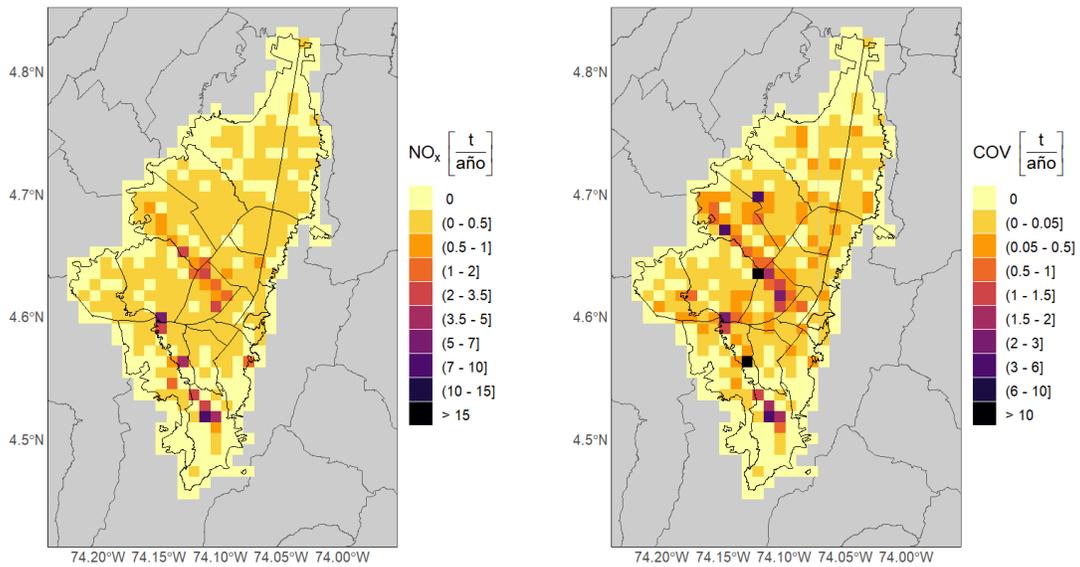
#### **5.1.1. Desagregación espacial de las emisiones**

Desde la Figura 44 a la Figura 46 se presentan los mapas de distribución espacial de las emisiones de fuentes fijas industriales por combustión y combustión+proceso, donde las zonas persistentes de mayor emisión se encuentran en la zona occidente, central y sur de la ciudad.



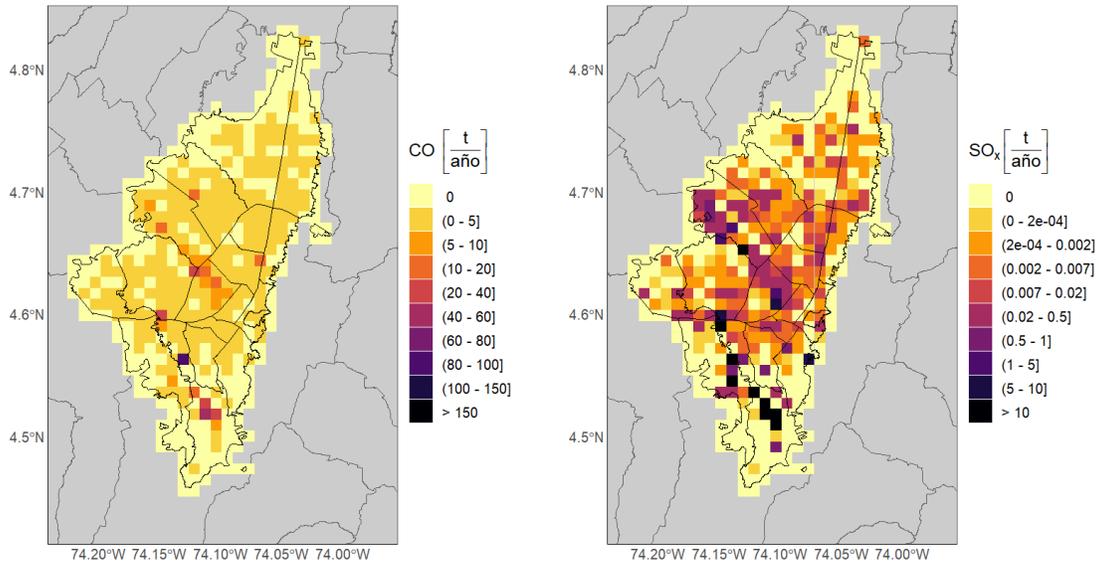
Fuente: Elaboración propia

**Figura 44. Distribución espacial de las emisiones  $PM_{2.5}$  (izquierda) y  $PM_{10}$  (derecha) generadas por fuentes fijas industriales**



Fuente: Elaboración propia

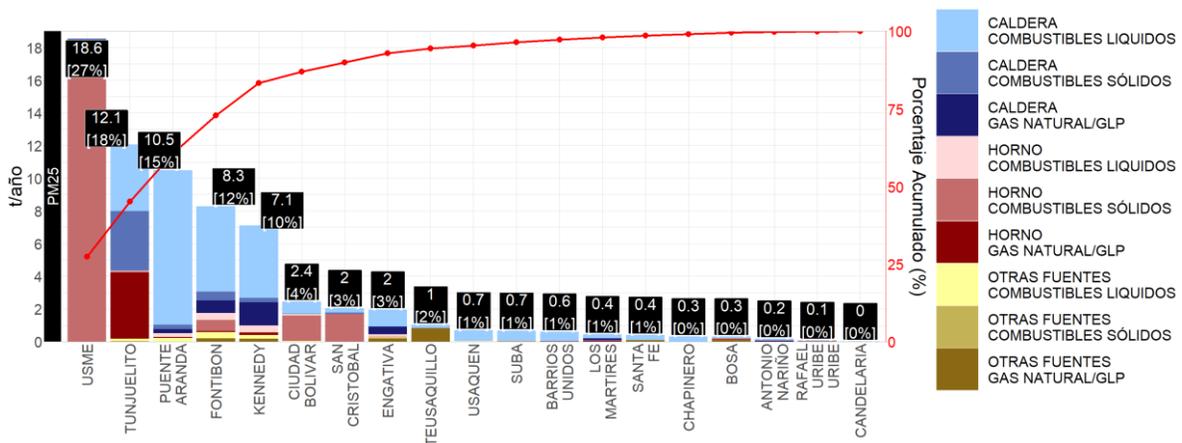
**Figura 45. Distribución espacial de las emisiones de  $NO_x$  (izquierda) y COV (derecha) generadas por fuentes fijas industriales**



Fuente: Elaboración propia

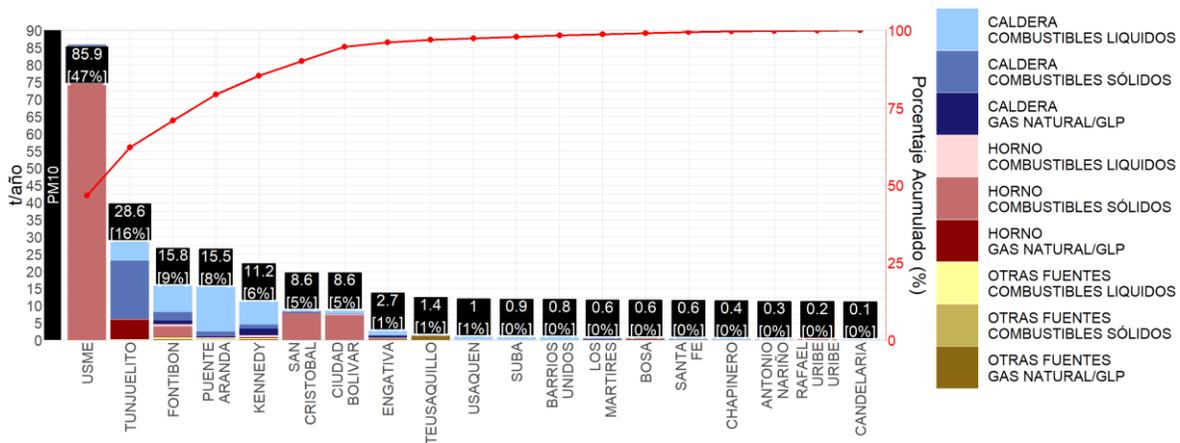
**Figura 46. Distribución espacial de las emisiones de CO (izquierda) y SO<sub>2</sub> (derecha) generadas por fuentes fijas industriales**

Las localidades de mayor emisión de contaminantes corresponden a Usme, Tunjuelito, Puente Aranda, Kennedy 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 PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>, las localidades de mayor aporte son Usme, Tunjuelito, Puente Aranda, Fontibón y Kennedy, como se puede observar en las Figura 47 y la Figura 48, 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 47. Participación por localidad de las emisiones de PM<sub>2.5</sub> para fuentes fijas industriales**



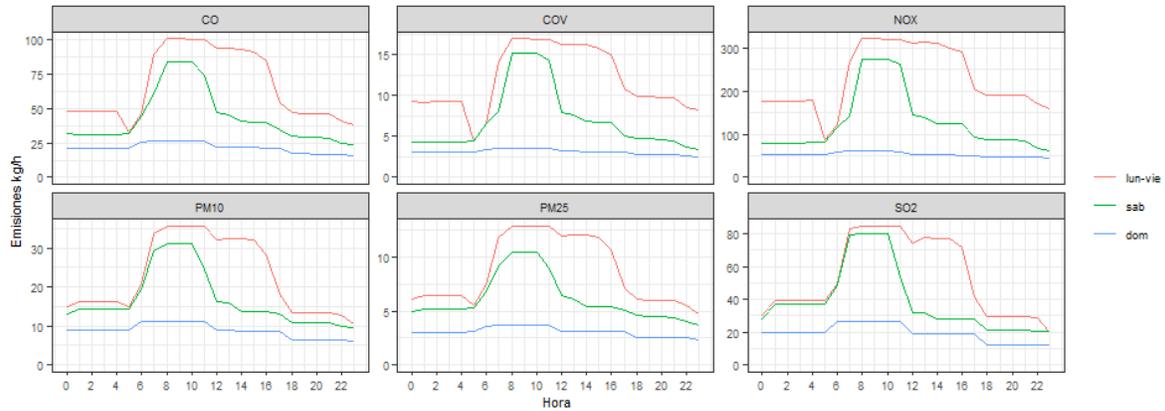
Fuente: Elaboración propia

**Figura 48. Participación por localidad de las emisiones de PM<sub>10</sub> 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<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>, 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 9.

### 5.1.2. Desagregación temporal horaria de las emisiones

La distribución horaria de las emisiones para los contaminantes PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> y COV de las fuentes fijas industriales se presentan en la Figura 49 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, en donde comienza a bajar paulatinamente las emisiones. 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.



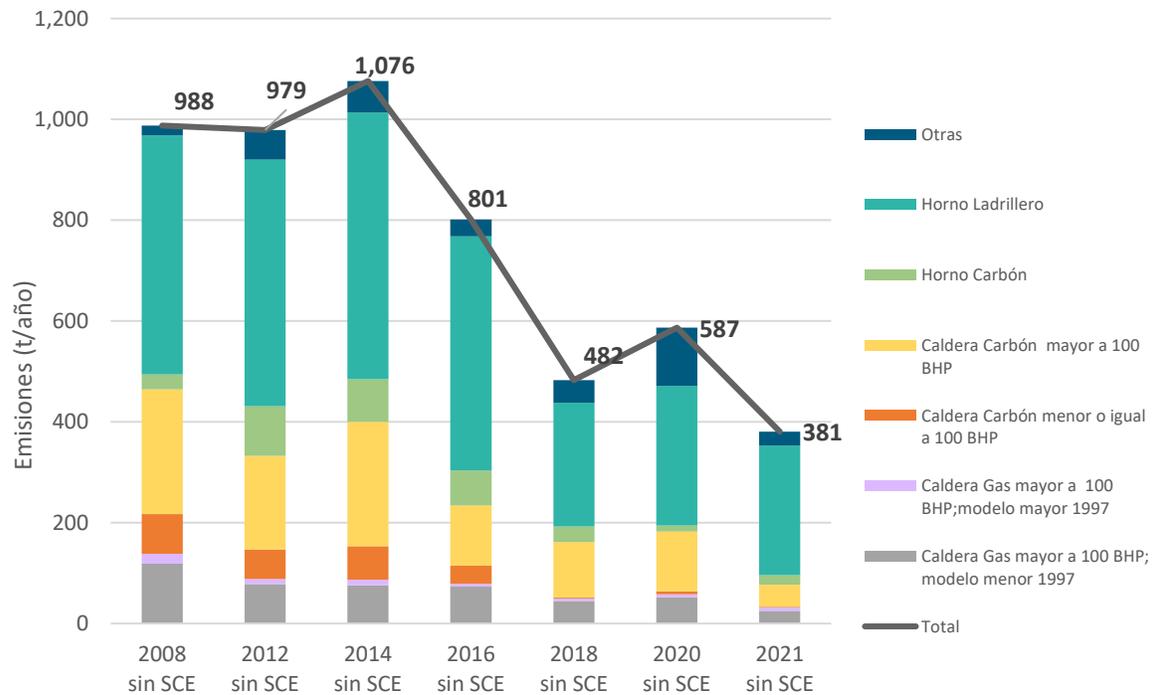
Elaboración propia

**Figura 49. Perfiles horarios de emisiones para fuentes fijas industriales**

## 5.2. 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 2021, 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.

Para el caso puntual de  $PM_{10}$ , en la Figura 50 y la Tabla 12 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. Por su parte en la Figura 51 y en la Tabla 13 se presentan las emisiones de  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  con las estimaciones de los inventarios 2018, 2020 y 2021, teniendo en consideración la reducción de emisiones por los SCE, a partir de información de porcentajes teóricos de remoción y ajustes de dichos porcentajes conforme a consultas a expertos.



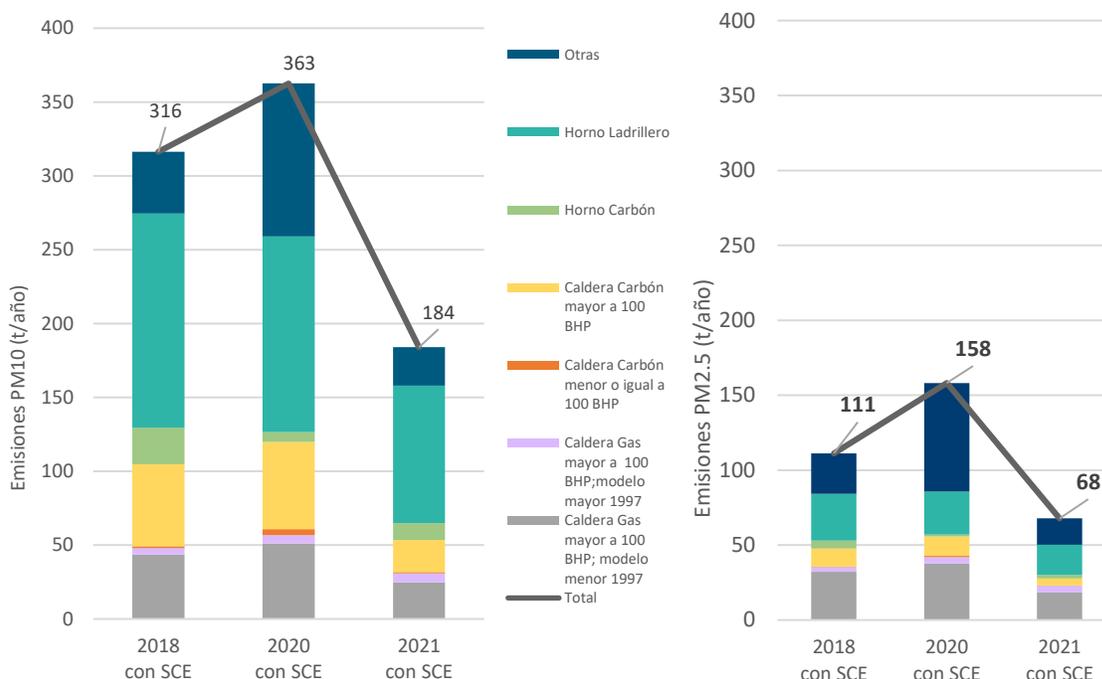
Fuente: Elaboración propia

**Figura 50. Emisiones históricas de PM<sub>10</sub> de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, sin considerar la remoción por SCE, periodo 2008-2021**

**Tabla 12. Emisiones históricas de PM<sub>10</sub> de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, sin considerar la remoción por SCE, periodo 2008-2021**

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

Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

**Figura 51. Emisiones históricas de PM<sub>10</sub> (izquierda) y PM<sub>2.5</sub> (derecha) de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, considerando la remoción por SCE, periodo 2018-2021**

**Tabla 13. Emisiones históricas de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> de fuentes fijas industriales, por tipo de fuente, considerando la remoción por SCE, periodo 2018-2021**

Tipo de fuente	Emisiones PM <sub>10</sub> (toneladas/año)			Emisiones PM <sub>2.5</sub> (toneladas/año)		
	2018	2020	2021	2018	2020	2021
Caldera Gas mayor a 100 BHP; modelo menor 1997	43,5	51,1	24,8	32,1	37,6	18,3
Caldera Gas mayor a 100 BHP modelo mayor 1997	4,5	5,7	6,1	3,3	4,4	4,5
Caldera Carbón menor o igual a 100 BHP	1,2	4,1	0,9	0,3	0,9	0,2
Caldera Carbón mayor a 100 BHP	55,5	59,1	21,7	12,0	12,8	4,7
Horno Carbón	24,8	6,5	11,5	5,4	1,4	2,5
Horno Ladrillero	144,9	132,6	93,0	31,3	28,6	20,1
Otras	41,8	103,6	25,9	26,9	72,4	17,5
<b>Total</b>	<b>316</b>	<b>363</b>	<b>184</b>	<b>111</b>	<b>158</b>	<b>68</b>

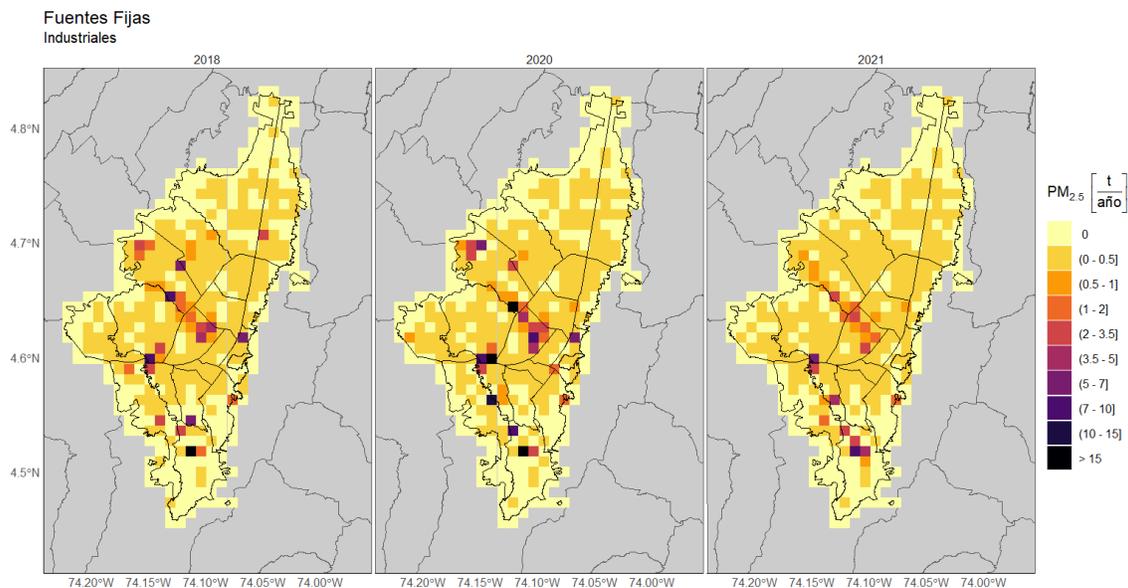
Fuente: Elaboración propia

Conforme a lo presentado en las Figura 50 y Figura 51, se mantiene el comportamiento histórico de participación de emisiones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> por tipo de fuente, con y sin 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.

Por otra parte, en las estimaciones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> 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 2021, principalmente por la disminución de consumos de combustibles, parada temporal de operación de fuentes e incluso

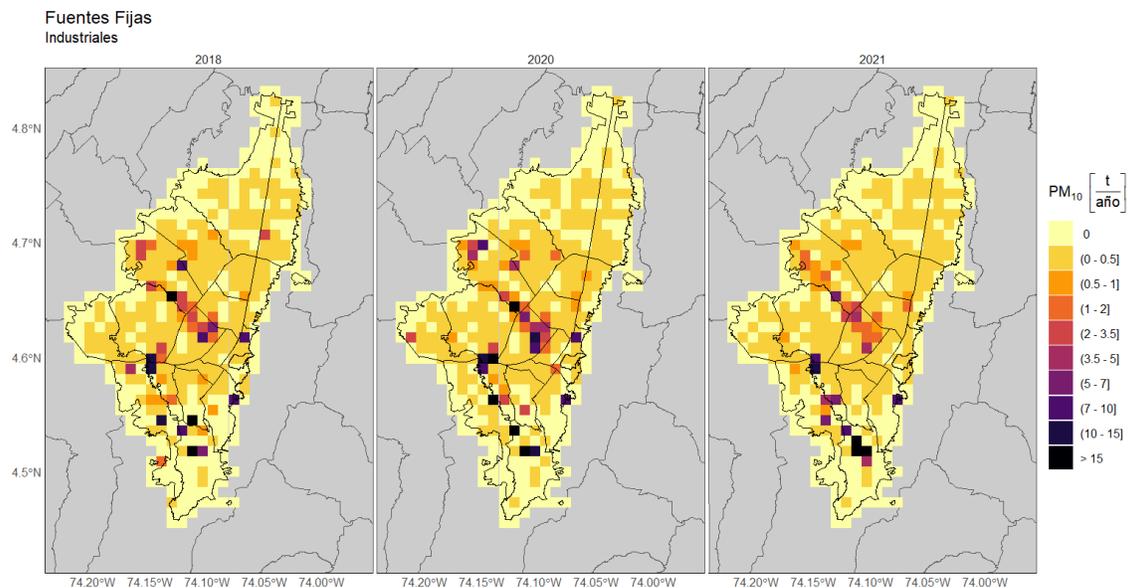
cierre de establecimientos, como consecuencia de la emergencia sanitaria declarada por el Covid-19.

Con relación a la distribución espacial histórica de las emisiones de fuentes fijas industriales por combustión y combustión+proceso, desde la Figura 52a la Figura 57 se presentan los mapas de inventarios históricos de los años 2018, 2020 y 2021, 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

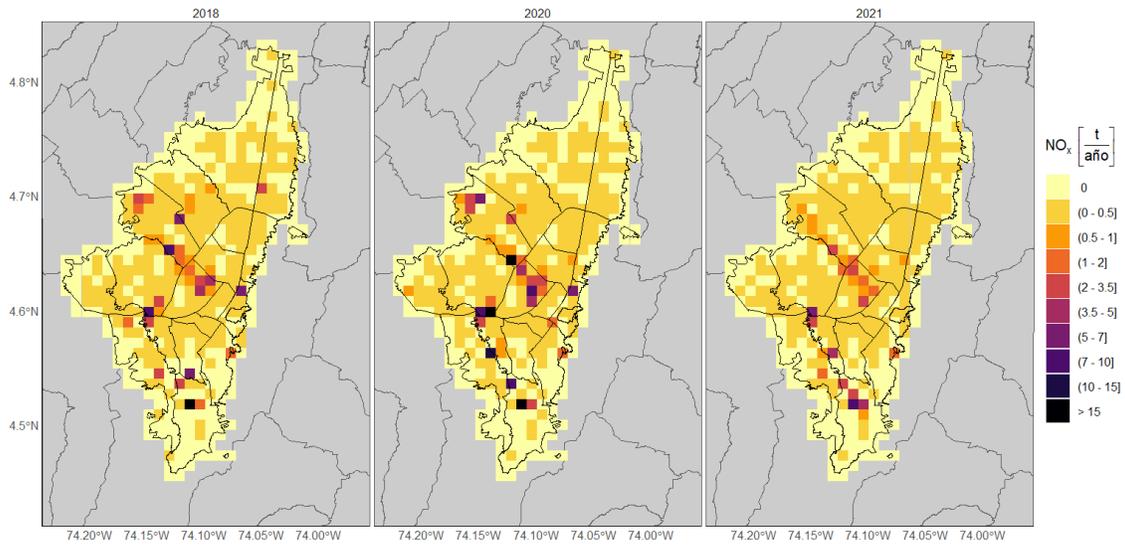
**Figura 52. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para PM<sub>2.5</sub>**



Fuente: Elaboración propia

**Figura 53. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para PM<sub>10</sub>**

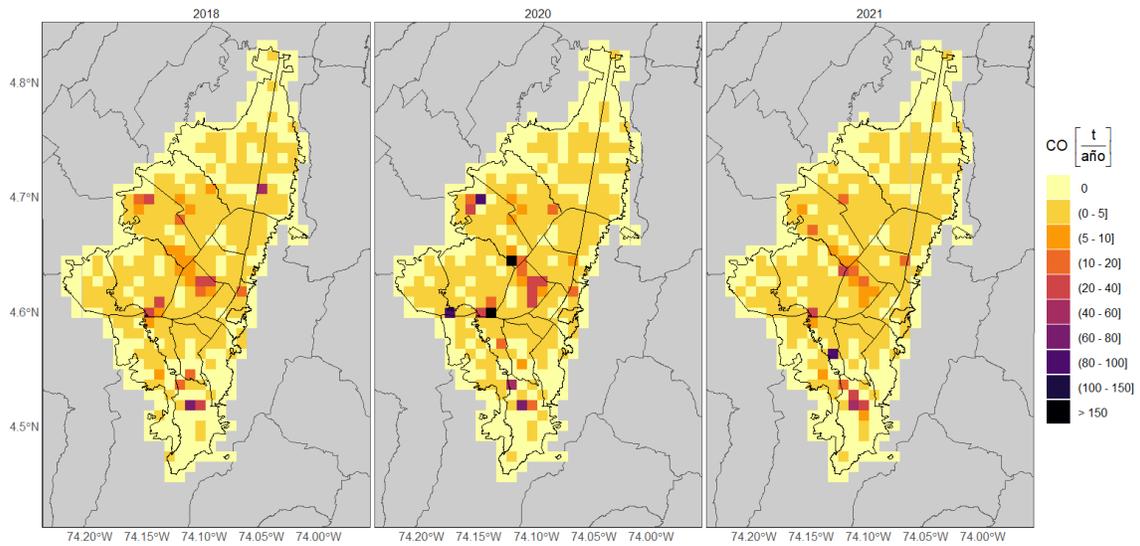
Fuentes Fijas Industriales



Fuente: Elaboración propia

**Figura 54. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para NO<sub>x</sub>**

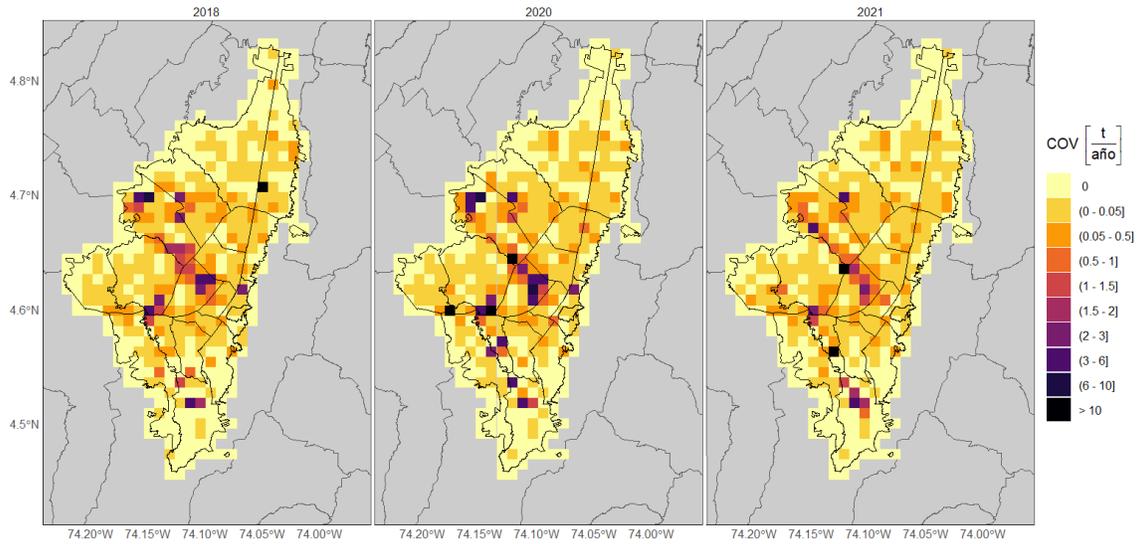
Fuentes Fijas Industriales



Fuente: Elaboración propia

**Figura 55. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para CO**

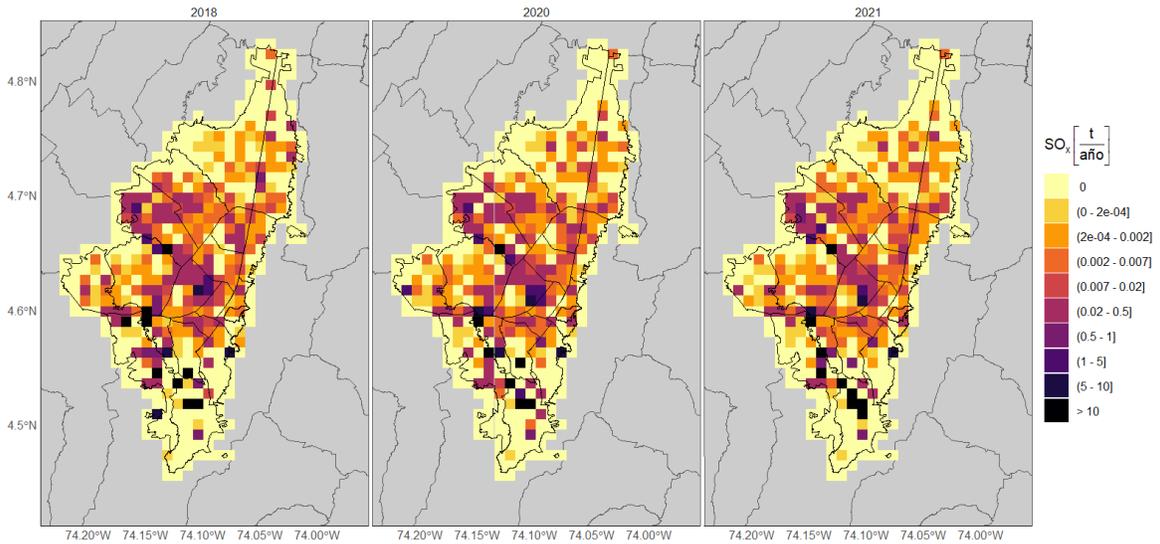
Fuentes Fijas Industriales



Fuente: Elaboración propia

Figura 56. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para COV

Fuentes Fijas Industriales



Fuente: Elaboración propia

Figura 57. Inventarios históricos de emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales para SO<sub>2</sub>

## 6. INVENTARIO DE EMISIONES RESIDENCIALES

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 14 se presentan los resultados totales de estas emisiones para los años 2018, 2020 y 2021.

Tabla 14. Emisiones residenciales de año 2021

Contaminante	Emisiones (Toneladas t/año)		
	2018	2020	2021
PM <sub>10</sub>	3,3	2,9	3,1
PM <sub>25</sub>	3,3	2,9	3,1
COV	30,1	26,0	27,5
NO <sub>x</sub>	701,8	606,0	640,9
CO	367,6	317,4	335,7
SO <sub>2</sub>	5,0	4,3	4,6

Fuente: Elaboración propia

## 7. INVENTARIO DE EMISIONES DE MATERIAL RESUSPENDIDO PROVENIENTE DE LAS VÍAS

El material particulado resuspendido proveniente de las vías, hace referencia al polvo depositado en la malla vial, que debido al flujo vehicular es levando o 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).

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

Posteriormente la Secretaría Distrital de Ambiente ha elaborado las actualizaciones de este inventario para el año 2018, 2020 y 2021, que se presentan en este documento. El detalle metodológico y de fuentes de información requerida se presenta en la sección D del Anexo 1.

### 7.1. 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 15 se presenta las emisiones por vías pavimentadas y no pavimentadas de la ciudad, en donde las vías no pavimentadas tienen una participación de 97% y 93% de las emisiones de PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> respectivamente. Esto se asocia al alto factor de emisión de este tipo de vías.

Tabla 15. Inventario de emisiones de material particulado resuspendido en vías por estado de la malla vial

Tipo de vía	Emisiones en t/año			
	PM <sub>10</sub>	Participación	PM <sub>25</sub>	Participación
Vías no pavimentadas	38.805,98	97,0%	3.880,60	92,97%
Vías pavimentadas	1.212,10	3,0%	293,25	7,03%
<b>Total</b>	<b>40.018,08</b>	<b>100%</b>	<b>4.173,85</b>	<b>100%</b>

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 16 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 las Figura 4. Cantidad

de vehículos por categoría vehicular del inventario *Top-Down* (página 22) y en la Figura 5. Cantidad de vehículos promedio por hora, por km de vía. (página 23).

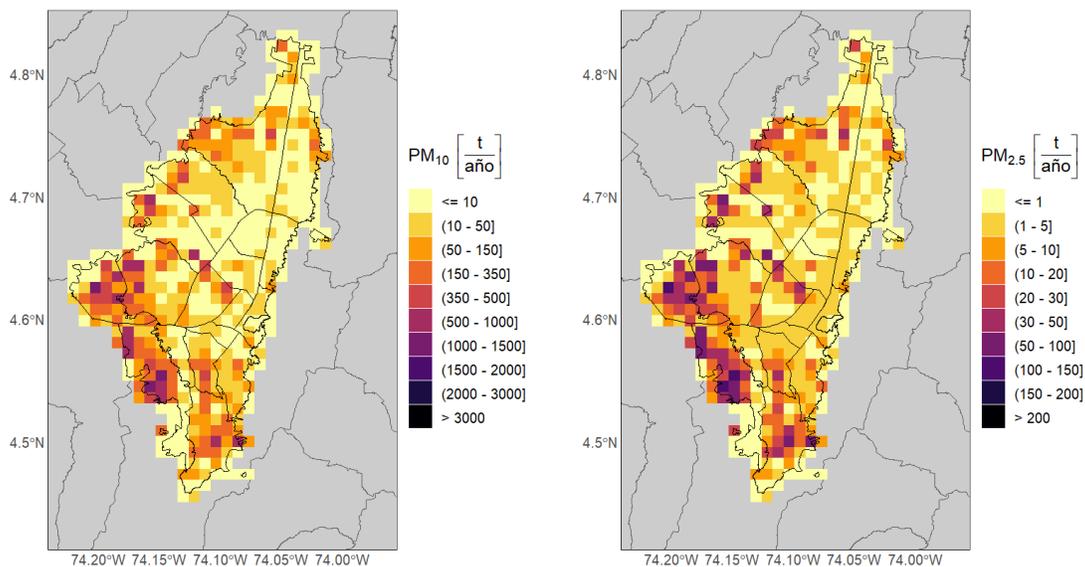
**Tabla 16. Inventario de emisiones de material particulado resuspendido en vías por categoría vehicular**

Categoría vehicular	Emisiones (toneladas/año)	
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>
Camiones	1.569,9	201,1
Automóviles	18.230,0	1.866,7
SITP-Zonal y provisional	951,0	101,1
SITP- Tronca	154,2	37,3
Camperos y Camionetas	10.893,8	1.124,0
Motocicletas	7.166,1	722,7
Taxis	759,6	77,8
Especiales	293,5	43,2
<b>Total</b>	<b>40.018,1</b>	<b>4.173,8</b>

Fuente: Elaboración propia

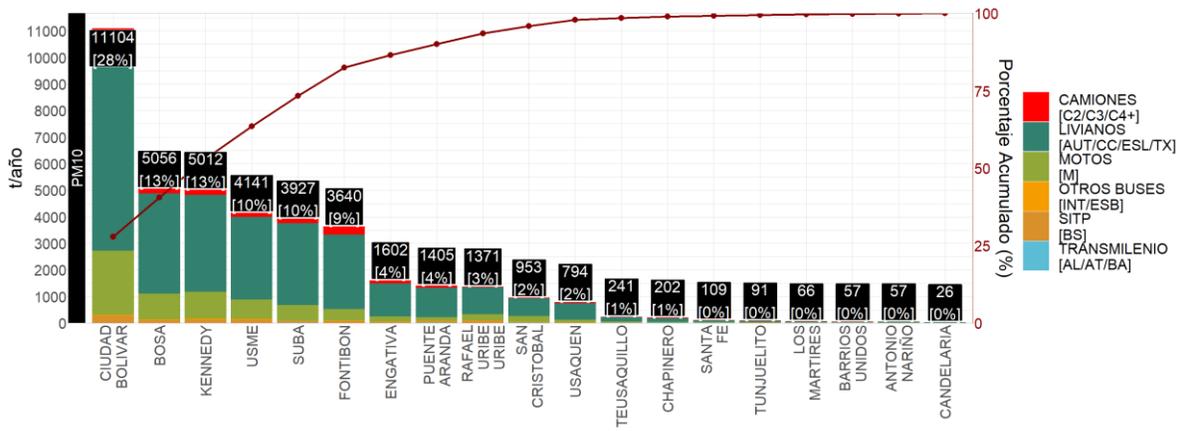
### 7.1.1. Desagregación espacial de emisiones

La distribución espacial de las emisiones de material resuspendido de las vías se presenta en los mapas de la Figura 58 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 59 y Figura 60, en donde Ciudad Bolívar, Kennedy, Bosa y Usme, son las cuatro 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 12) y cruzan algunas vías principales como la Autopista Sur.



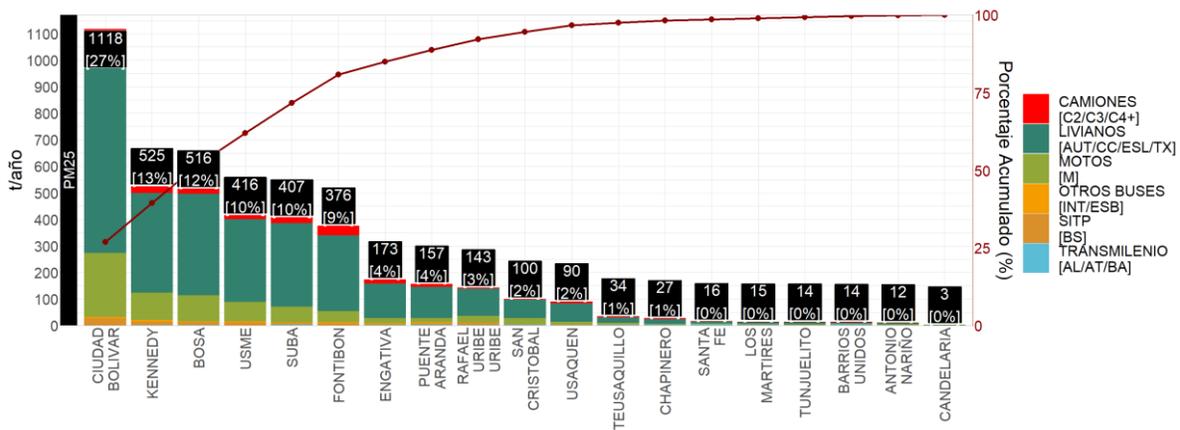
Fuente: Elaboración propia

**Figura 58. Distribución espacial de las emisiones de PM<sub>10</sub> (derecha) y PM<sub>2.5</sub> (izquierda) por resuspensión de material particulado en vías.**



Fuente: Elaboración propia

Figura 59. Participación por localidad de las emisiones de PM<sub>10</sub> para resuspensión de material particulado en vía

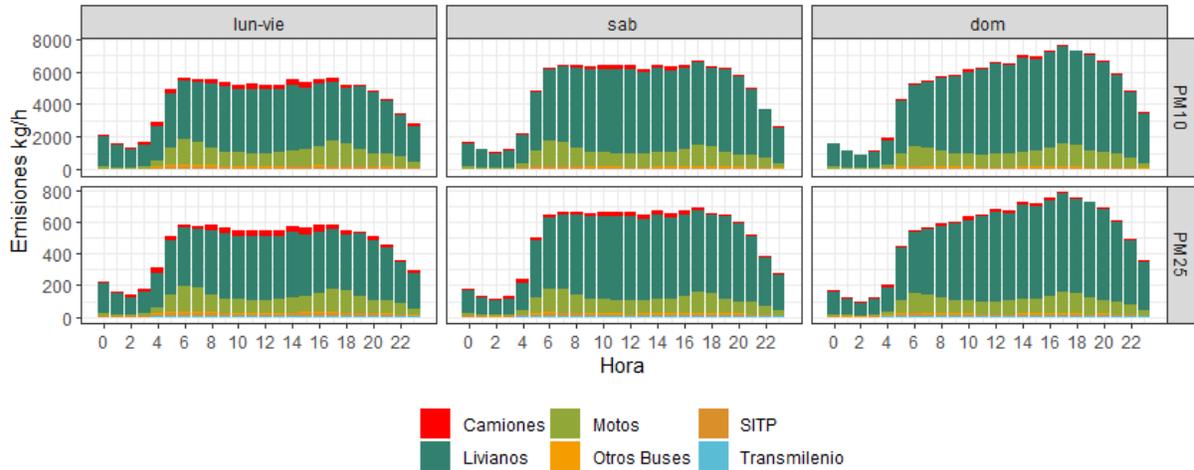


Fuente: Elaboración propia

Figura 60. Participación por localidad de las emisiones de PM<sub>2.5</sub> para resuspensión de material particulado en vía

### 7.1.2. Desagregación temporal horaria de emisiones

Las emisiones por perfiles horarios del material resuspendido en vías (Figura 61) están condicionado a los flujos vehiculares de automóviles, campero y camionetas, ya que estas categorías son las mayores aportantes de este contaminante por la cantidad de fuentes que hay en la ciudad. Es así como los perfiles horarios de estas emisiones presentan un incremento en la hora de la mañana, iniciando en la hora pico a las 6 am, seguido de un pequeño descenso a las 9 am, continuando con un comportamiento constante hasta la siguiente hora pico que inicia a las 8 pm donde se empieza a evidenciar el descenso de las emisiones. El material resuspendido en cierto tipo de vías, depende de la velocidad media sobre la vía, y los domingos en la noche para la ciudad se encuentran los valores más altos, este comportamiento hace que el perfil de emisiones para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> tenga un comportamiento ligeramente diferente a los estimados para los días correspondientes entre lunes y sábado.



Fuente: Elaboración propia

Figura 61. Perfiles horarios de emisiones de material particulado para fuentes móviles por material resuspendido.

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

Los inventarios de emisiones de los años 2018 y 2020 se recalcularon con el fin de ser comparables con los cambios metodológicos aplicados para el inventario del año 2021. Los resultados generales por tipo de vía se presentan en la Tabla 17, en donde se observa una reducción de casi el 50% de emisiones en el año 2020 con respecto al 2018 y un incremento leve del 20% para el año 2021 con respecto al año 2018, esto se debe principalmente a los fenómenos de reducción de flujos vehiculares debido a las cuarentenas como se ha mencionado en capítulos anteriores, en donde en 2021 aún no se alcanza a un estado normalidad total de la dinámica de ciudad.

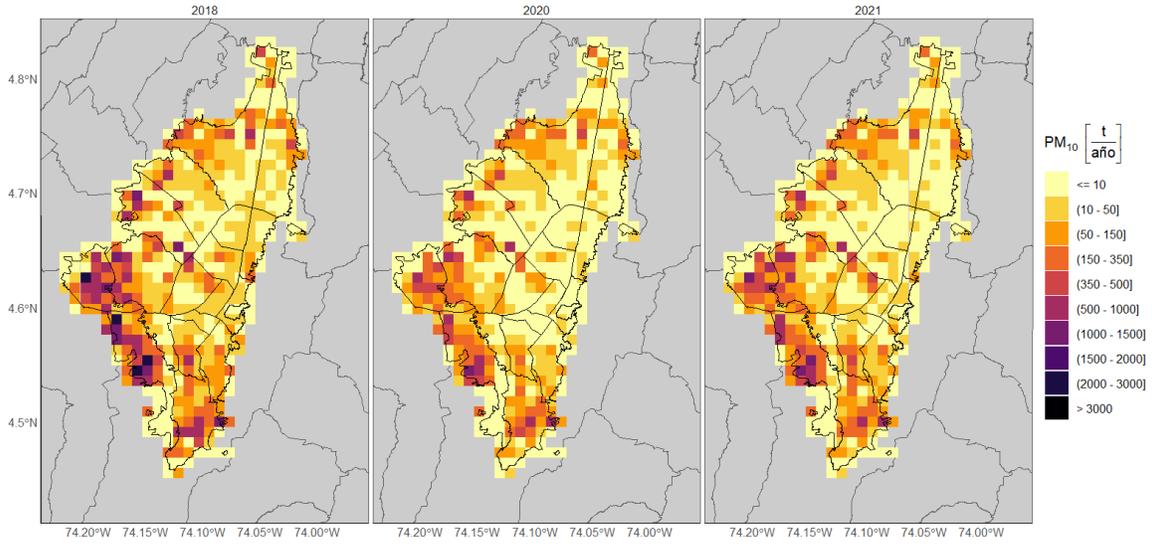
Tabla 17. Emisiones de material resuspendido en vías para los años 2018, 2020 y 2021

Tipo de vía	Emisiones PM <sub>10</sub> (tonelada/año)			Emisiones PM <sub>2.5</sub> (tonelada/año)		
	2018	2020	2021	2018	2020	2021
Principal	1.373,6	825,3	959,2	332,3	199,7	232,1
Secundaria	66.258,8	32.257,9	39.058,9	6.688,6	3.255,7	3.941,8
<b>Total</b>	<b>67.632,4</b>	<b>33.083,2</b>	<b>40.018,1</b>	<b>7.020,9</b>	<b>3.455,4</b>	<b>4.173,8</b>

Elaboración propia

En cuanto a la distribución espacial de las emisiones (Figura 62 y Figura 63), la persistencia de concentración de emisiones 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 7.1.1.

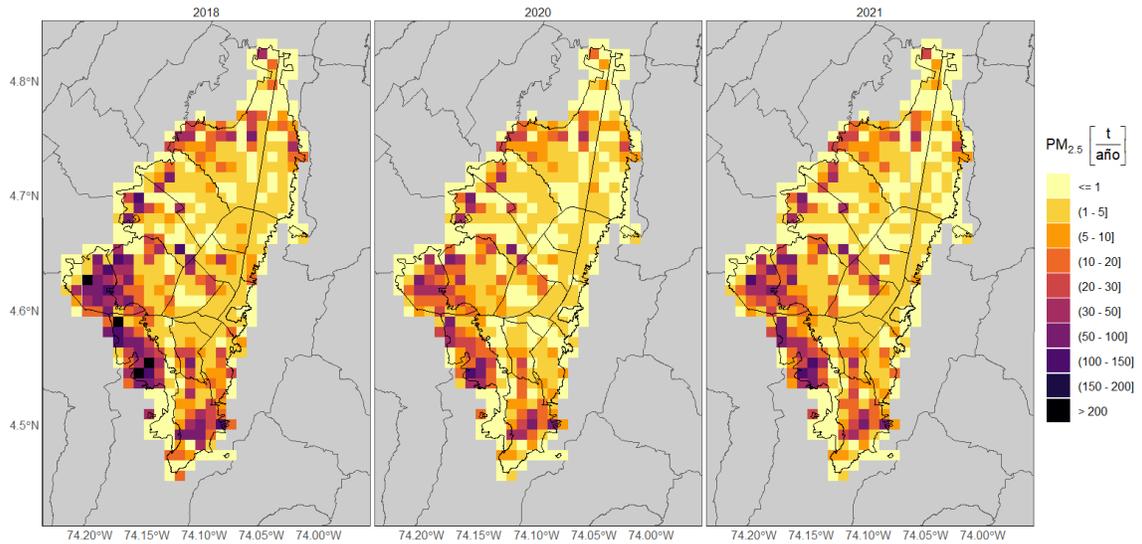
Fuentes Móviles  
Material resuspendido



Fuente: Elaboración propia

Figura 62. Histórico de emisiones de material resuspendido para PM<sub>10</sub>.

Fuentes Móviles  
Material resuspendido



Fuente: Elaboración propia

Figura 63. Histórico de emisiones de material resuspendido para PM<sub>2.5</sub>.

## 8. INVENTARIO DE EMISIONES POR DESGASTE DE FRENOS Y LLANTAS (TBW)

El desgaste de frenos y llantas constituye una fuente adicional de material particulado, el cual puede emitirse en forma directa a la atmósfera, o hacer parte del material particulado depositado en las vías y que podría resuspenderse. El detalle de la metodología utilizada para esta clase de emisiones se presenta en la sección C del Anexo 1.

### 8.1. Inventario de emisiones *Bottom-up*

En la Tabla 18 se presentan las emisiones generadas por el desgaste de frenos y llantas (TBW) 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 3.1.2). 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.

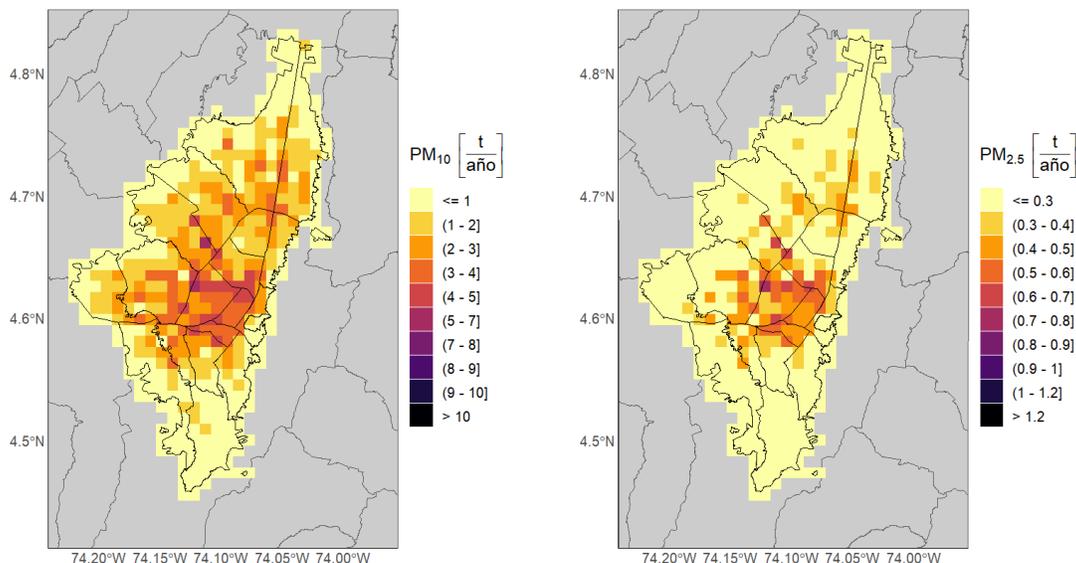
**Tabla 18. Emisiones de TBW por categoría vehicular**

Categoría vehicular	Emisiones en toneladas/año			
	PM <sub>10</sub>	Participación	PM <sub>2.5</sub>	Participación
Camiones	70,9	10,36%	9,2	10,3%
Automóviles	248,4	36,30%	32,9	36,7%
SITP-Zonal y Provisional	25,3	3,70%	3,2	3,6%
SITP- Tronca	33,9	4,95%	4,3	4,8%
Camperos y Camionetas	139,3	20,36%	18,4	20,6%
Motocicletas	108,3	15,82%	14,0	15,6%
Taxis	10,4	1,51%	1,4	1,5%
Especiales	47,9	7,00%	6,2	6,9%
<b>Total</b>	<b>684,3</b>	<b>100%</b>	<b>89,7</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia

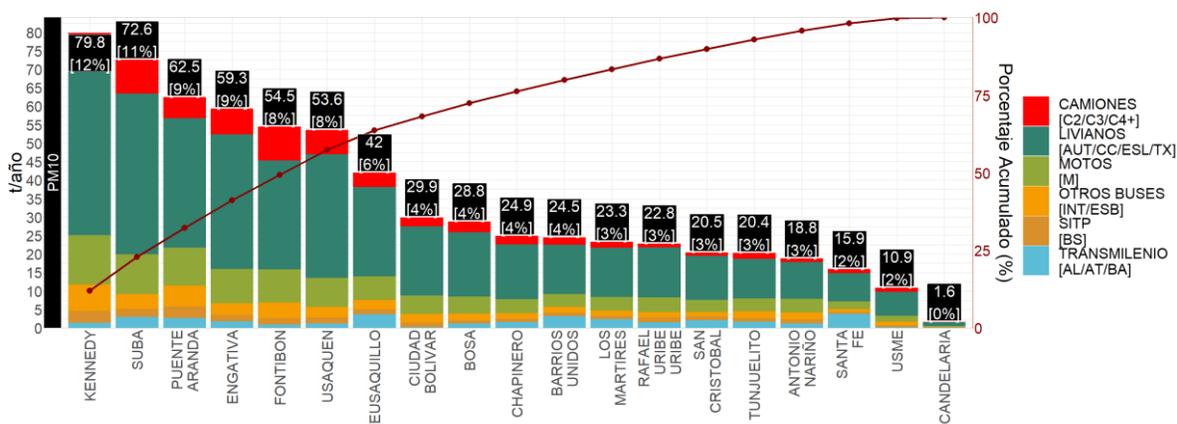
#### 8.1.1. Desagregación espacial para emisiones por desgaste de frenos y llantas

En la Figura 64, se encuentran los mapas de distribución espacial de las emisiones de TBW. 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 65 y Figura 66, en donde Kennedy lidera con un aporte del 12% de las emisiones por localidad, seguida de las localidades de Suba, Puente Aranda y Engativá.



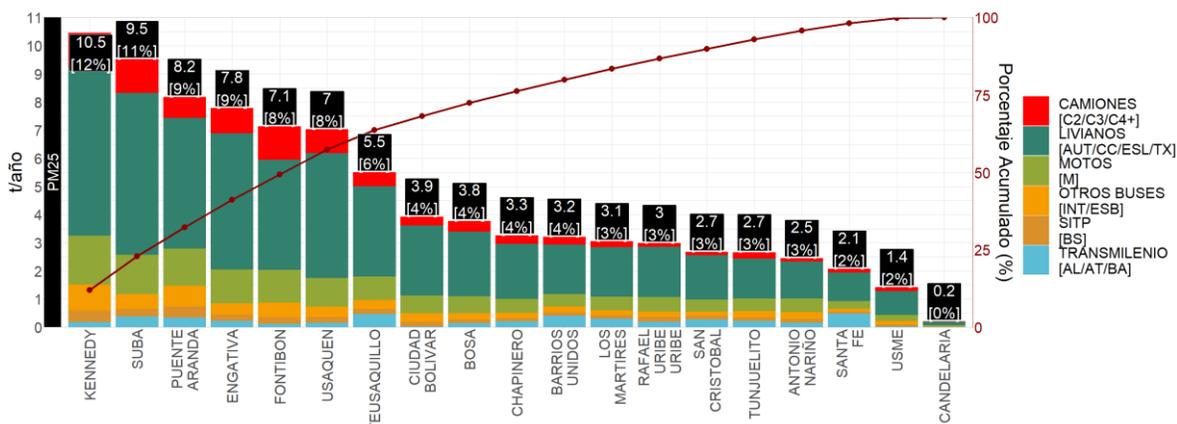
Fuente: Elaboración propia

Figura 64. Distribución espacial de las emisiones PM<sub>10</sub> (izquierda) y PM<sub>2.5</sub> (derecha) generadas por desgaste de frenos y llantas.



Fuente: Elaboración propia

Figura 65. Participación por localidad de las emisiones de PM<sub>10</sub> generas por desgaste de frenos y llantas

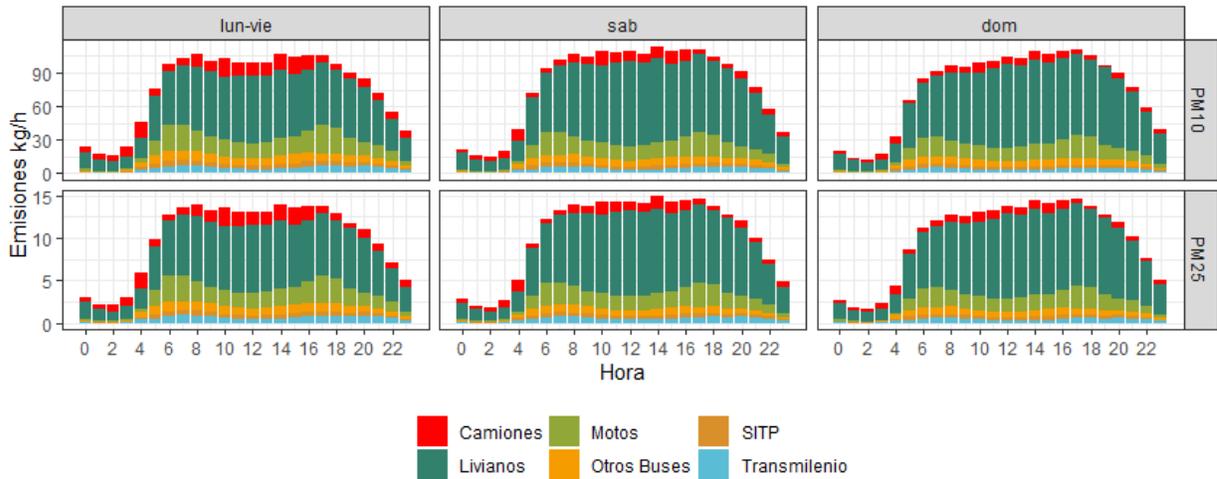


Fuente: Elaboración propia

Figura 66. Participación por localidad de las emisiones de PM<sub>2.5</sub> generas por desgaste de frenos y llantas

### 8.1.2. Desagregación temporal horaria de emisiones

En la desagregación horaria de estas emisiones (Figura 67), 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.



Elaboración propia

Figura 67. Perfiles horarios de emisiones de material particulado para fuentes móviles por desgaste de llantas y frenos.

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

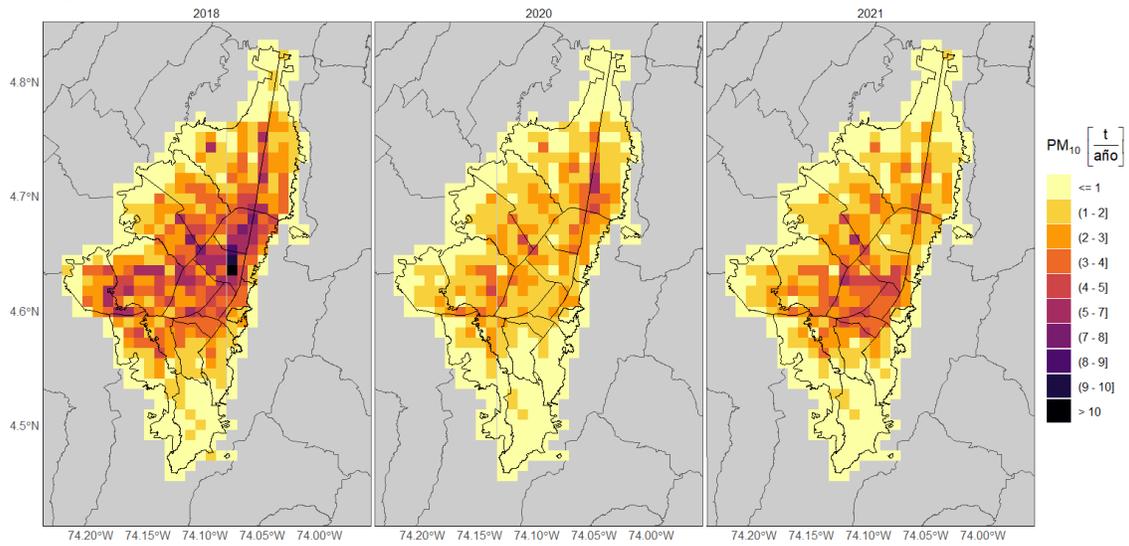
Como se ha mencionado anteriormente, las emisiones por desgaste de frenos y llantas se encuentra condicionados a flujos vehiculares, especialmente de automóviles, camperos y camionetas, categorías que tuvieron la mayor reducción de actividad durante los años de pandemia. Esto se ve reflejado en los mapas de emisiones de los años 2018, 2020 y 2022 presentados en la Figura 68 y Figura 69. En la Tabla 19 se presentan los valores totales de emisiones para estos años, en donde se observa una reducción de casi el 45% de emisiones en el año 2020 con respecto al 2018 y un incremento del 18% para el año 2021 con respecto al año 2020, asociado al efecto COVID-19 ya explicado.

Tabla 19. Emisiones de material resuspendido por desgaste de frenos y llantas para los años 2018, 2020 y 2021

Tipo de vía	Emisiones PM10 (tonelada/año)			Emisiones PM2.5 (tonelada/año)		
	2018	2020	2021	2018	2020	2021
Principal	766,1	432,5	507,5	100,2	56,5	66,3
Secundaria	291,9	147,2	176,9	38,4	19,4	23,3
<b>Total</b>	<b>1.058,0</b>	<b>579,7</b>	<b>684,3</b>	<b>138,6</b>	<b>75,9</b>	<b>89,7</b>

Fuente: Elaboración propia

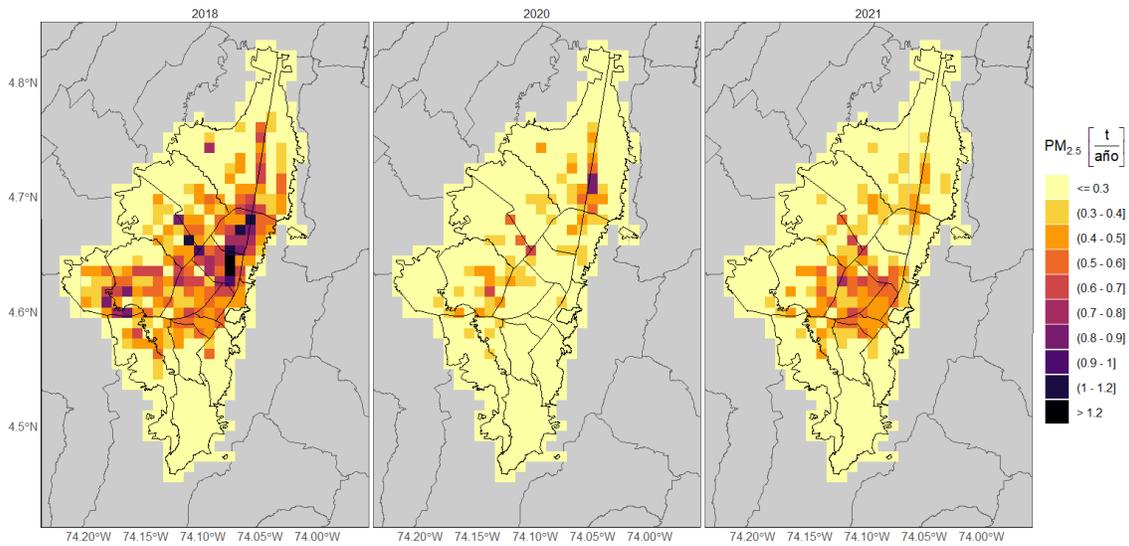
Fuentes Móviles  
desgaste de frenos y llantas



Fuente: Elaboración propia

**Figura 68. Distribución espacial de emisiones histórico por desgaste de llantas y frenos para PM<sub>10</sub>.**

Fuentes Móviles  
desgaste de frenos y llantas



Fuente: Elaboración propia

**Figura 69. Distribución espacial de emisiones histórico por desgaste de llantas y frenos para PM<sub>2.5</sub>.**

## 9. INVENTARIO DE EMISIONES DE MATERIAL RESUSPENDIDO PROVENIENTE DE CONTRUCCIONES

### 9.1. Inventario de emisiones *Bottom-up*

El inventario debido a construcciones del año 2021 se clasifica según las emisiones provenientes de la construcción de vías y de edificaciones. La metodología utilizada se detalla en la sección E del Anexo 1. Los resultados de estimaciones se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Emisiones del año 2021 generadas por construcciones

Tipo de construcción	Emisiones (tonelada/año)	
	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
Rehabilitación de vías	57,8	206,3
Edificaciones	253,3	903,8
Dotacionales	44,8	159,9
Multifamiliar	124,9	445,5
Otro	11,5	41,2
Proyecto VIP	3,1	11,1
Proyecto VIS	45,1	160,9
Remodelación	14,5	51,8
Vivienda Individual	9,3	33,3
<b>Total</b>	<b>311,1</b>	<b>1.110,0</b>

Fuente: Elaboración propia

#### 9.1.1. Desagregación espacial de emisiones

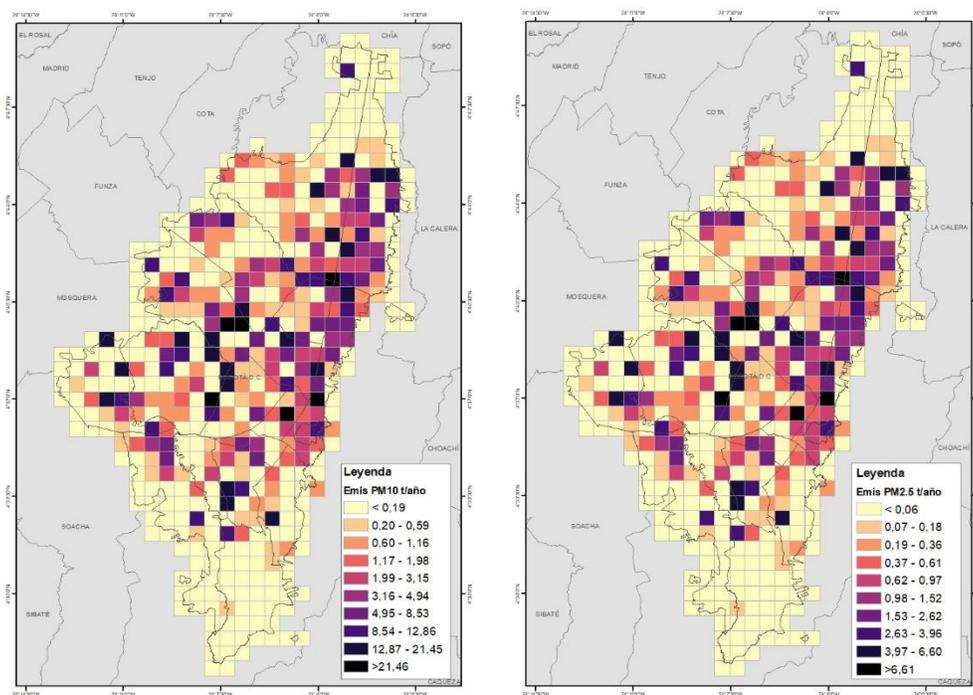
La distribución espacial de las emisiones de material resuspendido de las construcciones presentes en la ciudad, se presenta en los mapas de Figura 70, en donde se observa una concentración de emisiones en la zona oriente, central y occidental de la ciudad. Lo anterior se evidencia en el análisis de participación por localidad (Tabla 21), en donde Usaquéen, Fontibón, Kennedy, Suba y Teusaquillo, 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 21. Participación por localidad en generación de emisiones de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> resuspendido por construcciones

Localidad	Participación en emisiones de PM <sub>2.5</sub>	Participación en emisiones de PM <sub>10</sub>
Usaquén	13%	13%
Fontibón	12%	12%
Kennedy	11%	11%
Suba	10%	10%
Teusaquillo	7%	7%
Chapinero	6%	6%
Engativá	6%	6%
Bosa	6%	6%

Localidad	Participación en emisiones de PM <sub>2.5</sub>	Participación en emisiones de PM <sub>10</sub>
Los Mártires	5%	5%
Rafael Uribe Uribe	4%	4%
Barrios Unidos	4%	4%
Santa Fe	4%	4%
Puente Aranda	4%	4%
Ciudad Bolívar	3%	3%
San Cristóbal	2%	2%
Usme	1%	1%
Antonio Nariño	1%	1%
Candelaria	0%	0%
Tunjuelito	0%	0%
Sumapaz	0%	0%

Fuente: Elaboración propia



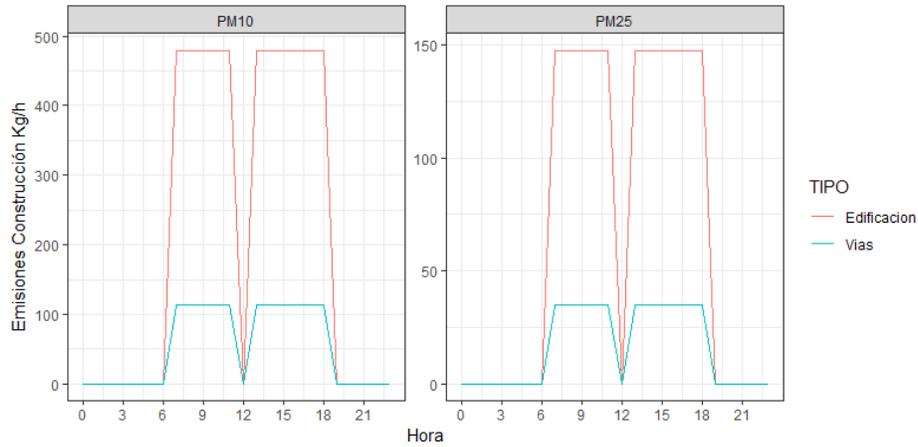
Elaboración propia

Figura 70. Distribución espacio temporal de las PM<sub>10</sub> (izquierda) y PM<sub>2.5</sub> (derecha) por resuspensión de construcciones.

### 9.1.2. Desagregación temporal horaria de emisiones

Los perfiles horarios para las emisiones de resuspendido por construcciones de vías y edificaciones, se presentan en la Figura 71, para los contaminantes PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>. En estas graficas se presentan las emisiones en los días (lunes a sábados), donde se asumen unos horarios de funcionamiento de las construcciones que corresponde a: inicio de actividades a las 6:00, horario

en donde incrementan las emisiones hasta las 12:00, en donde se presenta una disminución debido al horario de almuerzo o descanso y nuevamente el reinicio de actividades a las 2:00pm hasta finalizar el día a las 6:00 pm.



Elaboración propia

**Figura 71. Perfil horario de las emisiones de material resuspendido construcción de vías y edificaciones**

## 10. INVENTARIO DE EMISIONES DE MATERIAL RESUSPENDIDO PROVENIENTE DE CANTERAS

### 10.1. Inventario de emisiones *Bottom-up*

Para el inventario de emisiones del año 2021, se realizó la actualización de estimación de emisiones generadas por las canteras utilizando la metodología de la sección F del Anexo 1. Como se presentó en la sección 3.4, 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. Los resultados del total de emisiones para canteras estimadas para en este inventario para el año 2021 y las estimaciones realizadas por la Universidad de La Salle del año 2012, se presentan en la Tabla 22, en donde se observa una reducción de emisiones de aproximadamente 60%.

Tabla 22. Resultados de inventario de emisiones de construcciones año 2012 y 2021<sup>10</sup>

Año	Emisiones (toneladas/año)	
	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>
2012	431,0	936,0
2021	173,0	380,3

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

Fuente año 2021: Elaboración propia

#### 10.1.1. Desagregación espacial de emisiones

En los mapas de la Figura 72 se presenta la desagregación espacial de los contaminantes de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>. Se observa como la mayor emisión por canteras se presenta en la parte sur de la ciudad, específicamente en la localidad de Usme.

<sup>10</sup> Las emisiones generadas por las canteras de ubicadas en la localidad de Ciudad Bolívar no se encuentran cuantificadas en este inventario ya que se encuentran por fuera del perímetro urbano.

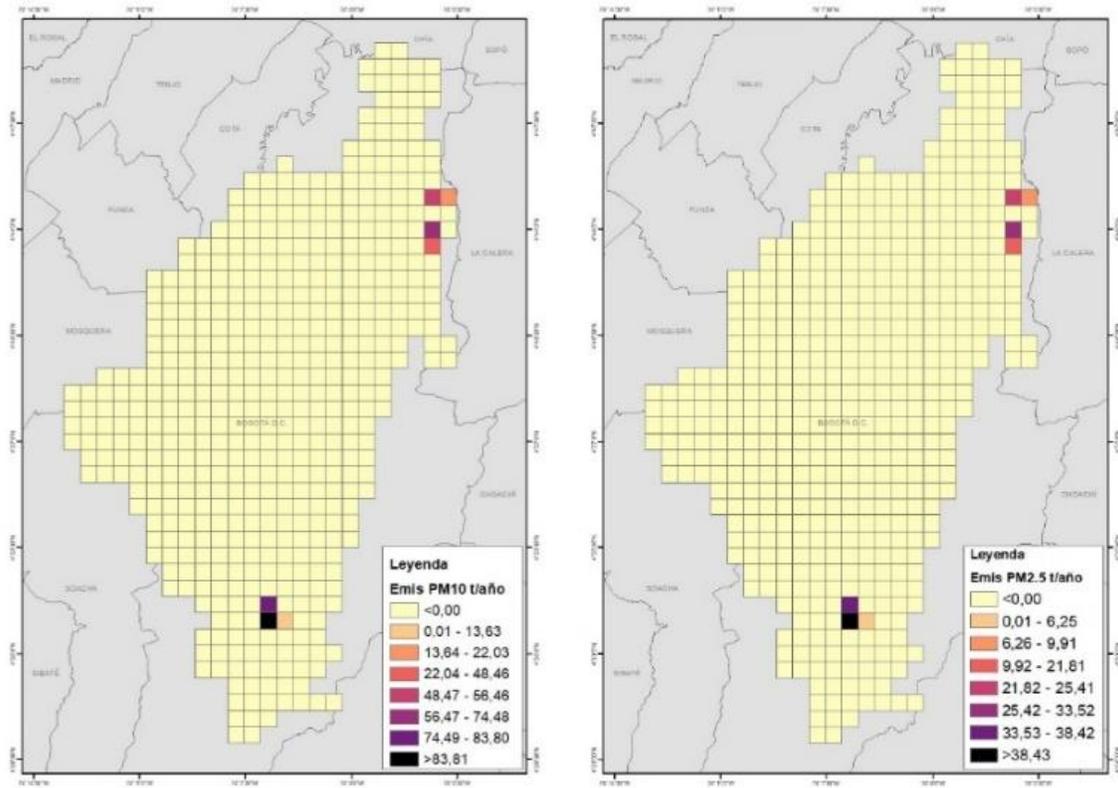


Figura 72. Distribución espacio temporal de las PM10 (izquierda) y PM2.5 (derecha) por resuspensión de construcciones.

## **11. INVENTARIO DE EMISIONES DE BLACK CARBON**

El *Black Carbon* (BC) es uno de los componentes claves del material particulado que contribuye al cambio climático y el deterioro de la calidad del aire. Parte de la fracción carbonácea del material particulado es el BC, el cual se caracteriza por una fuerte absorción de luz en el rango de longitud del espectro visible (380 – 780 nm) y resistencia a su transformación química en la atmósfera, lo que permite asociarlo como un trazador de emisiones de combustión de fuentes fósiles y quema de biomasa. Estas dos características, destacan el BC como uno de los contaminantes de vida corta con mayor impacto en el clima, la calidad del aire y la salud de la población (GAW Report, 2016).

El BC tiene más impacto en cambio climático (por unidad de masa) que el CO<sub>2</sub>, debido a que es 3200 veces más efectivo en términos de forzamiento climático, incrementando la temperatura global y regional al ser emitido a la atmósfera. El BC tiene un periodo de permanencia en aire ambiente más corto que el CO<sub>2</sub>, de 4 a 12 días, por lo que puede usarse como trazador de emisiones de combustión. Dadas la capacidad de absorber luz del BC, este contaminante contribuye en el calentamiento de la atmósfera, además de afectar en la formación de nubes, alterar los patrones de circulación regional y el régimen de lluvias (Minjares, y otros, 2014)

Las partículas con mayor contenido de BC tienen, típicamente, menos de 100 nm de diámetro lo que les permite penetrar en el sistema respiratorio, admitiendo su acceso a los sacos alveolares y torrente sanguíneo. Estudios compilados por la OMS, proporcionan suficiente evidencia de una variación a corto y largo plazo de las concentraciones de BC con los ingresos hospitalarios por enfermedades cardiovasculares y por mortalidad asociada a enfermedades cardiovasculares (Krzyzanowski, 2005). Los productos co-emitidos con el BC durante los procesos de combustión, son altamente tóxicos para la salud de las personas que se encuentra expuestas a estas emisiones. En áreas urbanas, el tráfico vehicular es la principal fuente de BC, contribuyendo a incrementar el riesgo de muerte, particularmente por enfermedades cardiovasculares y la tasa de enfermedades respiratorias. Dado que el BC, es trazador de combustión y su concentración es proporcional al flujo vehicular, este componente del material particulado puede ser considerado como un indicador de los efectos adversos de las partículas atmosféricas (Janssen, y otros, 2011).

Históricamente, las intervenciones técnicas para controlar las emisiones de BC procedentes del tráfico, se han apoyado con éxito en las mejoras en la calidad del combustible y en los estándares de emisiones de los vehículos, adoptando estrictos estándares de emisiones, por ejemplo, euro 6. Las intervenciones de control de emisiones de BC, en los países en desarrollo deben ser sensibles a la solidez de la gobernanza local y la capacidad técnica. Apuntando a la máxima reducción factible, guiada por mejores prácticas. Así, las hojas de ruta de las políticas pueden ser una herramienta útil para proporcionar una mayor previsibilidad de las intervenciones.

### 11.1. Emisiones de BC generadas por las fuentes fijas industriales

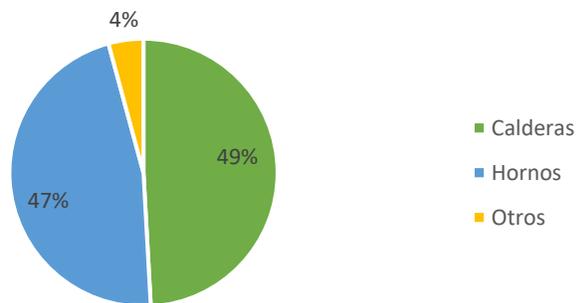
Este inventario detalla las emisiones realizadas de BC estimadas con la metodología explicada en la sección H.1. del Anexo 1. De esta estimación se obtiene que en Bogotá se generaron un total de 23,5 toneladas de BC desagregados por tipo de fuente de emisión como se presenta en la Tabla 23.

**Tabla 23. resultados de BC para fuentes industriales**

<i>Tipo de Fuente</i>	<i>Emisiones de BC (tonelada/año)</i>	<i>Participación %</i>
Calderas	11,56	49%
Hornos	10,98	46%
Otros	0,99	4,3%
<b>Total</b>	<b>23,53</b>	<b>100%</b>

Fuente: Elaboración propia

La participación por tipo de fuente en las emisiones de BC se presenta en la Figura 73 . Esta distribución de las emisiones es similar a lo presentó para el material particulado, en donde las calderas, son las principales fuentes aportantes a este contaminante.

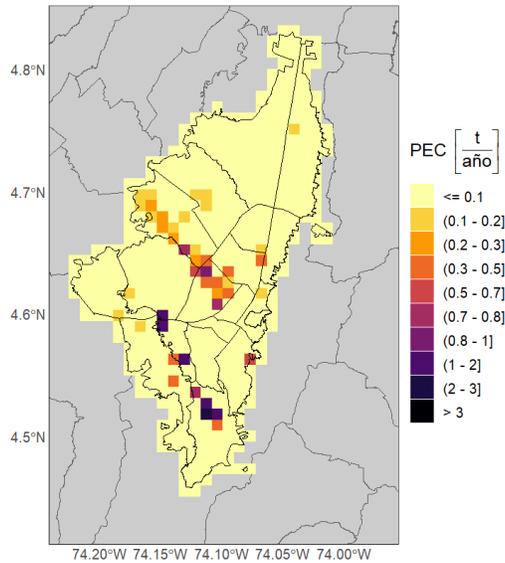


Fuente: Elaboración propia

**Figura 73. Porcentaje de participación BC para industrias.**

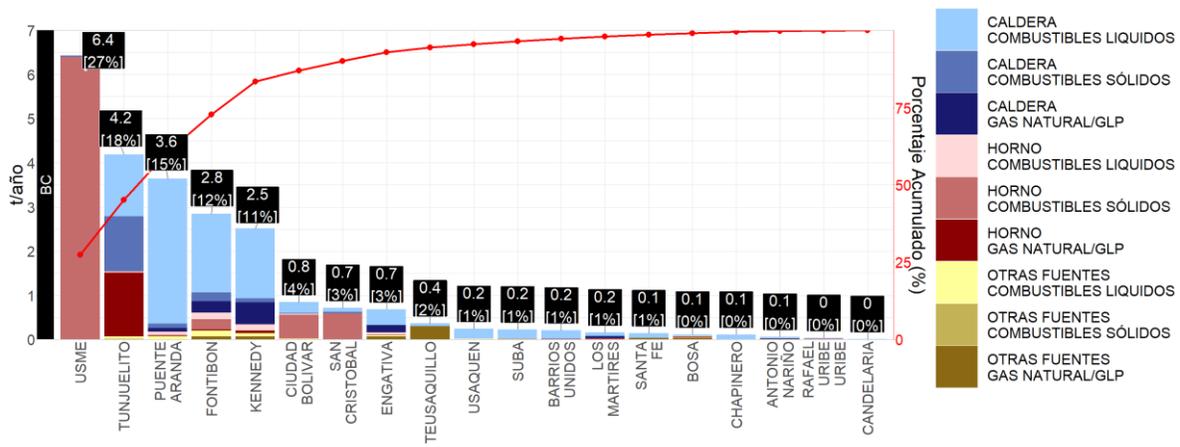
#### 11.1.1. Desagregación espacial para fuentes fijas industriales

En el mapa de la Figura 74, se observa la distribución espacial de emisiones BC generadas por fuentes fijas industriales en la ciudad de Bogotá y en la Figura 75 se presenta la participación por localidad, en donde Usme es la de mayor aporte al BC debido al funcionamiento de las ladrilleras en esta zona.



Fuente: Elaboración propia

Figura 74. Degradación de emisiones para BC en fuentes fijas industriales

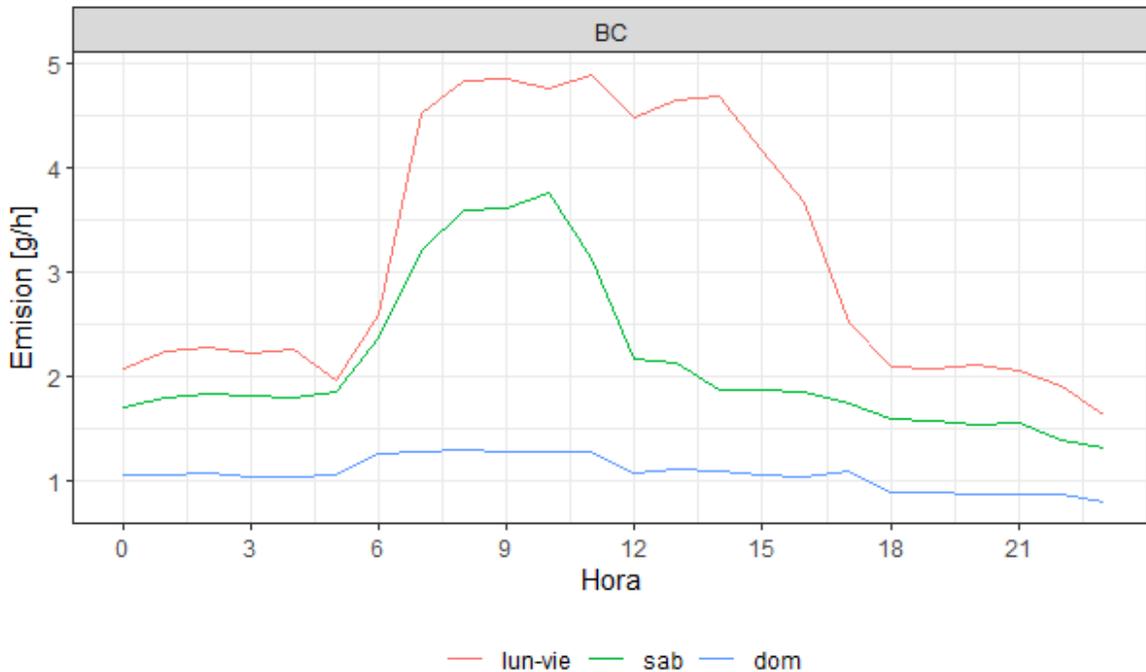


Elaboración propia

Figura 75. Participación por localidad de las emisiones de BC generas por las fuentes fijas industriales

### 11.1.2. Desagregación temporal horaria de las emisiones

Los perfiles horarios para las emisiones del contaminante BC de las fuentes fijas industriales se presentan en la Figura 76. En esta grafica se presentan las emisiones en los días hábiles (lunes a viernes), sábados y domingos, que obedecen al mismo perfil presentado en la sección 5.1.2 para las emisiones de contaminantes criterio de este tipo de fuente, en donde de forma general las mayores emisiones presentan los días entre semana, en donde las emisiones se inician su incremento desde las 6 am, hora en la que se encienden las fuentes hasta un pico a las 12 m y un posterior descenso.



Elaboración propia

**Figura 76. Perfil horario BC Industrias**

### 11.2. Emisiones de BC generadas por las fuentes móviles en carretera

En esta sección se entenderán como las emisiones de fuentes móviles en carretera como la suma de aquellas emisiones de BC generadas en procesos de combustión, desgaste de llantas y freno, y resuspensión de vías. De las cuales se describe la metodología de estimación en sección H.2 del Anexo 1.

Las emisiones totales de BC para fuentes móviles en carretera (Tabla 24) corresponden a un valor de 584,0 toneladas para el año 2021. Estas incluyen las emisiones generadas en procesos mecánicos como resuspensión de material particulado en la vía y para el desgaste de frenos y llantas.

**Tabla 24. BC para fuentes móviles en carretera**

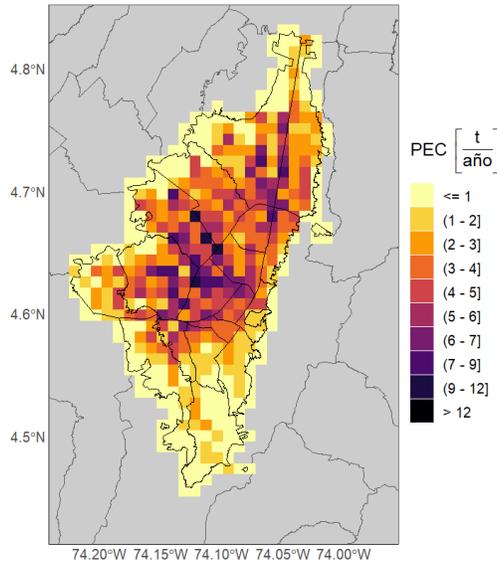
Tipo de emisión	Emisión de BC (toneladas/año)
Combustión	570,0
Resuspendido por vías	6,8
Desgaste y freno de llantas	7,2
<b>Total</b>	<b>584,0</b>

Elaboración propia

#### 11.2.1. Desagregación espacial para fuentes móviles

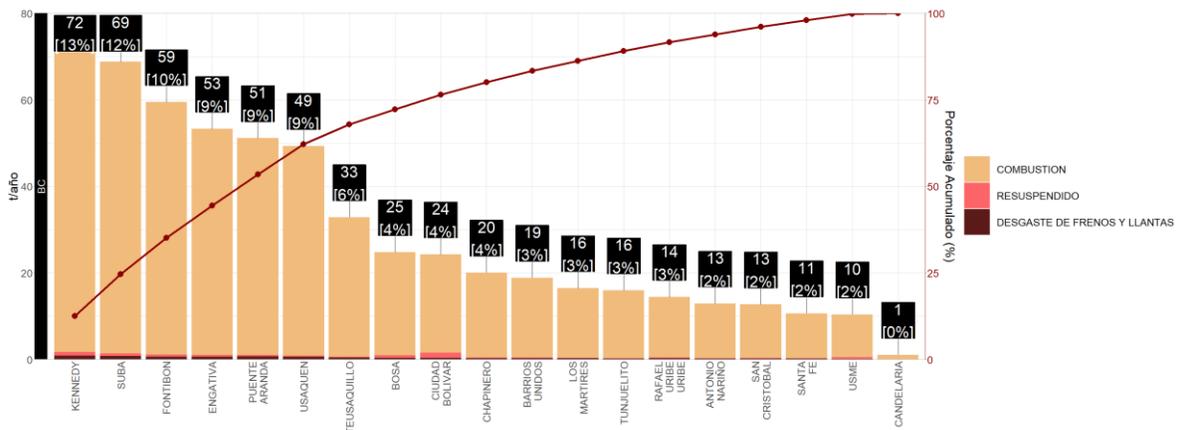
La desagregación espacial de emisiones (Figura 77) permitió identificar a las vías que generan más emisiones de BC en las que se encuentran: la Avenida Boyacá, Autopista norte, Autopista Sur, Avenida Calle 26, Avenida ciudad de Cali, la Avenida Carrera 68 y la Avenida Caracas. De la mismo formas las localidades de mayor aporte de BC por fuentes móviles (Figura 78) son Kennedy, Suba,

Fontibón y Engativá. Lo anterior acorde con lo analizado en la sección 4.2.1 para contaminantes criterio.



Elaboración propia

Figura 77. BC para fuentes móviles en carretera del año 2021.



Elaboración propia

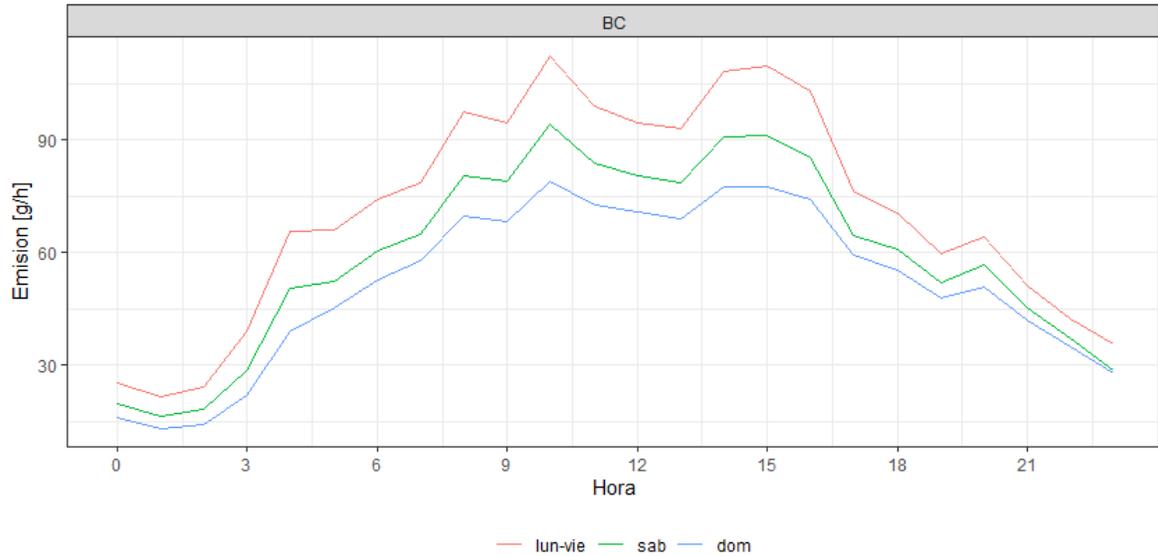
Figura 78. Participación por localidad de las emisiones de BC generas por las fuentes móviles en carretera

### 11.2.2. Desagregación temporal horaria de las emisiones

La desagregación horaria de las emisiones BC generadas por las fuentes móviles se presenta para los días hábiles (lunes a viernes), sábados y domingos en la Figura 79. En donde se inicia el crecimiento de las emisiones a las 3:00 am, llegando a su valor máximo hasta las 11:00 am, permaneciendo casi constante a las 16:00 donde posteriormente comienza a bajar paulatinamente las emisiones. En cambio, para los sábados la reducción de emisiones por las actividades móviles disminuye un 30% en los mismos horarios de la semana, mientras que en los domingos las emisiones

tienen un comportamiento un poco menor debido a la cantidad de carros que realizan sus actividades durante este día.

El comportamiento tan irregular de los perfiles de BC en combustión se deben principalmente a que el BC está modulado principalmente por las emisiones de los camiones, de hecho, este comportamiento es similar al encontrado en los flujos vehiculares para esta categoría, mostrados en la Figura 33.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 79. Perfil horario BC fuentes móviles para el año 2021**

## 12. INVENTARIO CONSOLIDADO DE EMISIONES

En la Tabla 25 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 2021 se estima que se generaron 44.709 toneladas de PM<sub>10</sub> y 6.903 toneladas de PM<sub>2.5</sub>, en la ciudad.

**Tabla 25. Inventario Consolidado de emisiones para la ciudad representativo para el año 2021**

Fuente de Emisión		Metodología	Años del inventario	Emisiones (t/año) <sup>a</sup>						
				PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	COV	BC
MÓVILES	En carretera	Top- Down	2021	1.684	1.527	61.115	561	440.557	69.984	NE
		Bottom-Up	2021	1.511	1.373	55.985	576	433.726	66.567	570
	Fuera de carretera <sup>b</sup>	Top- Down	2018	450	437	5.457	16	2.858	534	NE
FIJAS	Industriales	Bottom-Up	2021	184	68	1.637	420	496	87	24
	Comerciales	Bottom-Up	2014	130	68	67	190	2.529	105	NE
	EDS Y CAC	Bottom-Up	2012	NA	NA	NA	NA	NA	25.586	NE
	Residenciales	Top- Down	2021	3	3	641	5	336	27	NE
FUENTES NATUALES Y FORESTALES	Incendios Forestales	Bottom-Up	2014	61	55	14	NE	500	NE	NE
	Biogénicas	Bottom-Up	2012	NA	NA	NA	NA	NA	2.037	NE
RESUSPENDIDO	Desgaste de frenos y llantas	Bottom-Up	2021	684	89	NA	NA	NA	NA	7,2
	Vías pavimentadas	Bottom-Up	2021	1.212	293	NA	NA	NA	NA	6,8
	Vías no pavimentadas	Bottom-Up	2021	38.806	3.881	NA	NA	NA	NA	
	Rehabilitación de vías	Bottom-Up	2021	206	58	NA	NA	NA	NA	NE
	Terrenos Agrícolas	Bottom-Up	2012	5	NE	NA	NA	NA	NA	NE
	Canteras	Bottom-Up	2021	380	172	NA	NA	NA	NA	NE
	Construcciones de edificaciones	Bottom-Up	2021	904	253	NA	NA	NA	NA	NE
				<b>44.709</b>	<b>6.903</b>	<b>68.931</b>	<b>1.192</b>	<b>447.276</b>	<b>98.360</b>	<b>608</b>

a. NA: No Aplica, NE: No estimado

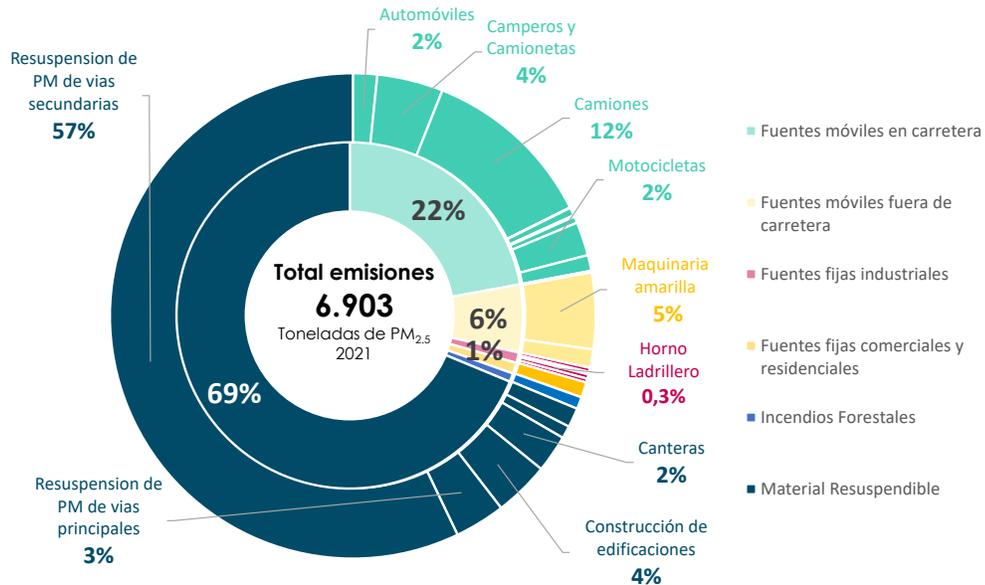
b. El inventario de emisiones de fuentes móviles fuera de carretera correspondiente a la maquinaria utilizada en la ciudad corresponde al estimado por el programa Clima y Aire limpio en Ciudades de América Latina CALAC+.

c. Las emisiones totales suman únicamente las emisiones de las fuentes móviles en carretera estimadas a partir de la metodología Top-Down con excepción de las emisiones de BC.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 80 se presenta la participación en la generación de emisiones de PM<sub>2.5</sub> de todas las fuentes evaluadas. La fuente con mayor aporte corresponde aquellas emisiones generadas como resuspensión de material particulado en vías secundarias (57%) y principales (3%) de la ciudad por asociadas al flujo vehicular y a la no pavimentación, en donde el 93% de estas emisiones se generan en vías sin pavimentar. Por su parte las emisiones de fuentes móviles por combustión generan el 22% de las emisiones de PM<sub>2.5</sub>, teniendo la mayor participación en generación de emisiones por parte de camiones (12%), camperos y camionetas (4%), motocicletas (2%) y automóviles (2%). Las emisiones de maquinaria amarilla representan el 5% de las emisiones, sin embargo, estos valores corresponden a estimaciones realizadas para el año 2018, las cuales serán actualizadas en próximos

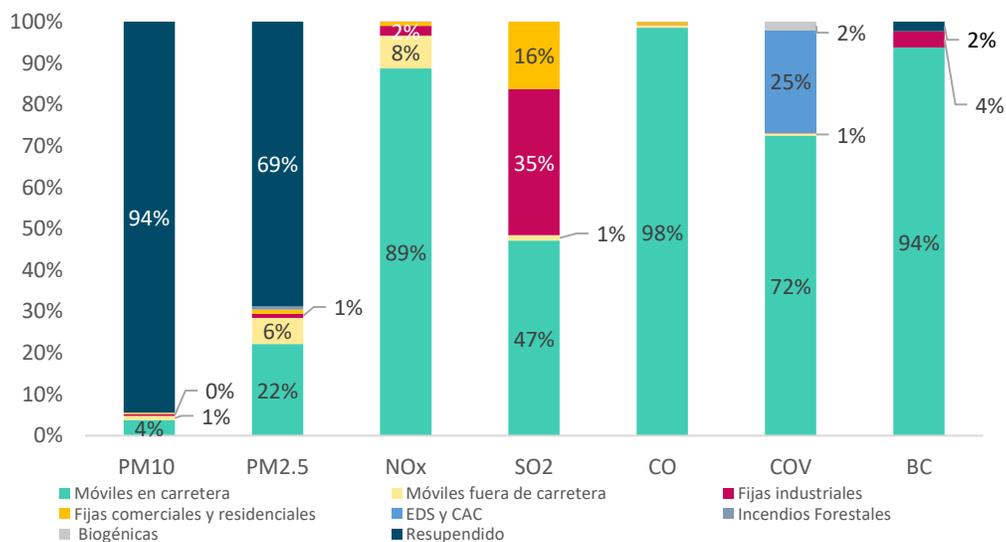
inventarios. Por su parte, las fuentes fijas industriales y fuentes comerciales representan el 1% de las emisiones.



Fuente: Elaboración propia

**Figura 80. Participación porcentual en emisiones de PM<sub>2,5</sub> por tipo de fuente**

Para los demás contaminantes criterio la distribución porcentual de participación de emisiones se presenta en la Figura 81, en donde las emisiones de las fuentes móviles en carretera aportan la mayoría de las emisiones de los contaminantes gaseosos. En cuanto a SO<sub>2</sub>, que es un contaminante clave al ser un precursor de material particulado secundario en la atmosfera, las fuentes fijas industriales aportan cerca del 35% 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 94% por las emisiones de combustión de las fuentes móviles en carretera.



Elaboración propia

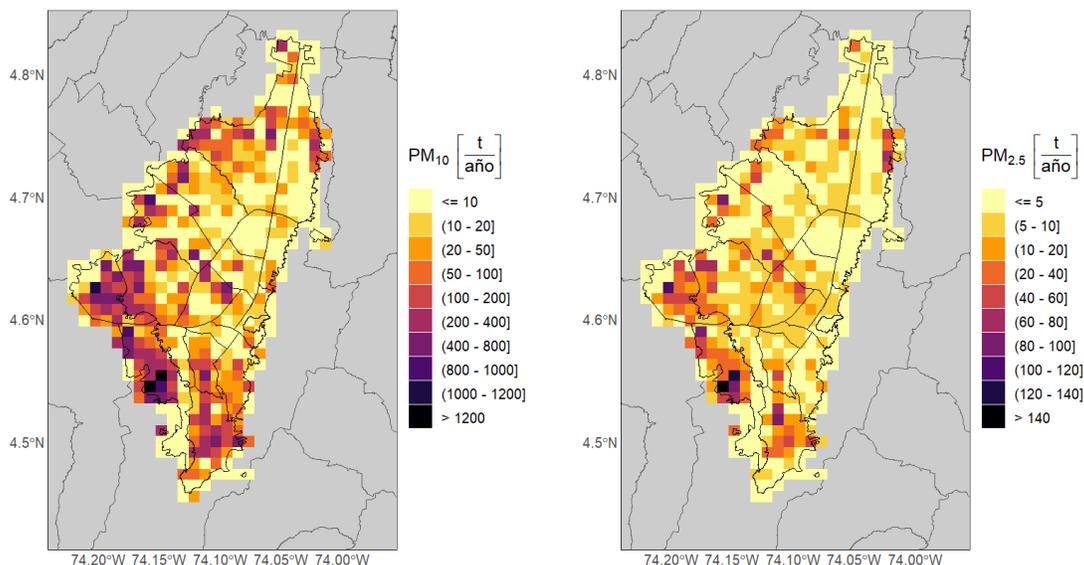
**Figura 81. Participación porcentual del total de emisiones de contaminantes criterio y BC por tipo de fuente para el año 2021**

## 12.1. Desagregación espacial de las emisiones totales

En cuanto a la desagregación espacial de emisiones para los contaminantes  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  (Figura 82), la distribución se encuentra condicionada a lo observado en material particulado resuspendido de vías, el cual es el principal aportante de estos contaminantes en las emisiones por localidad (Figura 85 y Figura 86).

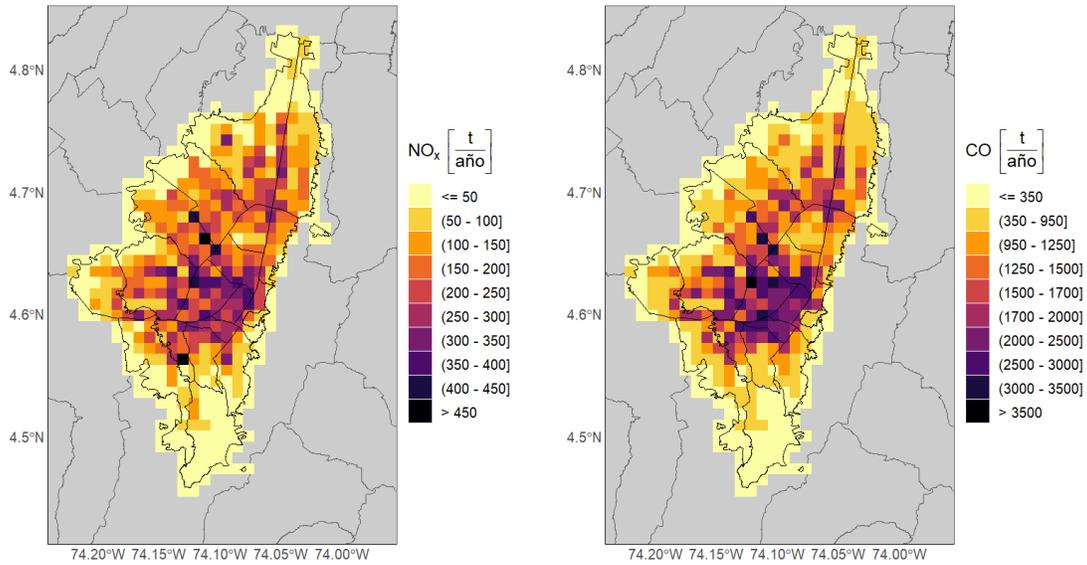
Por su parte, las emisiones de los contaminantes  $NO_x$  y  $CO$ , se encuentran principalmente generados en cada localidad por los procesos de combustión de las fuentes móviles en carretera (Figura 87 y Figura 88). Es así que a distribución especial de los mapas de la Figura 83 tienen una distribución en donde se observan ramificaciones correspondientes a las vías principales de la ciudad como se analizó en la sección 4.2.1.

En cuando demás contaminantes como  $SO_2$ , se observa cómo la localidad de Usme es la que genera las mayores emisiones de este contaminante (Figura 89), asociadas principalmente a las ladrilleras ubicadas en esta zona.



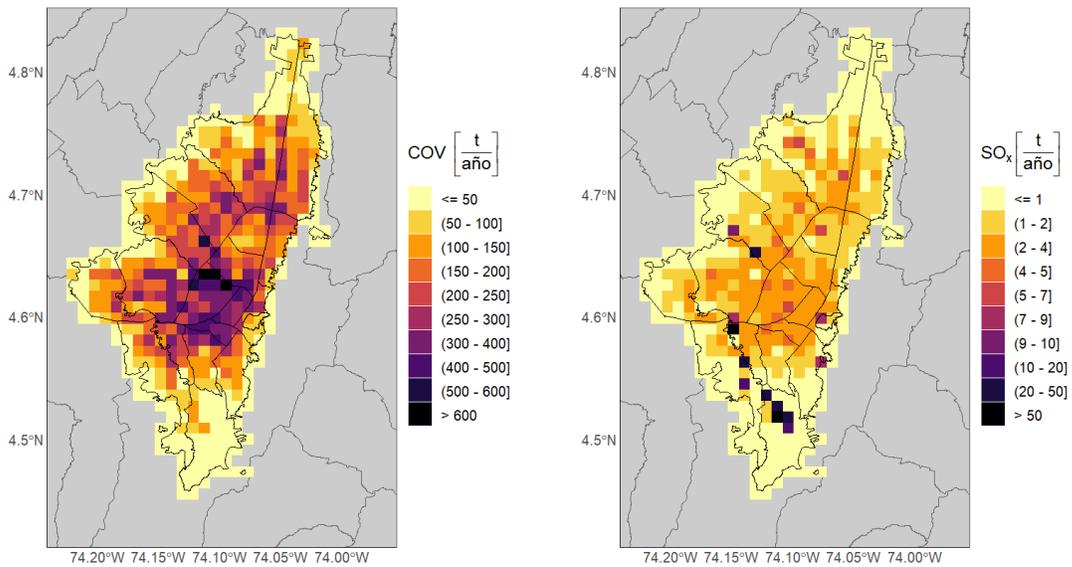
Fuente: Elaboración propia

**Figura 82. Distribución espacial de las emisiones totales  $PM_{10}$  (izquierda) y  $PM_{2.5}$  (derecha) generadas en el año 2021.**



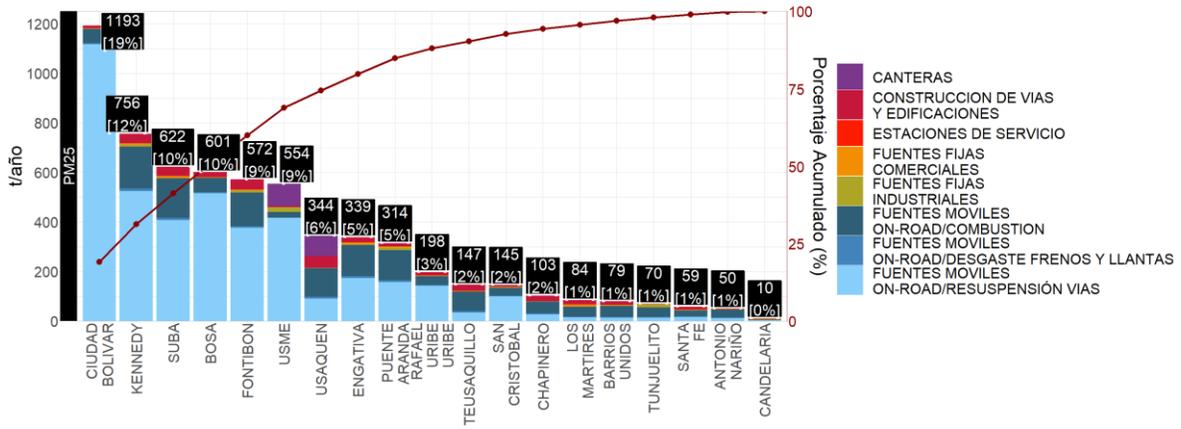
Fuente: Elaboración propia

**Figura 83. Distribución espacial de las emisiones  $\text{NO}_x$  (izquierda) y CO (derecha) generadas en el año 2021.**



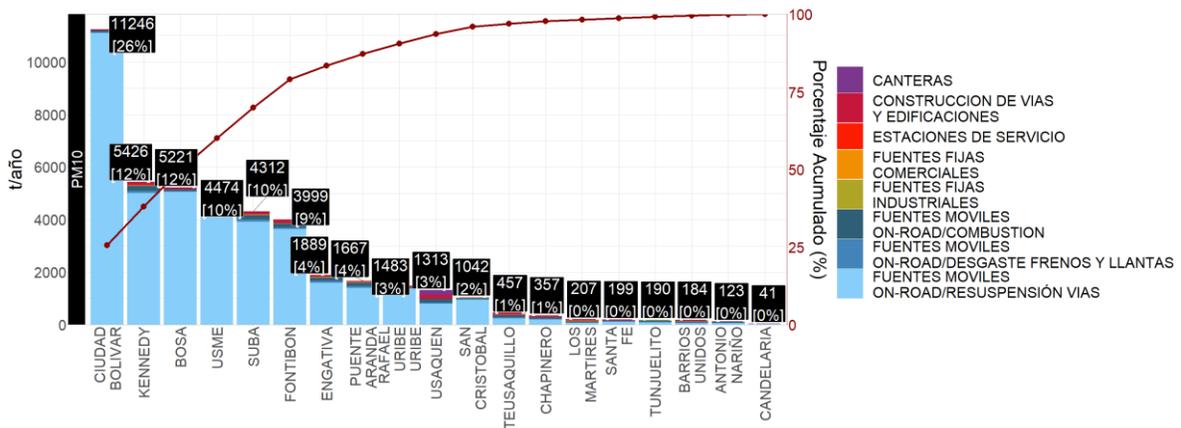
Fuente: Elaboración propia

**Figura 84. Distribución espacial de las emisiones COV (izquierda) y  $\text{SO}_2$  (derecha) generadas en el año 2021.**



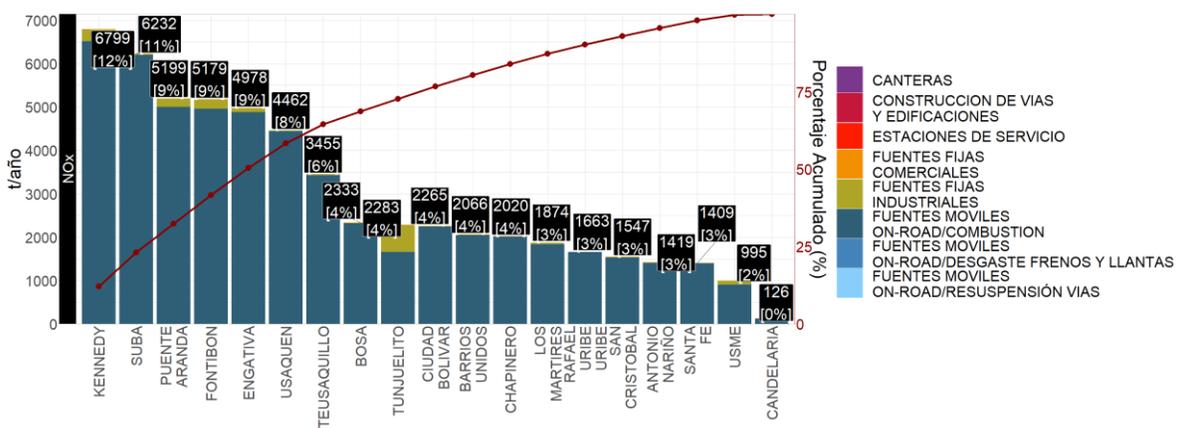
Fuente: Elaboración propia

Figura 85. Participación localidad en la emisión de PM<sub>2.5</sub>



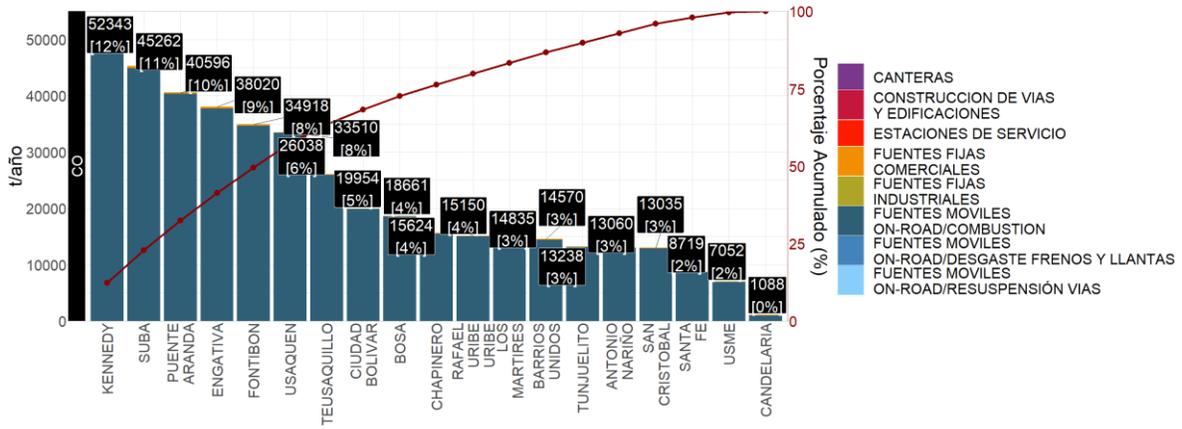
Fuente: Elaboración propia

Figura 86. Participación localidad en la emisión de PM<sub>10</sub>



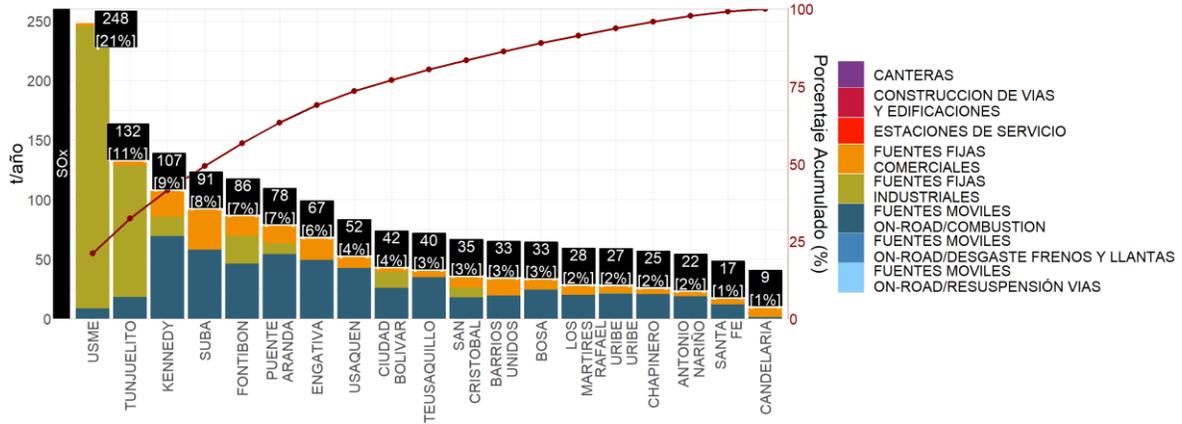
Fuente: Elaboración propia

Figura 87. Participación localidad en la emisión de NO<sub>x</sub>



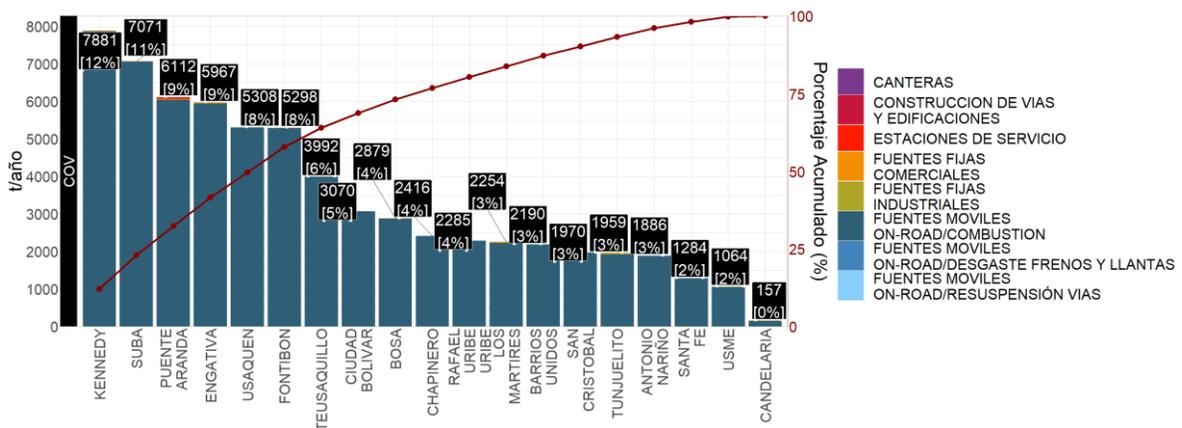
Fuente: Elaboración propia

Figura 88. Participación localidad en la emisión de CO



Fuente: Elaboración propia

Figura 89. Participación localidad en la emisión de SO<sub>x</sub>

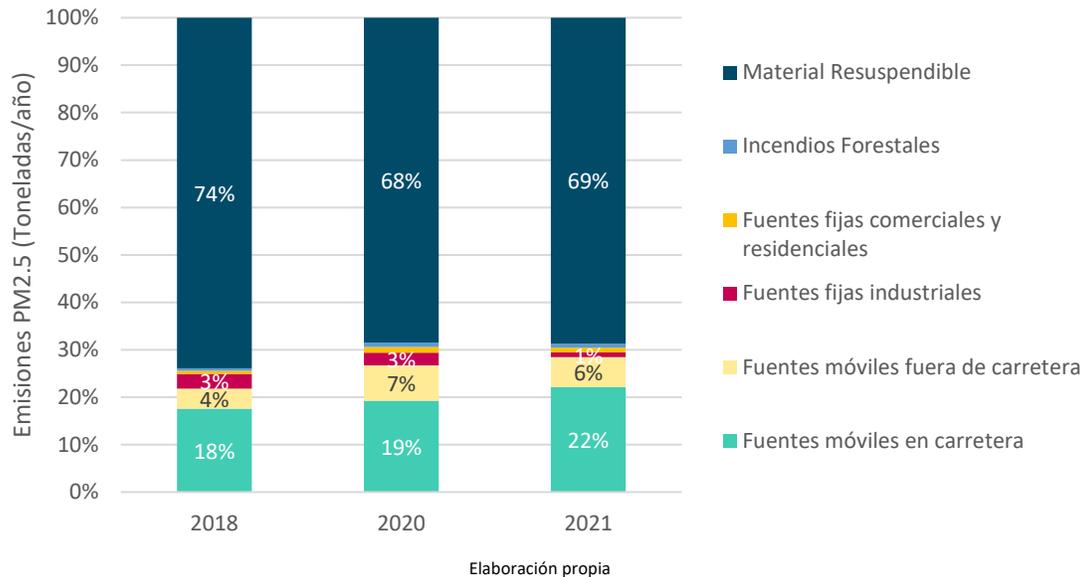


Fuente: Elaboración propia

Figura 90. Participación localidad en la emisión de COV

## 12.2. Resultados históricos de los inventarios de emisiones totales

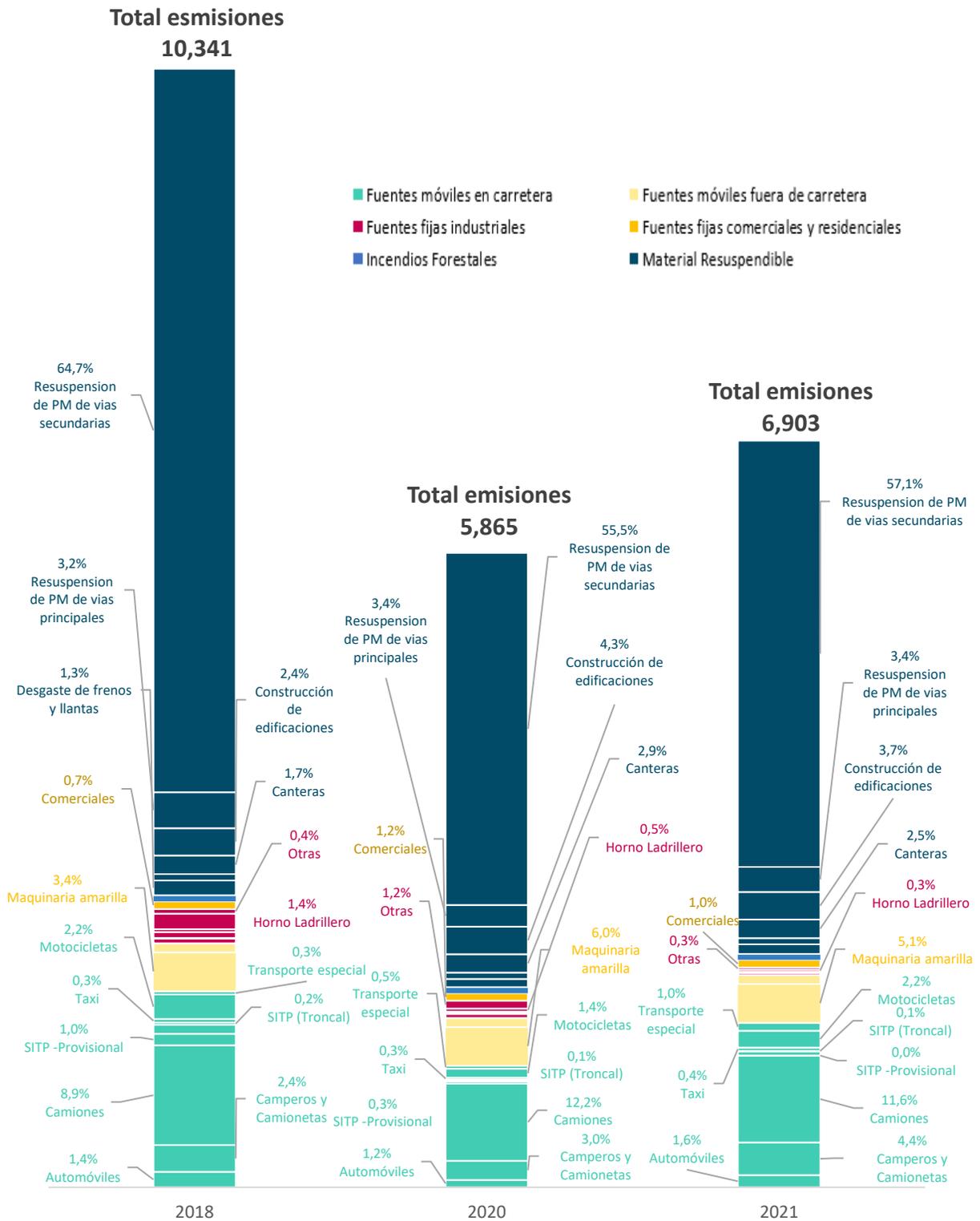
Los siguientes resultados corresponden a las emisiones estimada de los años 2018, 2020 y la actualización de este inventario 2021. Las emisiones de los años 2018 y 2020 son emisiones recalculadas con ajustes metodológicos<sup>11</sup> con el fin de que sea comparable un año entre otro, por lo que estos valores pueden diferir aquellos realizados en anteriores publicaciones.



**Figura 91. Comparación de la participación porcentual de las emisiones de PM<sub>2,5</sub> por tipo de fuente para los años 2018, 2020 y 2021**

Al comparar la participación porcentual de las emisiones de PM<sub>2,5</sub> presentados en la Figura 91 se observa una leve reducción en la participación de material resuspendido debido principalmente a la reducción del flujo vehicular en los años de pandemia. 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.

<sup>11</sup> 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.



Elaboración propia

Figura 92. Comparación de participación porcentual y total de emisiones de PM<sub>2.5</sub> para 2018, 2020 y 2021, por subcategorías de fuentes de emisión

En cuanto a las emisiones totales presentadas en la Tabla 26 y como grafica por participación de las subcategorías de fuentes de la Figura 92, se presenta una reducción de emisiones del año 2018 hasta el 2020, en cerca de un 43% asociado al efecto de la pandemia, que se vio reflejado en una mejor calidad del aire en la ciudad. Entre 2020 a 2021 se observa un incremento del 17%, siendo las emisiones de 2021 aún más bajas con respecto a 2018, dado que en este año no se alcanzó a la normalidad total de dinámica de ciudad.

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, ya que este tipo de vías son las que presentan un estado de deterioro mayor; la fuente móvil en carretera como los camiones han aumentado su participación desde 2018 hasta 2021, pero se ha presentado una reducción de emisiones de cerca del 13% asociado principalmente a pandemia y un leve ascenso tecnológico; por su parte la categoría de camperos y camionetas también se ha mantenido en participación pero con un aumento de cerca del 22% de las emisiones, principalmente asociado al aumento en la cantidad de vehículos. Para las fuentes como canteras y construcciones, que no fueron actualizadas sino hasta este año, su participación en emisiones PM<sub>2.5</sub>, sigue siendo importante en los últimos años.

**Tabla 26. Consolidado de emisiones de PM<sub>2.5</sub> por tipo de fuente para los años 2018, 2020 y 2021**

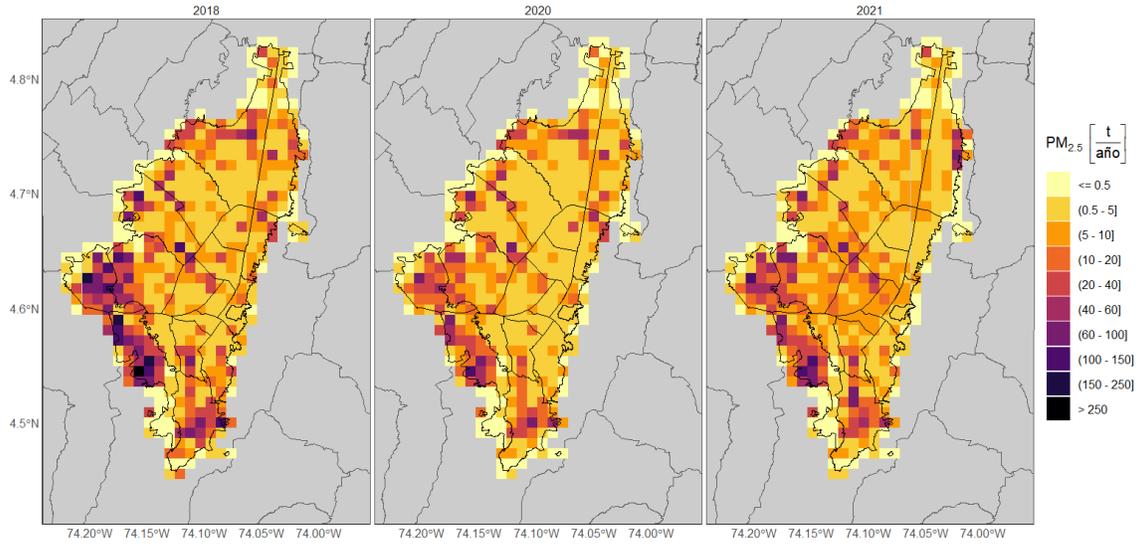
Tipo de fuente	2018		2020		2021	
	Emisión de PM <sub>2.5</sub> (t/año)	Participación	Emisión de PM <sub>2.5</sub> (t/año)	Participación	Emisión de PM <sub>2.5</sub> (t/año)	Participación
Fuentes móviles en carretera	1.820	18%	1.130	19%	1.527	22%
Fuentes móviles fuera de carretera	437	4%	437	7%	437	6%
Fuentes fijas industriales	316	3%	158	3%	68	1%
Fuentes fijas comerciales y residenciales	71	1%	71	1%	71	1%
Incendios Forestales	55	1%	55	1%	55	1%
Material Resuspendido	7.643	74%	4.014	68%	4.746	69%
<b>Total</b>	<b>10.341</b>	<b>100%</b>	<b>5.865</b>	<b>100%</b>	<b>6.903</b>	<b>100%</b>

Elaboración propia

### 12.3. Resultados de Emisiones desagregadas espacialmente

Los siguientes resultados corresponden a las emisiones desagregadas espacialmente, las cuales corresponden a los años 2018, 2020 y 2021. 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.

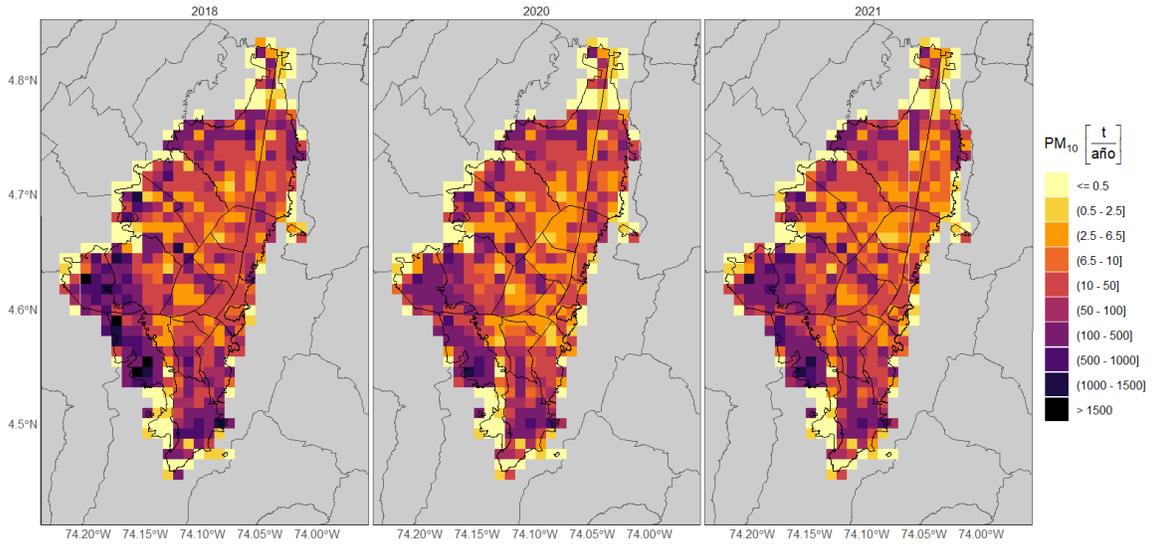
Historico  
2018-2020-2021



Elaboración propia

Figura 93. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de PM<sub>2.5</sub>.

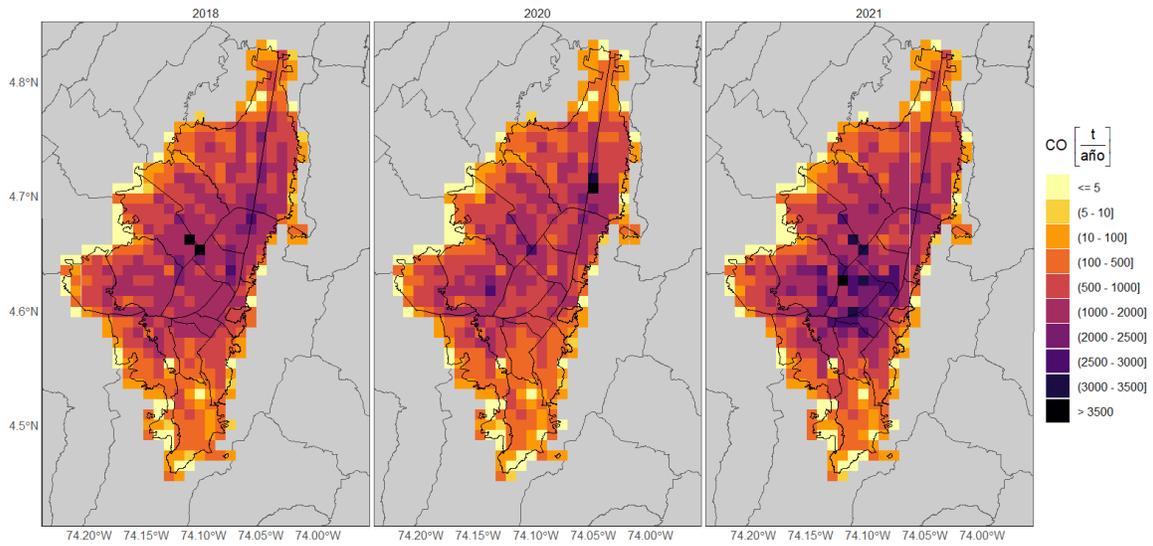
Historico  
2018-2020-2021



Elaboración propia

Figura 94. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de PM<sub>10</sub>.

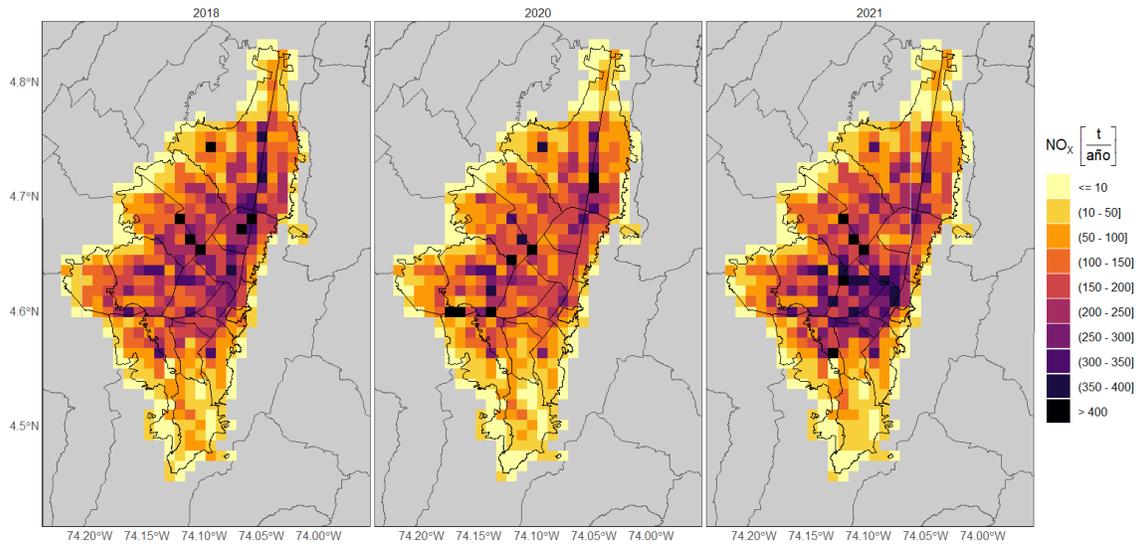
Historico  
2018-2020-2021



Elaboración propia

Figura 95. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de CO.

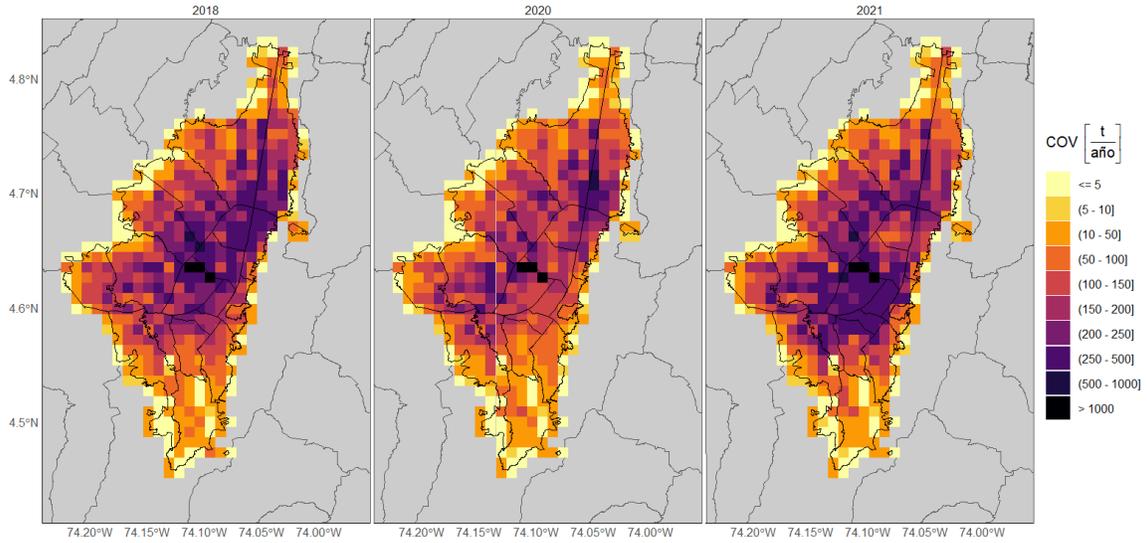
Historico  
2018-2020-2021



Elaboración propia

Figura 96. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de NOx.

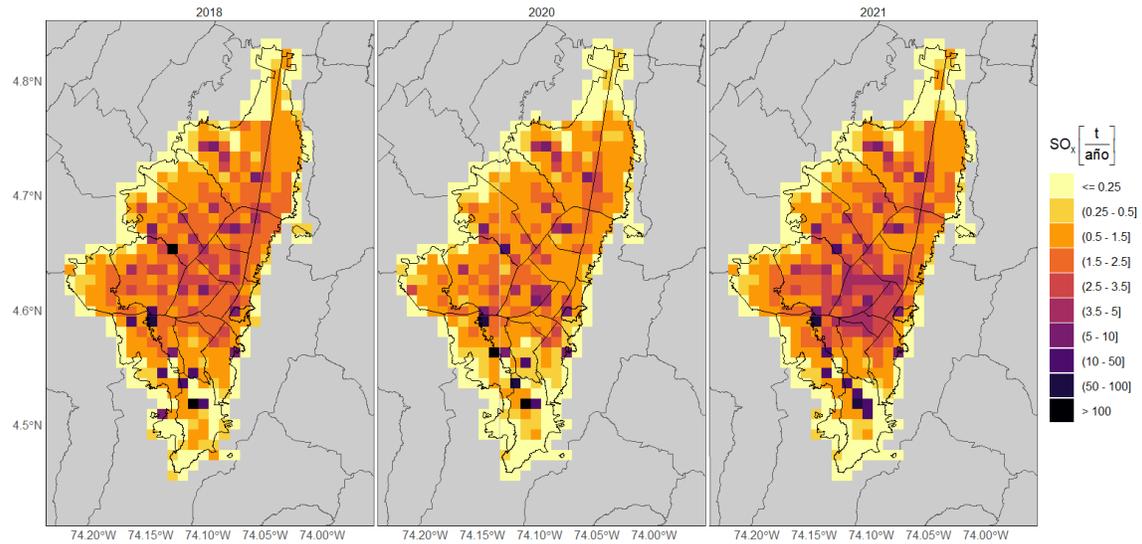
Historico  
2018-2020-2021



Elaboración propia

**Figura 97. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de COV.**

Historico  
2018-2020-2021



Elaboración propia

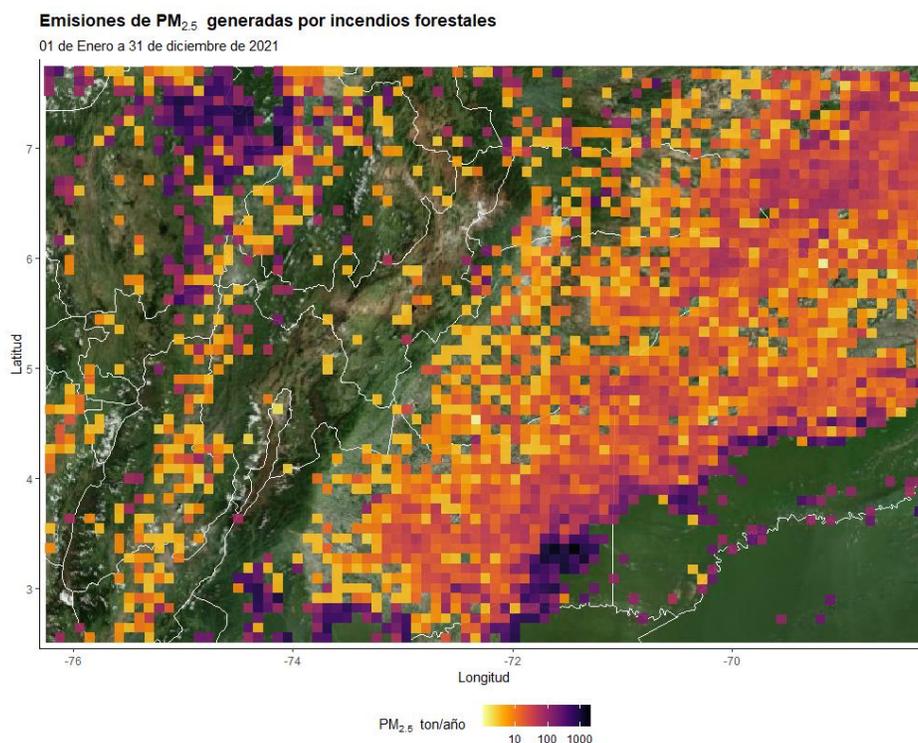
**Figura 98. Distribución espacial de las emisiones totales históricas por año generadas de SOx.**

## 13. INVENTARIO DE EMISIONES REGIONAL DE INCENDIOS FORESTALES

La base de datos FINN 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 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 una zona de influencia para la ciudad de Bogotá, y el análisis de esta se ha consolidado para el año 2021 y se presenta en este documento como una partida informativa, sin alterar el inventario de emisiones para la ciudad de Bogotá, y se reitera que, aunque se analicen las emisiones en el área de influencia de la ciudad, no implica que todas las emisiones generadas afecten directa o indirectamente a la ciudad.

### 13.1. Material Particulado

Para el área de influencia, se estima que las emisiones de  $PM_{2.5}$  por quema de biomasa fue de 152.774 t/año (Figura 99); En la Figura 100, 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 31%, seguida de Antioquia con un 21%.

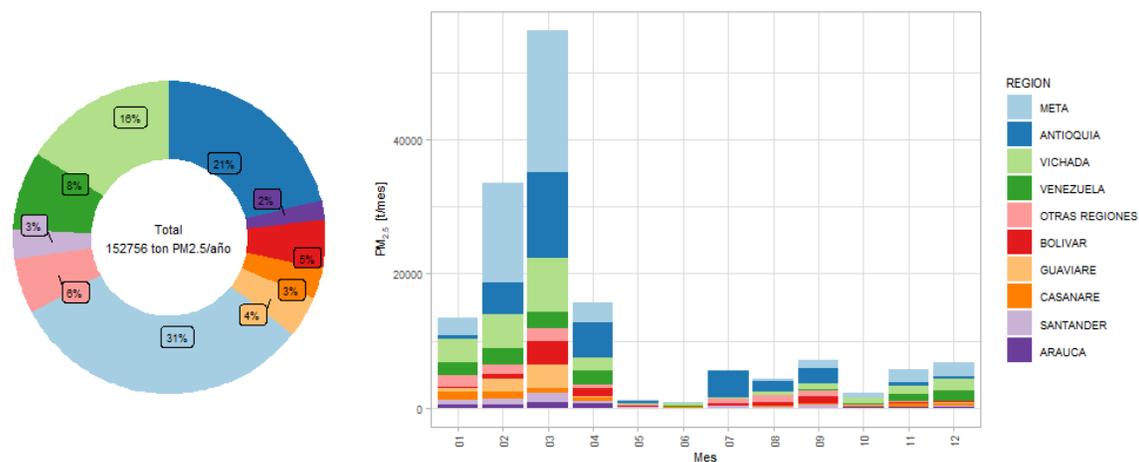


Elaboración propia

**Figura 99. Emisiones  $PM_{2.5}$  de incendios forestales para el año 2021.**

En cuanto al comportamiento mensual de las emisiones, se pudo establecer que el primer cuatrimestre ocurre la mayoría de los incendios en el área de influencia, alcanzando hasta ~55 kt/mes de  $PM_{2.5}$  y donde los mayores aportantes de emisiones corresponden a los departamentos

del Meta y Antioquia. En los demás meses del año, las emisiones de PM<sub>2.5</sub> por quema de biomasa no superaron ~7 kt/mes de PM<sub>2.5</sub>; se destaca que en los periodos de lluvias (mayo, junio y octubre), las emisiones no llegaron a pasar los 1.5 kt/mes.



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

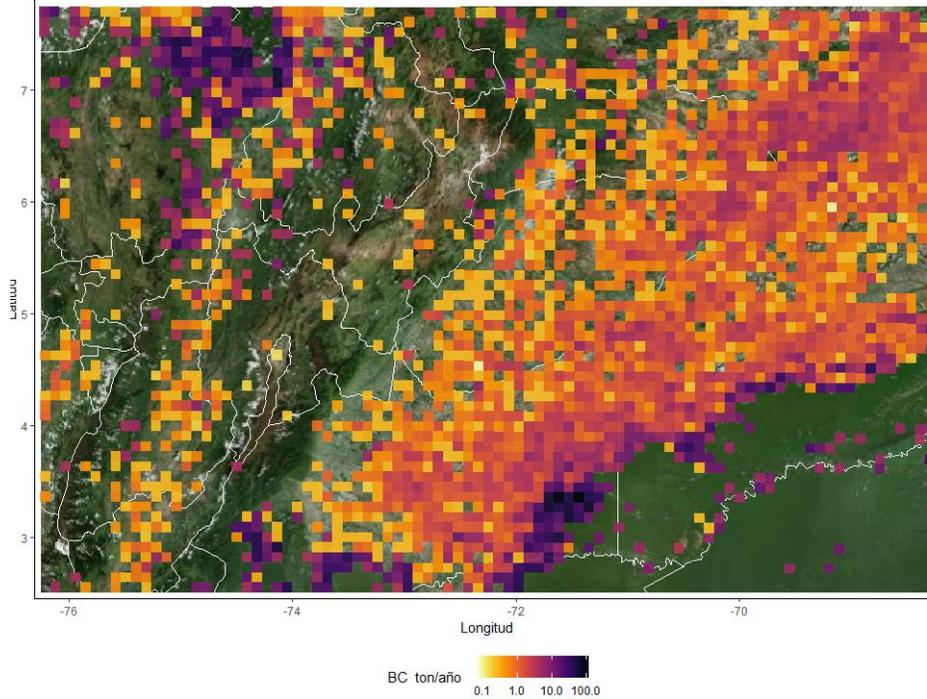
**Figura 100. Emisiones de PM<sub>2.5</sub> departamentales de incendios forestales para el año 2021.**

Por otro lado, para el BC, se estimaron emisiones por quema de biomasa 8.678 t/año, ver Figura 101; En la Figura 102, 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 31%, seguida de Antioquia con un 20%.

En cuanto al comportamiento mensual de las emisiones de BC concuerda con el comportamiento de BC, en donde el primer cuatrimestre es cuando ocurre la mayoría de los incendios en el área de influencia, alcanzando hasta ~3 kt/mes de BC y donde los mayores aportantes de emisiones corresponden a los departamentos del Meta y Antioquia. En los demás meses del año, las emisiones de BC por quema de biomasa no superaron ~0,5 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.

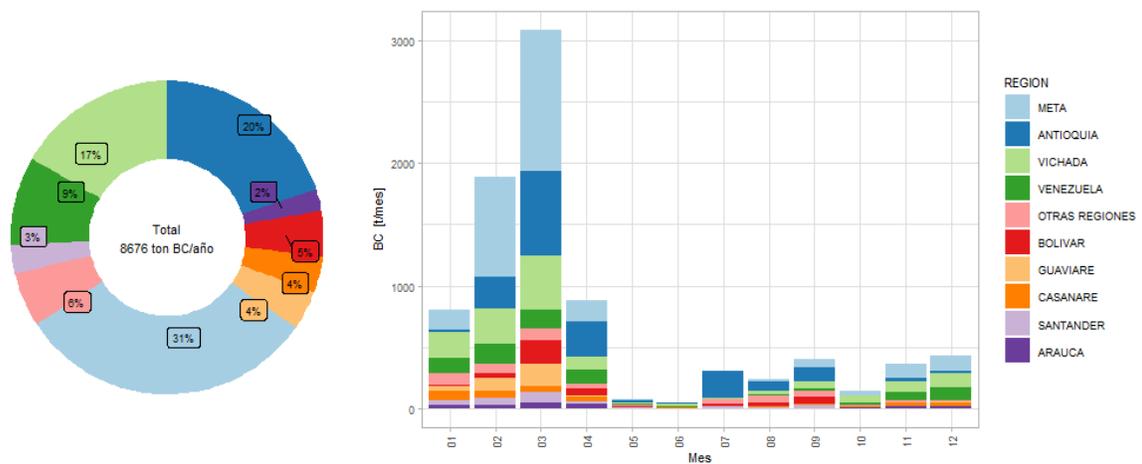
**Emisiones de BC generadas por Incendios Forestales**

01 de Enero a 31 de diciembre de 2021



Elaboración propia

**Figura 101. Emisiones BC de incendios para el año 2021**



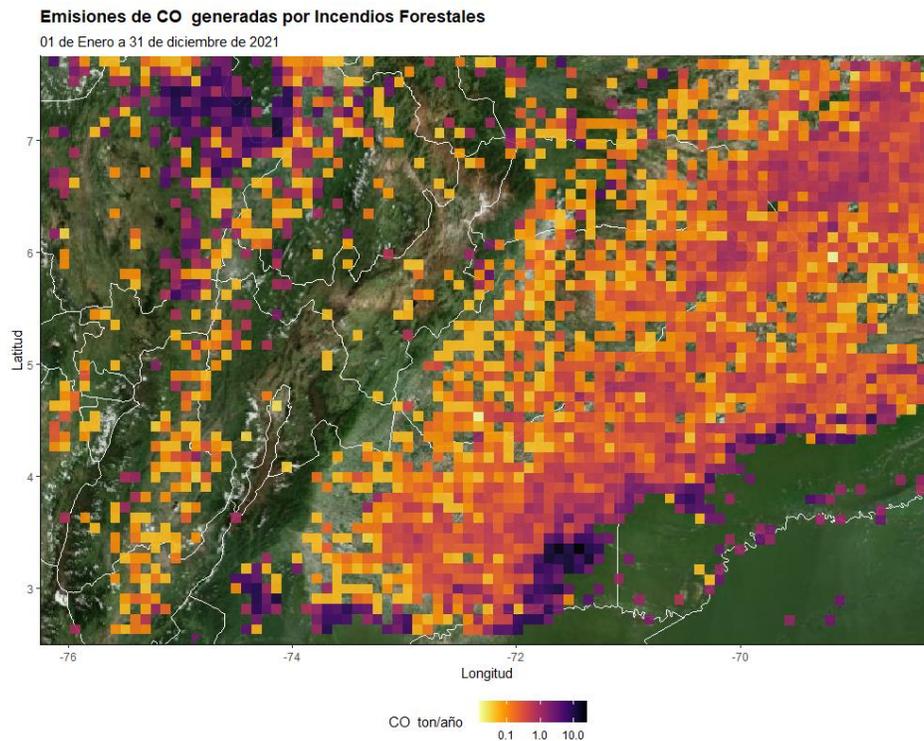
Elaboración propia: Adaptado de NCAR-ACOM por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá

**Figura 102. Emisiones de BC departamentales de incendios forestales para el año 2021**

### 13.2. Gases

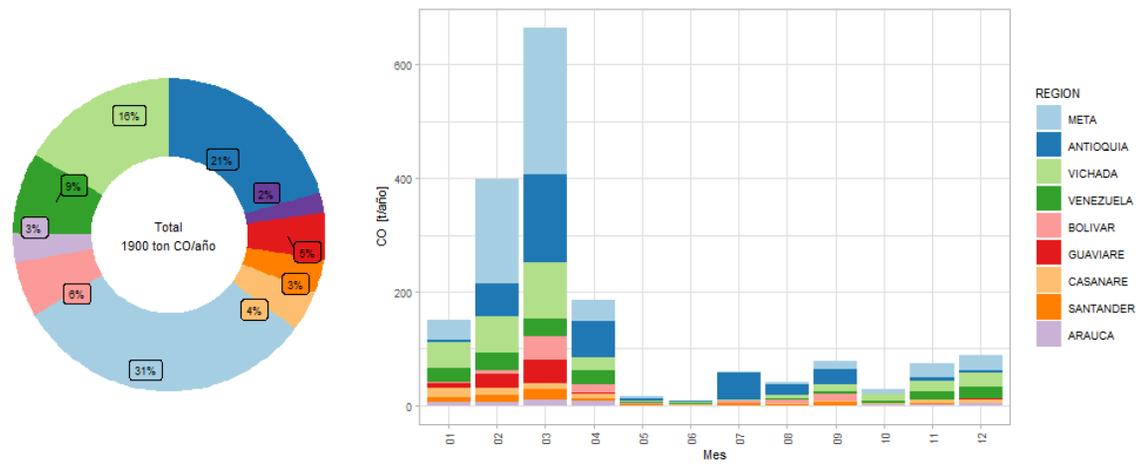
Para los gases, se estimaron emisiones de 1.900 t/año de CO, 133.290 t/año de SO<sub>2</sub>, y 1'376.078 t/año de NO<sub>2</sub>. El departamento del Meta aportó ~30% de las emisiones de los gases, seguido de Antioquia, el cual aportó ~20%, como se puede evidenciar en las Figura 104, Figura 106 y Figura 108.

En cuanto al comportamiento mensual de las emisiones de gases concuerda con el comportamiento de del material particulado, en donde el primer cuatrimestre es cuando ocurre la mayoría de los incendios en el área de influencia, alcanzando hasta ~0,65 kt/mes de CO, ~44 kt/mes de SO<sub>2</sub> y ~450 kt de NO<sub>2</sub> y donde los mayores aportantes de emisiones corresponden a los departamentos del Meta y Antioquia. En los demás meses del año, las emisiones de gases por quema de biomasa no superaron ~0,1 kt/mes de CO, ~10 kt/mes para SO<sub>2</sub> y ~75 kt/mes para NO<sub>2</sub>. En las siguientes figuras (Figura 103 a la Figura 108) se podrá observar el comportamiento espacial y temporal de las emisiones de gases por la quema de biomasa.



Elaboración propia

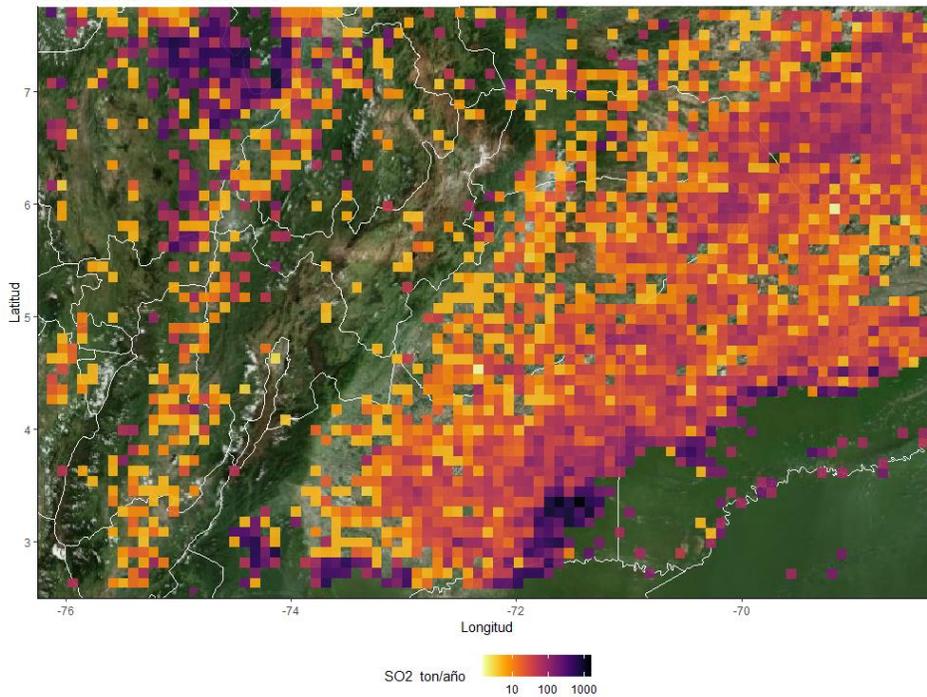
**Figura 103. Emisiones CO de incendios para el año 2021**



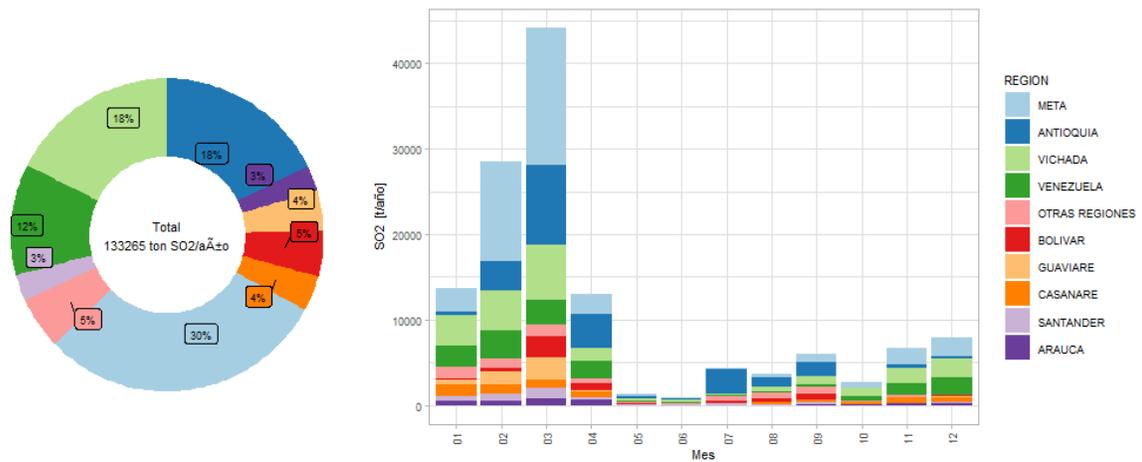
Elaboración propia: Adaptado de NCAR-ACOM por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá  
**Figura 104. Emisiones de CO departamentales de incendios forestales para el año 2021**

**Emisiones de SO2 generadas por Incendios Forestales**

01 de Enero a 31 de diciembre de 2021



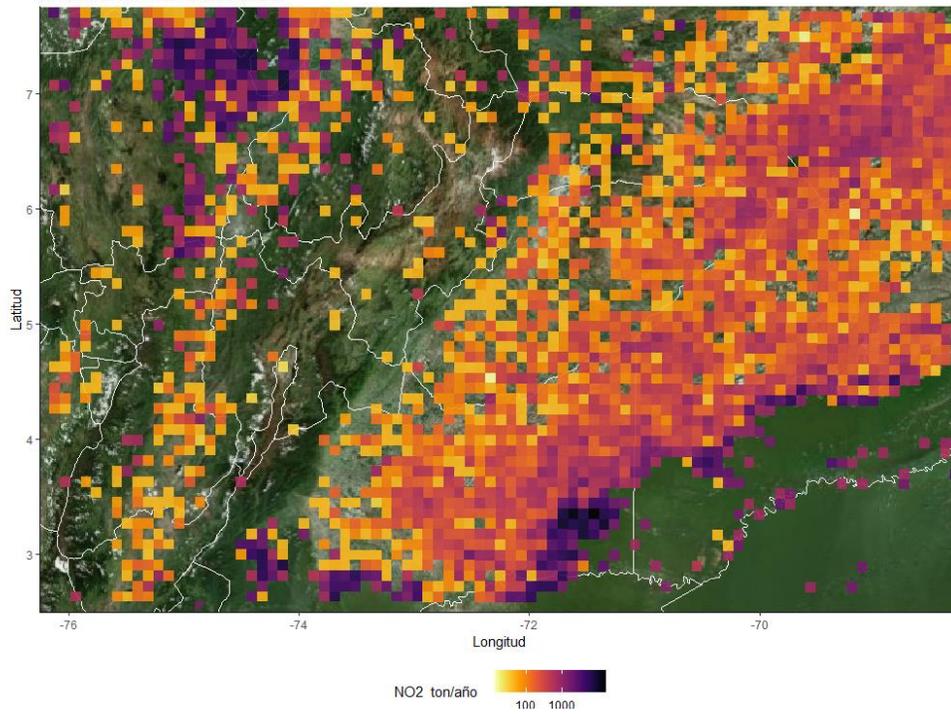
Elaboración propia  
**Figura 105. Emisiones SO<sub>2</sub> de incendios para el año 2021**



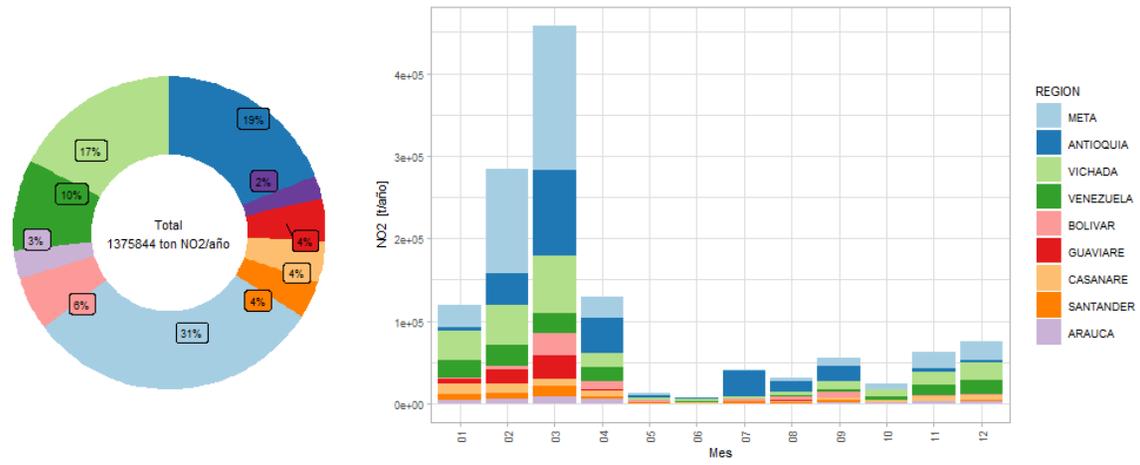
Elaboración propia: Adaptado de NCAR-ACOM por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá  
**Figura 106. Emisiones de SO<sub>2</sub> departamentales de incendios forestales para el año 2021**

**Emisiones de NO<sub>2</sub> generadas por Incendios Forestales**

01 de Enero a 31 de diciembre de 2021



Elaboración propia  
**Figura 107. Emisiones de NO<sub>2</sub> de incendios para el año 2021**



Elaboración propia: Adaptado de NCAR-ACOM por la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá  
**Figura 108. Emisiones de NO<sub>2</sub> departamentales de incendios forestales para el año 2021**

## 14. 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.

## 15. 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. (2022). *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. (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 - 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](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> .....	20
A.1.3.	<i>Cantidad de vehículos</i> .....	20
A.1.4.	<i>Factores de emisión</i> .....	22
A.2.	Estimación de emisiones Bottom-Up.....	38
A.2.1.	<i>Diagnóstico de conteos vehiculares</i> .....	38
A.2.2.	<i>Análisis de conteos vehiculares</i> .....	42
A.2.3.	<i>Distribución espacial de los conteos</i> .....	45
A.2.4.	<i>Estimación de los flujos vehiculares</i> .....	48
A.2.5.	<i>Estimación de emisiones por combustión desagregadas espacial y temporalmente</i>	49
B.	METODOLOGIA ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE FUENTES FIJAS INDUSTRIALES .....	51
B.1.	Estimación de emisiones Bottom-Up.....	51
B.1.1.	<i>Factores de Emisión para las fuentes fijas industriales</i> .....	51
B.1.2.	<i>Eficiencia de los sistemas de control de emisiones</i> .....	53
B.1.3.	<i>Desagregación horaria de las emisiones por combustión de fuentes fijas</i> .....	54
B.1.4.	<i>Desagregación espacial de las emisiones por combustión de fuentes fijas</i> .....	55
C.	ESTIMACIÓN DE EMISIONES POR DESGASTE DE FRENOS Y DE LLANTAS EN FUENTES MÓVILES	56
D.	ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE RESUSPENSIÓN DE MATERIAL PARTICULADO EN VÍAS.....	57
D.1.	Estimación Bottom-Up .....	57
D.1.1.	Estimación de los factores de emisión .....	57
D.1.2.	Variables asociadas a la estimación de factores de emisión.....	58
D.1.3.	Estimación de las emisiones.....	63
E.	ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE MATERIAL PARTICULADO RESUSPENDIDO POR CONSTRUCCIONES.....	65
F.	ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CANTERAS .....	67
G.	ESTIMACIÓN DE EMISIONES RESIDENCIALES.....	68



H.	ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE BLACK CARBON .....	69
H.1.	Black Carbon para fuentes fijas industriales .....	69
H.2.	Black Carbon para fuentes móviles .....	69
I.	Referencias.....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura A-1. Análisis con diagrama de caja de años modelos por tipo de combustible (izquierda) y clase de servicio (derecha) .....	21
Figura A-2. Curva de supervivencia de años modelos para camiones .....	22
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.....	41
Figura A-4. Proporciones Isab e Idom para extrapolar conteos realizados en el año 2021 para los fines de semana. ....	42
Figura A-5. Nodos vehiculares analizados en los conteos vehiculares del año 2021 de SDM. ....	44
Figura D-1. Mapa de Coberturas y puntos de medición de Cs y S. ....	60
Figura D-2. Distribución espacial de Cs (izquierda) y S (derecha). ....	61
Figura D-3. Número de días con precipitación mayor a 0.254 por estación para el año 2021.....	62
Figura D-4. Perfiles de velocidad para la ciudad de Bogotá para el 2018, según día tipo .....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla A-1. Actividad vehicula y cantidad de vehículos por categoría para el año 2021 .....	6
Tabla A-2. Años modelos corte para filtro de la base de datos del RDA.....	21
Tabla A-3. Factores de emisión utilizados en metodología Top-Down.....	23
Tabla A-4. Categorías Vehiculares homologadas de los conteos vehiculares.....	38
Tabla A-5 Nodos vehiculares analizados en los conteos 2021 realizados por la SDM.....	42
Tabla A-6. División de categorías en subcategorías que incluyen combustibles. ....	45
<b>Tabla A-7. Atributos del archivo shape de la malla vial de la ciudad e Bogotá</b> .....	46
<b>Tabla A-8. Coeficientes de ajuste para estimar el Factor de corrección a vías secundarias</b> .....	48
Tabla A-9. Factores de emisión empleados en la estimación Bottom-up de fuentes móviles por combustión.....	49
Tabla B-1. Factores de emisión de fuentes fijas industriales .....	52
<b>Tabla B-2. Porcentaje de remoción del Sistema de Control de emisiones</b> .....	54
Tabla C-1. Factores de emisión por desgaste de frenos y llantas. ....	56
Tabla D-1. Cargas de sedimentos empleadas en este inventario. ....	59
Tabla D-2. Porcentaje de finos empleados en este documento. ....	59
Tabla D-3. Pesos representativos de categorías vehiculares. ....	61
- Tabla E-1. Factores de emisión por construcción de edificaciones y vías en la Ciudad de Bogotá. ....	66
Tabla F-1. Factores de emisión para extracción de material en canteras.....	67
Tabla G-1. Factores de emisiones de fuentes residenciales .....	68
Tabla H-1. Fracciones de BC presente en las emisiones de PM <sub>2.5</sub> generadas por las fuentes fijas industriales.....	69
Tabla H-2. Fracciones másicas de carbón elemental para las emisiones por combustión de las fuentes móviles .....	70
Tabla H-3. Porcentaje para fuentes móviles por resuspensión .....	70
Tabla H-4. Porcentaje para fuentes móviles por freno y desgaste de llantas.....	70

## 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 como base de cada vehículo el kilometraje anual 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)**

Tabla A-1. Actividad vehicular y cantidad de vehículos por categoría para el año 2021

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	10.374	107
Automóvil	Diésel	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	338
Automóvil	Gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	201.300
Automóvil	Gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	158.931
Automóvil	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	707
Automóvil	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	534
Automóvil	Diésel	EURO II	2010-2014	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	48
Automóvil	Diésel	EURO II	2010-2014	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	460
Automóvil	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	244.628
Automóvil	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	383.116
Automóvil	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	835
Automóvil	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	586
Automóvil	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	18
Automóvil	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	457
Automóvil	GNV	EURO IV	Todos	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	32
Automóvil	GNV	EURO IV	Todos	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	21
Automóvil	Eléctrico	No aplica	Todos	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	1.073
Automóvil	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	47
Automóvil	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	51
Automóvil	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	103.598

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	10.374	58.416
Automóvil	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	770
Automóvil	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10.374	842
Campero y camioneta	Diésel	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	108
Campero y camioneta	Diésel	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	16.363
Campero y camioneta	Diésel	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	7.198
Campero y camioneta	Gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	11.958
Campero y camioneta	Gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	69.380
Campero y camioneta	Gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	39.074
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	114
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	365
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	605
Campero y camioneta	Diésel	EURO II	2010-2014	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	45
Campero y camioneta	Diésel	EURO II	2010-2014	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	30.163
Campero y camioneta	Diésel	EURO II	2010-2014	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	2.829
Campero y camioneta	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	34.805

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	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	42.573
Campero y camioneta	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	283.662
Campero y camioneta	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	Mayor a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	8
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	732
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	893
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	16
Campero y camioneta	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	Mayor a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	1
Campero y camioneta	Diésel - Eléctrico	EURO IV	Todos	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	1
Campero y camioneta	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	41
Campero y camioneta	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	3.413
Campero y camioneta	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	31.900
Campero y camioneta	Diésel - Eléctrico	EURO IV	Todos	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	247
Campero y camioneta	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	Mayor a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	1
Campero y camioneta	GNV	EURO IV	Todos	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	6
Campero y camioneta	GNV	EURO IV	Todos	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	219
Campero y camioneta	GNV	EURO IV	Todos	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	78

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	Eléctrico	No aplica	Todos	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	290
Campero y camioneta	Eléctrico	No aplica	Todos	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	290
Campero y camioneta	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	56
Campero y camioneta	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	696
Campero y camioneta	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	687
Campero y camioneta	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	9.139
Campero y camioneta	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	21.587
Campero y camioneta	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	37.430
Campero y camioneta	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	156
Campero y camioneta	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	1.611
Campero y camioneta	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	11.855	1.657
Motocicleta	Gasolina	PRE-EURO	Todos	Menor de 100 cc	Motocicleta	2T	NA	Todos	9.340	538
Motocicleta	Gasolina	PRE-EURO	Todos	Entre 100 a 300 cc	Motocicleta	2T	NA	Todos	9.340	1.131
Motocicleta	Gasolina	PRE-EURO	Todos	Mayor de 300 cc	Motocicleta	2T	NA	Todos	9.340	4
Motocicleta	Gasolina	EURO II	2010-2017	Menor de 100 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	11.000	60.908
Motocicleta	Gasolina	EURO II	Mayor a 2017	Menor de 100 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	11.000	4.318
Motocicleta	Gasolina	EURO II	2010-2017	Entre 100 a 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	11.000	522.877
Motocicleta	Gasolina	EURO II	Mayor a 2017	Entre 100 a 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	11.000	96.592
Motocicleta	Gasolina	EURO II	2010-2017	Mayor de 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	11.000	31.315

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
Motocicleta	Gasolina	EURO II	Mayor a 2017	Mayor de 300 cc	Motocicleta	4T	NA	Todos	11.000	12.061
Motocicleta	Eléctrico	No aplica	Todos	No aplica	Motocicleta	No aplica	NA	Todos	11.000	463
Otros	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Particular	13.577	63
Otros	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Particular	13.577	102
Otros	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Particular	13.577	25
Otros	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Particular	13.577	12
Otros	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	13.577	1
Otros	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Buseta	NA	NA	Particular	13.577	22
Otros	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	13.577	237
Otros	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	13.577	266
Otros	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	13.577	58
Otros	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	13.577	66
Otros	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Particular	13.577	5
Otros	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	13.577	24
Otros	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	13.577	301
Otros	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	13.577	449
Otros	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	13.577	355
Otros	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	13.577	117

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	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	13.577	2
Otros	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	13.577	79
Otros	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	13.577	732
SITP-Provisional	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Buseta	NA	NA	Todos	71.749	8
SITP-Provisional	Diésel	PRE-EURO	No aplica	No aplica	Buseta	NA	NA	Todos	49.289	15
SITP-Provisional	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Todos	53.482	56
SITP-Provisional	Diésel	PRE-EURO	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Todos	44.461	71
SITP-Provisional	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Microbús	NA	NA	Todos	45.562	13
SITP-Provisional	Diésel	PRE-EURO	No aplica	No aplica	Microbús	NA	NA	Todos	45.562	39
SITP-Troncal	Diésel	EURO II	No aplica	No aplica	Articulado	NA	NA	Troncal	57.854	109
SITP-Troncal	Diésel	EURO III	No aplica	No aplica	Articulado	NA	NA	Troncal	89.132	36
SITP-Troncal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Articulado	NA	NA	Troncal	84.864	31
SITP-Troncal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Articulado	NA	NA	Troncal	73.036	109
SITP-Troncal	Diésel	EURO V-CON FILTRO	No aplica	No aplica	Articulado	NA	NA	Troncal	73.036	297
SITP-Troncal	GNV	EURO VI	No aplica	No aplica	Articulado	NA	NA	Troncal	67.376	179
SITP-Troncal	Diésel	EURO III	No aplica	No aplica	Biarticulado	NA	NA	Troncal	67.805	5

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-Troncal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Biarticulado	NA	NA	Troncal	67.805	40
SITP-Troncal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Biarticulado	NA	NA	Troncal	67.805	319
SITP-Troncal	Diésel	EURO V-CON FILTRO	No aplica	No aplica	Biarticulado	NA	NA	Troncal	67.805	403
SITP-Troncal	GNV	EURO VI	No aplica	No aplica	Biarticulado	NA	NA	Troncal	66.602	563
SITP-Troncal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Padrón dual	NA	NA	Troncal	63.594	43
SITP-Troncal	Híbrido (Diésel - Eléctrico)	Híbrido (Diésel EURO V- Eléctrico)	No aplica	No aplica	Padrón dual	NA	NA	Troncal	59.424	230
SITP-Zonal	Eléctrico	Eléctrico	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-Alimentador	54.115	73
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-Alimentador	117.802	1
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-Alimentador	117.802	12
SITP-Zonal	Diésel	EURO III	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	117.802	8
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	117.802	25
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	117.802	364
SITP-Zonal	Eléctrico	Eléctrico	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	54.115	284
SITP-Zonal	GNV	EURO VI	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	70.132	128
SITP-Zonal	Híbrido (Diésel - Eléctrico)	Híbrido (Diésel EURO V- Eléctrico)	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	56.026	50

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	Buseta	NA	NA	Zonal-urbano	49.289	335
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Buseta	NA	NA	Zonal-urbano	71.749	391
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Buseta	NA	NA	Zonal-urbano	71.749	142
SITP-Zonal	Diésel	EURO II	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	44.461	759
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	53.482	593
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	53.482	1.456
SITP-Zonal	Diésel	EURO VI	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	53.482	167
SITP-Zonal	Eléctrico	Eléctrico	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	54.115	172
SITP-Zonal	GNV	EURO VI	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Zonal-urbano	70.132	2
SITP-Zonal	Diésel	EURO II	No aplica	No aplica	Microbús	NA	NA	Zonal-urbano	45.562	171
SITP-Zonal	Diésel	EURO II	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	51.825	30
SITP-Zonal	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	52.646	2
SITP-Zonal	Diésel	EURO V	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	52.646	1.657
SITP-Zonal	Diésel	EURO VI	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	52.646	71
SITP-Zonal	Eléctrico	Eléctrico	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	54.115	126
SITP-Zonal	GNV	EURO VI	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	70.132	923

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	Híbrido (Diésel - Eléctrico)	Híbrido (Diésel EURO V- Eléctrico)	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-urbano	52.646	56
Taxis	Diésel	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	77.160	12
Taxis	Gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	77.160	11.068
Taxis	Gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	77.160	73
Taxis	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	77.160	3.020
Taxis	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	77.160	30
Taxis	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	77.160	22.799
Taxis	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	77.160	2.433
Taxis	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	77.160	7.920
Taxis	Gas-gasolina	EURO II	2010 en adelante	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	77.160	791
Taxis	Eléctrico	No aplica	Todos	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	77.160	40
Taxis	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	77.160	44
Taxis	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	1500 cc a 3000 cc	Taxis	NA	NA	Todos	77.160	6
Taxis	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	77.160	7
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	20.000	1.158
Transporte de carga	Diésel	EURO I	1998-2009	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	20.000	4.448
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998-2009	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	8.600	1.299
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998-2009	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	8.600	12

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 I	1998-2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	8.600	17
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998-2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	8.600	11
Transporte de carga	Gasolina	EURO I	1998-2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	8.600	176
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	20.000	1.972
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	20.000	5.116
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	20.000	2.583
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	20.000	3.292
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	20.000	6.583
Transporte de carga	Diésel	EURO II	2010-2014	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes o mayor	Todos	20.000	100
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	8.600	3.577
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	8.600	15
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	8.600	12
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	8.600	8
Transporte de carga	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	8.600	123
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	20.000	2.844
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	20.000	4.406

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 IV	2015 en adelante	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	20.000	1.119
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	22.000	6.251
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	20.000	3.125
Transporte de carga	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes o mayor	Todos	20.000	95
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	12.154	1.397
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	12.154	52
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	12.154	52
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	12.154	438
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	12.154	93
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	20.000	721
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	20.000	1.418
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	20.000	12.699
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	20.000	14.126
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes o mayor	Todos	20.000	428
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	20.000	28.252
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 1 a 3 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	8.600	5.182

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	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 3 a 5 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	8.600	97
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	8.600	333
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	8.600	1.160
Transporte de carga	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	8.600	74
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Oficial	18.427	72
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Público	38.973	933
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Oficial	18.427	42
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Público	38.973	525
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Oficial	18.427	4
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Oficial	18.427	3
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Público	38.973	3
Transporte de especial	GNV	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	38.973	2
Transporte de especial	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	38.973	2
Transporte de especial	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	No aplica	Buseta	NA	NA	Público	38.973	2
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Oficial	18.427	133
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	38.973	1.032

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	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	38.973	1.427
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Oficial	18.427	44
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	38.973	2
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Oficial	18.427	26
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Oficial	18.427	36
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	38.973	11
Transporte de especial	GNV	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Público	38.973	1
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Oficial	18.427	166
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	38.973	2.610
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Oficial	18.427	89
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	38.973	2.446
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Oficial	18.427	45
Transporte de especial	Gasolina	EURO I	1998-2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	38.973	74
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Oficial	18.427	30
Transporte de especial	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	38.973	70
Transporte de especial	GNV	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	38.973	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 especial	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Oficial	18.427	2
Transporte de especial	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	38.973	50

Elaboración propia



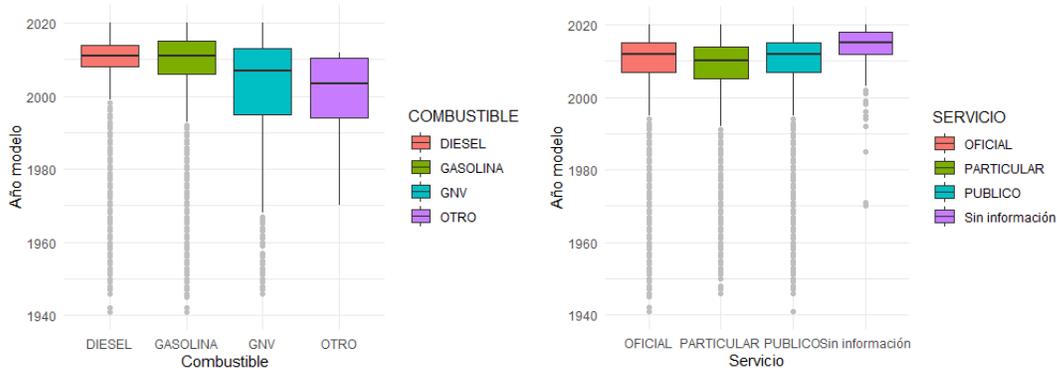
### *A.1.2. Factores de expansión*

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. Con ayuda de la Secretaría Distrital de Movilidad se realizó el análisis de información para transporte de carga y motocicletas, en donde se evidencio 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 se encuentra en las bases de datos locales como el RDA.

### *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 2021, 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 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

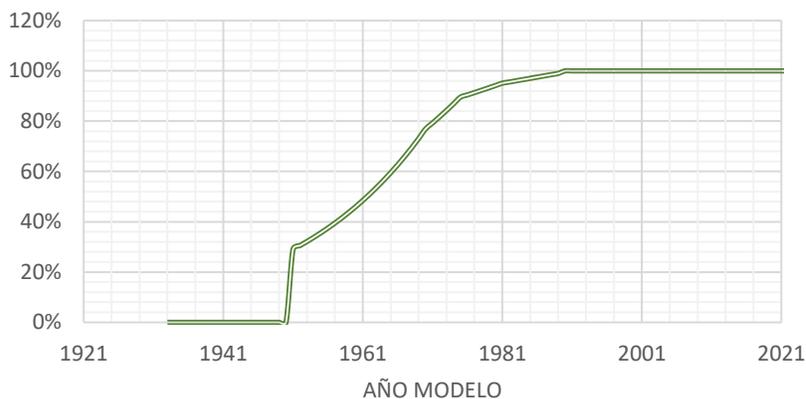
Los valores de año de corte para las diferentes tipologías vehiculares analizadas se presentan en la Tabla A-2.

**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, el filtro de año modelo se realiza aplicando la curva de supervivencia que se presenta en la Figura A-2, la cual corresponde al porcentaje de vehículos por año modelo que se estiman se mueven activamente en la ciudad.



Elaboración propia

**Figura A-2. Curva de supervivencia de años modelos para camiones**

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 2021 proporcionada por la SDM.

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 220 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 2021, en la ciudad de Bogotá transitan activamente 2'724.009 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 2021 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 <sub>10</sub>	SOx	PM <sub>25</sub>
Automóvil	Diésel	EURO I	1998-2009	Menor de 1500 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	1,50	0,20	1,57	0,31	0,00	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	0,00	0,33
Automóvil	Gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	15,00	1,82	1,00	0,01	0,00	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	0,01	0,02
Automóvil	Gas-gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	15,00	0,08	1,93	0,01	0,00	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	0,00	0,01
Automóvil	Diésel	EURO II	2010-2014	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	1,29	0,13	1,72	0,26	0,00	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	0,00	0,28
Automóvil	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	2,85	0,37	0,39	0,01	0,00	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	0,01	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	0,00	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	0,00	0,01
Automóvil	Diésel	EURO IV	2015 en adelante	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	0,27	0,03	1,24	0,08	0,00	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	0,00	0,07
Automóvil	GNV	EURO IV	Todos	Menor de 1500cc	Automóvil	NA	NA	Todos	10,22	0,04	1,53	0,00	0,00	0,00
Automóvil	GNV	EURO IV	Todos	1500 cc a 3000 cc	Automóvil	NA	NA	Todos	18,90	0,11	1,69	0,00	0,00	0,00

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 <sub>10</sub>	SOx	PM <sub>25</sub>
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	0,00	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	0,00	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	0,00	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	0,00	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	0,00	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	0,00	0,33
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	0,00	0,33
Campero y camioneta	Gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	15,00	1,82	1,00	0,01	0,00	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	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	0,00	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	0,00	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 <sub>10</sub>	SOx	PM <sub>25</sub>
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	0,00	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	0,00	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	0,00	0,28
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	0,00	0,28
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	0,00	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	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	0,00	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	0,00	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	0,00	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	0,00	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	0,00	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	0,00	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	0,00	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 <sub>10</sub>	SOx	PM <sub>25</sub>
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	0,00	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	0,00	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	0,00	0,07
Campero y camioneta	GNV	EURO IV	Todos	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	10,22	0,04	1,53	0,00	0,00	0,00
Campero y camioneta	GNV	EURO IV	Todos	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	18,90	0,11	1,69	0,00	0,00	0,00
Campero y camioneta	GNV	EURO IV	Todos	1500 cc a 3000 cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	18,90	0,11	1,69	0,00	0,00	0,00
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	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	0,00	0,79
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	0,00	0,95
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	0,00	0,95
Campero y camioneta	Gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Campero y camioneta	NA	NA	Todos	31,00	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	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	0,00	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 <sub>10</sub>	SOx	PM <sub>25</sub>
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	0,00	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	0,00	0,01
Motocicleta	Gasolina	PRE-EURO	Todos	Menor de 100 cc	Motocicleta	2T	NA	Todos	45,33	20,60	0,09	0,43	0,00	0,39
Motocicleta	Gasolina	PRE-EURO	Todos	Entre 100 a 300 cc	Motocicleta	2T	NA	Todos	56,66	25,75	0,11	0,54	0,00	0,49
Motocicleta	Gasolina	PRE-EURO	Todos	Mayor de 300 cc	Motocicleta	2T	NA	Todos	113,32	51,50	0,21	1,08	0,00	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	0,00
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	No aplica	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	0,00	0,05
Otros	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Particular	3,00	0,88	10,57	0,40	0,00	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

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 <sub>10</sub>	SOx	PM <sub>25</sub>
Otros	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	402,89	0,93	6,04	0,01	0,00	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	0,00	0,05
Otros	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Particular	3,00	0,88	10,57	0,40	0,00	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	0,00	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	0,00	0,05
Otros	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	3,00	0,88	10,57	0,40	0,00	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
Otros	GNV	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	10,77	0,04	0,35	0,00	0,00	0,00
Otros	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Particular	402,89	0,93	6,04	0,01	0,00	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

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 <sub>10</sub>	SOx	PM <sub>25</sub>
SITP-Provisional	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Buseta	NA	NA	Todos	1,08	0,01	11,40	0,08	0,03	0,07
SITP-Provisional	Diésel	PRE-EURO	No aplica	No aplica	Buseta	NA	NA	Todos	3,00	0,88	10,57	0,40	0,00	0,36
SITP-Provisional	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Todos	1,79	0,07	0,00	0,00	0,03	0,00
SITP-Provisional	Diésel	PRE-EURO	No aplica	No aplica	Busetón	NA	NA	Todos	3,00	0,88	10,57	0,40	0,00	0,36
SITP-Provisional	Diésel	EURO IV	No aplica	No aplica	Microbús	NA	NA	Todos	1,08	0,01	11,40	0,08	0,03	0,07
SITP-Provisional	Diésel	PRE-EURO	No aplica	No aplica	Microbús	NA	NA	Todos	3,00	0,88	10,57	0,40	0,00	0,36
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	0,00	0,00	0,03	0,00
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

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 <sub>10</sub>	SOx	PM <sub>25</sub>
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	0,00	0,00	0,03	0,00
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-Alimentador	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-Alimentador	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-Alimentador	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

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 <sub>10</sub>	SOx	PM <sub>25</sub>
SITP-Zonal	GNV	EURO VI	No aplica	No aplica	Padrón	NA	NA	Zonal-Alimentador	1,79	0,07	0,00	0,00	0,03	0,00
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	0,00	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

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 <sub>10</sub>	SOx	PM <sub>25</sub>
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	0,00
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	0,00	0,00	0,03	0,00
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	0,00	0,33
Taxis	Gasolina	EURO I	1998-2009	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	15,00	1,82	1,00	0,01	0,00	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	0,00	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	0,00	0,01
Taxis	Gasolina	EURO II	2010 en adelante	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	2,85	0,37	0,39	0,01	0,00	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	0,00	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	0,00	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

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 <sub>10</sub>	SOx	PM <sub>25</sub>
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
Taxis	Gas-gasolina	PRE-EURO	Antes de 1997	Menor de 1500cc	Taxis	NA	NA	Todos	31,00	0,63	2,87	0,01	0,00	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	0,00	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	0,00	0,29
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	0,00	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
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	0,00	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	0,00	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	0,00	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	0,00	0,68
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	0,00	0,68

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 <sub>10</sub>	SOx	PM <sub>25</sub>
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	0,00	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	0,00	0,00	0,00
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	0,00	0,01	0,00
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	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	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	0,00	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	0,00	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	0,00	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	0,00	0,07
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	0,00	0,07
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	0,00	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	0,00	0,00	0,00
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	0,00	0,00
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	0,00	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 <sub>10</sub>	SOx	PM <sub>25</sub>
Transporte de carga	GNV	EURO IV	Todos	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	6,32	0,04	0,23	0,01	0,00	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	0,00	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	0,00	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	0,00	0,86
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	entre 5 a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	2,62	0,88	9,44	0,40	0,00	0,36
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	5,43	1,34	17,33	0,55	0,00	0,50
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	4 ejes o mayor	Todos	5,43	1,34	17,33	0,55	0,00	0,50
Transporte de carga	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	2 ejes	Todos	5,43	1,34	17,33	0,55	0,00	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	mayor a 7 toneladas	Camión	NA	3 ejes	Todos	90,00	19,58	5,80	0,12	0,01	0,11
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Oficial	0,28	0,04	3,00	0,05	0,00	0,05
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Público	0,28	0,04	3,00	0,05	0,00	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 <sub>10</sub>	SOx	PM <sub>25</sub>
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Buseta	NA	NA	Oficial	3,00	0,88	10,57	0,40	0,00	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	0,00	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 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	0,00	0,00	0,00
Transporte de especial	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	402,89	0,93	6,04	0,01	0,00	0,01
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	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Busetón	NA	NA	Oficial	0,28	0,04	3,00	0,05	0,00	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	0,00	0,05
Transporte de especial	Diésel	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Busetón	NA	NA	Público	3,00	0,88	10,57	0,40	0,00	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	0,00	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

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 <sub>10</sub>	SOx	PM <sub>25</sub>
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	GNV	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Buseta	NA	NA	Público	10,77	0,04	0,35	0,00	0,00	0,00
Transporte de especial	Diésel	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Oficial	0,28	0,04	3,00	0,05	0,00	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	0,00	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	0,00	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	0,00	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
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	GNV	EURO IV	2010 en adelante	No aplica	Microbús	NA	NA	Público	10,77	0,04	0,35	0,00	0,00	0,00
Transporte de especial	GNV	PRE-EURO	Antes de 2009	No aplica	Microbús	NA	NA	Oficial	402,89	0,93	6,04	0,01	0,00	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	0,00	0,01

Elaboración propia

## A.2. Estimación de emisiones Bottom-Up

La desagregación espacio temporal de las emisiones de fuentes móviles para el año 2021 se estimaron empleando el aplicativo “Módulo de Estimación De Inventarios de Emisiones – MEDINE<sup>1</sup>”, 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 2021 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.**

Categoría en los conteos	Abreviatura	Abreviatura dentro del módulo
Camiones de 4 ejes o más.	>=C4	C4+
Camiones de 4 ejes.	>C4	C4+
Camiones > 5 ejes.	>C5	C4+
Camiones de más de 5 ejes.	>C5	C4+
Camiones de más de 6 ejes.	>C6	C4+
Alimentador.	AL	AL
Articulado.	AT	AT
Articulados.	AT	AT
Servicio troncal.	AT	AT
Bicicletas.	B	BIC
Buses.	B	BS
Biarticulados.	BA	BA
Bicicletas.	BIC	BIC
Bus padrón.	BP	BS
Busetas/Buse ton.	BT	BS
Busetas/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

<sup>1</sup> 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.

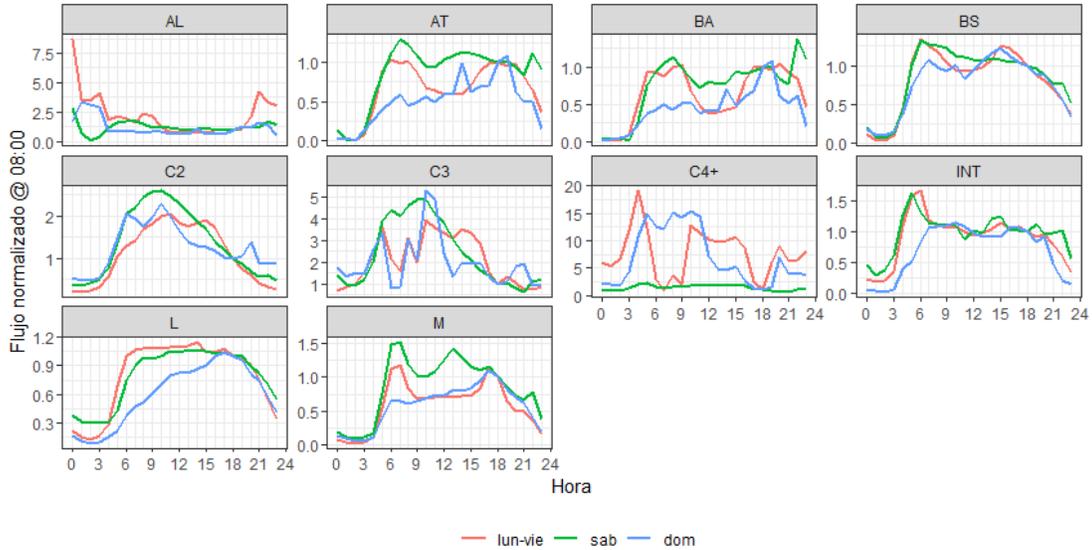
Categoría en los conteos	Abreviatura	Abreviatura dentro del módulo
Camiones de 2 ejes.	C2P	C2
Camiones de 2 ejes pequeño.	C2P	C2
Camiones de 2 ejes.	C2P Y C2G	C2
Camiones de 2 ejes pequeños y grandes.	C2P Y C2G	C2
Camiones de 3 ejes.	C3	C3
Camiones de 3 y 4 ejes.	C3-C4	C3
Camiones de 4 ejes.	C4	C4+
Camiones 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 2021 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 18:00 horas<sup>2</sup> entre los años 2014 a 2021, 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.

<sup>2</sup> 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.

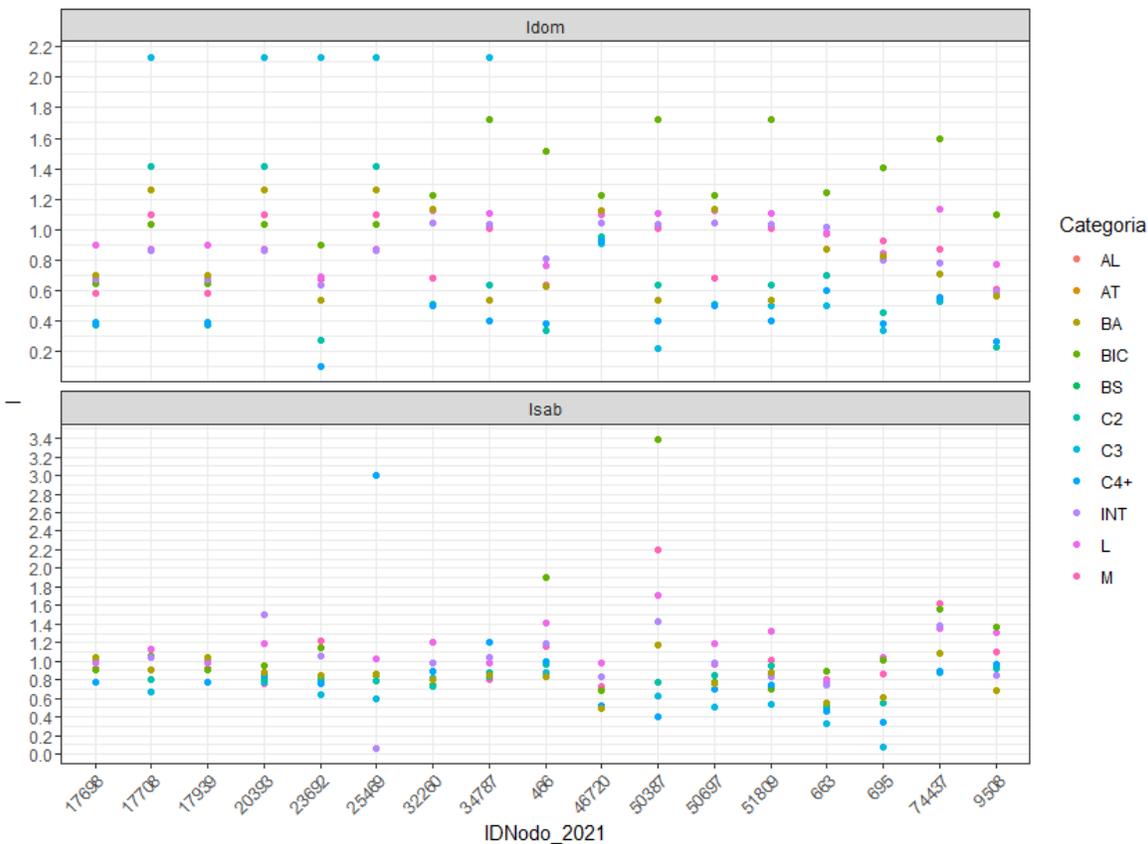


Elaboración propia basada en información de conteos vehiculares de la Secretaría Distrital de Movilidad

**Figura A-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.**

Finalmente, dentro de este diagnóstico, se realizó la estimación de los valores para cada uno de los nodos<sup>3</sup> 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 2021, 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.

<sup>3</sup> Punto donde se realiza el conteo vehicular



Elaboración propia

Figura A-4. Proporciones *Isab* e *Idom* para extrapolar conteos realizados en el año 2021 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 2021, los cuales se describen en la Tabla A-5 y son visualizados en la Figura A-5. 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 2021 realizados por la SDM.

ID	Latitud	Longitud	Carriles totales sin carriles exclusivos de Transmilenio
17939	4.69436194	-74.168994	4
23692	4.6704119	-74.015994	2
466	4.80936194	-74.036816	6
46720	4.5966425	-74.183054	6
50387	4.5855567	-74.06243	2
663	4.7867111	-74.091908	4
695	4.78376389	-74.02801	2
74437	4.484549	-74.099239	6

<i>ID</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>	<i>Carriles totales sin carriles exclusivos de Transmilenio</i>
9508	4.72771611	-74.126247	7
50697	4.6207778	-74.1255	4
17708	4.6954111	-74.089091	7
34787	4.624055	-74.08365	14
17698	4.6943619	-74.168994	6
25469	4.661382	-74.072858	3
20393	4.711023	-74.072101	10
32260	4.63084	-74.137725	17
51809	4.581286	-74.102505	4

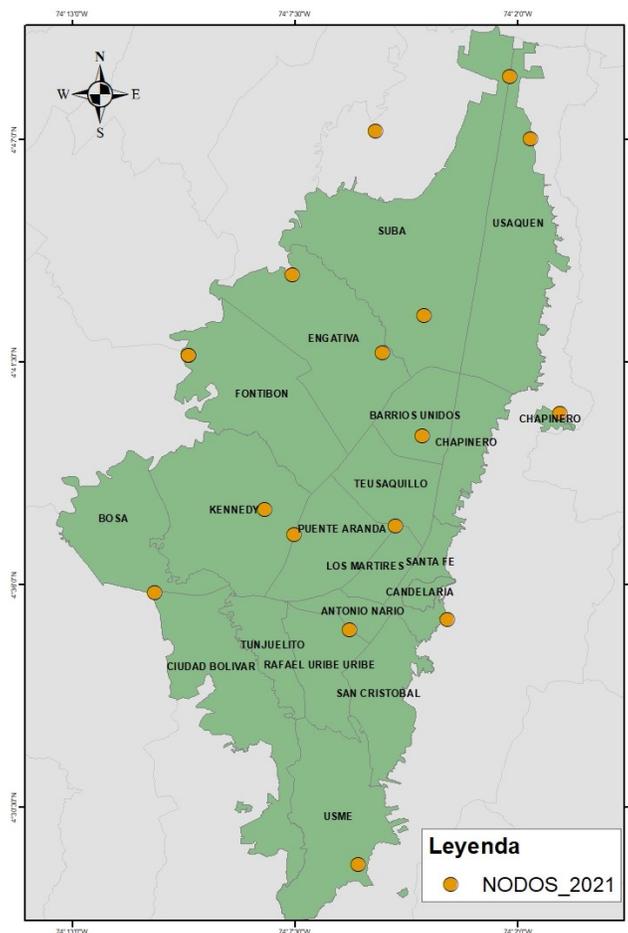
Elaboración propia

Dentro de la extracción de los conteos del 2021, 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:

$$FC_{h,i,k} = \frac{F_{h,i,k}}{C_k} \quad \text{Ecuación A.4}$$

Donde:

- FC<sub>h,i,k</sub>** Flujos vehiculares por carril para la hora 'h', de la categoría 'i', en el nodo 'k' (**Veh/carril-h**)
- F<sub>h,i,k</sub>** Flujos vehiculares totales para la hora 'h', de la categoría 'i', en el nodo 'k' (**Veh/-h**)
- C<sub>k</sub>** Número de carriles totales en los cuales se realizaron conteos en el nodo 'k', sin incluir carriles TM (**carril**)



Elaboración propia

**Figura A-5. Nodos vehiculares analizados en los conteos vehiculares del año 2021 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-4), por medio de la siguiente expresión:

$$FC_{h,i,k,w} = FC_{18:00,i,k,w} \cdot FN_{h,i,w} \quad \text{Ecuación A.5}$$

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 18:00, 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.**

<b>Categoría</b>	<b>Subcategoría<sup>a</sup></b>	<b>Nombre Subcategoría</b>	<b>Porcentaje de participación 2018</b>	<b>Porcentaje de participación 2020</b>	<b>Porcentaje de participación 2021</b>
AL	AL_DSEL	Alimentadores a Diesel	63,3%	49%	48,7%
	AL_ELEC	Alimentadores Eléctricos	0,3%	37%	37,8%
	AL_GNV	Alimentadores Gas Natural	28,2%	13%	13,5%
AT	AT_DSEL	Articulados a Diesel	4,1%	83%	70,9%
	AT_GNV	Articulados a Gas Natural	1,3%	17%	29,1%
BA	BA_DSEL	Biarticulados a Diesel	1,0%	58%	56,2%
	BA_GNV	Biarticulados a Gas Natural	1,8%	42%	43,8%
BS	BS_DSEL	Buses/Busetón a Diesel	100,0%	42%	24,1%
	BS_ELEC	Buses/Busetón a Eléctricos	100,0%	1%	1,6%
	BS_GNV	Buses/Busetón a GNV	100,0%	0%	5,0%
	ESB_GAS	Buses especiales a Gasolina	100,0%	7%	9,1%
	ESB_GNV	Buses especiales a GNV	100,0%	2%	0,6%
C2	ESB_DSEL	Buses especiales a Diesel	16,3%	47%	59,6%
	C2_DSEL	C2P y C2G a diésel	74,9%	64%	85,1%
	C2_GAS	C2P y C2G a gasolina	8,8%	33%	12,8%
C3	C2_GNV	C2P y C2G a gas natural	16,3%	3%	2,0%
	C3_DSEL	C3 a diésel	74,9%	100%	99,1%
	C3_GNV	C3 a gas natural	8,8%	0%	0,4%
C4+	C3_GAS	C3 a gasolina	60,3%	0%	0,4%
	C4+_GAS	C4 o superior a gasolina	25,7%	0%	0,0%
	C4+_GNV	C4 o superior a gas natural	14,0%	0%	0,0%
L	C4+_DSEL	C4 o superior a diésel	60,3%	100%	100,0%
	AUT_DSEL	Automóviles Diesel	25,7%	0%	0,1%
	AUT_ELEC	Automóviles Eléctricos	14,0%	0%	0,1%
	AUT_GAS	Automóviles a Gasolina	62,3%	62%	62,0%
	AUT_GNV	Automóviles a Gas Natural	30,2%	0%	0,2%
	CC_DSEL	Camionetas/Camperos a Diesel	7,4%	5%	5,1%
	CC_ELEC	Camionetas/Camperos Eléctricos	62,3%	0%	0,0%
	CC_GAS	Camionetas/Camperos a Gasolina	30,2%	30%	29,6%
	CC_GNV	Camionetas/Camperos a Gas Natural	7,4%	0%	0,3%
	TX_GAS	Taxis a Gasolina	62,3%	1%	2,0%
	TX_GNV	Taxis a Gas Natural	30,2%	2%	0,6%
	TX_ELEC	Taxis Eléctricos	7,4%	0%	0,0%
	ESL_DSEL	Especiales livianos a diesel	100,0%	0%	0,0%
	ESL_GNV	Especiales livianos a gas natural	Asignado a otra categoría	0%	0,0%
	ESL_GAS	Especiales livianos a gasolina	Asignado a otra categoría	0%	0,0%
M	ESL_ELC	Especiales livianos Eléctricos	No Asignado	0%	0,0%
	M_GAS	Motos a Gasolina	100%	100%	99,9%
	M_ELEC	Moto Eléctrica	No Asignado	0%	0,1%

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**

<b>Nombre del atributo</b>	<b>Descripción</b>
Indice201	Valor numérico que va de 0 a 100 para establecer numéricamente el estado de cada una de las vías; este índice toma valor de -1 en todas aquellas secciones de vía que no ha sido posible cuantificar, por diversos motivos, el estado de cada una de las vías
CLASIFICAC	Atributo que corresponde al tipo de vía, los cuales pueden ser Troncal, Arterial, Intermedia, Local, principal rural, o secundaria rural.
SHAPE_LEN	Atributo que representa el perímetro de cada uno de los polígonos
SHAPE_AREA	Atributo que establece el área de cada uno de los polígonos.
TM	Atributo que clasifica cada polígono en SI (Polígono exclusivo de tránsito de AT y BA), MIXTO (polígono de tráfico mixto entre AT, BA y demás tipologías vehiculares) y NULL (no tiene tráfico de AT ni BA). Este atributo no hace parte del archivo original del IDU y corresponde al cruce de información a las troncales de Transmilenio provistas por Transmilenio S.A.
INT	Atributo que clasifica cada polígono en SI (polígonos por los que pasan rutas intermunicipales) y NULL (polígonos por los cuales no pasan vehículos intermunicipales). Esta información fue agregada al archivo original del IDU y corresponde al cruce de información proporcionada por la Secretaría Distrital de Movilidad.
AL	Atributo que clasifica cada uno de los polígonos en SI (polígonos por los que pasan rutas alimentadoras de Transmilenio) y NULL (polígonos por los cuales no pasan rutas alimentadoras de Transmilenio). Esta información fue agregada al archivo original del IDU y fue provista por Transmilenio S.A.
SITP	Atributo que clasifica cada uno de los polígonos en SI (polígonos por los que pasan las rutas de los buses) y NULL (polígonos por los cuales no pasan rutas de buses). Esta información fue agregada al archivo original del IDU y fue provista por Transmilenio S.A.
VSP	Atributo en el cual se establece si una vía esta pavimentada (P) o no pavimentada (NP), este atributo a su vez depende de una revisión visual de la categorización de vías no pavimentadas.

Elaboración propia

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

detalla en la sección D.1.2 de estimación de material particulado resuspendido en la malla vial.

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

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

Ecuación A.6

En donde:

$FD_{j,k}$	Factor de Corrección para las vías secundarias de la subcategoría 'j', en el polígono de vía 'k' ( <b>adimensional</b> )
$A_j$	Coefficiente de ajuste A para la categoría 'j' ( <b>adimensional</b> )
$B_j$	Coefficiente de ajuste B para la categoría 'j' ( <b>km</b> )

- Fdt<sub>k</sub>** Distancia del centroide del polígono de vía 'k' con respecto al centroide del polígono de vía clasificada como troncal, más cercana (**km**)
- C<sub>j</sub>** Coeficiente de ajuste C para la categoría 'j' (**adimensional**)

En el caso de vías locales, los FD toman el valor de D<sub>j</sub> para vías pavimentadas y E<sub>j</sub> 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. Estimación de los flujos vehiculares**

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

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

Donde:

- FT<sub>h,j,k,w</sub>** Flujo Vehicular para la hora 'h', de la subcategoría 'j', en el polígono de vía 'k', en el día 'w' (**Veh/h**)
- FCL<sub>h,j,k,w</sub>** 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<sub>k</sub>** Factor de corrección para vías secundarias, del polígono de vía 'k' (**adimensional**)
- NC<sub>k</sub>** Número de carriles del polígono de vía 'n' (**Carril**)

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

- e) 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').
- f) 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.2.5. 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<sub>h,i,w,k,c</sub>** 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<sub>h,j,k,w</sub>** Flujo Vehicular para la hora 'h', de la subcategoría 'j', en el polígono de vía 'k', en el día 'w' (Veh/h)
- L<sub>k</sub>** Longitud del polígono de vía 'k' (km)
- FE<sub>j,c</sub>** 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 <sup>a</sup>	Factores de emisión (g/km)					
	CO	COV	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>
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

Subcategoría <sup>a</sup>	Factores de emisión (g/km)					
	CO	COV	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>
C2_GNV	9,80E+00	6,66E-02	8,28E-01	8,54E-04	1,96E-03	1,76E-03
C3_DSEL	4,43E+00	1,12E+00	1,39E+01	2,31E-03	5,11E-01	4,60E-01
C3_GAS	8,92E+01	1,69E+01	5,75E+00	1,33E-02	1,11E-01	1,00E-01
C3_GNV	6,32E+00	3,71E-02	2,31E-01	1,38E-03	6,21E-03	5,59E-03
C4+_DSEL	3,63E+00	9,23E-01	1,12E+01	1,94E-03	1,70E+00	1,53E+00
C4+_GAS	3,63E+02	1,67E+01	4,95E+00	1,13E-02	1,01E-01	9,09E-02
C4+_GNV	5,39E+00	3,16E-02	1,97E-01	1,18E-03	5,29E-03	4,76E-03
CC_DSEL	9,55E-01	1,21E-01	1,49E+00	1,37E-03	2,47E-01	2,23E-01
CC_ELEC	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
CC_GAS	1,07E+01	2,15E+00	1,12E+00	6,42E-03	9,46E-03	8,51E-03
CC_GNV	2,37E+01	4,32E-01	2,78E+00	1,08E-03	1,20E-02	1,08E-02
ESB_DSEL	1,62E+00	4,53E-01	6,73E+00	1,98E-03	2,23E-01	2,01E-01
ESB_GAS	3,38E+02	1,11E+01	7,75E+00	1,69E-02	1,55E-01	1,40E-01
ESB_GNV	3,19E+02	7,36E-01	4,82E+00	1,93E-03	7,86E-03	7,07E-03
INT_DSEL	1,62E+00	4,53E-01	6,73E+00	1,98E-03	2,23E-01	2,01E-01
INT_GAS	3,38E+02	1,11E+01	7,75E+00	1,69E-02	1,55E-01	1,40E-01
INT_GNV	3,19E+02	7,36E-01	4,82E+00	1,93E-03	7,86E-03	7,07E-03
M_GAS	2,16E+01	2,79E+00	5,85E-01	4,92E-02	2,00E-02	1,94E-02
M_ELEC	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TX_ELEC	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
TX_GAS	6,75E+00	8,20E-01	5,95E-01	4,92E-03	8,61E-03	7,75E-03
TX_GNV	9,81E+00	8,76E-02	1,78E+00	1,05E-03	1,03E-02	9,31E-03

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

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. **(m<sup>3</sup>/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/m<sup>3</sup> para gases y líquidos o g/kg para combustibles sólidos)**
- $ER_k$**  Eficiencia de sistemas de control 'k' **(%)**
- $FC$**  Factor de conversión. **(1x10<sup>-9</sup> t/mg para gases y líquidos o 1x10<sup>-6</sup> 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 <sup>a</sup>					
			Unidades	PM <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	VOC
ACD	Caldera industrial y comercial > 15 BHP	Diésel	mg/m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	1,20E+06	6,600E+06	2,072E+06	6,000E+05	1,731E+05
AGG	Aglutinadora	Gas natural	mg/m <sup>3</sup>	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
AHF	Horno	Diésel	mg/m <sup>3</sup>	4,760E+05	2,142E+06	1,704E+06	5,950E+05	2,992E+05
BOG	Bombo	Gas natural	mg/m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	2,372E+02	6,950E+02	5,000E-01	1,344E+03	1,760E+02
CG3	Caldera ≤100 BHP	Gas natural	mg/m <sup>3</sup>	1,903E+02	3,192E+03	2,310E+01	1,380E+03	1,760E+02
CGL	Calentador	Gas licuado de petróleo	mg/m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
CTA	Caldera (vapor) textiles	Aceite usado	mg/m <sup>3</sup>	6,029E+06	4,169E+06	2,646E+07	6,000E+05	1,200E+05
CUG	Cuba	Gas natural	mg/m <sup>3</sup>	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
EGL	Estufa industrial	Gas licuado de petróleo	mg/m <sup>3</sup>	9,587E+04	1,798E+06	1,917E+03	1,007E+06	NE
ESG	Estufa industrial	Gas natural	mg/m <sup>3</sup>	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
EXG	Extrusora	Gas natural	mg/m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	2,968E+06	1,108E+06	2,072E+06	6,000E+05	1,200E+05
HG1	Horno de alimentos	Gas natural	mg/m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	1,187E+02	1,504E+03	9,600E+00	6,400E+02	1,760E+02

Categoría	Tecnología	Combustible	Factores de emisión <sup>a</sup>					
			Unidades	PM <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	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 <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	9,587E+04	1,798E+06	1,917E+03	1,007E+06	NE
IMG	Impresora de gran formato	Gas natural	mg/m <sup>3</sup>	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
ING	Inyectora	Gas natural	mg/m <sup>3</sup>	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
ICG	Intercambiador de calor	Gas natural	mg/m <sup>3</sup>	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 <sup>3</sup>	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
MGL	Marmita	Gas licuado de petróleo	mg/m <sup>3</sup>	9,587E+04	1,798E+06	1,917E+03	1,007E+06	NE
MRG	Marmita	Gas natural	mg/m <sup>3</sup>	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
OTG	Otra	Gas natural	mg/m <sup>3</sup>	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
PED	Planta eléctrica	Diésel	mg/m <sup>3</sup>	4,794E+04	2,157E+06	1,702E+07	5,992E+05	NE
PLG	Peletizadora	Gas natural	mg/m <sup>3</sup>	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
QGL	Quemador	Gas licuado de petróleo	mg/m <sup>3</sup>	9,587E+04	1,798E+06	1,917E+03	1,007E+06	NE
QMG	Quemador	Gas natural	mg/m <sup>3</sup>	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
RTA	Rama de Termofijado	Aceite usado	mg/m <sup>3</sup>	3,356E+05	1,318E+06	4,360E+07	2,037E+05	NE
RTG	Rama de Termofijado	Gas natural	mg/m <sup>3</sup>	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
SEG	Secadora	Gas natural	mg/m <sup>3</sup>	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
TOD	Tostadora	Diésel	mg/m <sup>3</sup>	4,794E+04	2,157E+06	1,702E+07	5,992E+05	NE
TOG	Tostadora	Gas natural	mg/m <sup>3</sup>	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
TSG	Torre de secado	Gas natural	mg/m <sup>3</sup>	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
VUG	Vulcanizadora	Gas natural	mg/m <sup>3</sup>	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
VUL	Vulcanizadora	Gas licuado de petróleo	mg/m <sup>3</sup>	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<sub>ij</sub>** Emisiones del contaminante 'i' de la fuente 'j', **(g/h)**  
**FC** Factor de conversión 1x10<sup>6</sup> **(g/ton)**  
**E<sub>ij</sub>** Emisiones del contaminante 'i' de la fuente 'j', **ton/año)**  
**nd<sub>d,m,j</sub>** 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<sub>d,j</sub>** 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 2021 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<sub>h,i,w,k,c,n</sub>** 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<sub>h,j,k,w</sub>** Flujo Vehicular para la hora ‘h’, de la subcategoría ‘j’, en el polígono de vía ‘k’, en el día ‘w’ **(Veh/h)**

**L<sub>k</sub>** Longitud del polígono de vía ‘k’ **(km)**

**FE<sub>j,c,n</sub>** 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 <sub>2.5</sub> [g/km]	PM <sub>10</sub> [g/km]	PM <sub>2.5</sub> [g/km]	PM <sub>10</sub> [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 2021, se ajustó la metodología en cuanto a la estimación y distribución de los conteos vehiculares explicados en la sección A.2.4, 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', ( <b>g/VKT</b> )
$k_p$	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', ( <b>g/m<sup>2</sup></b> )
$W_j$	Peso promedio representativo de la subcategoría vehicular 'j', ( <b>t</b> )
$P$	Número de días con al menos 0.254 mm de precipitación diaria acumulada en un periodo establecido, ( <b>días</b> )
$N$	Número de días en un periodo establecido, 365 para un año típico, 30 para un mes ( <b>días</b> )

Para vías no pavimentadas con tránsito en vías industriales

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

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', ( <b>g/VKT</b> )
------------------	--

<b>K<sub>i</sub><sub>p</sub></b>	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
<b>S<sub>k</sub></b>	Porcentaje de finos en el polígono de la vía no pavimentada industrial 'k', (%)
<b>W<sub>i</sub></b>	Peso promedio representativo de la categoría vehicular 'i', (t)
<b>P</b>	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

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

Donde:

<b>FEVNPP<sub>p,k,w,h</sub></b>	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)
<b>K<sub>p</sub><sub>p</sub></b>	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
<b>S<sub>k</sub></b>	Porcentaje de finos en el polígono de vía no pavimentada pública 'k', (%)
<b>K<sub>v</sub></b>	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.
<b>V<sub>w,h</sub></b>	Velocidad Promedio para la ciudad para la hora 'h' en el día tipo 'w', (km/h)
<b>P</b>	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 <sup>2</sup> )
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 <sup>a</sup>	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 km<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup>, con un coeficiente de ajuste r<sup>2</sup> superior a 0.85.

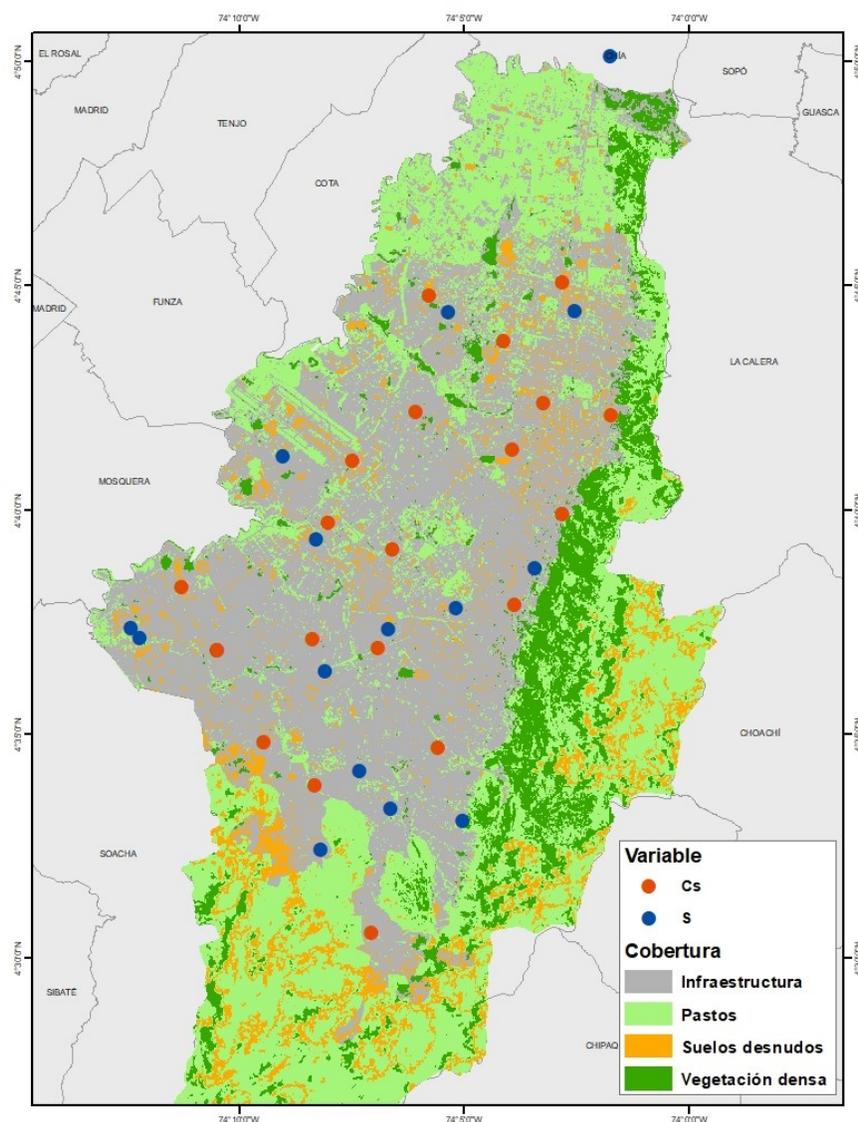
$$Cs = \frac{2.2305}{FV^{0.4}}; FV > 0.001;$$

Ecuación D.4

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

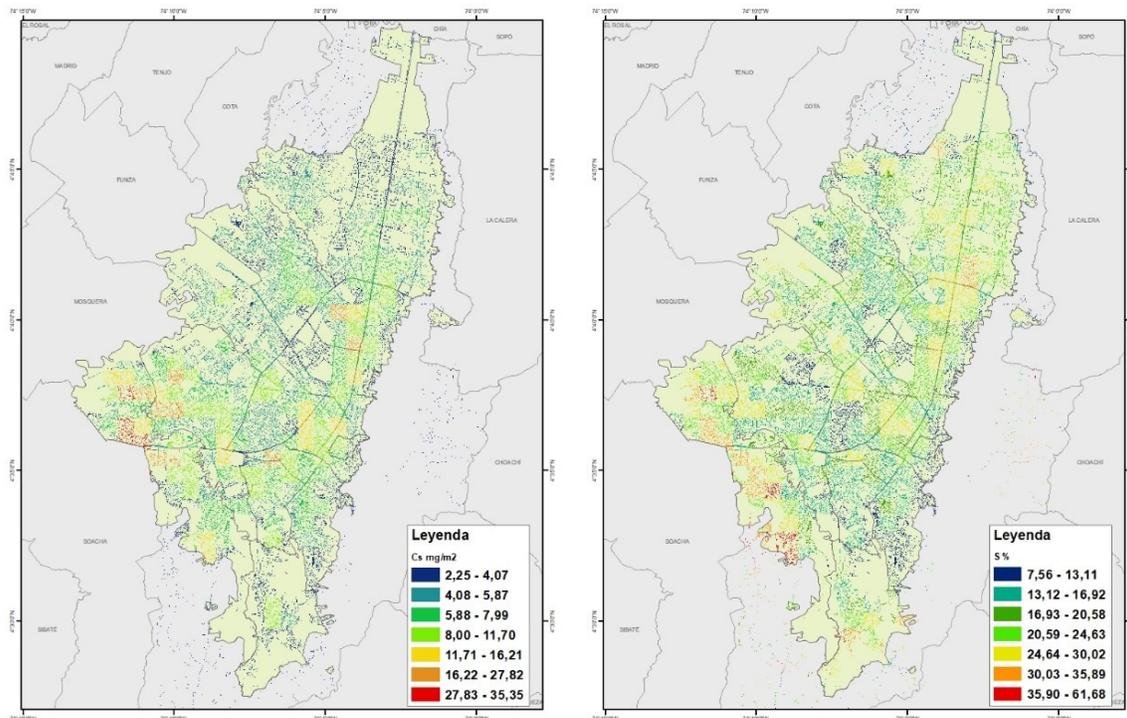
Ecuación D.5

Estas expresiones se emplearon para estimar las cargas de sedimento para cada km<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup>, 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

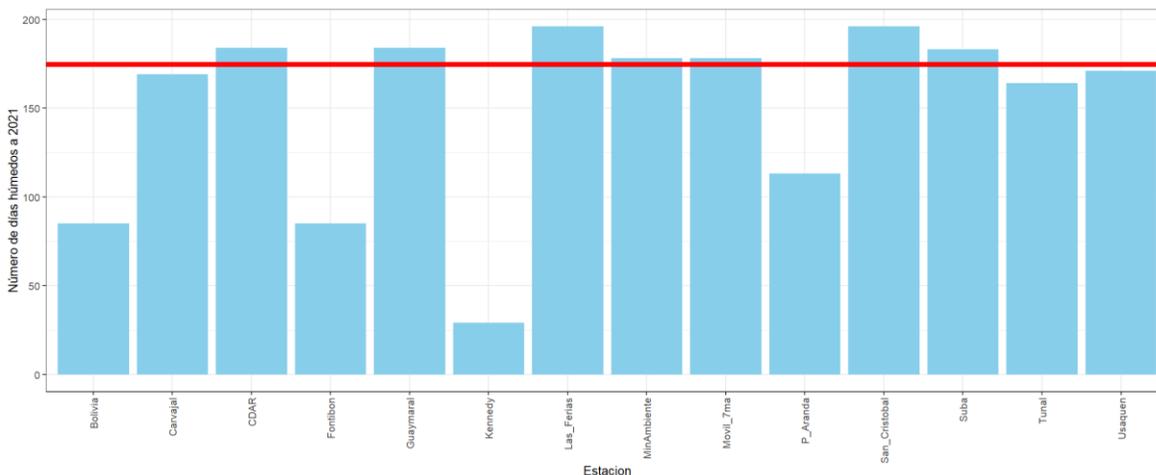
**Tabla D-3. Pesos representativos de categorías vehiculares.**

<b>Categoría</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Peso Bruto Vehicular</b>
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 2021, 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.

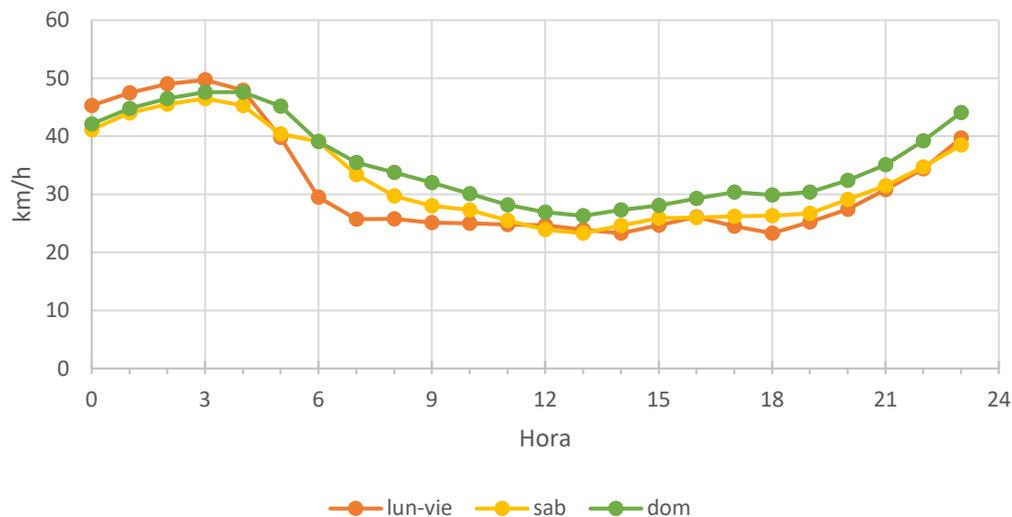


Elaboración propia

**Figura D-3. Número de días con precipitación mayor a 0.254 por estación para el año 2021**

### 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 2021 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).

<b>FEVP<sub>p,j,k</sub></b>	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 <b>(g/VKT)</b> .
<b>FEVNPP<sub>p,k,w,h</sub></b>	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' <b>(g/VKT)</b> .
<b>FEVNPI<sub>p,j,k</sub></b>	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' <b>(g/VKT)</b> .
<b>L<sub>k</sub></b>	Longitud de vía 'k' <b>(km)</b>
<b>FT<sub>h,j,w,k</sub></b>	Flujo Vehicular para la hora 'h', de la subcategoría 'j', en el día 'w', en el polígono de vía 'k' <b>(Veh/h)</b>

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 2021 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 2021.

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

Donde,

$E_k$	Emisiones totales del contaminante k ( <b>t</b> )
$Ac$	Área construida de la obra número j ( <b>m<sup>2</sup></b> )
$FE$	Factor de emisión ( <b>g/m<sup>2</sup>.s</b> )
$t$	Tiempo de duración de la obra j ( <b>s</b> ) 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 2021, es así como se filtra por fecha aquellas construcciones que iniciaron fuera del 2021 pero que realizaron actividades durante este año o que iniciaron en el año 2021 y que finalizaron o no durante este año.
- **Filtro por área de construcción:** Los registros de esta base de datos son diligenciados por los mismos usuarios que solicitan permisos de manejo de RCD para las obras de construcciones. Es así, que en algunos casos hay registros con información mal registrada, principalmente para variables como el área a construir. Es así como se realiza un filtro de esta variable para utilizar información con valores lógicos, descartando aquellos valores mayores a 100 000 m<sup>2</sup>.
- **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.**

<b>Tipo de obra</b>	<b>Etapas</b>	<b>PM<sub>2.5</sub></b>	<b>PM<sub>10</sub></b>
<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:

<b>E</b>	Emisión del contaminante en <b>(t/año)</b>
<b>FE</b>	Factor de emisión <b>(<math>\mu\text{g}/\text{m}^2\text{-s}</math>)</b>
<b>A</b>	Área de extracción <b>(<math>\text{m}^2</math>)</b>
<b>h</b>	Horas del funcionamiento en el año <b>(h)</b>

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 2021.

**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 ( $\text{PM}_{10}$  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
$\text{PM}_{10}$	283,5	Arcilla
$\text{PM}_{2.5}$	143,5	
$\text{PM}_{10}$	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<sub>i</sub>** Emisiones del contaminante 'i' generadas por las fuentes residenciales **(t/año)**
- C<sub>GN</sub>** Consumo de gas natural durante el año 2021 **(m<sup>3</sup>)**
- FC<sub>1</sub>** Factor de conversión de m<sup>3</sup> gas natural a GBTU **(29,6 GBTU/m<sup>3</sup>)**
- FE<sub>i</sub>** Factor de emisión para el contaminante i **(g/GBTU)**
- FC<sub>2</sub>** 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/GBTU
NO <sub>x</sub>	44.312,5
CO	23.211,3
SO <sub>2</sub>	316,5
PM <sub>10</sub>	211,0
PM <sub>2,5</sub>	211,0
COV	1.899,1

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 2021.

## 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<sub>2.5</sub>; 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<sub>2.5</sub> generadas por las fuentes fijas industriales

Tipo de combustible	PEC/PM <sub>2.5</sub>
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, 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**

<b>Categoría vehicular</b>	<b>Tipo de combustible</b>		
	<b>Diesel</b>	<b>Gasolina</b>	<b>Gas Natural vehicular</b>
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**

<b>Estado de la vía</b>	<b>Fracción de carbón elemental</b>
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 por freno y desgaste de llantas.**

<b>Fuente</b>	<b>Fracción de carbón elemental</b>
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](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>