

# INVENTARIO DE EMISIONES DE BOGOTÁ

CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS



ALCALDÍA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.

SECRETARÍA DE  
AMBIENTE





**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

**Camilo Alexander Rincón Escobar**  
Director de Control Ambiental

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

**Rafael Arturo Chaparro Ortiz**  
Coordinador del Plan Estratégico de Gestión Integral de la Calidad del Aire de Bogotá

**Karen Johanna Blanco Fajardo**  
**Diana Lucelly Gómez Gómez**  
**Sandra Bibiana Riaño Alarcón**  
Grupo del Plan Estratégico de Gestión Integral de la Calidad del Aire de Bogotá

**Edison Yesid Ortiz Durán**  
Coordinador del Sistema Integrado de Modelación de Calidad de aire de Bogotá

**July Andrea Vásquez Ramírez**  
Grupo del Sistema Integrado de Modelación de Calidad de aire de Bogotá

**Secretaria Distrital de Ambiente -SDA-**  
**© diciembre de 2020, Bogotá – Colombia**  
**Inventario de emisiones de Bogotá, Contaminantes atmosféricos**  
**Año:2018.**

## Contenido

1.	RESUMEN EJECUTIVO.....	1
2.	INTRODUCCIÓN.....	3
2.1.	Dinámica de la contaminación en la atmosfera.....	3
2.2.	Inventario de emisiones y su utilidad para la ciudad.....	4
2.3.	Fuentes de emisión identificadas en Bogotá.....	5
3.	METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES.....	7
3.1.	Estimación de emisiones por combustión de fuentes móviles en carretera.....	7
3.1.1.	Estimación de emisiones Top-Down.....	7
3.1.2.	Estimación de emisiones Bottom-Up.....	14
3.2.	Estimación de emisiones por combustión de fuentes fijas industriales.....	23
3.2.1.	Estimación de emisiones Bottom-Up.....	23
3.2.2.	Desagregación horaria de las emisiones por combustión de fuentes fijas.....	27
3.2.3.	Desagregación espacial de las emisiones por combustión de fuentes fijas.....	28
3.3.	Estimación de emisiones de resuspensión de material particulado en vías.....	28
3.3.1.	Estimación Bottom-Up.....	28
4.	INVENTARIO DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE FUENTES MÓVILES EN CARRETERA.....	36
4.1.	Inventario de emisiones Top-Down.....	36
4.2.	Inventario de emisiones Bottom-Up.....	38
4.2.1.	Desagregación espacial.....	38
4.2.2.	Desagregación temporal horaria de las emisiones.....	41
4.3.	Comparación entre metodologías de estimación Top-Down y Bottom-Up.....	43
4.4.	Resultados históricos de inventarios de emisión por combustión de fuentes móviles en carretera.....	44
4.4.1.	Material particulado (PM <sub>10</sub> ).....	44



4.4.2.	Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> ) .....	46
4.4.3.	Monóxido de carbono (CO) .....	47
4.4.4.	Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> ) .....	49
5.	INVENTARIO DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE FUENTES FIJAS INDUSTRIALES .....	51
5.1.	Inventario de emisiones Bottom-Up .....	51
5.2.	Desagregación espacial de las emisiones .....	53
5.3.	Desagregación temporal horaria de las emisiones .....	55
5.4.	Resultados históricos de los inventarios de emisiones por combustión en las fuentes fijas industriales .....	56
6.	INVENTARIO DE EMISIONES DE MATERIAL RESUSPENDIDO PROVENIENTE DE LAS VÍAS .....	58
6.1.	Inventario de emisiones .....	58
6.1.1.	Desagregación especial de emisiones .....	58
6.1.2.	Desagregación temporal horaria de emisiones .....	60
7.	INVENTARIO CONSOLIDADO DE EMISIONES .....	62
7.1.	Desagregación espacial de las emisiones totales .....	64
8.	OPORTUNIDADES DE MEJORA .....	67
9.	BIBLIOGRAFÍA .....	68

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Inventario Consolidado de emisiones para la ciudad representativo para el año 2018 ....	2
Tabla 2. Clasificar vehicular y desagregación. Fuente: Propia. ....	11
Tabla 3. Factores de emisión del inventario de emisiones año 2018. ....	12
Tabla 4. Categorías Vehiculares homologadas de los conteos vehiculares .....	15
Tabla 5. Nodos vehiculares analizados en los conteos 2018 de SDM.....	17
Tabla 6. División de categorías en subcategorías que incluyen combustibles.....	18
Tabla 7. Factores de emisión empleados en la estimación Bottom-up de fuentes móviles por combustión.....	22
Tabla 8. Factores de emisión de fuentes fijas industriales .....	25
Tabla 9. Cargas de sedimentos empleadas en este inventario .....	30
Tabla 10. Porcentaje de Finos empleados en este documento .....	31
Tabla 11. Pesos representativos de categorías vehiculares.....	32
Tabla 12. Inventario de emisiones de combustión por las fuentes móviles en carretera por categoría vehicular, año 2018. ....	36
Tabla 13. Inventario de emisiones total Bottom-Up.....	38
Tabla 14. Participación por localidad en las emisiones de fuentes móviles en carretera .....	41
Tabla 15. Comparación entre metodologías de estimación de emisiones .....	44
Tabla 16. Inventarios de emisiones de combustión para PM <sub>10</sub> generadas las fuentes móviles en carretera desde el año 2008 a 2018.....	45
Tabla 17. Inventarios de emisiones de combustión para NO <sub>x</sub> generadas las fuentes móviles en carretera desde el año 2008 a 2018.....	46
Tabla 18. Inventarios de emisiones de combustión para CO generadas las fuentes móviles en carretera desde el año 2008 a 2018.....	48
Tabla 19. Inventarios de emisiones de combustión para SO <sub>x</sub> generadas las fuentes móviles en carretera desde el año 2008 a 2018. Fuente: Propia.....	49
Tabla 20. Inventario de emisiones de fuentes fijas industriales año 2018 .....	51
Tabla 21. Emisiones históricas de PM10 desde el año 2018 hasta el año 2018 de las emisiones de fuentes fijas industriales. ....	56
Tabla 23. Emisiones por localidad de material particulado resuspendido de vías .....	60
Tabla 24. Inventario Consolidado de emisiones para la ciudad representativo para el año 2018	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de los contaminantes en la atmósfera. Fuente: Imagen adaptada de la agencia ambiental europea (EEA-EU) .....	4
Figura 2. Utilidad de los inventarios de emisiones. Fuente: Propia .....	5
Figura 3. Fuentes de emisiones identificada para la ciudad de Bogotá. ....	6
Figura 4. Diagrama de flujo del procesamiento de la base de datos de reportes de CDA.....	8
Figura 5. Ejemplo del análisis estadístico para identificar rangos de edad por categoría vehicular que transitan en la ciudad.....	9
Figura 6. Diagrama de flujo del procesamiento de base de datos de RDA.....	10
Figura 7. Distribución de origen de placas de vehículos de carga que transitan en la ciudad de Bogotá. Fuente: (Steer Davies Gleave, 2015).....	10
Figura 8. Porcentaje de cantidad de vehículos que transitan en Bogotá por categoría. ....	12
Figura 9. Perfiles de conteos vehiculares normalizados con respecto a los flujos de las 07:00 para toda la ciudad, por categorías vehiculares y día de la semana.....	16
Figura 10. Proporciones <i>Isab</i> e <i>Idom</i> para extrapolar conteos para los fines de semana. ....	17
Figura 11. Vías Principales con número de carriles, ubicación de sitios de conteo (nodo) y polígonos de Thiessen para cada nodo .....	21
Figura 12. Distribución por tipo de fuente de combustible .....	24
Figura 13. Distribución por tipo de combustible.....	25
Figura 14. Valores de Cs y S para cada grilla dentro de la ciudad. ....	31
Figura 15. Número de días con precipitación igual o mayor de 0,254 mm para el 2018 .....	32
Figura 16. Perfiles de velocidad para la ciudad de Bogotá para el 2018, según día tipo.....	33
Figura 17. Estado de vías en la ciudad .....	35
Figura 18. Participación en generación de emisiones de combustión de PM10 por categoría vehicular, año 2018. ....	37
Figura 19. Participación en emisión de combustión de contaminantes criterio por categoría vehicular, año 2018.....	38
Figura 20. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de PM <sub>2.5</sub> para Fuentes Móviles.....	39
Figura 21. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de PM <sub>10</sub> para Fuentes Móviles.....	39
Figura 22. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de CO para Fuentes Móviles. ....	39
Figura 23. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de NO <sub>x</sub> para Fuentes Móviles. ....	39
Figura 24. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de SO <sub>2</sub> para Fuentes Móviles. ....	40
Figura 25. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de VOC para Fuentes Móviles. ....	40

Figura 26. Distribución horaria para Fuentes Móviles 2018, según categoría vehicular para el contaminante PM <sub>2.5</sub> .....	42
Figura 27. Distribución horaria para Fuentes Móviles 2018, según categoría vehicular para el contaminante PM <sub>10</sub> .....	42
Figura 28. Distribución horaria para Fuentes Móviles 2018, según categoría vehicular para el contaminante VOC. ....	42
Figura 29. Distribución horaria para Fuentes Móviles 2018, según categoría vehicular para el contaminante SO <sub>2</sub> .....	43
Figura 30. Distribución horaria para Fuentes Móviles 2018, según categoría vehicular para el contaminante NO <sub>x</sub> . ....	43
Figura 31. Distribución horaria para Fuentes Móviles 2018, según categoría vehicular para el contaminante CO. ....	43
Figura 32. Distribución histórica por categoría de vehicular de las emisiones de PM <sub>10</sub> . ....	45
Figura 33. Distribución histórica por categoría de vehicular de las emisiones de NO <sub>x</sub> . ....	47
Figura 34. Distribución histórica por categoría de vehicular de las emisiones de CO. ....	48
Figura 35. Distribución histórica por categoría de vehicular de las emisiones de SO <sub>x</sub> . Fuente: Propia. ....	50
Figura 36. Participación por categoría en emisión de PM <sub>10</sub> para el año 2018. Fuente: Propia. ....	51
Figura 37. Participación por tipo de fuente en las emisiones de contaminantes criterio para el año 2018.....	52
Figura 38. Distribución espacio temporal de PM <sub>2.5</sub> para Fuentes Puntuales. Día Hábil.....	53
Figura 39. Distribución espacio temporal de PM <sub>10</sub> para Fuentes Puntuales. Día Hábil.....	53
Figura 40. Distribución espacio temporal de CO para Fuentes Puntuales. Día Hábil .....	54
Figura 41. Distribución espacio temporal de NO <sub>x</sub> para Fuentes Puntuales. Día Hábil .....	54
Figura 42. Distribución espacio temporal de SO <sub>x</sub> para Fuentes Puntuales. Día Hábil .....	54
Figura 43. Perfil horario de las emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales.....	56
Figura 44. Distribución histórica de las emisiones de PM <sub>10</sub> .....	57
Figura 45. Distribución espacio temporal de emisiones por material particulado resuspendido en vías. Derecha: emisiones de PM <sub>2.5</sub> ; izquierda: emisiones de PM <sub>10</sub> .....	59
Figura 46. Distribución horaria para material resuspendido, según categoría vehicular para el contaminante PM <sub>10</sub> . ....	60
Figura 47. Distribución horaria para material resuspendido, según categoría vehicular para el contaminante PM <sub>2.5</sub> . ....	61
Figura 54. Emisiones totales de PM <sub>2.5</sub> .....	64
Figura 48. Consolidación de fuentes de emisiones para el contaminante PM <sub>2.5</sub> .....	65
Figura 49. Consolidación de fuentes de emisiones para el contaminante PM <sub>10</sub> .....	65
Figura 50. Consolidación de fuentes de emisiones para el contaminante NO <sub>x</sub> Fuente: Propia ....	66
Figura 51. Consolidación de fuentes de emisiones para el contaminante SO <sub>2</sub> .....	66
Figura 52. Consolidación de fuentes de emisiones para el contaminante CO.....	66
Figura 53. Consolidación de fuentes de emisiones para el contaminante VOC .....	66

## 1. RESUMEN EJECUTIVO

Los inventarios de emisión de contaminantes atmosféricos permiten cuantificar las emisiones de una ciudad o región generadas por las diferentes fuentes. Proporcionan información técnica que sirve a la autoridad ambiental 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 evaluar la efectividad de acciones a través de modelación de calidad del aire, generación periódica de pronóstico de calidad del aire, entre otros propósitos.

Los inventarios de emisiones estimados para Bogotá contemplan las siguientes fuentes de emisión identificadas hasta el momento: 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 de área (centros de almacenamiento de combustibles), resuspensión de material particulado en la malla vial por el paso vehicular, construcciones, incendios forestales, entre otras.

Las emisiones pueden ser estimadas bajo dos enfoques: (1) El enfoque Bottom-Up, en el cual se emplea la información lo más desagregada posible espacialmente 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 la estimación.

El inventario de emisiones presentado en este documento actualiza las emisiones con información del año 2018 para las siguientes fuentes de emisión: combustión en fuentes fijas industriales, combustión en fuentes móviles en ruta, emisiones por resuspensión de polvo en vías por el tránsito de fuentes móviles en ruta y emisiones por combustión de fuentes móviles fuera de ruta (maquinaria amarilla). Las demás fuentes reportadas corresponden a una anterior actualización de inventario realizada en el 2014.

Conforme al inventario de fuentes fijas industriales del Distrito, realizado puerta a puerta en el año 2018, se identificaron 2046 fuentes en operación, de las cuales 2030 fuentes corresponden a equipos de combustión externa teniendo que, de estas fuentes de combustión, el 47% corresponden a calderas, el 35% a hornos y el 18% restante a otro tipo de fuentes como estufas industriales, ramas de termofijado, torres de secado, tostadoras, entre otras.

En cuanto a la estimación de emisiones de las fuentes móviles, tanto por combustión como por resuspensión del polvo, se emplearon diversas fuentes de información provenientes del registro distrital automovilístico – RDA, Centros distritales automotrices – CDA, e información de la matriz origen-destino, conteos vehiculares y del Sistema Integrado de Información sobre Movilidad Urbana Regional – SIMUR, de la Secretaría Distrital de Movilidad.

La información adicional requerida para la estimación de emisiones proviene, tanto de valores usados internacionalmente como de estudios locales hechos en los últimos años en la ciudad.



Como resultado de las distintas estimaciones; a continuación, se muestra el inventario representativo para el año 2018 en la ciudad de las emisiones de material particulado con diámetro igual o menor a 10 micrómetros (PM<sub>10</sub>), material particulado con diámetro igual o menor a 2.5 micrómetros (PM<sub>2.5</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles (VOC).

**Tabla 1. Inventario Consolidado de emisiones para la ciudad representativo para el año 2018**

FUENTE		Metodología	Años del inventario	Emisiones (Toneladas/año)					
				PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	VOC
MÓVILES	En carretera	Top- Down	2018	1.846	1.676	84.032	1.872	595.441	109.942
		Bottom-Up	2018	2.090	1.907	88.094	1.278	393.953	31.522
	Fuera de carretera	Top- Down	2018	450	437	5.457	16	2.858	534
FIJAS	Industriales	Bottom-Up	2018	482	468	1.740	645	565	92
	Comerciales	Bottom-Up	2014	130	68	67	190	2.529	105
	EDS Y CAC	Bottom-Up	2012	-	-	-	-	-	23.786
FUENTES NATUALES Y FORESTALES	Incendios Forestales	Bottom-Up	2014	61	50	14	-	500	-
	Biogénicas	Bottom-Up	2012	-	-	-	-	-	2.037
MATERIAL PARTICULADO RESUSPENDIDO	Desgaste de frenos, llantas y superficies	Bottom-Up	2014	657	86	-	-	-	-
	Vías pavimentadas y no pavimentadas	Bottom-Up	2018	51.652	5.341	-	-	-	-
	Rehabilitación de vías	Bottom-Up	2014	110	8	-	-	-	-
	Terrenos Agrícolas	Bottom-Up	2012	5	-	-	-	-	-
	Canteras	Bottom-Up	2012	936	431	-	-	-	-
	Construcciones de edificaciones	Bottom-Up	2014	1.249	960	-	-	-	-
<b>TOTAL*</b>				<b>57.577</b>	<b>9.524</b>	<b>91.310</b>	<b>2.723</b>	<b>601.893</b>	<b>136.496</b>

\* Corresponde a la suma donde se tiene en cuenta el inventario de fuentes móviles en carretera con metodología Top-Down

## 2. INTRODUCCIÓN

La Secretaría Distrital de Ambiente ha elaborado cada dos (2) años la actualización de los inventarios de emisiones atmosféricas de las fuentes contaminantes más relevantes de la ciudad desde el año 2008. Estas estimaciones se han realizado con base en información recopilada para la ciudad, que incluyen ejercicios de investigación y consultoría desarrollados en colaboración con diferentes entidades incluida la academia.

Los inventarios de emisiones estimados para Bogotá contemplan las siguientes fuentes de emisión identificadas hasta el momento: 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 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 de las fuentes de relevancia en emisión de contaminantes a la atmosfera en Bogotá, así como su desagregación espacio temporal. Estas fuentes corresponden a las fuentes fijas industriales, fuentes móviles en carretera y las emisiones generas por resuspensión de material particulado de las vías de la ciudad. Sin embargo, al final documento se presenta una recopilación de los inventarios de emisiones de todas las fuentes de emisión, que cuenten hasta el momento se han estimado.

Adicionalmente, hace parte de este documento un capítulo en donde se explica de forma concreta las metodologías utilizadas para la estimación de los inventarios de emisión que contemplan los enfoques Top-Down y Bottom-Up.

### 2.1. Dinámica de la contaminación en la atmosfera

La evolución de las emisiones generadas en las fuentes y su interacción con la atmosfera (incluidos diferentes componentes meteorológicos) permite tener claridad de como esta contaminación afecta directamente sobre la población y los ecosistemas de la ciudad (Figura 1). A continuación, se describen de forma general las etapas en este proceso de transformación:

1. **Emisión:** La emisión de los contaminantes atmosféricos se generan en diferentes clases de fuentes. La clasificación más general corresponde a las fuentes naturales, producidas por fenómenos propios de la naturaleza; y fuentes antropogénicas, producidas por las actividades humanas, como el transporte, la transformación de materias primas, la construcción de infraestructura, entre otras.
2. **Formación de contaminantes secundarios:** Una vez los contaminantes están en la atmósfera pueden reaccionar químicamente entre ellos para generar nuevos contaminantes o contaminantes secundarios, influenciados por la luz solar y la humedad en el aire. Por ejemplo, la interacción de algunos contaminantes en la atmósfera puede generar material particulado en el aire, siendo este diferente al emitido por las fuentes de emisión.

3. **Dispersión:** La dispersión es una etapa clave en la concentración de los contaminantes en la atmósfera. Entre mayor sea esta dispersión, menor será su concentración en el aire ambiente. En esta etapa variables meteorológicas como la velocidad y dirección del viento, la humedad y la temperatura, juegan un papel de relevancia para determine el nivel de estabilidad atmosférica. Esta estabilidad atmosférica, la cual permite establecer que tan buena es la dispersión de los contaminantes en la atmósfera. En términos generales una atmosfera inestable facilita el movimiento de las masas de aire (vertical u horizontalmente), permitiendo mayor dispersión de los contaminantes.
4. **Concentración de contaminantes en la atmósfera:** Las concentraciones relacionan la cantidad de contaminantes en el aire por unidad de volumen, luego de que los contaminantes son transportados por la atmósfera. Esta concentración se encuentra directamente relacionada con la dispersión de los contaminantes, como se mencionó en el ítem anterior. Adicionalmente, se encuentra influenciada por características de la topografía y las estructuras, especialmente a nivel de suelo. Las concentraciones se estiman o miden a través de redes de monitoreo para caracterizar los impactos de los contaminantes en la población y en el ambiente en general.

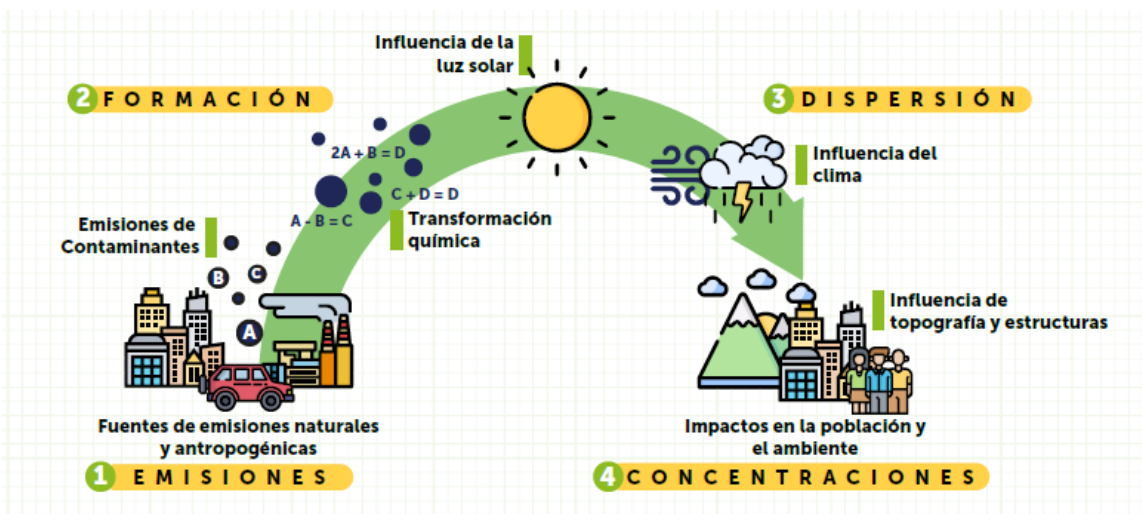


Figura 1. Evolución de los contaminantes en la atmósfera. Fuente: Imagen adaptada de la agencia ambiental europea (EEA-EU)

## 2.2. Inventario de emisiones y su utilidad para la ciudad

Los inventarios de emisión de contaminantes atmosféricos permiten cuantificar las emisiones generadas en una ciudad. Proporcionan información técnica que sirve a la autoridad ambiental 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. También, en articulación con la autoridad en salud, estos inventarios con procesos adicionales permiten cuantificar el impacto que en salud pública tiene la contaminación atmosférica.



**Figura 2. Utilidad de los inventarios de emisiones. Fuente: Propia**

Para otro tipo de actores como empresas o entidad privadas, los inventarios de emisiones permiten cuantificar el impacto en la calidad del aire que generan sus procesos y establecer estrategias para la mitigación de emisiones. Esto último pueden conllevar beneficios económicos y ante la autoridad ambiental que los regula.

En el caso de la académica, los inventarios de emisiones, por sí solos representa 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 casusas principales de la contaminación atmosférica y como nuestras actividades diarias impactan directa o indirectamente a la calidad del aire. Haciéndonos más conscientes de nuestra participación en esta problemática y permitiéndonos identificar acciones que podríamos tomar para ayudar a mitigarla.

### **2.3. Fuentes de emisión identificadas en Bogotá**

La identificación de las fuentes de emisión, a las que se les atribuye la contaminación de la ciudad, ha sido un trabajo de años, iniciado desde la estación del primer inventario oficial en el año 2008. Las fuentes identificadas se pueden denominar externas e internas. Las fuentes externas corresponden a aquellas que se encuentran fuera de la jurisdicción de Bogotá, pero que aportan significativamente al aumento de las concentraciones de los contaminantes. Entre estas fuentes se encuentran los incendios forestales o de cultivos ubicados en la región, en el país u inclusive otros países; otro ejemplo, corresponde a las arenas del Sahara, en donde el material particulado levantado en el Sahara es transportado por los vientos sobre el Atlántico y llega a Suramérica y el Caribe con mayor frecuencia a mitad de cada año; finalmente encontramos las emisiones diarias que provienen de municipios aledaños que por condiciones meteorológicas podrían ser

arrastradas a la Capital aportando a la contaminación de la mismas. Este tipo de emisiones no son cuantificadas en los inventarios de la ciudad, sin embargo, no se debe destacar su gran influencia en las condiciones de calidad del aire en eventos específicos como las alertas ambientales.

Por otro lado, tenemos las fuentes de emisión internas, que generan emisiones dentro de la ciudad. Estas emisiones se pueden generar por tres mecanismos distintos. 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 y expulsadas por el exosto.

El segundo mecanismo corresponde a las emisiones generadas por procesos mecánicos, ejemplo de esto, son los procesos de resuspensión por el paso del flujo vehicular, del material particulado depositado en las vías. Otro ejemplo relacionado, son ejemplo relacionado corresponde al proceso de fricción de las llantas y frenos de los vehículos en el pavimento, generando su desgaste y posterior desprendimiento sobre la vía. Y finalmente las emisiones por evaporación, que corresponde a las emisiones generadas por el escape de gases provenientes de sustancias químicas como los combustibles; ejemplo de esto son las emisiones generadas por tanques de almacenamiento de materias primas industriales.

Las fuentes identificadas y clasificadas para la ciudad de Bogotá, se presenta en el esquema de la Figura 3. Cabe resaltar que no todas las fuentes de emisión tienen inventarios de emisiones para Bogotá (corresponde en la imagen a aquellas de color gris) y otras que cuentan con inventarios, pero no se encuentran al último año de corte que corresponde al 2018.



Figura 3. Fuentes de emisiones identificada para la ciudad de Bogotá.

### 3. METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES

Lo 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, obteniendo emisiones globales para la ciudad, lo cual es ideal para tener un panorama general del estado de las emisiones; el segundo enfoque es el Bottom-Up, este 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 con las metodologías hasta hoy utilizadas, es necesario únicamente para las fuentes móviles, ya que la desagregación de emisiones deseada por tecnología, tipo de combustible y otras características, no es posible con la información utilizada para el Bottom-Up.

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 esta sección se busca explicar de forma sencilla, las metodologías utilizada actualmente por la Secretaría Distrital de Ambiente, para realizar la estimación de los inventarios de emisiones de la ciudad de las fuentes más relevantes de emisión. Cabe aclarar que algunas de las metodologías aquí presenta, tienen como base otros ejercicios realizados con la academia, como son (Univesidad de La Salle, Ecopetrol, & SDA, 2018) (Universidad de La Salle & SDA, 2013), y que en algunos casos han sido adaptadas y robustecidas según lo requerido por la Secretaría Distrital de Ambiente.

#### 3.1. Estimación de emisiones por combustión de fuentes móviles en carretera

##### 3.1.1. Estimación de emisiones Top-Down

El inventario de emisiones generado a partir de la metodología Top-Down para las fuentes móviles en carretera, se calcula a partir de la ecuación 1.

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

Dónde:

<b>E</b>	Emisión para cada contaminante (i) y para cada categoría (j). <b>(t/año)</b>
<b>FE</b>	Factor de emisión para cada contaminante (i) y para cada categoría (j). <b>(g/km)</b>
<b>FA</b>	Factor de Actividad (rodamiento en km por año) para cada categoría (j). <b>(km/año)</b>
<b>N</b>	Cantidad de vehículos por cada categoría (j). <b>(Número de vehículos)</b>
<b>FC</b>	Factor de conversión $10^6$ <b>(g/t)</b>

La descripción de las variables requeridas para la ecuación 1, así como la fuente de la información utilizadas para su actualización del año 2018, se presentan a continuación:

### 3.1.1.1. Cantidad de Vehículos

Corresponden a los vehículos que transitaron recurrentemente en la ciudad durante el año 2018. Su estimación se realizó con el procesamiento de bases de datos locales de información vehicular. Una estas bases de datos corresponden a la proporcionada por Transmilenio, en donde se encuentran los detalles de la flota vehicular del componente troncal y zonal del sistema y que es inicialmente verificada por la SDA.

A su vez, se da inicio al filtrando y desagregando reportes de los Centros Distritales Automotriz – CDA como se presenta en la Figura 4. Se considera que todos los vehículos de esta base de datos se encuentran activos y por lo tanto es una muestra representativa del total que de la flota que se mueve en Bogotá.

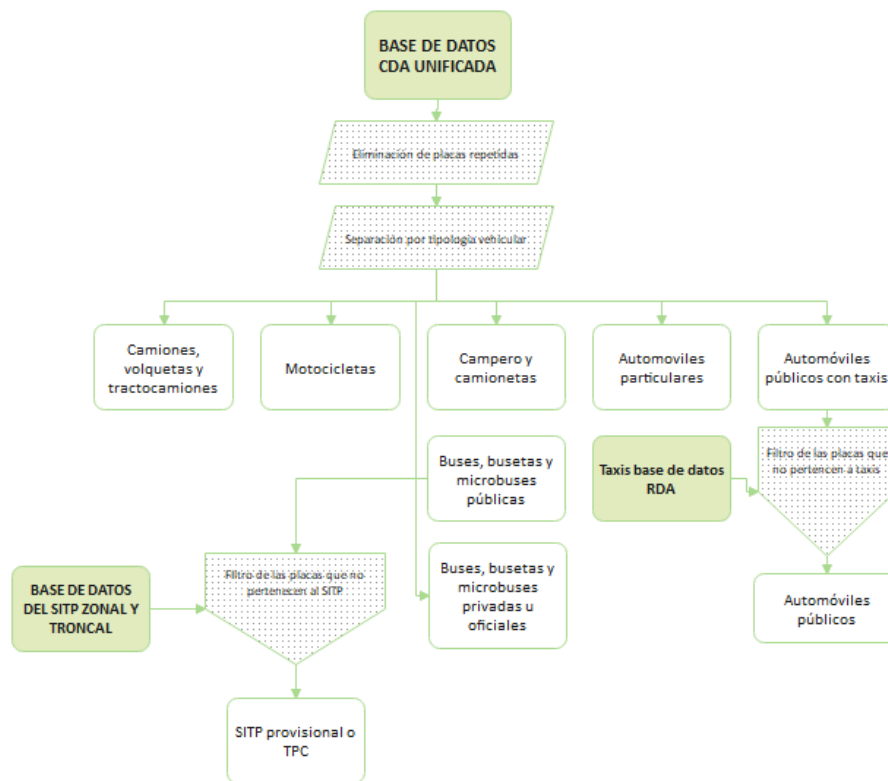
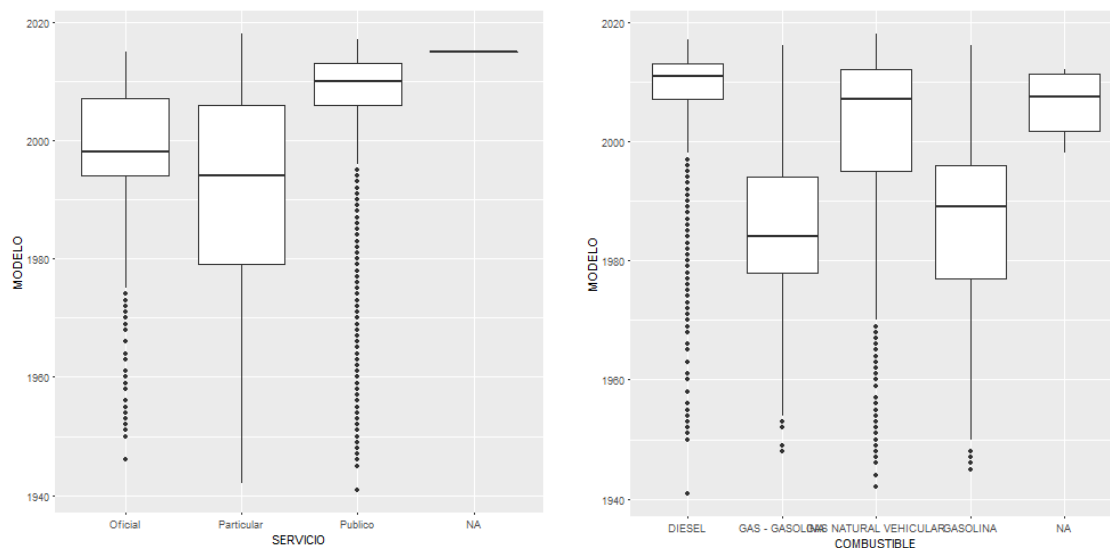


Figura 4. Diagrama de flujo del procesamiento de la base de datos de reportes de CDA

La información recopilada de los reportes de los CDA para identificar por categoría vehicular, tipo de combustible y tipo de servicio, los años modelos de vehículos que tienen mayor probabilidad de transitar recurrente en la ciudad. Estos vehículos corresponden a los de años modelos que se encuentran por encima del primer cuartil de la muestra analizada. Un ejemplo de los diagramas de caja utilizados para este análisis se presenta en la Figura 5.



**Figura 5. Ejemplo del análisis estadístico para identificar rangos de edad por categoría vehicular que transitan en la ciudad.<sup>1</sup>**

Esta información es utilizada en el procesamiento del Registro Distrital Automovilístico – RDA (corte a diciembre 31 de 2018) que se describe en la Figura 6, permitiendo descartar aquellos vehículos de mayor edad que aparecen en esta base de datos, pero no transitan recurrente o frecuentemente en la ciudad.

Después del procesamiento de las bases de datos de CDA y RDA, estas se unen eliminando a partir de la placa vehicular, aquellos registros que se repiten evitando doble contabilidad. Obteniéndose una base de datos unificada que aparte de estas dos bases de datos también cuenta con registros de la base de datos proporcionada Transmilenio.

Posteriormente los registros de esta base de datos unificada se desagregan en categorías según las siguientes características: tipología vehicular, tipo de motor, tipo de servicio prestado, combustible utilizado, estándar de emisión, capacidad de carga, cilindraje, año modelo, entre otras variables, como se presenta en la Tabla 2. La selección de categorías dependerá del grado de detalle de la información recolectada

Según la matriz origen destino de carga del año 2015 (Figura 7) 70% del total de camiones que se mueven en la ciudad, corresponden a vehículos registrados en municipios aledaños en Bogotá. Dado que el RDA solamente considera vehículos registrados dentro de la Capital, se realiza una

<sup>1</sup> NA corresponde a aquellos registros que no contaban con información referente al tipo de combustible del vehículo



corrección extrapolando los camiones del RDA a la cantidad de vehículos efectivos que se estiman transitan en la ciudad.

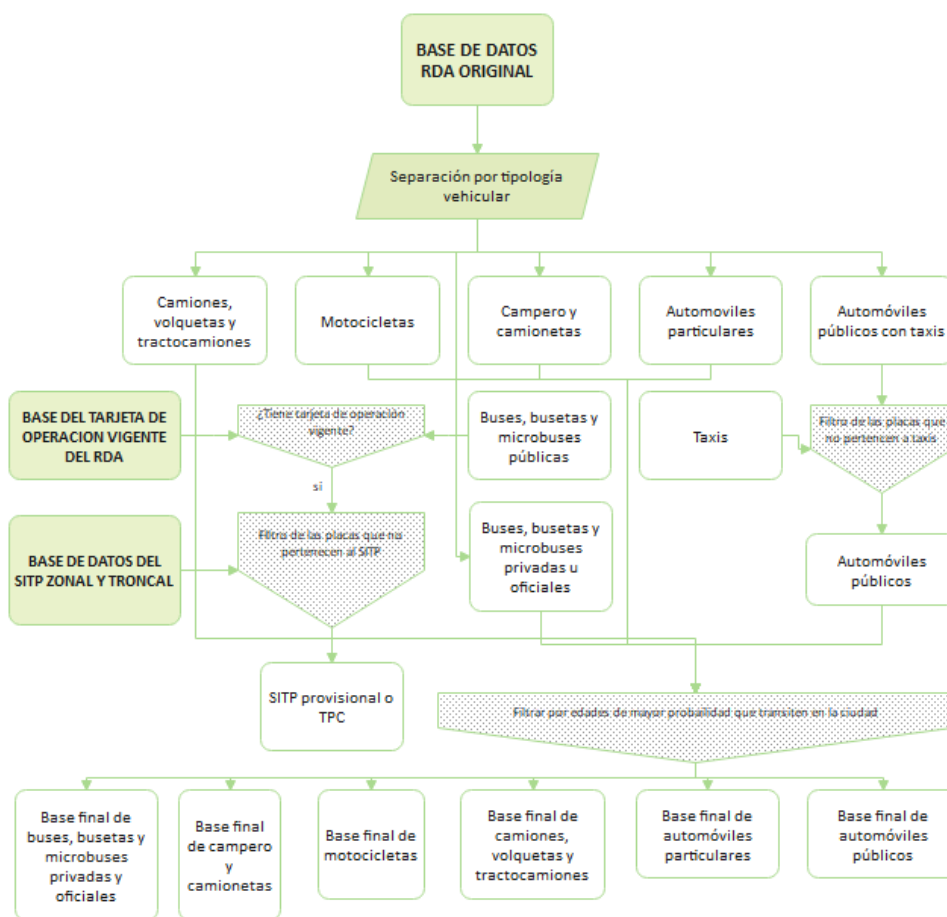


Figura 6. Diagrama de flujo del procesamiento de base de datos de RDA

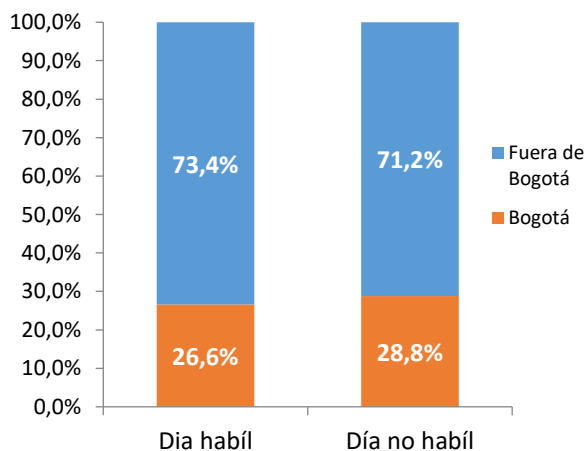


Figura 7. Distribución de origen de placas de vehículos de carga que transitan en la ciudad de Bogotá. Fuente: (Steer Davies Gleave, 2015)

**Tabla 2. Clasificar vehicular y desagregación. Fuente: Propia.**

Categoría	Clasificación por	Tipologías	Combustible
SITP- Troncal- Zonal- Provisional	Tipología vehicular, estándar de emisión, tipo de servicio, combustible.	Busetón, microbús, articulado, biarticulado	buseta, padrón, Diésel, híbrido (diésel-electricidad), GNV <sup>2</sup> .
SITP- Provisional	Tipología vehicular, estándar de emisión, tipo de servicio, combustible.	Busetón, microbús.	buseta, Diésel
Taxis	Combustible	Taxi	Gasolina, GNV, electricidad
Transporte especial, particular y oficial de pasajeros	Tipología vehicular, combustible, tipo de servicio	Busetón, microbús, camperos y camionetas	buseta, Diésel, gasolina y GNV
Transporte de Carga	Tipología vehicular, año modelo, cilindraje, combustible	Camionetas	Diésel, gasolina y GNV
Motocicletas	Tipo de motor, combustible, cilindraje	Motocicletas	Gasolina, electricidad
Vehículos de pasajeros	Tipo de Combustible, cilindraje, año modelo.	Automóvil	Diésel, gasolina y GNV
Camperos y Camionetas	Tipología vehicular, Combustible, cilindraje, año modelo	Camperos y camionetas	y Diésel, gasolina y GNV

Del uso de la metodología antes descrita, se obtuvieron aproximadamente 2'416.000 vehículos, que tienen una distribución por categoría según lo presentado en la Figura 8. Se evidencia que aproximadamente el 90% son automóviles, camperos, camionetas y motocicletas que en general corresponden a transporte utilizado de forma particular o individual.

### 3.1.1.1. Factor 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 categorías 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:

<sup>2</sup> GNV corresponde a las siglas de Gas Natural Vehicular

$$\text{kilometraje anual} = \frac{\text{kilometraje total}}{\text{edad vehicular}}$$

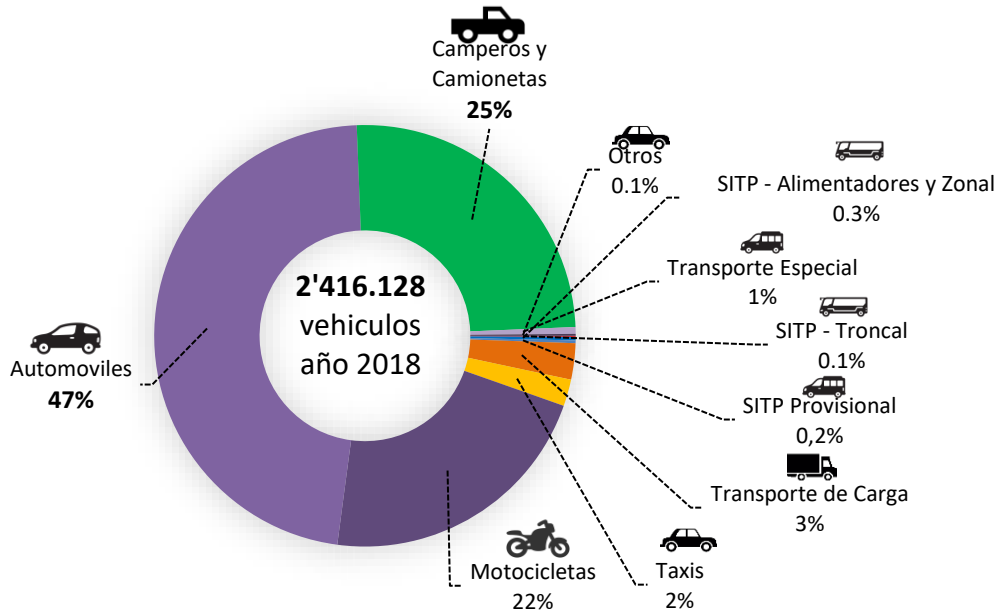


Figura 8. Porcentaje de cantidad de vehículos que transitan en Bogotá por categoría.

Esta metodología se implementó para todas las categorías vehiculares, exceptuando los vehículos de transporte de carga, donde la información base es la “Matriz origen-destino de carga”; y los vehículos del SITP zonal y troncal, en donde la información fue proporcionada por Transmilenio.

### 3.1.1.2. Factores de emisión

Por su parte el factor de emisión corresponde a la relación de generación del contaminante  $i$  (g/km) de la categoría vehicular  $j$ . Los factores de emisión utilizados en el cálculo del inventario de fuentes móviles a corte 2018 corresponden a una recopilación de los factores de emisión estimados para Bogotá por la Universidad de La Salle (Univesidad de La Salle, Ecopetrol, & SDA, 2018) utilizando el software MOVES y aquellos medidos y ajustados por la SDA de mediciones realizadas en campo en el marco de convenios con la Universidad Nacional de Colombia.

Tabla 3. Factores de emisión del inventario de emisiones año 2018.

Tipología	Descripción	Combustible	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	VOC
			g/veh-km	g/veh-km	g/veh-km	g/veh-km	g/veh-km	g/veh-km
Automóvil	TWC; < 1400 c.c.	Gasolina	0,024	0,022	8,92	1,39	0,062	1,00

Tipología	Descripción	Combustible	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	VOC
			g/veh-km	g/veh-km	g/veh-km	g/veh-km	g/veh-km	g/veh-km
Automóvil	TWC; >1400 c.c.	Gasolina	0,024	0,022	8,92	1,39	0,062	1,00
Automóvil	No TWC; < 1400 c.c.	Gasolina	0,025	0,023	9,23	1,48	0,062	1,10
Automóvil	No TWC; > 1400 c.c.	Gasolina	0,025	0,023	9,23	1,48	0,062	1,10
Automóvil	-	GNV	0,003	0,003	13,00	3,70	-	5,00
Camperos y Camionetas	TWC	Gasolina	0,021	0,018	17,10	2,28	0,082	2,10
Camperos y Camionetas	No TWC; < 2500 c.c.	Gasolina	0,021	0,019	18,27	2,49	0,081	2,38
Camperos y Camionetas	No TWC; > 2500 c.c.	Gasolina	0,021	0,019	18,27	2,49	0,081	2,38
Camperos y camionetas		GNV	-	0,003	40,00	3,00	-	4,00
Camperos y camionetas	<2500 cc	Diésel	0,273	0,251	10,90	3,83	0,016	1,25
Camperos y camionetas	>2500 cc	Diésel	0,273	0,251	10,90	3,83	0,016	1,25
Taxis	Gasolina	Gasolina	0,025	0,022	9,00	1,41	0,062	0,34
Taxis	GNV	GNV	-	0,003	13,00	4,00	-	5,00
Microbús	Euro II	Diésel	0,487	0,448	33,79	31,65	0,022	1,78
Buseta	Euro II	Diésel	0,237	0,218	11,04	27,96	0,027	1,51
Buseta	Euro IV	Diésel	0,076	0,070	1,08	11,40	0,027	1,27
Buseta	Euro V	Diésel	0,076	0,070	1,08	7,16	0,025	0,058
Busetón	Euro II	Diésel	0,25	0,23	24,52	23,00	0,027	1,51
Busetón	Euro IV	Diésel	0,13	0,12	6,76	11,82	0,027	1,27
Busetón	Euro V	Diésel	0,13	0,12	6,76	7,42	0,025	0,058
Padrón	Euro II	Diésel	0,21	0,19	24,61	15,19	0,027	1,51
Padrón	Euro IV	Diésel	0,079	0,072	13,83	10,30	0,027	1,27
Padrón	Euro V	Diésel	0,079	0,073	13,83	6,54	0,025	0,058
Articulado	Euro II	Diésel	0,21	0,19	28,87	21,50	0,027	1,51
Articulado	Euro IV	Diésel	0,094	0,087	15,30	15,02	0,027	1,27
Articulado	Euro V	Diésel	0,043	0,039	10,76	16,00	0,025	0,058
Biarticulado	Euro IV	Diésel	0,047	0,043	16,96	16,38	0,027	1,27
Biarticulado	Euro V	Diésel	0,047	0,043	7,27	16,38	0,025	0,058

Tipología	Descripción	Combustible	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	VOC
			g/veh-km	g/veh-km	g/veh-km	g/veh-km	g/veh-km	g/veh-km
Camión	<1997; <6000 CC	Diésel	1,03	0,95	5,37	21,67	0,035	1,84
Camión	<1997; >6000 CC	Diésel	1,54	1,42	6,98	28,81	0,048	1,36
Camión	>1997	Diésel	0,52	0,48	9,42	5,19	0,015	1,33
Camión	<6000 CC	Gasolina	0,14	0,12	69,40	6,74	0,179	7,98
Camión	>6000 CC	Gasolina	0,38	0,33	141,14	12,0	0,285	13,77
Camión	<6000 CC	GNV	0,003	0,003	32,46	2,01	-	0,15
Camión	>6000 CC	GNV	0,003	0,003	40,84	2,51	-	0,19
Motocicletas	2 tiempo	Gasolina	0,22	0,19	23,20	0,10	0,047	0,031
Motocicletas	4Tiempo ≤150	Gasolina	0,008	0,007	38,00	0,80	0,049	0,022
Motocicletas	4Tiempo >150	Gasolina	0,025	0,022	20,23	0,58	0,049	1,84

Fuentes: (Universidad de La Salle, Ecopetrol, & SDA, 2018)<sup>3</sup>, (Universidad Nacional & SDA, 2013)<sup>4</sup>, (Universidad Nacional & SDA, 2013)<sup>5</sup>

### 3.1.2. Estimación de emisiones Bottom-Up

La desagregación espacio temporal de las emisiones de fuentes móviles se estimó empleando el aplicativo “Modulo de Estimación De Inventarios de Emisiones – MEDINE”, que hace parte Sistema Integrado de Modelación de Calidad de Aire de Bogotá – SIMCAB. El cual consta de los siguientes pasos:

#### 3.1.2.1. Diagnóstico de conteos vehiculares

El aplicativo MEDINE cuenta a su vez con sub-módulos dedicados a tareas específicas. Este el caso de la estimación de emisiones de fuentes móviles, en el cual se utilizó el sub-módulo MEDINE-FM-DIAG para analizar los conteos vehiculares del año 2014 al 2018 provistos 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 a Alimentadores (AL), Articulados (AT), Vehículos livianos (L), Biarticulados (BA), bicicletas (BIC), transporte especial (ESP), buses intermunicipales (INT), Buses (B), Busetones (BT), motos (M), Camiones de 2 ejes pequeños (C2P), camiones de 2 ejes grande (C2G), Camiones de 3 y 4 ejes (C3-C4), camiones de 5 ejes (C5), y camiones de más de 5 ejes (>C5). Esta homologación fue necesaria, dado que las categorías vehiculares en las que se clasificaban los conteos variaban significativamente año a año. Los resultados de dicho ejercicio se muestran en la siguiente tabla:

<sup>3</sup> Convenio suscrito entre la SDA y Ecopetrol S.A. con apoyo técnico de la Universidad de La Salle.

<sup>4</sup> Convenio suscrito entre la SDA y la Universidad Nacional – Sede Bogotá.

<sup>5</sup> Convenio suscrito entre la SDA y la Universidad Nacional – Sede Bogotá.

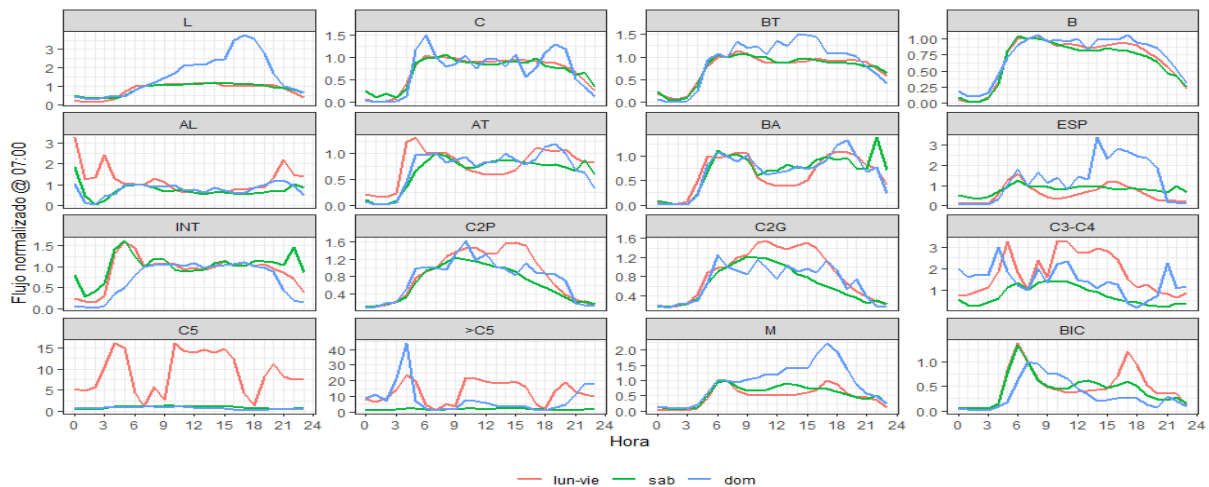
Tabla 4. Categorías Vehiculares homologadas de los conteos vehiculares

Categoría dentro de conteos 2014-2018	Abreviatura Conteos	Abreviatura dentro del módulo	Observaciones
ALIMENTADOR	AL	AL	
ARTICULADO	AT	AT	
AUTOMOVILES	L	L	
BIARTICULADOS	BA	BA	
BICICLETAS	BIC	BIC	
BUS ESPECIAL	ESP	ESP	
BUS INTERMUNICIPAL	INT	INT	
BUSES	B	B	
BUSETA/BUSE TON	BT	BT	
BUSETA/BUSETON	BT	BT	
CAMIONES	C	C5	Dado que no se puede categorizar por ejes, se asume una de las categorías más grande de camiones
CAMIONES	CAM	C5	Dado que no se puede categorizar por ejes, se asume una de las categorías más grande de camiones
CAMIONES	CAMIONES	C5	Dado que no se puede categorizar por ejes, se asume una de las categorías más grande de camiones
CAMIONES > 5 EJES	>C5	>C5	
CAMIONES DE 2 EJES	C2	C2G	Para los conteos 2018, se dividen C2 y C2G, por lo que se asume que esta categoría es C2G
CAMIONES DE 2 EJES	C2P	C2P	
CAMIONES DE 2 EJES	C2P Y C2G	C2G	Dado que estas categorías están mezcladas, se asumió C2G
CAMIONES DE 2 EJES GRANDE	C2G	C2G	
CAMIONES DE 2 EJES PEQUEÑO	C2P	C2P	
CAMIONES DE 2 EJES PEQUEÑOS Y GRANDES	C2P Y C2G	C2G	Dado que estas categorías están mezcladas, se asumió C2G
CAMIONES DE 3 EJES	C3	C3-C4	
CAMIONES DE 3 Y 4 EJES	C3-C4	C3-C4	
CAMIONES DE 4 EJES	>C4	C5	Dado que >C4 pueden ser C4, C5, o >C5, se asume como C5
CAMIONES DE 4 EJES	C4	C3-C4	
CAMIONES DE 4 EJES O MÁS	>=C4	C5	Dado que >C4 pueden ser C4, C5, o >C5, se asume como C5
CAMIONES DE 5 EJES	C5	C5	
CAMIONES DE 6 EJES	C6	>C5	
CAMIONES DE MAS DE 5 EJES	>C5	>C5	
CAMIONES DE MAS DE 6 EJES	>C6	>C5	
CICLOS CON MOTOR	CM	M	
CICLOS CON MOTOR	MOTOS	M	
CICLOS SIN MOTOR	CSM	BIC	
COLECTIVOS	C	C	
ESPECIAL LIVIANO DE > 7 PASAJEROS	EL3	ESP	
ESPECIAL LIVIANO DE 1 A 4 PASAJEROS	EL1	L	
ESPECIAL LIVIANO DE 5 A 7 PASAJEROS	EL2	L	
LIVIANOS	L	L	
MOTOS	M	M	
SERVICIO TRONCAL	AT/ST	AT	
TAXIS AMARILLOS	TA	L	
TRANSPORTE INTERMUNICIPAL	INT	INT	
TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO	PROV	BT	

Categoría dentro de conteos 2014-2018	Abreviatura Conteos	Abreviatura dentro del módulo	Observaciones
TRANSPORTE PÚBLICO COLECTIVO	TPC	BT	
TRANSPORTE PÚBLICO MASIVO (SOBRE TRONCAL TRANSMILENIO)	TM	AT	No hay forma de discriminar si es articulado o biarticulado, se asume articulado
VEHÍCULOS LIVIANOS PARTICULARES	PA	L	
VEHÍCULOS SERVICIO ESPECIAL (PLACA BLANCA)	ESP/OESP	ESP	
VEHÍCULOS SERVICIO ESPECIAL (PLACA BLANCA)	OTROS ESP	ESP	
VEHÍCULOS SISTEMA INTEGRADO TRANSPORTE PÚBLICO (SOBRE CALZADA MIXTA)	SITP	BT	Se asumen todos busetones

Un inconveniente presentado en los conteos vehiculares de la ciudad es que dichos conteos no presentan valores para las 24 horas del día, la cual es una información importante para los procesos de modelación de calidad del aire. La metodología utilizada por la SDA 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 7:00 am<sup>6</sup>, empleado el aplicativo MEDINE-FM-PFL. Posteriormente se utilizar esta información para extrapolar las horas faltantes obteniendo los perfiles horarios deseados. Los perfiles normalizados para las horas 24 horas del día se presentan en la siguiente gráfica.

Finalmente, dentro de este diagnóstico, se debe realizar la estimación de los valores para cada uno de los nodos<sup>7</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 sitios de conteo entre el 2014 y el 2018 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).



**Figura 9. Perfiles de conteos vehiculares normalizados con respecto a los flujos de las 07:00 para toda la ciudad, por categorías vehiculares y día de la semana.**

<sup>6</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.

<sup>7</sup> Punto donde se realiza el conteo

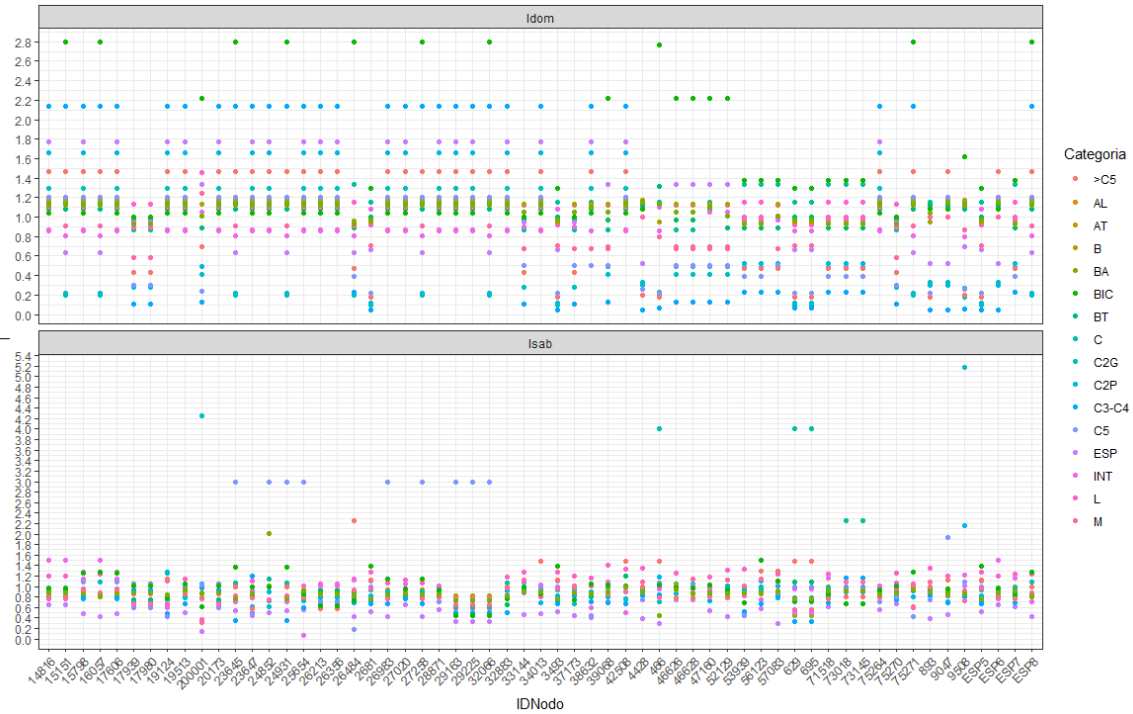


Figura 10. Proporciones *Isab* e *Idom* para extrapolar conteos para los fines de semana.

### 3.1.2.2. Extracción de conteos vehiculares

Por medio del aplicativo MEDINE-FM-PRE, se extrajeron de los archivos originales los conteos vehiculares para los nodos medidos en el año 2018, los cuales se identifican a continuación:

Tabla 5. Nodos vehiculares analizados en los conteos 2018 de SDM

ID	latitud	longitud	Carriles Totales sin carriles TM
14816	4,706730556	-74,05387222	16
19513	4,687283333	-74,09498333	16
26213	4,653675	-74,10341111	18
28871	4,641431	-74,079108	14
29163	4,640404722	-74,06630111	8
34013	4,626002778	-74,0938	14
3493	4,751602778	-74,04660278	16
42508	4,606875	-74,07383889	10
46628	4,596995	-74,178254	7
47160	4,594947222	-74,13775278	16
71518	4,507877778	-74,11399444	8
75270	4,659416667	-74,13586111	12

Dentro de la extracción de los conteos del 2018, se realizan las homologaciones respectivas según la Tabla 4 y se almacenan los conteos por fecha del conteo, nodo y cantidad de vehículos para cada categoría vehicular y para cada hora. Al cruzar los nodos con los números totales de carriles,



excluyendo los carriles de Transmilenio, se estiman conteos vehiculares por carril, para cada uno de los nodos, empleando la siguiente expresión:

$$FC_{h,i,k} = \frac{F_{h,i,k}}{C_k} \quad \text{Ec. 3}$$

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 el nodo 'k', sin incluir carriles TM (**carril**)

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 9), por medio de la siguiente expresión:

$$FC_{h,i,k,w} = FC_{7:00,i,k,w} \cdot FN_{h,i,w} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

**FC<sub>h,i,k,w</sub>** Flujos Vehiculares por carril para la hora 'h', de la categoría 'i', en el nodo 'k', en el día 'w' (**Veh/carril-h**)

**FC<sub>7:00, i,k,w</sub>** Flujos Vehiculares por carril para la hora 07:00, de la categoría 'i', en el nodo 'k', en el día 'w' (**Veh/carril-h**)

**FN<sub>h,i,w</sub>** 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 3.1.1 de este documento.

**Tabla 6. División de categorías en subcategorías que incluyen combustibles**

Categoría	Subcategoría	Nombre Subcategoría	Porcentaje dentro de la categoría
L	AUT_GAS	Automóviles a Gasolina	63,3%
L	AUT_GNV	Automóviles a Gas Natural	0,3%
L	CC_GAS	Camionetas/Camperos a Gasolina	28,2%
L	CC_DSEL	Camionetas/Camperos a Diesel	4,1%
L	CC_GNV	Camionetas/Camperos a Gas Natural	1,3%
L	TX_GAS	Taxis a Gasolina	1,0%
L	TX_GNV	Taxis a Gas Natural	1,8%
BT	BT_DSEL	Busetones a Diesel	100,0%
B	B_DSEL	Buses a Diesel	100,0%
AL	AL_DSEL	Alimentadores a Diesel	100,0%
AT	AT_DSEL	Articulados a Diesel	100,0%
BA	BA_DSEL	Biarticulados a Diesel	100,0%
ESP	ESP_GAS	Especiales a gasolina	16,3%

Categoría	Subcategoría	Nombre Subcategoría	Porcentaje dentro de la categoría
ESP	ESP_DSEL	Especiales a Diesel	74,9%
ESP	ESP_GNV	Especiales a Gas Natural	8,8%
INT	INT_GAS	Intermunicipales a Gasolina	16,3%
INT	INT_DSEL	Intermunicipales a Diesel	74,9%
INT	INT_GNV	Intermunicipales a Gas Natural	8,8%
C2P	C2P_DSEL	C2P a Diesel	60,3%
C2P	C2P_GAS	C2P a Gasolina	25,7%
C2P	C2P_GNV	C2P a Gas Natural	14,0%
C2G	C2G_DSEL	C2G a Diesel	60,3%
C2G	C2G_GAS	C2G a Gasolina	25,7%
C2G	C2G_GNV	C2G a Gas Natural	14,0%
C3-C4	C3-C4_DSEL	C3-C4 a Diesel	62,3%
C3-C4	C3-C4_GAS	C3-C4 a Gasolina	30,2%
C3-C4	C3-C4_GNV	C3-C4 a Gas Natural	7,4%
C5	C5_DSEL	C5 a Diesel	62,3%
C5	C5_GAS	C5 a Gasolina	30,2%
C5	C5_GNV	C5 a Gas Natural	7,4%
>C5	>C5_DSEL	>C5 a Diesel	62,3%
>C5	>C5_GAS	>C5 a Gasolina	30,2%
>C5	>C5_GNV	>C5 a Gas Natural	7,4%
M	M_GAS	Motos a Gasolina	100,0%

### 3.1.2.3. 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 (ver Figura 11). El procedimiento inmerso dentro del módulo es el siguiente:

- *Análisis inicial de información geográfica:* a la información vial se le añade la ubicación de una malla de distribución de emisiones de 1kmx1km, el uso de suelo y un factor de multiplicación para las vías secundarias, en donde se asume que los flujos por carril en las vías secundarias se mantienen hasta los 50 m de una vía principal (tol=50 m, Fd=1), luego de los 50 m, los flujos caerán al inverso de la distancia (d) al cuadrado (Fd=tol/d<sup>2</sup>). Este factor Fd es llamado para fines de este documento factor de corrección de flujo por distancia.
- *Extrapolación de flujos por carril a las vías principales:* Para cada nodo 'k', se determina la longitud de las vías principales en un radio de 1 km a la redonda, y se determina un Flujo por carril por kilómetro (FCLp). El valor de FCL es asignado a cada tramo de vía dentro de un polígono de Thiessen asignado a cada nodo (ver Figura 11), y se estima el flujo vehicular para cada segmento de vía principal según la siguiente expresión

$$FP_{h,j,k,w,n} = FCLp_{h,j,w,k} \cdot L_n \cdot C_n \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

**FP<sub>h,j,k,w,n</sub>** Flujo Vehicular para la hora 'h', de la subcategoría 'j', en el nodo 'k', en el día 'w', en el segmento de vía 'n' en vías principales(**Veh/h**)

<b>FCL<sub>p<sub>h,j,k,w,n</sub></sub></b>	Flujo Vehicular por carril y por kilómetro para la hora 'h', de la subcategoría 'j', en el nodo 'k', en el día 'w', en el segmento de vía 'n', en vías principales <b>(Veh/carril-km-h)</b>
<b>L<sub>n</sub></b>	Longitud del segmento de vía principal 'n' <b>(km)</b>
<b>C<sub>n</sub></b>	Número de carriles del segmento de vía principal 'n' <b>(Carril)</b>

En el caso de los articulados que circulan en las troncales, la estimación de los flujos realiza únicamente sobre las troncales, con la siguiente expresión:

$$FP_{h,j,k,w,n} = FC_{h,j,w,k} \cdot L_n \cdot C_k \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

<b>FP<sub>h,j,k,w,n</sub></b>	Flujo Vehicular para la hora 'h', de la subcategoría 'j', en el nodo 'k', en el día 'w', en el segmento de vía 'n' <b>(Veh/h)</b>
<b>FCL<sub>h,j,k,w,n</sub></b>	Flujo Vehicular por carril y por kilómetro para la hora 'h', de la subcategoría 'j', en el nodo 'k', en el día 'w', en el segmento de vía 'n' <b>(Veh/carril-km-h)</b>
<b>L<sub>n</sub></b>	Longitud del segmento de vía 'n' <b>(km)</b>
<b>C<sub>k</sub></b>	Número de carriles totales del nodo 'k' <b>(Carril)</b>

En el caso de los buses intermunicipales, todos aquellos flujos determinados en vías principales que no se encuentren en la ruta de estos, toman el valor de 0.

- *Extrapolación de flujos por carril a las vías secundarias:* Dentro de cada polígono Thiessen del nodo 'k', se estima un factor de corrección FK como la relación entre la longitud total de vías principales y la longitud total de vías secundarias dentro de dicho polígono ( $FK = \frac{\sum L_{Principales}}{\sum L_{Secundarias}}$ ). Este factor permite estimar los flujos por carril en vías secundarias a partir de los valores de FCL estimados para las vías principales ( $FCL_s = FCL_p \cdot FK$ ); por otro lado, se asume que todas las vías secundarias tienen 2 carriles. Finalmente, se aplica el factor de corrección de flujo por distancia a las vías principales Fd.

$$FS_{h,j,k,w,m} = FCL_{s,h,j,w,k} \cdot L_m \cdot C_m \cdot Fd_m \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

<b>FS<sub>h,j,k,w,m</sub></b>	Flujo Vehicular para la hora 'h', de la subcategoría 'j', en el nodo 'k', en el día 'w', en el segmento de vía 'm' en vías secundarias <b>(Veh/h)</b>
<b>FCL<sub>s,h,j,k,w,m</sub></b>	Flujo Vehicular por carril y por kilómetro para la hora 'h', de la subcategoría 'j', en el nodo 'k', en el día 'w', en el segmento de vía 'm', en vías secundarias <b>(Veh/carril-km-h)</b>
<b>L<sub>m</sub></b>	Longitud del segmento de vía secundaria 'm' <b>(km)</b>
<b>C<sub>m</sub></b>	Número de carriles del segmento de vía secundaria 'm' (se asume 2 para las vías secundarias) <b>(Carril)</b>
<b>Fd<sub>m</sub></b>	Factor de corrección de flujo de la vía secundaria 'm' según la distancia a la vía principal más cercana <b>(-/-)</b>

En los flujos en vías secundarias aplican las siguientes restricciones: 1) No hay flujos de vías secundarias de Transmilenio y buses intermunicipales y 2) las categorías C2G, C3-C4, C5, y >C5 solo podrán transitar en vías secundarias de uso de suelo dotacional, industrial, y minera.

- Proyección de Información a enmallado: Los flujos de vías principales y secundarias para cada segmento de vía, se agregan en una malla de 1kmx1km por categoría, hora, y día de la semana; en dicho procesamiento, también se incluye la longitud de vías principales y secundarias.

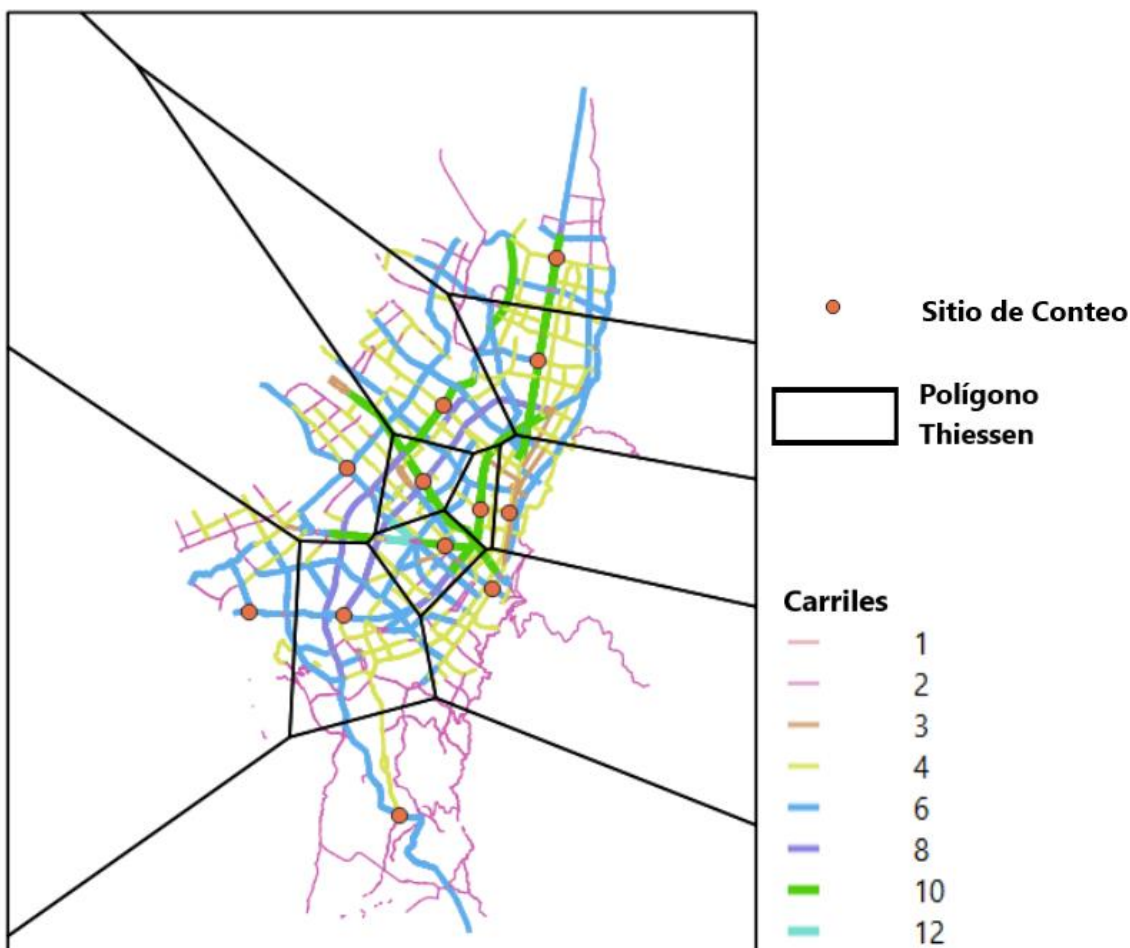


Figura 11. Vías Principales con número de carriles, ubicación de sitios de conteo (nodo) y polígonos de Thiessen para cada nodo

### 3.1.2.4. 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 las vías principales y secundarias, agregadas por celdas, con los factores de emisión para cada una de las subcategorías. A continuación, se muestran las ecuaciones empleadas para estimar emisiones por combustión para vías principales y para vías secundarias.

$$EMcbp_{h,j,w,x,c} = FP_{h,j,w,x} \cdot LP_x \cdot FE_{j,c} \quad \text{Ec. 8}$$

**EMcbp<sub>h,i,w,x,c</sub>** Emisiones por combustión de contaminante ‘c’ para la hora ‘h’ de la subcategoría ‘j’ en el día de la semana ‘w’ en la celda ‘x’ en vías principales (g/h)

**FP<sub>h,j,k,w,x</sub>** Flujo Vehicular para la hora ‘h’, de la subcategoría ‘j’, en el nodo ‘k’, en el día ‘w’, en la celda ‘x’ en vías principales (Veh/h)

**LP<sub>x</sub>** Longitud de las vías principales en la celda ‘x’ (km)

**FE<sub>j,c</sub>** Factor de emisión del contaminante ‘c’ para la subcategoría ‘j’ (g/veh-km)

$$EMcbs_{h,j,w,x,c} = FS_{h,j,w,x} \cdot LS_x \cdot FE_{j,c} \quad \text{Ec. 9}$$

**EMcbs<sub>h,i,w,x,c</sub>** Emisiones por combustión de contaminante ‘c’ para la hora ‘h’ de la subcategoría ‘j’ en el día de la semana ‘w’ en la celda ‘x’ en vías secundarias (g/h)

**FS<sub>h,j,k,w,x</sub>** Flujo Vehicular para la hora ‘h’, de la subcategoría ‘j’, en el nodo ‘k’, en el día ‘w’, en la celda ‘x’ en vías secundarias (Veh/h)

**LS<sub>x</sub>** Longitud de las vías secundarias en la celda ‘x’ (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 del inventario Top-Down que se encuentran en la Tabla 3, y se presenta a continuación.

**Tabla 7. Factores de emisión empleados en la estimación Bottom-up de fuentes móviles por combustión**

Subcategoría	PM <sub>2.5</sub> (g/veh-km)	PM <sub>10</sub> (g/veh-km)	VOC (g/veh-km)	CO (g/veh-km)	SO <sub>2</sub> (g/veh-km)	NOX (g/veh-km)
>C5_DSEL	1,512	1,644	1,844	7,230	0,049	29,579
>C5_GAS	0,031	0,035	6,443	93,187	0,179	6,117
>C5_GNV	0,003	0,003	0,190	40,840	0,000	2,510
AL_DSEL	0,076	0,083	0,161	14,671	0,025	7,041
AT_DSEL	0,155	0,168	0,195	27,275	0,028	18,204
AUT_GAS	0,025	0,029	1,192	10,627	0,062	1,499
AUT_GNV	0,003	0,003	5,000	13,000	0,000	3,700
B_DSEL	0,138	0,150	0,112	5,631	0,027	18,357
BA_DSEL	0,043	0,047	0,120	8,399	0,025	16,385
BT_DSEL	0,116	0,126	0,079	4,148	0,026	20,140
C2G_DSEL	1,416	1,539	1,844	6,977	0,048	28,810
C2G_GAS	0,122	0,138	6,443	196,564	0,285	10,701
C2G_GNV	0,003	0,003	0,150	32,460	0,000	2,010
C2P_DSEL	0,946	1,028	1,844	5,372	0,035	21,667
C2P_GAS	0,031	0,035	6,443	93,187	0,179	6,117
C2P_GNV	0,003	0,003	0,150	32,460	0,000	2,010

Subcategoría	PM <sub>2.5</sub> (g/veh-km)	PM <sub>10</sub> (g/veh-km)	VOC (g/veh-km)	CO (g/veh-km)	SO <sub>2</sub> (g/veh-km)	NOX (g/veh-km)
C3-C4_DSEL	1,512	1,644	1,844	7,230	0,049	29,579
C3-C4_GAS	0,031	0,035	6,443	93,187	0,179	6,117
C3-C4_GNV	0,003	0,003	0,190	40,840	0,000	2,510
C5_DSEL	1,512	1,644	1,844	7,230	0,049	29,579
C5_GAS	0,031	0,035	6,443	93,187	0,179	6,117
C5_GNV	0,003	0,003	0,190	40,840	0,000	2,510
CC_DSEL	0,251	0,273	1,248	10,905	0,016	3,827
CC_GAS	0,023	0,026	2,515	21,019	0,082	2,489
CC_GNV	0,003	0,003	4,000	40,000	0,000	3,000
ESP_DSEL	0,293	0,318	0,234	25,539	0,848	26,096
ESP_GAS	0,024	0,027	4,825	69,732	0,136	4,009
ESP_GNV	0,013	0,013	0,110	20,120	0,000	2,270
INT_DSEL	0,293	0,318	0,234	25,539	0,848	26,096
INT_GAS	0,024	0,027	4,825	69,732	0,136	4,009
INT_GNV	0,013	0,013	0,110	20,120	0,000	2,270
M_GAS	0,021	0,024	1,421	28,832	0,049	0,745
MB_DSEL	0,448	0,487	1,783	33,787	0,022	31,646
TX_GAS	0,022	0,025	1,023	9,004	0,062	1,410
TX_GNV	0,003	0,003	5,000	13,000	0,000	4,000

Finalmente, este módulo permitió estimar los perfiles horarios de emisión para cada contaminante y para cada subcategoría para cada día de la semana, así como las emisiones anuales totales representadas en celdas de emisión, que sirva como insumo los modelos de calidad del aire de la Secretaría de Ambiente.

### 3.2. Estimación de emisiones por combustión de fuentes fijas industriales

#### 3.2.1. 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. 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 2018, en donde se utilizó la siguiente ecuación referencia en el documento AP – 42 de la EPA:

$$E_{ij} = A_j \cdot FE_{ij} \cdot \left(1 - \frac{ER_k}{100}\right) \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

- E<sub>ij</sub>** Emisión del contaminante (i) por la fuente de emisión (j). **(t/año)**
- A<sub>j</sub>** Tasa de actividad de la fuente (j). **(Consumo de combustible/año)**
- FE<sub>ij</sub>** Factor de emisión del contaminante (i) por la fuente de emisión (j) **(mg/m3 para gases y líquidos o g/kg para combustibles sólidos)**
- ER<sub>k</sub>** Eficiencia de sistemas de control (k) (%)

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

### 3.2.1.1. Fuentes de emisión

Conforme al inventario de fuentes fijas industriales del Distrito, realizado puerta a puerta en el año 2018, se identificaron 2046 fuentes en operación, de las cuales 2030 fuentes corresponden a equipos de combustión externa teniendo que, de estas fuentes de combustión, el 47% corresponden a calderas, el 35% a hornos y el 18% restante a otro tipo de fuentes como estufas industriales, ramas de termofijado, torres de secado, tostadoras, entre otras (Figura 12).

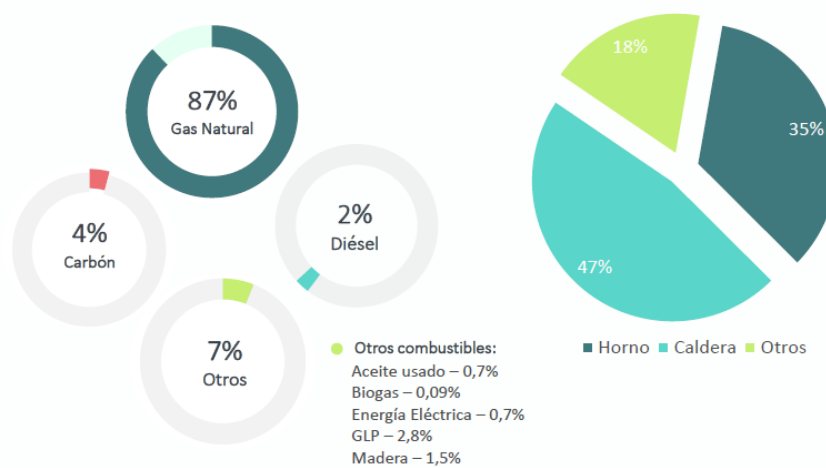


Figura 12. Distribución por tipo de fuente y de combustible

Respecto a la distribución de uso de combustibles en las fuentes fijas industriales, se tiene que el gas natural es el de mayor uso, con una participación del 87%, seguido del carbón con un 4%, el diésel con el 3%, el gas licuado de petróleo con un 2,5%, madera con un 1,5%, aceite usado sin tratamiento también con un 1% y el 1% restante con otros combustibles como biogás y otras fuentes de energía como la eléctrica.

Con relación a los principales combustibles usados, el gas natural es utilizado en todos los sectores, principalmente en el sector de alimentos y bebidas (32%), seguido del sector textil (16%), la industria del papel y cartón (15%), el sector de fabricación de automotores (9%) y el sector químico y Farmacéutico (7%).

Para el caso del carbón, el consumo principal es por la fabricación de ladrillos del sector de Cerámicos y vítreos (54%) y el sector Textil (29%). Para el caso de la madera, ésta se consume principalmente para el Lavado y limpieza de prendas textiles (52%), seguida del sector de Fabricación de muebles (21%). El uso de aceite usado como combustible se concentra en el sector de Caucho y plástico (57%), seguido por el sector Textil (23%).

En relación, a la cantidad de fuentes por sector industria, en la siguiente gráfica se observa que cerca del 50% de la industria de las industrias identificadas se dedican a la fabricación de productos metalúrgicos básicos, seguida de la industria de alimentos y bebidas con un 32% de las fuentes.

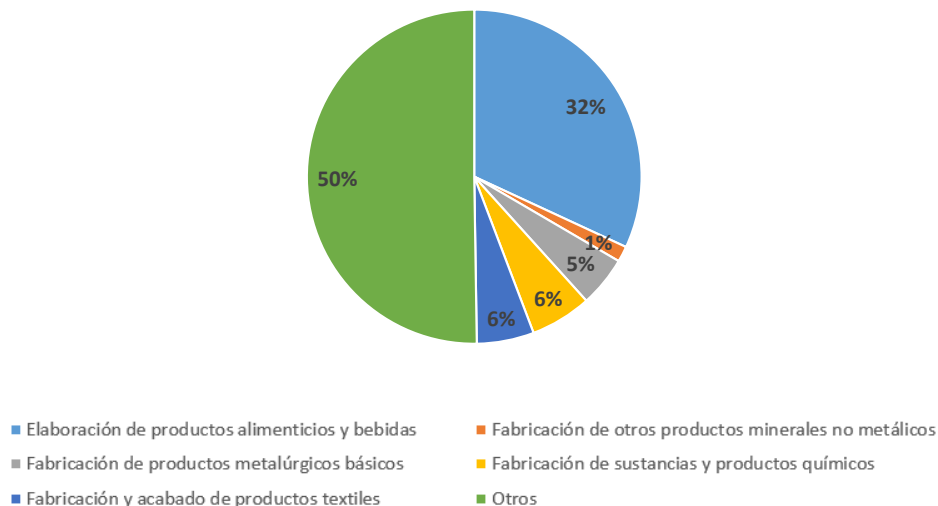


Figura 13. Distribución por sector industrial

### 3.2.1.2. Factor de emisión

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, algunos de ellos actualizados en el año 2018, conforme a los resultados y a la identificación de otras fuentes fijas de emisión del inventario. Así mismo, a partir del año 2018 las emisiones de las fuentes fijas han sido estimadas desde el Sistema Integrado de Información de Fuentes Fijas - SIFFF con el que cuenta la Entidad, el cual permite la captura y gestión de la información de las fuentes industriales por combustión que se encuentran instaladas en el área de jurisdicción de la SDA. En la Tabla 8 se presentan los factores de emisión utilizados en el inventario de 2018.

Tabla 8. Factores de emisión de fuentes fijas industriales

Categoría	Tecnología	Combustible	FACTORES DE EMISIÓN					
			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>	8,400E+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>	1,200E+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



Categoría	Tecnología	Combustible	FACTORES DE EMISIÓN					
			Unidades	PM <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	VOC
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/m3	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/m3	2,372E+02	6,950E+02	5,000E-01	1,344E+03	1,760E+02
CG3	Caldera ≤100 BHP	Gas natural	mg/m3	1,903E+02	3,192E+03	2,310E+01	1,380E+03	1,760E+02
CGL	Calentador	Gas licuado de petróleo	mg/m3	9,587E+04	1,798E+06	1,917E+03	1,007E+06	
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/m3	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
CTA	Caldera (vapor) textiles	Aceite usado	mg/m3	6,029E+06	4,169E+06	2,646E+07	6,000E+05	1,200E+05
CUG	Cuba	Gas natural	mg/m3	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
EGL	Estufa industrial	Gas licuado de petróleo	mg/m3	9,587E+04	1,798E+06	1,917E+03	1,007E+06	
ESG	Estufa industrial	Gas natural	mg/m3	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
EXG	Extrusora	Gas natural	mg/m3	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/m3	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/m3	4,760E+05	2,142E+06	1,704E+06	5,950E+05	2,992E+05
HG1	Horno de alimentos	Gas natural	mg/m3	1,218E+02	1,039E+03	1,000E-01	6,400E+02	1,760E+02
HG2	Horno de secado y curado	Gas natural	mg/m3	1,458E+02	1,221E+03	6,966E+01	6,400E+02	1,760E+02
HG3	Horno de fundición y cremación	Gas natural	mg/m3	1,187E+02	1,504E+03	9,600E+00	6,400E+02	1,760E+02
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/m3	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/m3	9,587E+04	1,798E+06	1,917E+03	1,007E+06	
IMG	Impresora de gran formato	Gas natural	mg/m3	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
ING	Inyectora	Gas natural	mg/m3	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
ICG	Intercambiador de calor	Gas natural	mg/m3	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	
LAG	Lacadora	Gas natural	mg/m3	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
MGL	Marmita	Gas licuado de petróleo	mg/m3	9,587E+04	1,798E+06	1,917E+03	1,007E+06	
MRG	Marmita	Gas natural	mg/m3	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
OTG	Otra	Gas natural	mg/m3	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
PED	Planta eléctrica	Diésel	mg/m3	4,794E+04	2,157E+06	1,702E+07	5,992E+05	
PLG	Peletizadora	Gas natural	mg/m3	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
QGL	Quemador	Gas licuado de petróleo	mg/m3	9,587E+04	1,798E+06	1,917E+03	1,007E+06	
QMG	Quemador	Gas natural	mg/m3	1,218E+02	1,507E+03	9,620E+00	6,411E+02	8,815E+01
RTA	Rama de Termofijado	Aceite usado	mg/m3	3,356E+05	1,318E+06	4,360E+07	2,037E+05	

Categoría	Tecnología	Combustible	FACTORES DE EMISIÓN					
			Unidades	PM <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	VOC
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	
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
VGL	Vulcanizadora	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 licuado de petróleo	mg/m <sup>3</sup>	9,587E+04	1,798E+06	1,917E+03	1,007E+06	1,714E+06

### 3.2.1.3. Eficiencia del Sistema de Control de Emisiones

Es importante aclarar que la estimación de emisiones de las fuentes fijas industriales no contempló la variable de eficiencia de sistemas de control, teniendo en consideración que no todas las fuentes cuentan con dichos sistemas y a que, aunque se tienen datos teóricos de eficiencia, no es posible determinar la eficiencia efectiva de los mismos por razones de mantenimiento de los equipos y condiciones de instalación.

### 3.2.2. Desagregación horaria de las emisiones por combustión de fuentes fijas

El registro de cada fuente fija industrial realizado por la SDA para el 2018 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 11, las emisiones horarias por fuente se estimaron como:

$$Eg_{i,j} = FC \cdot \frac{E_{i,j}}{\sum_m(nd_{d,m,j} \cdot h_{d,j})} \quad \text{Ec. 11}$$

*horas de operación al año*

Donde:

- E<sub>ij</sub> Emisiones del contaminante 'i' de la fuente 'j', en g/h
- FC Factor de conversión 1x10<sup>6</sup> g/ton
- E<sub>ij</sub> Emisiones del contaminante 'i' de la fuente 'j', en 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'
- h<sub>d,j</sub> Número de horas de operación de la fuente 'j' en el día de tipo 'd'.

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 SIMCAB.

### 3.2.3. Desagregación espacial de las emisiones por combustión de fuentes fijas

Las fuentes fijas industriales inventariadas en el 2018 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 SIMCAB.

### 3.3. Estimación de emisiones de resuspensión de material particulado en vías

El material particulado resuspendido proveniente de las vías, corresponden a aquel polvo depositado en la malla vial, que debido al flujo vehicular es levado 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, 2019).

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. Su necesidad nace de identificar el aporte de estas emisiones en la calidad del aire de la ciudad, como insumo para la construcción del Sistema Integrado de Modelación de Calidad del Aire para la 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.

A continuación, se presenta al detalle la estimación de las emisiones por resuspensión de material particulado de las vías de la ciudad realizadas por la SDA y que se realiza a partir del enfoque Bottom-Up.

#### 3.3.1. Estimación Bottom-Up

##### 3.3.1.1. Estimación de los factores de emisión

En el caso del material particulado resuspendido, se empleó el módulo MEDINE-FM-RDST del Sistema Integrado de Modelación de Calidad de Aire, el cual emplea las siguientes ecuaciones para estimar las emisiones de PM10, y de PM2.5.

Para vías pavimentadas:

$$FEVP_{p,j,x} = k_p \cdot CS_x^{0.67} \cdot (1.10 \cdot W_j)^{0.85} \cdot \left(1 - \frac{P}{4N}\right) \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

<b>FEVP<sub>p,j,x</sub></b>	Factor de emisión por resuspensión para el tamaño de partícula 'p', de vías pavimentadas para la subcategoría 'j', representativo para el punto de grilla 'x', <b>(g/VKT)</b>
<b>k<sub>p</sub></b>	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 PM10 y 0.15 g/VKT para PM2.5
<b>CS<sub>x</sub></b>	Carga de Sedimentos en el punto de grilla 'x', <b>(g/m<sup>2</sup>)</b>
<b>W<sub>j</sub></b>	Peso promedio representativo de la subcategoría vehicular 'j', <b>(t)</b>
<b>P</b>	Número de días con al menos 0.254 mm de precipitación diaria acumulada en un periodo establecido, <b>(días)</b>
<b>N</b>	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

$$FEVNPI_{p,j,x} = Ki_p \cdot \left(\frac{S_x}{12}\right)^{0.9} \cdot \left(\frac{1.10W_j}{3}\right)^{0.45} \cdot \frac{365-P}{365} \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

<b>FEVNPI<sub>p,j,x</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 punto de grilla 'x', <b>(g/VKT)</b>
<b>Ki<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>x</sub></b>	Porcentaje de finos en el punto de grilla 'x', <b>(%)</b>
<b>W<sub>i</sub></b>	Peso promedio representativo de la categoría vehicular 'i', <b>(t)</b>
<b>P</b>	Número de días con al menos 0,254 mm de precipitación diaria acumulada en un año <b>(días)</b>

Para vías no pavimentadas con tránsito en vías públicas

$$FEVNPP_{p,x,w,h} = Kp_p \cdot \left(\frac{S_x}{12}\right)^1 \cdot \left(\frac{Kv \cdot V_{w,h}}{48.249}\right)^{0.5} \cdot \frac{365-P}{365} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

<b>FEVNPP<sub>p,x,w,h</sub></b>	Factor de emisión por resuspensión de vías no pavimentadas públicas del tamaño de partícula 'p', representativo para el punto de grilla 'x', en la hora 'h', para el día tipo 'w' <b>(g/VKT)</b>
---------------------------------	--

<b>K<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>x</sub></b>	Porcentaje de finos en el punto de grilla 'x', (%)
<b>K<sub>v</sub></b>	Factor de corrección de velocidad promedio a vías secundarias, se asume como 1/3; 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)

### 3.3.1.2. 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 (Univesidad 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.

**Tabla 9. 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

Tabla 10. 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 15ª	4,656	-74,138	25,65
5	Avenida Carrera 116 X Calle 22	4,687	-74,151	26,49
6	Avenida 1 mayo X Carrera 80	4,615	-74,175	21,03
7	Calle 140B X Carrera 96	4,740	-74,089	19,4
8	Calle 161 X Carrera 18A	4,741	-74,042	30,25
9	Calle 78 Sur X Carrera 87J	4,619	-74,203	14,37
10	Carrera 89A BIS N° 80-98 Sur	4,623	-74,207	23,62
11	Carrera 16 X Calle 76 Sur	4,540	-74,137	19,92
12	Transversal 5J X Calle 48L Sur	4,556	-74,110	3,26
13	Diagonal 45F Sur X Transversal 16G	4,570	-74,122	18,83
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

Los valores de carga de sedimentos y el porcentaje de finos fue extrapolado a cada punto de grilla por medio del aplicativo MEDINE-FM-GIS del SIMCAB, con metodología de interpolación *kriging*, cuyos valores se ven representados en la siguiente gráfica:

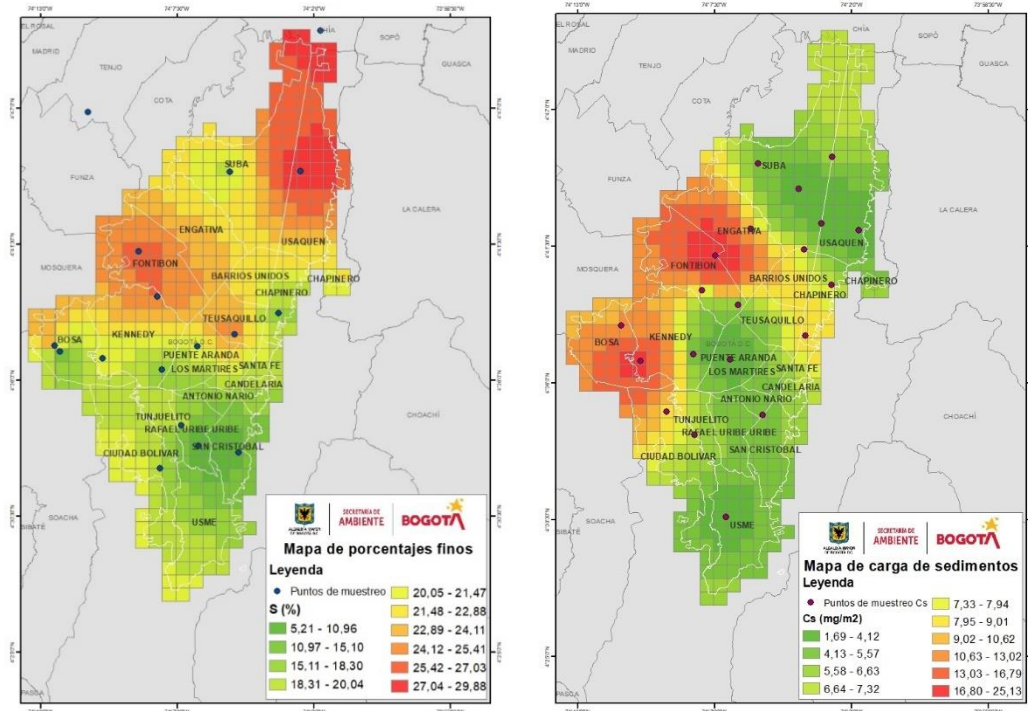


Figura 14. Valores de Cs y S para cada grilla dentro de la ciudad.

- **Peso representativo de las categorías vehiculares**

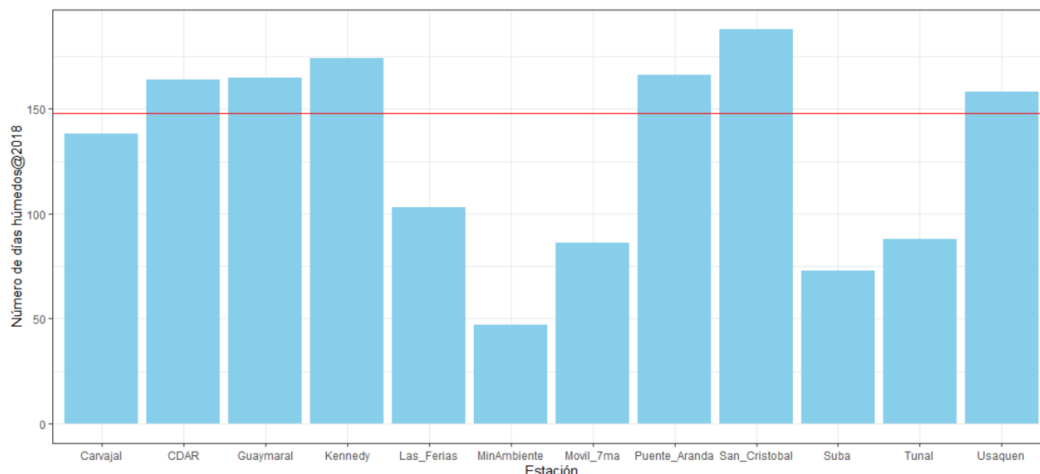
A continuación, se muestran los pesos brutos vehiculares representativos para cada categoría vehicular empleadas en la estimación de emisiones por resuspensión

**Tabla 11. Pesos representativos de categorías vehiculares**

Categoría	Abreviatura	Peso Bruto Vehicular (toneladas)
Automóviles	AUT	1,6
Campero y camionetas	CC	2,4
Buseton	BT	8,2
Bus	B	14,5
Padrón	AL	14,5
Especiales	ESP	8,2
Intermunicipal	INT	14,5
Camión pequeño de 2 ejes	C2P	4,6
Camión grande de 2 ejes	C2G	8,5
Camión entre 3 a 4 ejes	C3-C4	28
Camión de 5 ejes	C5	35
Camión mayor de 5 ejes	>C5	40
Motocicletas	M	0,2
Microbuses	MB	5
Articulado	AT	30
Biarticulado	BA	42
Taxi	TX	1,6

- **Número de días con precipitación**

Para la estimación de los días al año con precipitación diaria superior a 0,254 mm para el año 2018, 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 148 días. En la Figura 15 se pueden visualizar el número de días húmedos por estación, y la línea roja que representa el valor  $P$  usado en este inventario.



**Figura 15. Número de días con precipitación igual o mayor de 0,254 mm para el 2018**

- **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 (SDM), publicados en su respectivo portal web<sup>8</sup>. 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 16.

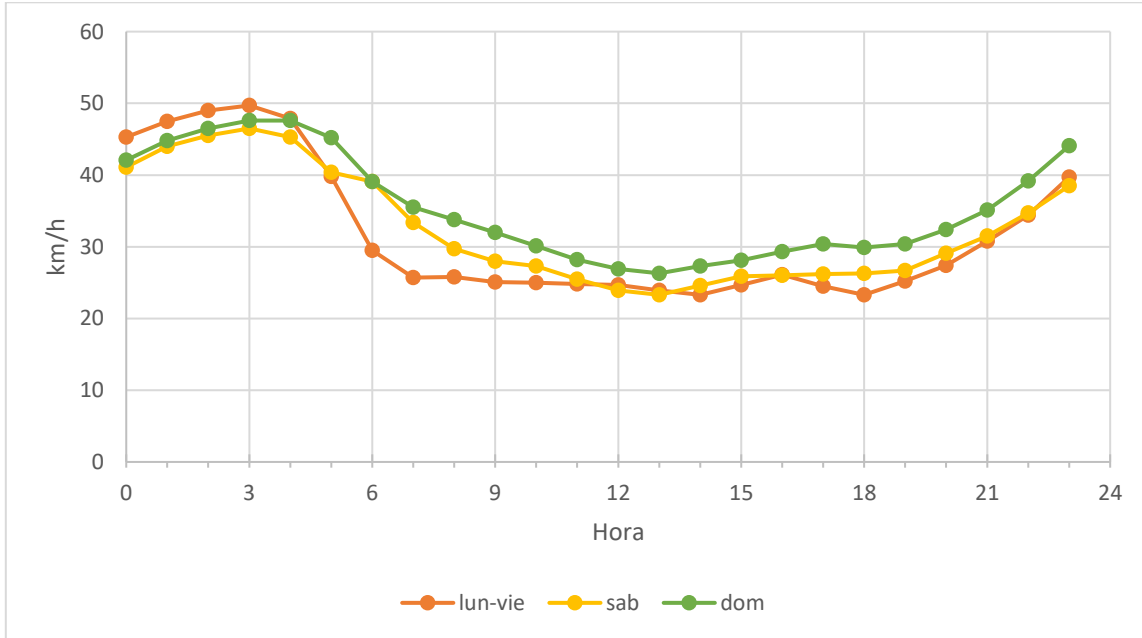


Figura 16. Perfiles de velocidad para la ciudad de Bogotá para el 2018, según día tipo.

### 3.3.1.3. Estimación de las emisiones

La estimación de emisiones por resuspensión de material particulado se realizó con el aplicativo MEDINE-FM-RDST del SIMCAB, el cual tiene en cuenta las siguientes ecuaciones:

Vías Pavimentadas:

$$EM\alpha_{p,j,h,w,x} = FEVP_{p,j,x} \cdot (LP_x \cdot FP_{h,j,x,w} + LSP_x \cdot FS_{h,j,x,w}) \quad \text{Ec. 15}$$

Vías No Pavimentadas: Uso público:

$$EM\beta_{p,j,h,w,x} = FEVNPP_{p,x,w,h} \cdot (LSNPP_x \cdot FS_{h,j,x,w}) \quad \text{Ec. 16}$$

Vías No Pavimentadas: Uso industrial:

$$EM\gamma_{p,j,h,w,x} = FENVPI_{p,j,x} \cdot (LSNPI_x \cdot FS_{h,j,x,w}) \quad \text{Ec. 17}$$

<sup>8</sup> <https://www.simur.gov.co/portal-simur/indicadores-2/velocidad-en-corredores/velocidad-promedio-mensual/>, consultado el 01/09/2020.

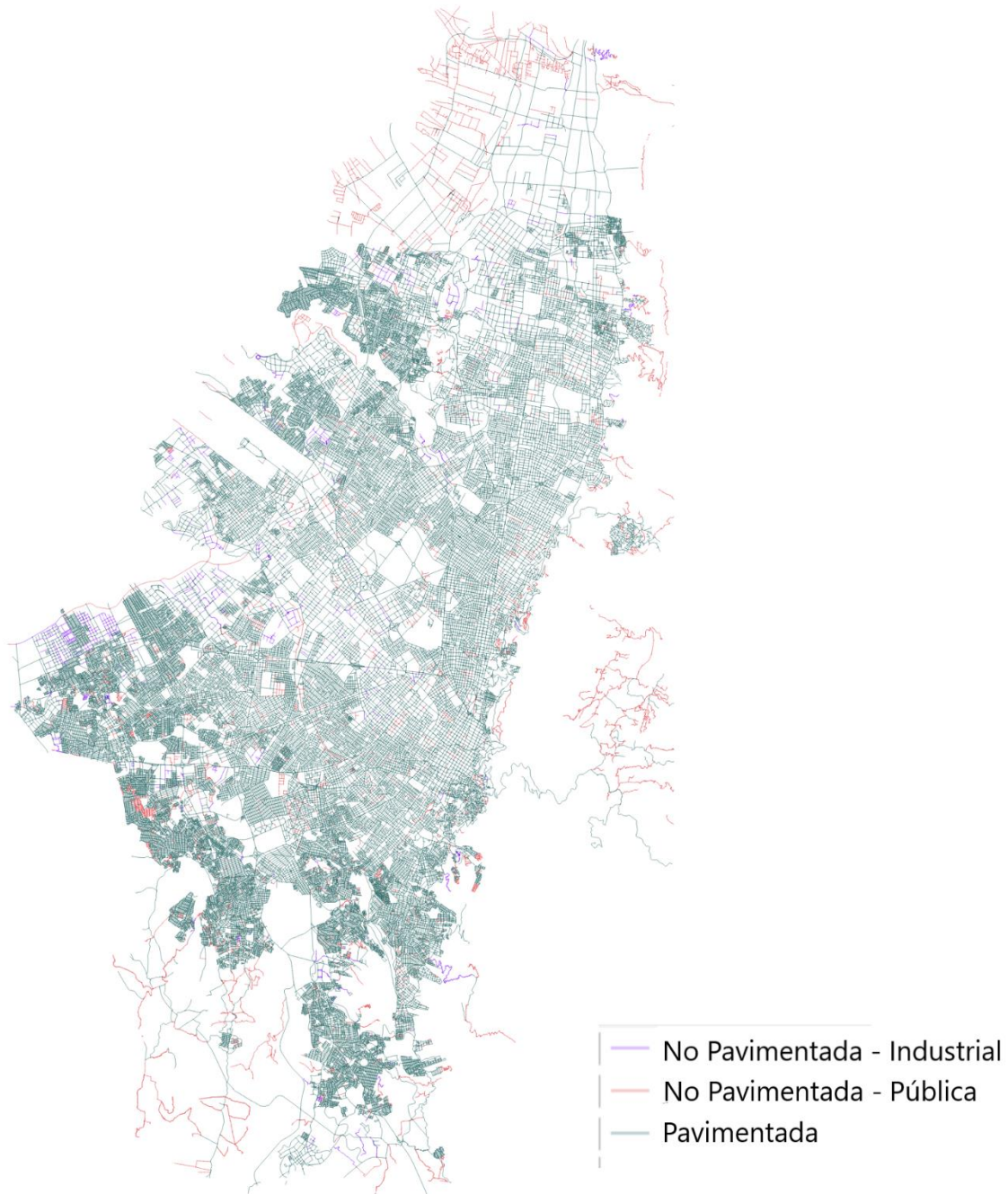


Donde:

<b><math>EM\alpha_{p,j,h,w,x}</math></b>	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 la celda 'x' ( <b>g/h</b> ).
<b><math>EM\beta_{p,j,h,w,x}</math></b>	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 la celda 'x' ( <b>g/h</b> ).
<b><math>EM\gamma_{p,j,h,w,x}</math></b>	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 la celda 'x' ( <b>g/h</b> ).
<b><math>FEVP_{p,j,x}</math></b>	Factor de emisión por resuspensión para el tamaño de partícula 'p', de vías pavimentadas para la subcategoría 'j', representativo para el punto de grilla 'x', en ( <b>g/VKT</b> ).
<b><math>FEVNPP_{p,x,w,h}</math></b>	Factor de emisión por resuspensión de vías no pavimentadas públicas del tamaño de partícula 'p', representativo para la celda 'x', en la hora 'h', para el día tipo 'w' ( <b>g/VKT</b> ).
<b><math>FEVNPI_{p,j,x}</math></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 la celda 'x' ( <b>g/VKT</b> ).
<b><math>LP_x</math></b>	Longitud de vías principales en la celda 'x' ( <b>km</b> )
<b><math>FP_{h,j,w,x}</math></b>	Flujo Vehicular para la hora 'h', de la subcategoría 'j', en el día 'w', en la celda 'x' en vías principales ( <b>Veh/h</b> )
<b><math>FS_{h,j,w,x}</math></b>	Flujo Vehicular para la hora 'h', de la subcategoría 'j', en el día 'w', en la celda 'x' en vías secundarias ( <b>Veh/h</b> )
<b><math>LSP_x</math></b>	Longitud de vías secundarias pavimentadas en la celda 'x' ( <b>km</b> )
<b><math>LSNPP_x</math></b>	Longitud de vías secundarias no pavimentadas de uso público en la celda 'x' ( <b>km</b> )
<b><math>LSNPI_x</math></b>	Longitud de vías secundarias no pavimentadas de uso industrial en la celda 'x' ( <b>km</b> )

La división de la malla vial en el estado de la vía (pavimentadas o no pavimentadas) se estimó a partir de la información proporcionada por el Instituto de Desarrollo Urbano, a la cual se le realizó un tratamiento de corroboración visual para las zonas más críticas de la ciudad a partir de Google Earth. Con respecto a la clasificación de las vías por uso público e industrial se cruzó la información del Figura 17. Las estimaciones de las longitudes de vías por punto de grilla o celda, especificados en las ecuaciones anteriores, fueron realizadas por medio del aplicativo MEDINE-FM-GIS, el cual contaba dichas longitudes, para cada celda definida.

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 2018 de la Secretaría Distrital de Movilidad, los cuales fueron procesados con los módulos MEDINE-FM-DIAG, MEDINE-FM-PRE y MEDINE-FM-GIS, explicados en la sección 3.1.2 de este documento.



**Figura 17. Estado de vías en la ciudad**

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

### 4.1. Inventario de emisiones Top-Down

El inventario de emisiones del año 2018 por categorías vehiculares y contaminantes criterio se presenta en la Tabla 12.

**Tabla 12. Inventario de emisiones de combustión por las fuentes móviles en carretera por categoría vehicular, año 2018.**

Categoría vehicular	Emisiones (toneladas/año)					
	Material particulado PM <sub>10</sub>	Material particulado PM <sub>2.5</sub>	Óxidos de Nitrógeno NO <sub>x</sub>	Monóxido de Carbono CO	Compuestos Orgánicos Volátiles VOC	Óxidos de Azufre SO <sub>x</sub>
SITP - Troncal	21	20	2.789	3.422	29	22
SITP - Alimentadores y Zonal	73	67	6.366	6.095	58	16
SITP Provisional	123	113	9.955	9.141	98	9
Transporte de Carga	708	648	10.008	50.428	3.258	95
Taxis	18	15	6.288	23.582	7.318	44
Motocicletas	149	131	6.138	266.081	24.746	434
Automóviles	307	275	18.028	114.152	24.393	790
Camperos y Camionetas	310	280	15.233	104.714	3.458	425
Otros	8	6	592	3.281	215	5
Transporte Especial	129	119	8.633	14.545	761	31
<b>Total</b>	<b>1.846</b>	<b>1.676</b>	<b>84.032</b>	<b>595.441</b>	<b>64.334</b>	<b>1.872</b>

Por su parte, la contribución porcentual por categoría vehicular de las emisiones por combustión de PM<sub>10</sub> para las fuentes móviles se presenta en la Figura 18.

En la Figura 19, se presenta la participación en emisión por categoría vehicular para los demás contaminantes criterio. De esta grafica se puede concluir lo siguiente:

- Para el material particulado PM<sub>10</sub> el transporte de carga representa el mayor generador de este contaminante, con una participación del 38,3%. Por participación en emisión, ha esta categoría le siguen los camperos y camionetas con una participación del 16,8% y los automóviles con 16,6%.

- Los mayores aportantes en la generación NO<sub>x</sub> son los automóviles con una contribución del 21,4%, seguido la suma de la contribución entre el componente zonal<sup>9</sup> y provisional<sup>10</sup> del Sistema Integrado de Transporte Público – SITP, que aportan en conjunto cerca del 20% de este contaminante; en tercer lugar, se encuentran los camperos y camionetas con un 18,1%.
- Las emisiones CO tienen como principal aportante las motocicletas con una contribución del 45%, seguido de los automóviles con un aporte del 19%.
- Por su parte los VOC son emitidos principalmente por las motocicletas y automóviles, ambas categorías contribuyendo con el 38,5 y 37,9%, respectivamente.
- En lo que refiere a los SO<sub>2</sub>, los vehículos que comúnmente se utilizan para transporte particular destacan la generación de este contaminante. Estas categorías corresponden a los automóviles (42,2%), motocicletas (23,2%) y camperos y camionetas (22,7%).

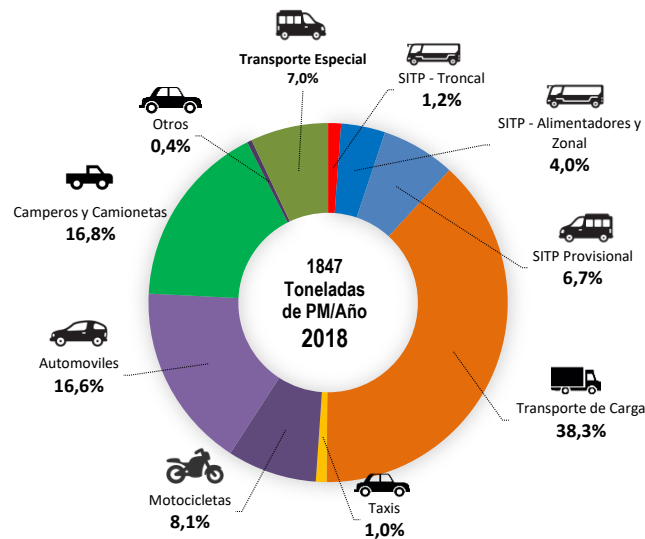


Figura 18. Participación en generación de emisiones de combustión de PM10 por categoría vehicular, año 2018.

<sup>9</sup> Incluidos en este componente para fines de este documento los vehículos alimentadores del SITP

<sup>10</sup> El componente provisional del (lo antes llamado Transporte Público Colectivo)

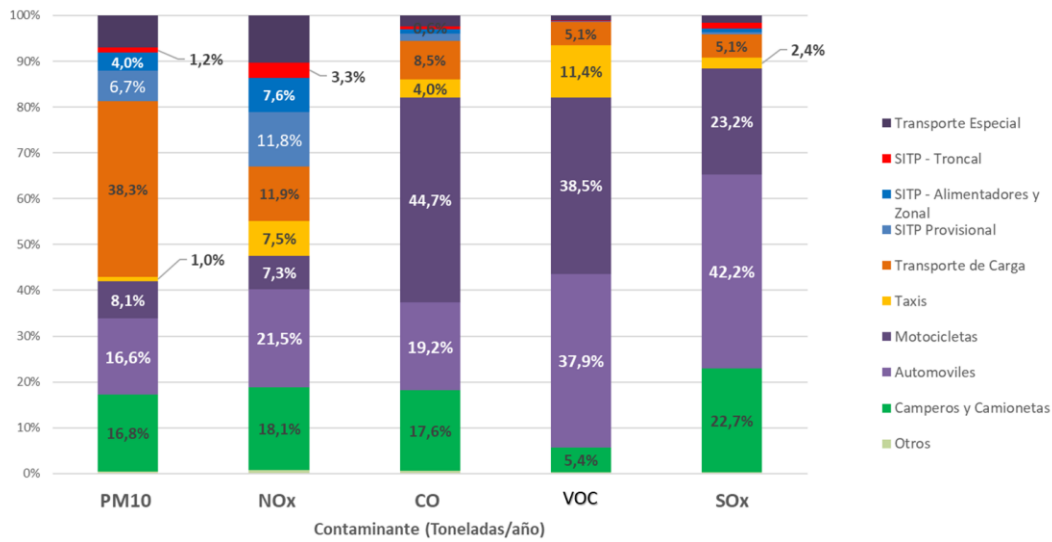


Figura 19. Participación en emisión de combustión de contaminantes criterio por categoría vehicular, año 2018.

## 4.2. Inventario de emisiones Bottom-Up

A continuación, se presentan las emisiones totales por categoría vehicular generadas a partir del inventario de la metodología Bottom-Up:

Tabla 13. Inventario de emisiones total Bottom-Up

Categoría vehicular	Emisiones (toneladas/año)					
	Material particulado PM <sub>10</sub>	Material particulado PM <sub>2.5</sub>	Óxidos de Nitrógeno NO <sub>x</sub>	Monóxido de Carbono CO	Compuestos Orgánicos Volátiles VOC	Óxidos de Azufre SO <sub>x</sub>
Camiones	1.238	1.138	26.919	64.392	4.263	1.25
Automóviles	215	190	11.390	80.334	9.124	4.69
Bus	173	159	21.184	6.498	129	31
Busetón	17	16	2.772	571	11	4
Microbús*	0	0	0	0	0	0
Biarticulado	1	1	476	244	3	1
Articulado	50	46	5.457	8.177	59	8
Alimentadores	14	13	1.225	2.553	28	4
Campero y camioneta	222	202	10.676	81.910	9.650	281
Especial	40	37	3.355	5.308	160	108
Motos	115	102	3.623	140.148	6.908	240
Taxis	3	3	1.018	3.819	1.187	7
<b>Total</b>	<b>2.090</b>	<b>1.907</b>	<b>88.094</b>	<b>393.953</b>	<b>31.522</b>	<b>1.278</b>

\*Los conteos vehiculares utilizados no contaban con información específica para esta categoría vehicular

### 4.2.1. Desagregación espacial

Desde la Figura 20 a Figura 25 se observan los mapas de distribución espacial resultante de las emisiones diarias de los contaminantes criterio (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> y VOC) provenientes de las fuentes móviles de emisión, para el año 2018 de la ciudad de Bogotá.

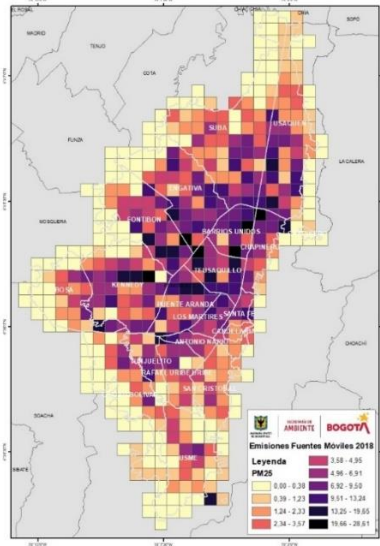


Figura 20. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de PM<sub>2.5</sub> para Fuentes Móviles.

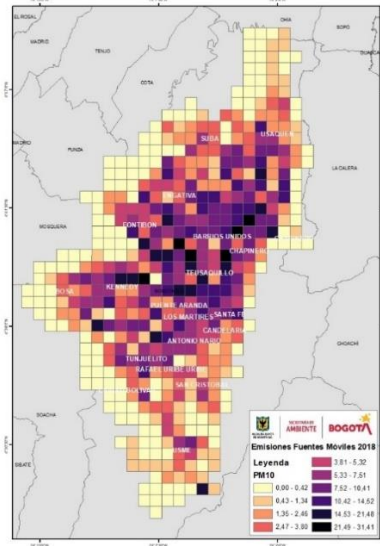


Figura 21. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de PM<sub>10</sub> para Fuentes Móviles.

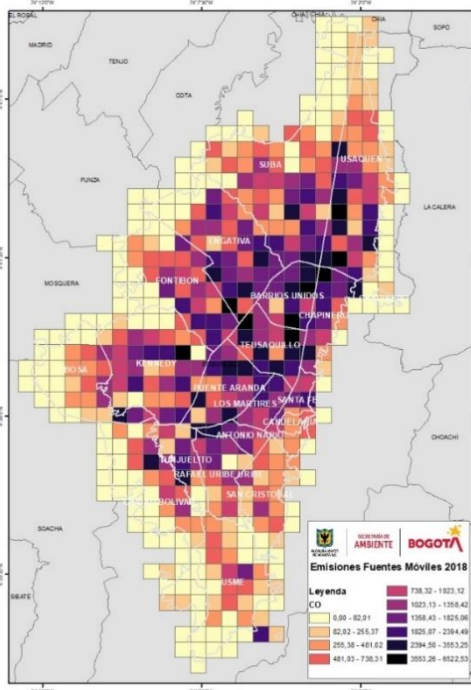


Figura 22. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de CO para Fuentes Móviles.

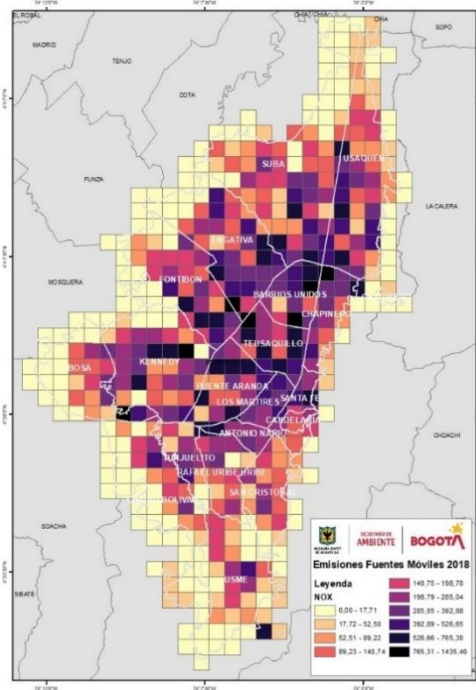


Figura 23. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de NO<sub>x</sub> para Fuentes Móviles.

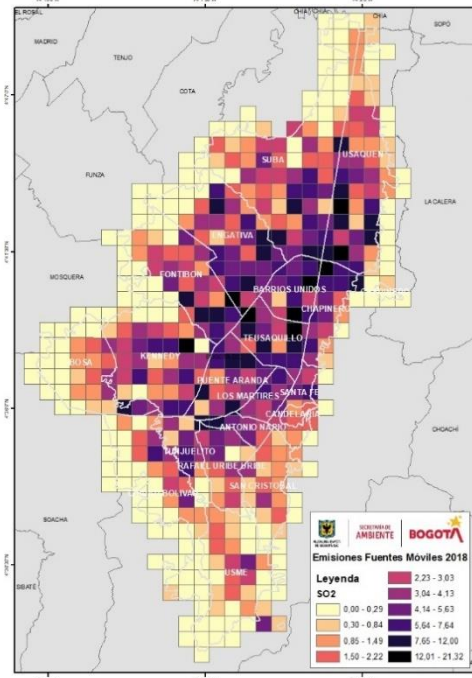


Figura 24. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de SO<sub>2</sub> para Fuentes Móviles.

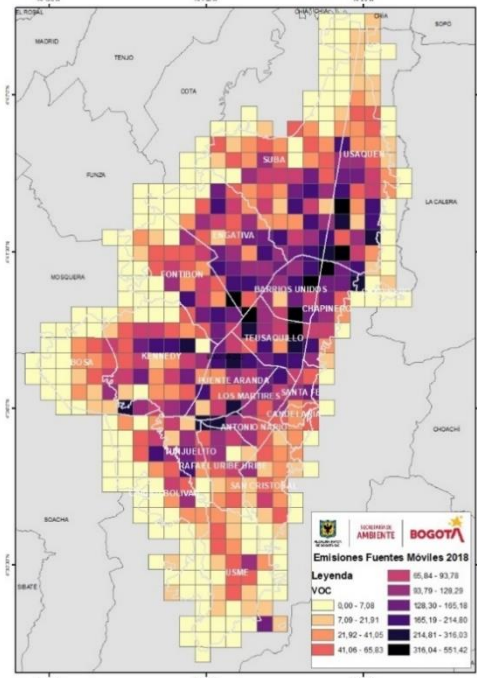


Figura 25. Distribución espacio temporal de emisiones en ton/año de VOC para Fuentes Móviles.

Como se observa en los mapas las emisiones de los contaminantes se encuentran concentrados en la zona centro de la ciudad, donde confluyen las vías principales de la ciudad especialmente la autopista norte, la carrera 30, calle 13 y la autopista sur. Muchas de las cuales, transitan vehículos pesados diésel, los cuales generan una problemática en términos de material particulado.

Tabla 14. Participación por localidad en las emisiones de fuentes móviles en carretera

LOCALIDAD	Participación en emisiones					
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	SO <sub>2</sub>	VOC
KENNEDY	11%	11%	10%	10%	10%	9%
FONTIBON	11%	11%	9%	9%	9%	9%
SUBA	11%	11%	12%	12%	13%	13%
USAQUEN	9%	9%	8%	9%	10%	10%
ENGATIVA	9%	9%	9%	9%	10%	9%
TEUSAQUILLO	7%	7%	7%	8%	8%	8%
BARRIOS UNIDOS	6%	6%	7%	7%	6%	7%
PUENTE ARANDA	6%	6%	6%	6%	5%	6%
CHAPINERO	5%	5%	5%	6%	6%	6%
BOSA	4%	4%	4%	3%	3%	3%
USME	4%	4%	4%	3%	3%	3%
CIUDAD BOLIVAR	4%	4%	4%	4%	4%	4%
LOS MARTIRES	3%	3%	3%	3%	2%	2%
TUNJUELITO	2%	2%	2%	3%	3%	3%
SANTA FE	2%	2%	3%	2%	2%	2%
RAFAEL URIBE URIBE	2%	2%	2%	2%	2%	2%
SAN CRISTOBAL	2%	2%	2%	2%	2%	2%
ANTONIO NARI O	2%	2%	2%	2%	2%	2%
CANDELARIA	0%	0%	0%	0%	0%	0%
SUMAPAZ	0%	0%	0%	0%	0%	0%

En cuanto a las emisiones por localidad se identifican como principales aportantes en estas emisiones a las localidades de Kennedy, Fontibón, Suba, Usaquén y Engativá. En estas localidades se encuentran ubicada las principales vías de la ciudad.

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

Los perfiles horarios para las emisiones de las fuentes móviles en carretera se presentan desde la Figura 26 a la Figura 31 para los contaminantes PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> y VOC. En estas graficas se presentan las emisiones por categorías vehiculares agregadas<sup>11</sup>, por los días hábiles (lunes a viernes), sábados y domingos.

Para los contaminantes PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>, en donde las emisiones son generadas principalmente por vehículos de carga, las emisiones inician su aumento desde las 3 am, encontrando su pico entre las 9 am a 3 pm, donde su inicia su deceso progresivo. Este comportamiento es de esperar dado que la restricción de pico y placa no aplica para la mayoría de los vehículos de carga.

Para los demás contaminantes como SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> y VOC, dada que su emisión es generada en su mayoría por vehículos particulares, motocicletas y uses, su comportamiento sigue lo esperado las horas pico, en donde se ve con claridad un valor máximo de emisión en las horas de la mañana

<sup>11</sup>Buses agrega las tipologías de padrones, buses, busetas o microbús. Camiones agrega los camiones con diferente número de ejes. Especial, corresponde a vehículos especiales, de transporte escolar e intermunicipal. Particular agrega las tipologías de automóviles, camperos y camionetas. Troncal agrega las tipologías de articulados y biarticulados.



entre 5 a 8 am, seguido de una estabilización de las emisiones y un nuevo incremento en la tarde entre las 4 a 7 pm, para su posterior disminución.

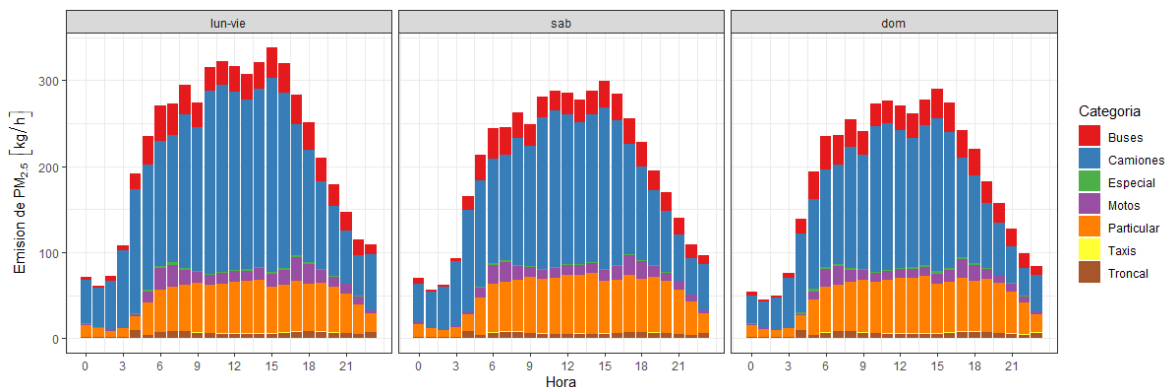


Figura 26. Distribución horaria para Fuentes Móviles 2018, según categoría vehicular para el contaminante PM<sub>2.5</sub>

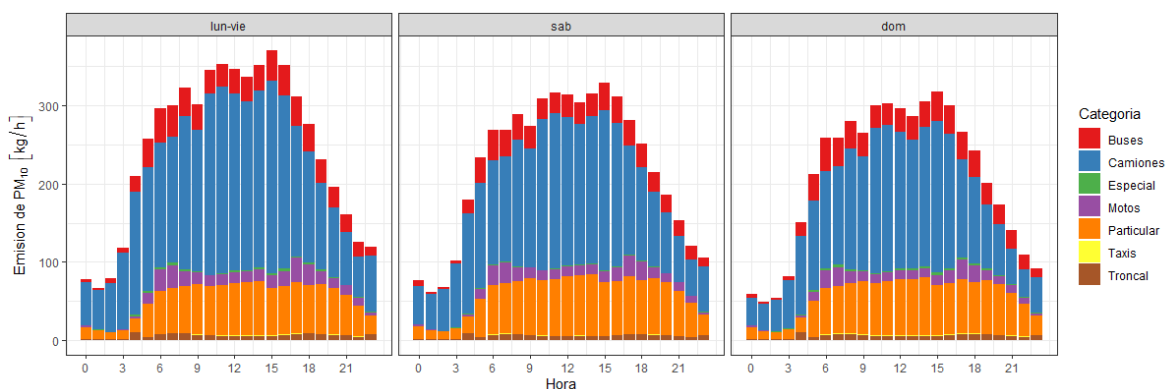


Figura 27. Distribución horaria para Fuentes Móviles 2018, según categoría vehicular para el contaminante PM<sub>10</sub>.

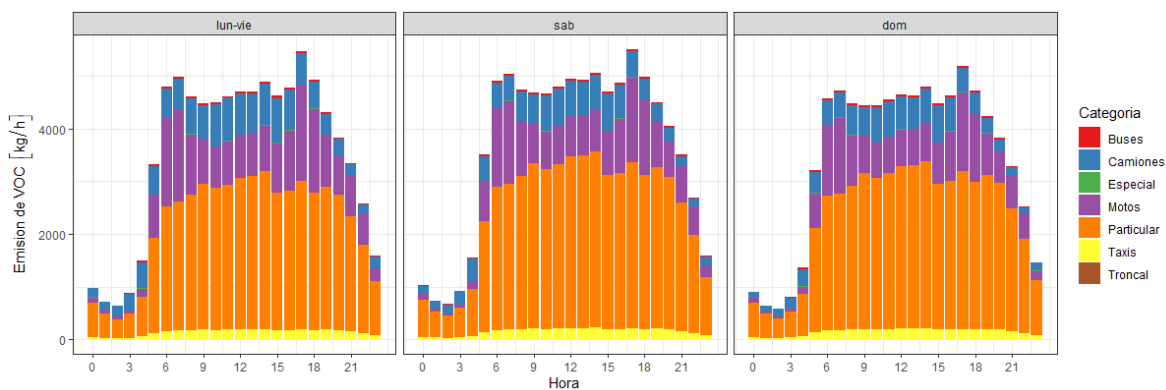


Figura 28. Distribución horaria para Fuentes Móviles 2018, según categoría vehicular para el contaminante VOC.

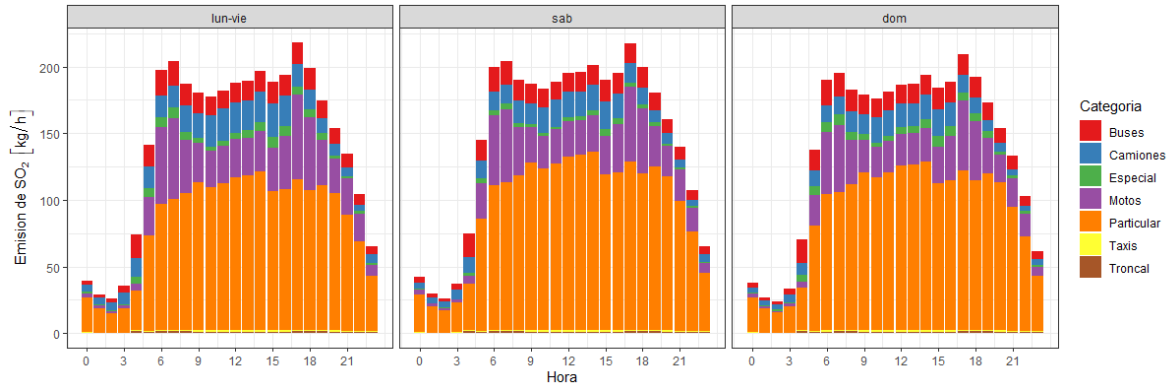


Figura 29. Distribución horaria para Fuentes Móviles 2018, según categoría vehicular para el contaminante SO<sub>2</sub>.

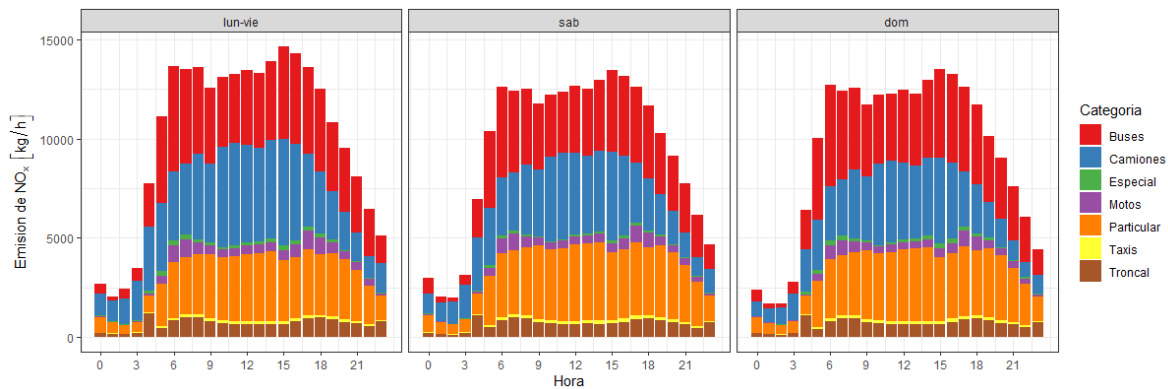


Figura 30. Distribución horaria para Fuentes Móviles 2018, según categoría vehicular para el contaminante NO<sub>x</sub>.

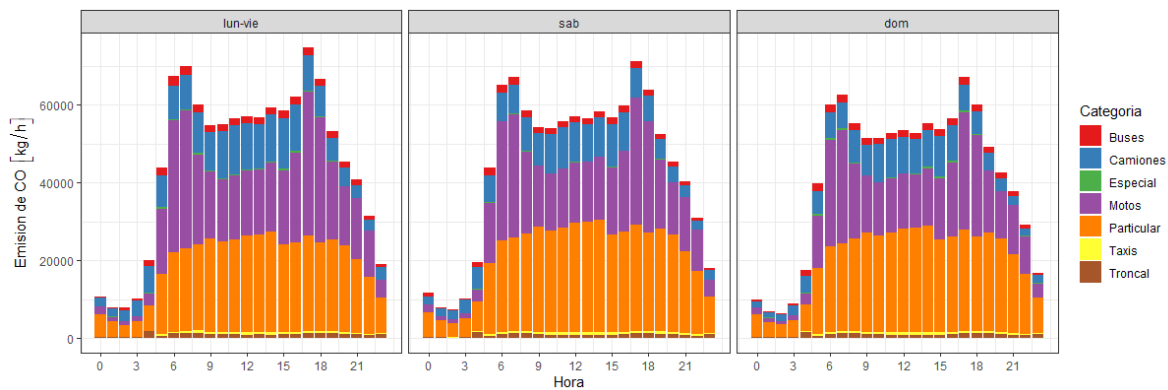


Figura 31. Distribución horaria para Fuentes Móviles 2018, según categoría vehicular para el contaminante CO.

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

A continuación, se presenta una sencilla comparación entre los inventarios de emisiones generados a partir de la metodología Top-Down y Bottom-Up (Tabla 15). Los valores negativos representan valores mayores por parte del inventario Bottom-Up con respecto al Top-Down.

Las diferencias entre los inventarios son más evidentes en la mayoría de los contaminantes para las categorías de buses, articulados y microbuses. Esto se asocia a que en algunos conteos vehiculares no se presentan valores para categorías concretas como microbuses y en algunos casos solo se presenta información de conteos en categorías generales como SITP. Sin embargo, estas diferencias entre inventarios por categoría vehicular se compensan y permiten tener para PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y NO<sub>x</sub> diferencias menores al 15% para los inventarios totales. Por su parte SO<sub>2</sub>, CO y VOC se presentan diferentes superiores al 30%.

**Tabla 15. Comparación entre metodologías de estimación de emisiones**

Categoría	Diferencia con respecto al inventario					
	CO	NOX	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	VOC	SO <sub>2</sub>
Camiones	-28%	-169%	-73%	-75%	-31%	-31%
Automoviles	30%	37%	30%	31%	63%	41%
Bus	-130%	-391%	-349%	-417%	10%	-335%
Busetón	91%	55%	76%	76%	67%	62%
Microbus	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Biarticulado	0%	2%	35%	35%	0%	0%
Articulado	-171%	-171%	-171%	-171%	-171%	-183%
Alimentadores	-31%	-24%	-31%	-31%	-29%	40%
Camperos y camioneta	22%	30%	28%	28%	-179%	34%
Especial	64%	61%	69%	69%	79%	-250%
Motos	47%	41%	22%	22%	72%	45%
Taxis	84%	84%	80%	80%	84%	84%
<b>Total</b>	<b>34%</b>	<b>-5%</b>	<b>-13%</b>	<b>-14%</b>	<b>51%</b>	<b>31%</b>

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

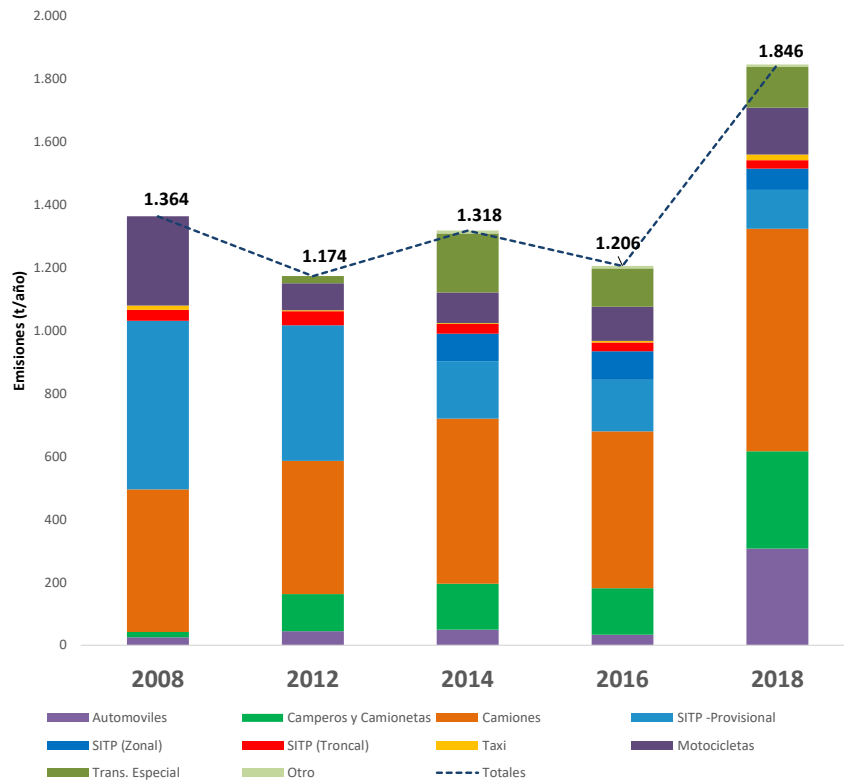
A continuación, se presentan los resultados históricos de los inventarios de emisiones por combustión de las fuentes móviles en carretera, elaborados a partir de un enfoque Top-Down, desde el año 2008 hasta el 2018 para los diferentes contaminantes.

##### 4.4.1. Material particulado (PM<sub>10</sub>)

El material particulado PM<sub>10</sub> es un contaminante que se ha estimado en todos los inventarios de emisiones, dado que es aquel que presenta mayores excedencias a la norma diría de concentración en aire ambiente en Bogotá. Los valores históricos totales y por categoría vehicular se presenta en la Tabla 16. Año a año el valor del total de emisiones generadas en la ciudad fluctúa teniendo la mayor diferencia para el año 2018 (Figura 32). Descartando la influencia del crecimiento normal de la cantidad de vehículos de la ciudad, este crecimiento de emisiones del año 2018, se asocia principalmente al cambio en los factores de emisiones utilizados para la estimación. Este cambio obedece a una refinación de estos parámetros con el fin de aproximarse más a la realidad tecnológica de los vehículos y a la calidad del combustible utilizados, que van cambiando según normativa y directrices nacionales y locales.

**Tabla 16. Inventarios de emisiones de combustión para PM<sub>10</sub> generadas las fuentes móviles en carretera desde el año 2008 a 2018.**

Categoría vehicular	Emisiones (toneladas/año)				
	2008	2012	2014	2016	2018
Automóviles	25	45	50	33	307
Camperos y Camionetas	17	118	146	148	310
Camiones	454	423	525	499	708
TPC o SITP -Provisional	536	431	182	164	123
SITP (Zonal)	No estimada	No estimada	88	90	68
SITP (Troncal-Alimentadores)	35	45	31	27	27
Taxi	13	3	3	5	18
Motocicletas	284	86	97	108	149
Tras. Especial	No estimada	23	188	121	129
Otro	No estimada	No estimada	9	8	8
<b>Totales</b>	<b>1.364</b>	<b>1.174</b>	<b>1.318</b>	<b>1.206</b>	<b>1.846</b>



**Figura 32. Distribución histórica por categoría de vehicular de las emisiones de PM<sub>10</sub>.**

Nuevamente la categoría que presentan el mayor aporte de este contaminante en emisión año a año corresponden a los camiones, consecuencia de una flota vehicular con tecnologías antigua.

Por su parte los vehículos del Transporte Público Colectivo, hoy en día SITP provisional, inicia en 2008 con un aporte del 39% de las emisiones de PM<sub>10</sub> y terminando en 2018 con un aporte del

7%. Este cambio obedece a los programas de chatarrización y renovación de la flota, que poco a poco se iban vinculando al componente zonal del Sistema Integrado de Transporte Público – SITP.

Las motocicletas, fue el tercer mayor aportante de este contaminante en el año 2008 con un aporte de 21%. Sin embargo, sus emisiones han aumentado considerablemente hasta el 2018 en aproximadamente 149 toneladas. Lo anterior, se asocia al crecimiento exponencial de estos vehículos dada la facilidad de adquisición y ventajas relacionadas a los tiempos de viajes dentro de la ciudad.

Las categorías de automóviles, camperos y camionetas tienen un aumento significativo de cantidad de emisiones y de participación en aporte de PM<sub>10</sub> desde el 2008 hasta el 2018, generado principalmente por los ajustes de factores de emisión antes mencionados.

#### 4.4.2. Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)

Las emisiones de NO<sub>x</sub> generadas por las fuentes móviles de la ciudad tuvieron un incremento desde el año 2008 hasta el año 2014 y una posterior reducción hasta el año 2018 (Tabla 17). Estos cambios obedecen a incrementos de emisiones por parte de los vehículos del SITP, dado que tecnologías que principalmente componían a esta flota correspondían a vehículos Euro II y Euro III.

Otra de las categorías que presenta un aporte significativamente al incremento de las emisiones es el transporte especial, la cual se inició a incluir desde el inventario del año 2014, llegando a tener una participación del 10% de las emisiones durante el año 2018.

**Tabla 17. Inventarios de emisiones de combustión para NO<sub>x</sub> generadas las fuentes móviles en carretera desde el año 2008 a 2018.**

Categoría vehicular	Emisiones (toneladas/año)				
	2008	2012	2014	2016	2018
Automóviles	13.216	15.550	15.285	10.167	18.028
Camperos y Camionetas	8.720	12.567	9.773	9.537	15.233
Camiones	9.195	8.227	15.165	13.393	10.008
SITP -Provisional	12.421	9.624	13.539	13.632	9.955
SITP (Zonal)	No estimada	No estimada	7.507	7.736	5.851
SITP (Troncal- Alimentadores)	870	2.676	3.596	3.303	3.304
Taxi	12.165	12.179	12.534	11.892	6.288
Motocicletas	692	5.480	5.444	7.596	6.138
Transporte especial	No estimada	301	14.300	10.063	8.633
Otro	No estimada	No estimada	691	622	592
<b>Totales</b>	<b>57.278</b>	<b>66.604</b>	<b>97.833</b>	<b>87.942</b>	<b>84.032</b>

Distribución histórica emisiones NOx

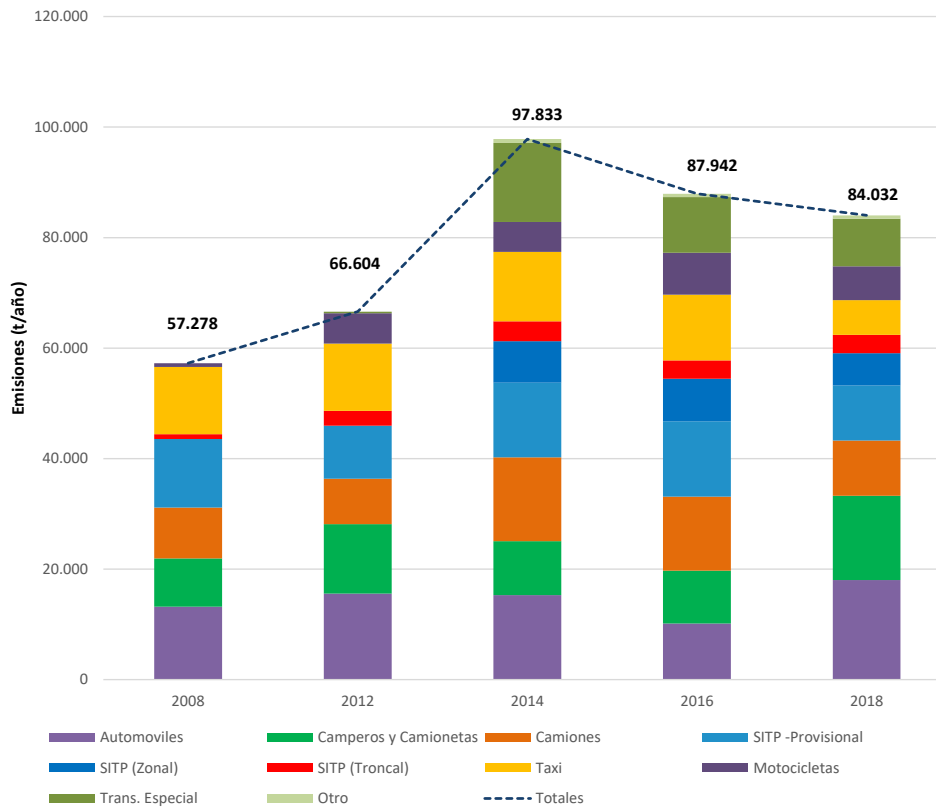


Figura 33. Distribución histórica por categoría de vehicular de las emisiones de NOx.

Las categorías que permanecen casi constantes en su participación y que han incrementado en los últimos años sus emisiones han sido los automóviles, camperos y camionetas, de los cuales ha crecido su flota vehicular y su renovación tecnológica ha sido lenta en los últimos 10 años.

#### 4.4.3. Monóxido de carbono (CO)

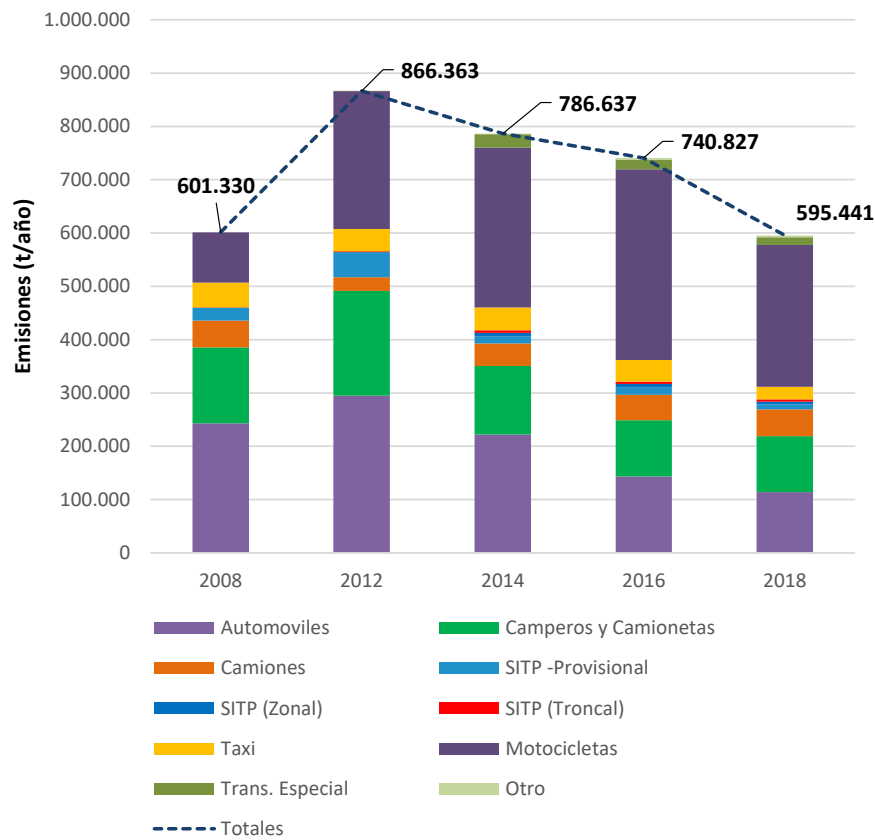
Las emisiones de Monóxido de Carbono para las fuentes móviles presentan su pico en el inventario de emisiones del año 2012, donde también se presentaron las mayores emisiones para automóviles, campero y camionetas (Tabla 18); seguido disminución en las emisiones para este contaminante en los siguientes años.

Las categorías que predominan como las de mayor aporte corresponden a las motocicletas y vehículos livianos (Figura 34). Sin embargo, el comportamiento de estas categorías refleja el rápido crecimiento de las motocicletas, las cuales pasan de tener una participación del 16% en 2008 al 43% en el 2018, valores que reflejan el incremento de sus emisiones en más del doble.

De acuerdo con lo anterior, los automóviles, aunque siguen siendo aportantes principales de este contaminante, su participación se ha reducido año a año debido al crecimiento de las motocicletas y renovación tecnológica a vehículos con catalizadores oxidativos.

**Tabla 18. Inventarios de emisiones de combustión para CO generadas las fuentes móviles en carretera desde el año 2008 a 2018.**

Categorías vehiculares	Emisiones CO en toneladas /año				
	2008	2012	2014	2016	2018
Automóviles	243.192	294.970	222.341	143.721	114.152
Camperos y Camionetas	142.396	196.222	128.312	104.994	104.714
Camiones	50.203	25.891	42.041	48.019	50.428
SITP -Provisional	24.360	47.380	13.139	12.989	9.141
SITP (Zonal)	No estimada	No estimada	6.786	7.120	5.217
SITP (Troncal- Alimentadores)	219	1.117	4.766	4.445	4.300
Taxi	46.479	41.865	42.753	40.541	23.582
Motocicletas	94.481	258.496	300.057	357.481	266.081
Transporte Especial	No estimada	421	25.373	18.347	14.545
Otro	No estimada	No estimada	1.069	3.170	3.281
<b>Totales</b>	<b>601.330</b>	<b>866.363</b>	<b>786.637</b>	<b>740.827</b>	<b>595.441</b>



**Figura 34. Distribución histórica por categoría de vehicular de las emisiones de CO.**

#### 4.4.4. Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)

En relación con los óxidos de azufre, el histórico de inventario de emisiones se presenta en la Tabla 19. El comportamiento de las emisiones desde el año 2008 hasta el 2018 es decreciente, hasta llegar a un valor mínimo de 1872 toneladas. Esta reducción se asocia al cambio en los factores de emisión, que hoy en día reflejan el mejoramiento en contenido de azufre de la gasolina y diésel.

Las categorías vehiculares que año tras año permeasen como principales aportantes de este contaminante son principalmente las motocicletas, seguido de menor forma de los automóviles, taxis, camperos y camionetas (Figura 35).

Por su parte, los camiones disminuyeron significativamente sus emisiones desde el inventario del año 2008 a 2012, dado que en este periodo se realizó un ajuste de los factores de emisión en el marco de la elaboración de los inventarios de emisiones para propósitos de modelación de calidad del aire (Universidad de La Salle & SDA, 2013).

**Tabla 19. Inventarios de emisiones de combustión para SO<sub>x</sub> generadas las fuentes móviles en carretera desde el año 2008 a 2018. Fuente: Propia.**

Categoría vehicular	Emisiones SO <sub>x</sub> en toneladas /año				
	2008	2012	2014	2016	2018
Automóviles	7.438	9.025	7.438	4.898	790
Camperos y Camionetas	1.496	1.875	234	1.849	425
Camiones	5.923	420	940	934	95
SITP -Provisional	644	535	343	444	9
SITP (Zonal)	No estimada	No estimada	395	424	10
SITP (Troncal- Alimentadores)	343	216	249	245	28
Taxi	1.170	1.324	1.170	1.097	44
Motocicletas	733	692	600	957	434
Transporte especial	No estimada	21	178	336	31
Otro	No estimada	No estimada	18	15	5
<b>Totales</b>	<b>17.747</b>	<b>14.109</b>	<b>11.566</b>	<b>11.199</b>	<b>1.872</b>



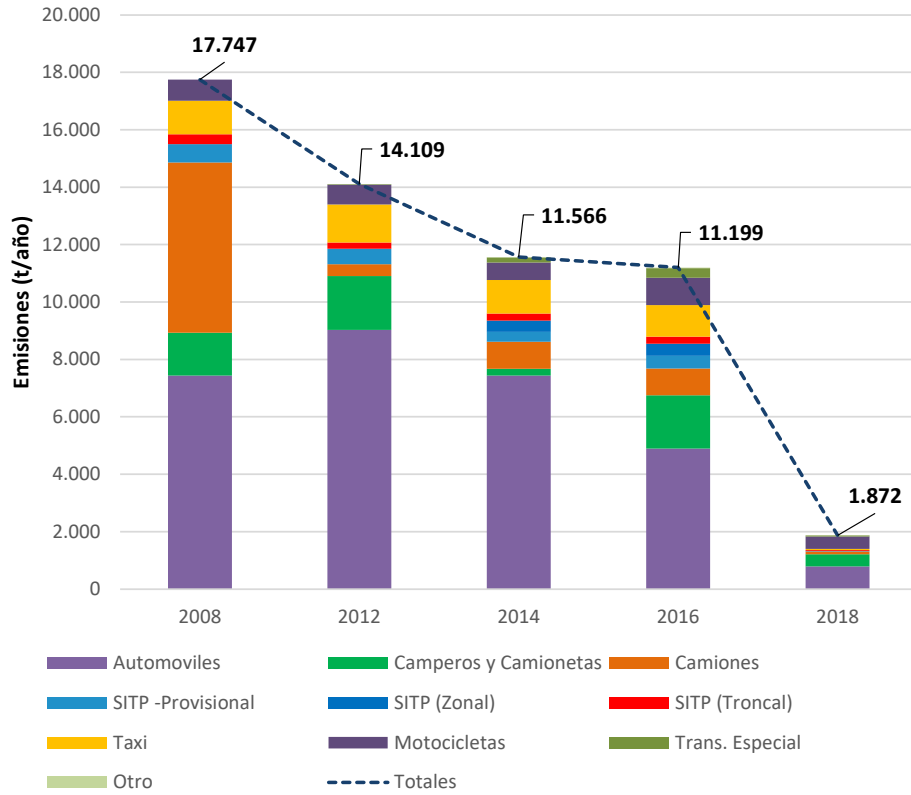


Figura 35. Distribución histórica por categoría de vehicular de las emisiones de SOx. Fuente: Propia.

## 5. INVENTARIO DE EMISIONES POR COMBUSTIÓN DE FUENTES FIJAS INDUSTRIALES

### 5.1. Inventario de emisiones Bottom-Up

En la Tabla 20 se presentan los resultados de las emisiones atmosféricas de las fuentes fijas industriales y en la Figura 36 la participación de tipo de fuente en la generación de las emisiones de PM<sub>10</sub>.

Tabla 20. Inventario de emisiones de fuentes fijas industriales año 2018

Tipo de fuente	PM <sub>10</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	VOC
	Emisión (Tonelada/año)	Emisión (Tonelada/año)	Emisión (Tonelada/año)	Emisión (Tonelada/año)	Emisión (Tonelada/año)
Caldera Gas mayor a 100 BHP; modelo menor 1997	45,0	509,2	2,0	102,6	13,4
Caldera Gas mayor a 100 BHP; modelo mayor 1997	5,0	14,6	0,0	28,3	3,7
Caldera Carbón menor o igual a 100 BHP	1,7	0,7	1,9	0,1	0,02
Caldera Carbón mayor a 100 BHP	109,9	122,2	355,0	4,8	2,4
Horno Carbón	30,9	11,1	29,3	15,2	1,2
Horno Ladrillero	246,1	88,3	233,8	121,0	9,4
Otras	43,4	993,3	22,8	292,6	61,7
<b>Total</b>	<b>482,0</b>	<b>1.739,5</b>	<b>645,0</b>	<b>564,5</b>	<b>91,8</b>

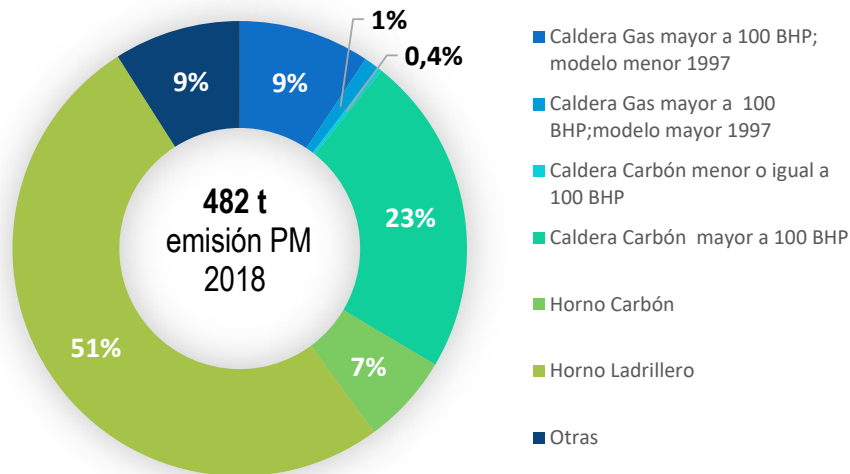


Figura 36. Participación por categoría en emisión de PM<sub>10</sub> para el año 2018. Fuente: Propia.

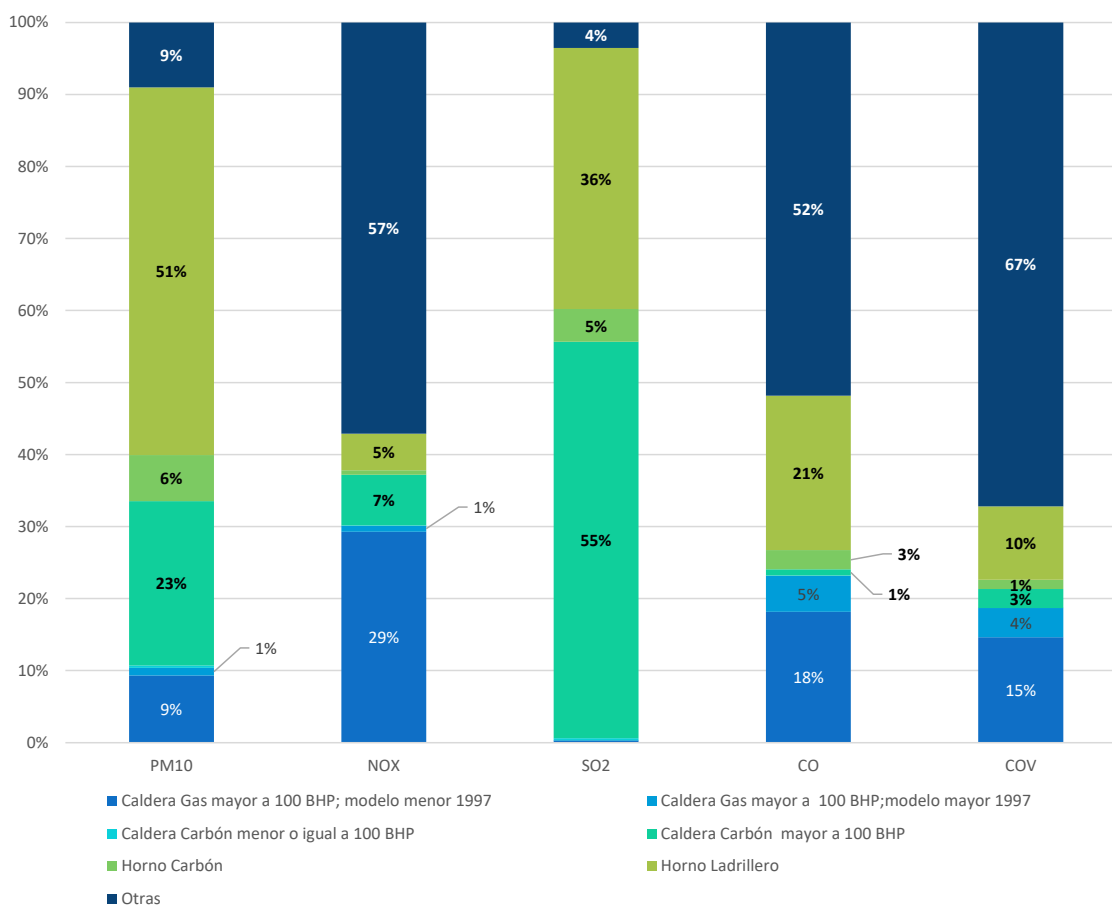
Como se observa en la Figura 37, las emisiones de material particulado son principalmente generadas por el sector de Cerámicos y Vítreos – Sector Ladrillero (HL), con un 51%, el cual es el

mayor consumidor de carbón en sus procesos, seguido de las calderas con capacidad mayor a 100 BHP (CC1) que operan con carbón, con una participación del 23%.

Para los óxidos de nitrógeno NOx los mayores aportantes son los hornos y calderas que operan con gas licuado de petróleo (GLP), con una participación del 31,6% y calderas a gas natural de gran capacidad (CG1), con un aporte del 29,5%.

Para el dióxido de azufre SO2 se encuentra que su generación está fuertemente asociada a las emisiones de hornos crematorio y de fundición que operan con gas natural (HG3), con un aporte del 55,1%, seguido de los hornos ladrilleros que operan con carbón (HL), con un aporte del 36,3%.

Respecto a las emisiones de CO, los principales aportantes son los hornos ladrilleros que operan a carbón (HL) con un 21,5%, calderas a gas natural de gran capacidad (CG1) con un 18,2% y las calderas a gas natural de con capacidad inferior a 100 BHP (CG3) con un 16,5%.



**Figura 37. Participación por tipo de fuente en las emisiones de contaminantes criterio para el año 2018.**

## 5.2. Desagregación espacial de las emisiones

En las siguientes imágenes se representan espacialmente, los contaminantes CO, NO<sub>x</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> y SO<sub>2</sub>, para las fuentes fijas industriales.

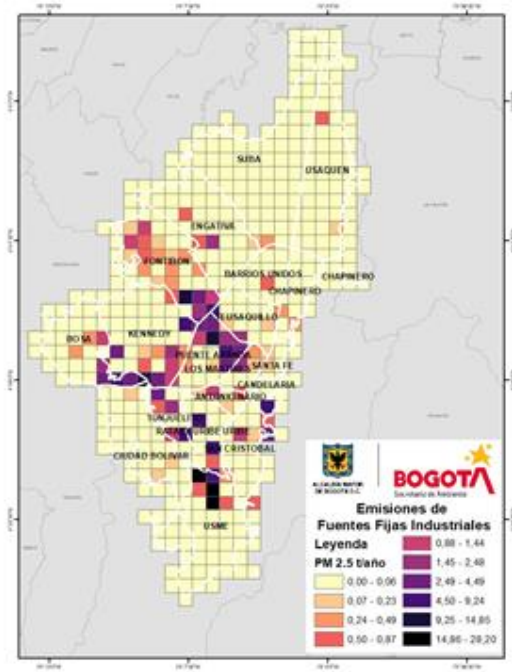


Figura 38. Distribución espacio temporal de PM2.5 para Fuentes Puntuales. Día Hábil

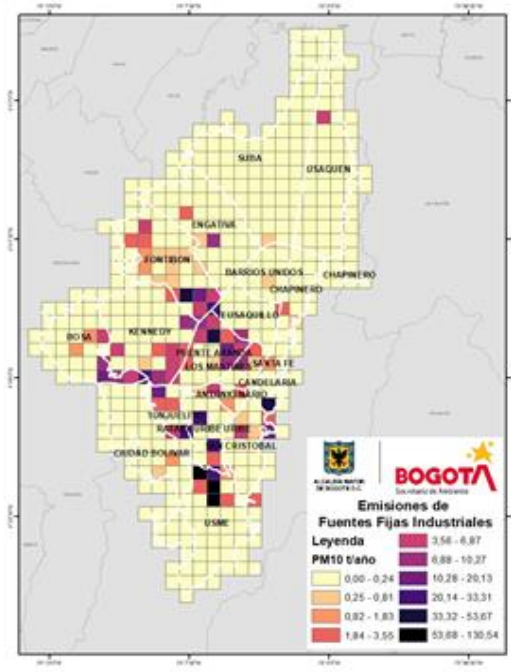


Figura 39. Distribución espacio temporal de PM10 para Fuentes Puntuales. Día Hábil

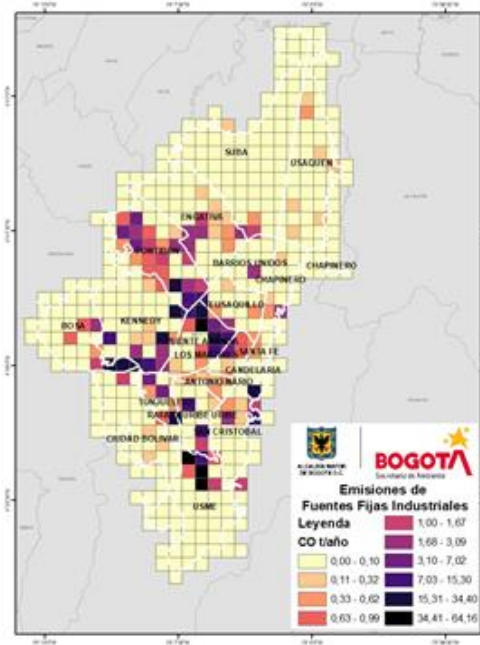


Figura 40. Distribución espacio temporal de CO para Fuentes Puntuales. Día Hábil

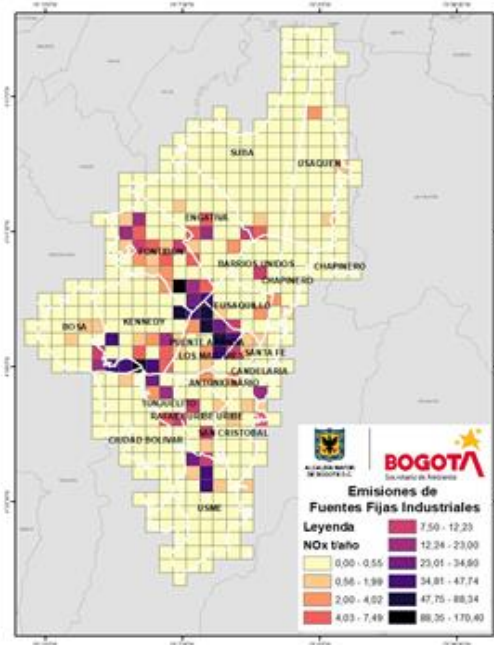


Figura 41. Distribución espacio temporal de NOx para Fuentes Puntuales. Día Hábil

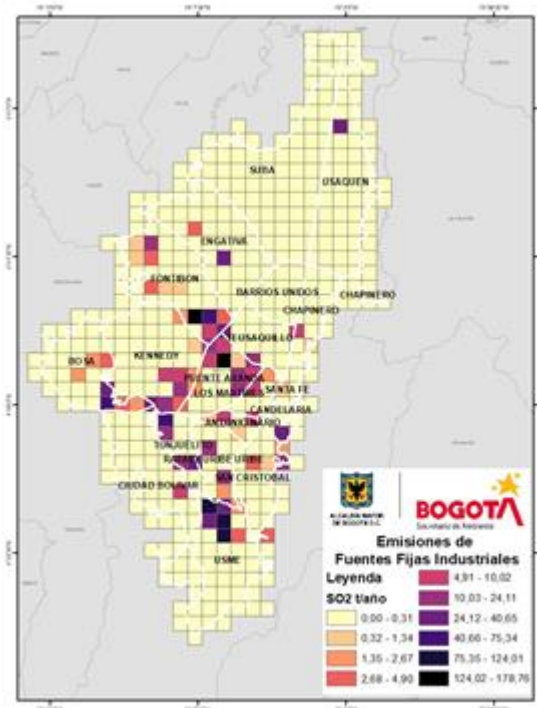


Figura 42. Distribución espacio temporal de SOx para Fuentes Puntuales. Día Hábil

Para el caso de material particulado, la localidad de Usme es la principal aportante de emisiones (47,5%) seguida por la localidad de Kennedy (17%) y Tunjuelito (7,7%), esto debido a que en estas localidades se concentra el uso de combustibles sólidos, principalmente carbón, cuyos principales

contaminantes de interés de la combustión de carbón son las partículas (PM), los dióxidos de azufre (SO<sub>2</sub>) y los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). Particularmente para la localidad de Usme, es en ésta donde se concentra la actividad del sector ladrillero, donde la cocción del material arcilloso es la etapa que genera el más alto nivel de contaminación atmosférica. De igual manera, las emisiones de óxidos de azufre también son generados principalmente en las localidades de Kennedy (37,71%), Usme (31,65%) y Tunjuelito (11,8%), esto debido también al consumo de carbón, ya que, en promedio alrededor del 95% del azufre presente en el carbón se emitirá como SO<sub>2</sub><sup>12</sup>.

Las emisiones de NO<sub>x</sub> se concentran en las localidades de Fontibón, Usaquén y Puente Aranda con una participación en emisiones del 24,3%, 18,3% y 12,4% respectivamente. Lo anterior es debido al uso de GLP como combustible, el cual, aunque se considera un combustible "limpio" porque no produce emisiones visibles, si produce contaminantes gaseosos como los NO<sub>x</sub> y VOC, así como pequeñas cantidades de SO<sub>2</sub> y material particulado.

### **5.3. Desagregación temporal horaria de las emisiones**

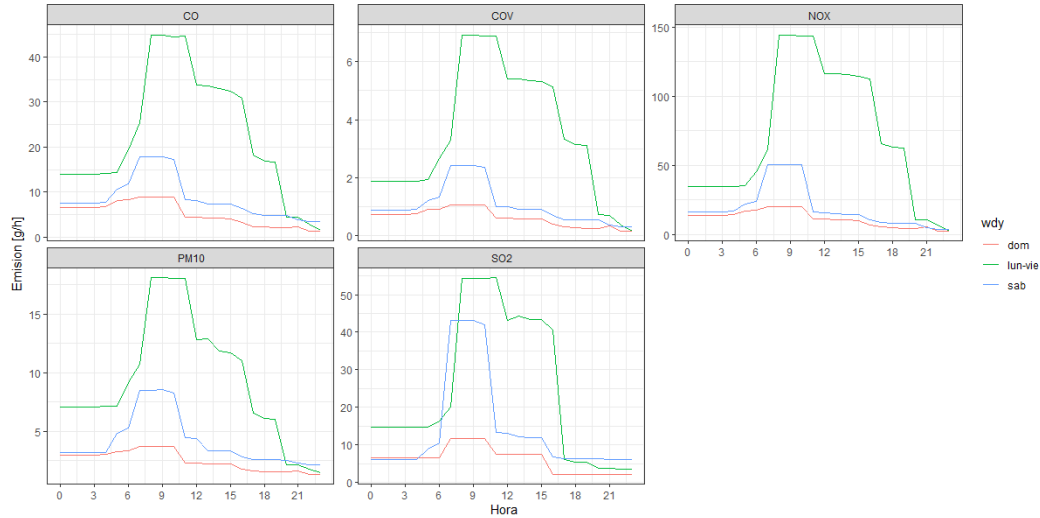
Los perfiles horarios para las emisiones de las fuentes fijas industriales se presentan en la Figura 43 para los contaminantes PM, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> y VOC. En estas graficas se presentan las emisiones en los días hábiles (lunes a viernes), sábados y domingos.

En general el comportamiento para todos los contaminantes en los diferentes días de la semana es similar. Para los días hábiles, por ejemplo, inicia el crecimiento de las emisiones cerca a las 6 am, horario en el que las empresas inician sus labores, y llega a su pico máximo de emisión a las 9 am. Luego de esto las emisiones comienzan a disminuir en dos etapas puntales que inician a las 12 m y las 3 pm. Finalmente, a las 5 pm las emisiones reducen a su mínimo.

En cuanto al día sábado, el comportamiento para la mayoría de los contaminantes es similar, en donde se evidencia menor actividad que los días hábiles con inicio labores cerca a las 6 pm y finalización del medio día.

---

<sup>12</sup> Combustión de carbón bituminoso y subbituminoso <https://www3.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/final/c01s01.pdf>



**Figura 43. Perfil horario de las emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales**

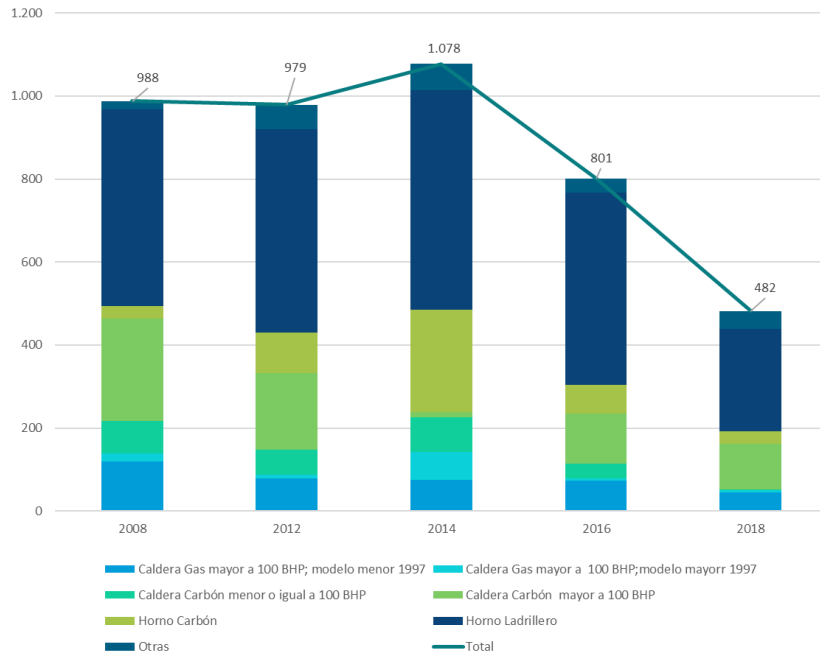
#### 5.4. Resultados históricos de los inventarios de emisiones por combustión en las fuentes fijas industriales

Las emisiones históricas para material particulado generado por los procesos de combustión de las fuentes fijas industriales se presentan en la Tabla 21, en donde se observa un decrecimiento en las 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, gasolina) a combustibles menos contaminantes como el gas natural.

**Tabla 21. Emisiones históricas de PM10 desde el año 2008 hasta el año 2018 de las emisiones de fuentes fijas industriales.**

Tipo de fuente	Emisiones (toneladas/año)				
	2008	2012	2014	2016	2018
Caldera Gas mayor a 100 BHP; modelo menor 1997	119	78	76	73	45
Caldera Gas mayor a 100 BHP; modelo mayor 1997	20	10	67	6	5
Caldera Carbón menor o igual a 100 BHP	79	59	84	36	2
Caldera Carbón mayor a 100 BHP	247	186	11	120	110
Horno Carbón	30	98	247	69	31
Horno Ladrillero	474	490	529	464	246
Otras	20	59	64	33	43
<b>Total</b>	<b>988</b>	<b>979</b>	<b>1078</b>	<b>801</b>	<b>482</b>

En general, revisando la distribución de aporte de emisión por tipo de fuente, año a año, han provenído principalmente de fuentes que utilizan combustibles sólidos como carbón y madera, como se observa en la Figura 44.



**Figura 44. Distribución histórica de las emisiones de PM10**



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

### 6.1. Inventario de emisiones

En la Tabla 22 se presentan los resultados del inventario de emisiones de material particulado resuspendido por categoría vehicular para el año 2018.

Tabla 22. Inventario de emisiones de material particulado resuspendido

Categoría vehicular	Emisiones (toneladas/año)	
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>
Camiones	3.824	414
Automóviles	18.799	1.913
Bus	5.828	615
Busetón	549	57
Microbús*	0	0
Biarticulados	35	8
Articulados	217	53
Alimentadores	180	22
Camperos y Camionetas	10.536	1.078
Transporte especial	253	33
Motocicletas	10.612	1.065
Taxis	819	83
<b>Totales</b>	<b>51.652</b>	<b>5.341</b>

\*No presenta emisiones dado que los flujos vehiculares utilizados no presentaban información para esta categoría vehicular.

#### 6.1.1. Desagregación especial de emisiones

En la Figura 45, se presenta la distribución espacial de las emisiones por material particulado resuspendido en vías. Respecto a las emisiones de PM<sub>10</sub>, se observa una mayor distribución de este contaminante en la ciudad comparado con el PM<sub>2.5</sub>, siendo un resultado lógico, dado que la mayoría de material particulado que se resuspende en las vías corresponde a un tamaño grueso de partícula.

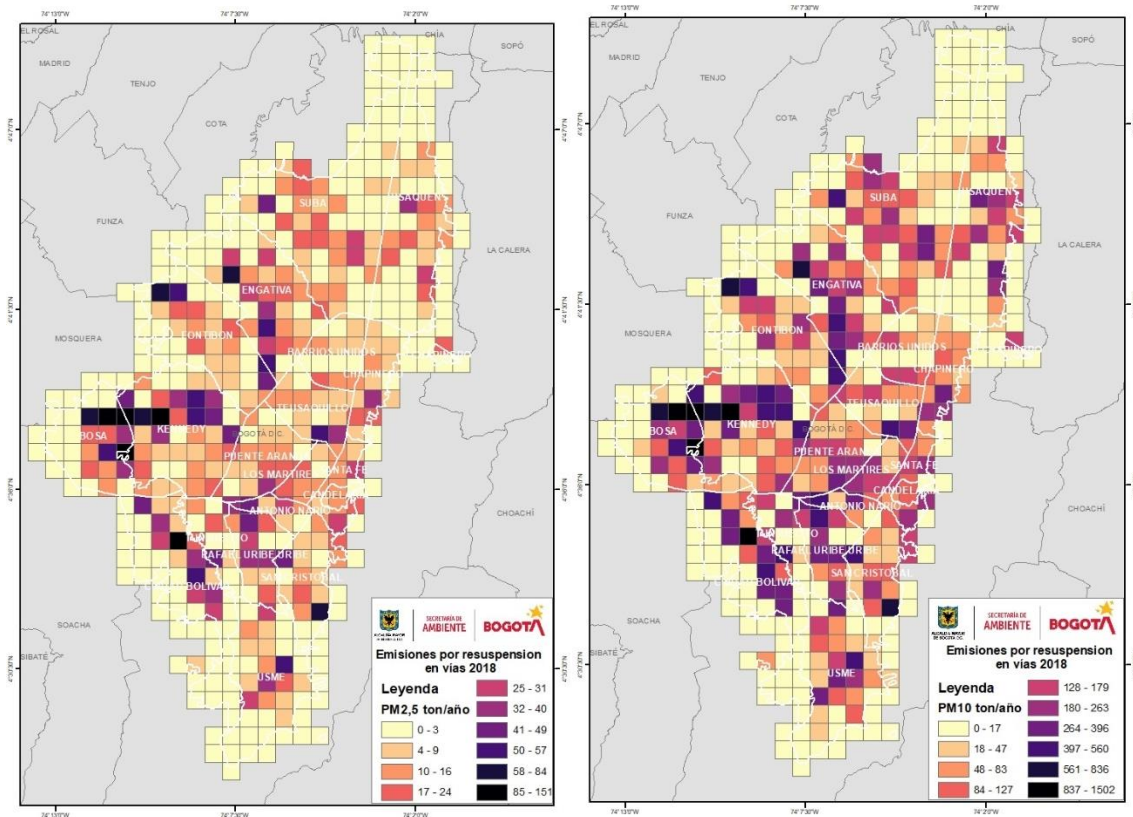


Figura 45. Distribución espacio temporal de emisiones por material particulado resuspendido en vías. Derecha: emisiones de PM<sub>2.5</sub>; izquierda: emisiones de PM<sub>10</sub>

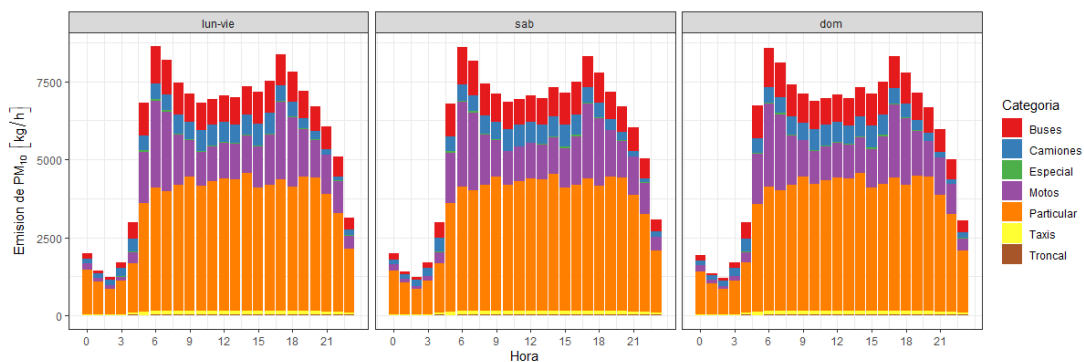
Por su parte, las localidades que presentan una mayor emisión de este material corresponden a las localidades de Kennedy, Bosa, Ciudad Bolívar, Suba, Engativá y Fontibón (Tabla 23). Siendo las tres primeras de la zona sur occidente de la ciudad, en donde se identifican una cantidad importante de vías sin pavimentar.

**Tabla 23. Emisiones por localidad de material particulado resuspendido de vías**

Localidad	Emisión (toneladas/año)		Participación en emisiones	
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>
KENNEDY	8.319	848	16%	16%
BOSA	6.088	619	12%	12%
CIUDAD BOLIVAR	5.706	577	11%	11%
SUBA	4.473	467	9%	9%
ENGATIVA	4.328	455	8%	9%
FONTIBON	3.893	410	8%	8%
USAQUEN	2.603	269	5%	5%
USME	2.568	261	5%	5%
SAN CRISTOBAL	2.452	250	5%	5%
RAFAEL URIBE URIBE	2.066	210	4%	4%
TEUSAQUILLO	1.737	188	3%	4%
PUENTE ARANDA	1.556	162	3%	3%
CHAPINERO	1.267	136	2%	3%
SANTA FE	1.177	122	2%	2%
TUNJUELITO	949	99	2%	2%
ANTONIO NARI O	889	91	2%	2%
LOS MARTIRES	833	88	2%	2%
BARRIOS UNIDOS	570	73	1%	1%
CANDELARIA	116	12	0%	0%
SUMAPAZ	0	0	0%	0%

### 6.1.2. Desagregación temporal horaria de emisiones

En la desagregación horaria de emisiones para material particulado resuspendido en vías se observa según las Figura 46 y la Figura 47, que las categorías de flujo vehicular con mayor impacto en emisiones corresponden a particulares (automóviles, camperos y camionetas), seguidas de los camiones y motos, las cuales tienen su mayor presencia en las horas de 6 a.m. a 9 a.m. y entre las 4 p.m. a 6 p.m. Estas horas hacen referencia a los horarios de mayor movilidad de los ciudadanos tanto en buses como en moto.



**Figura 46. Distribución horaria para material resuspendido, según categoría vehicular para el contaminante PM<sub>10</sub>.**

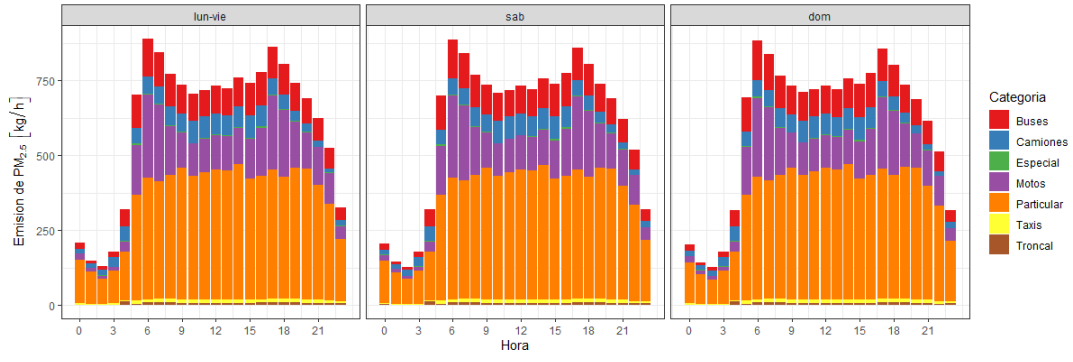


Figura 47. Distribución horaria para material resuspendido, según categoría vehicular para el contaminante PM<sub>2.5</sub>.

## 7. INVENTARIO CONSOLIDADO DE EMISIONES

A continuación, se presentan los resultados de los inventarios de emisión más actualizados de todas las fuentes para las cuales se cuenta con uno para la ciudad de Bogotá, incluidos aquellos reportados en este informe.

Tabla 24. Inventario Consolidado de emisiones para la ciudad representativo para el año 2018

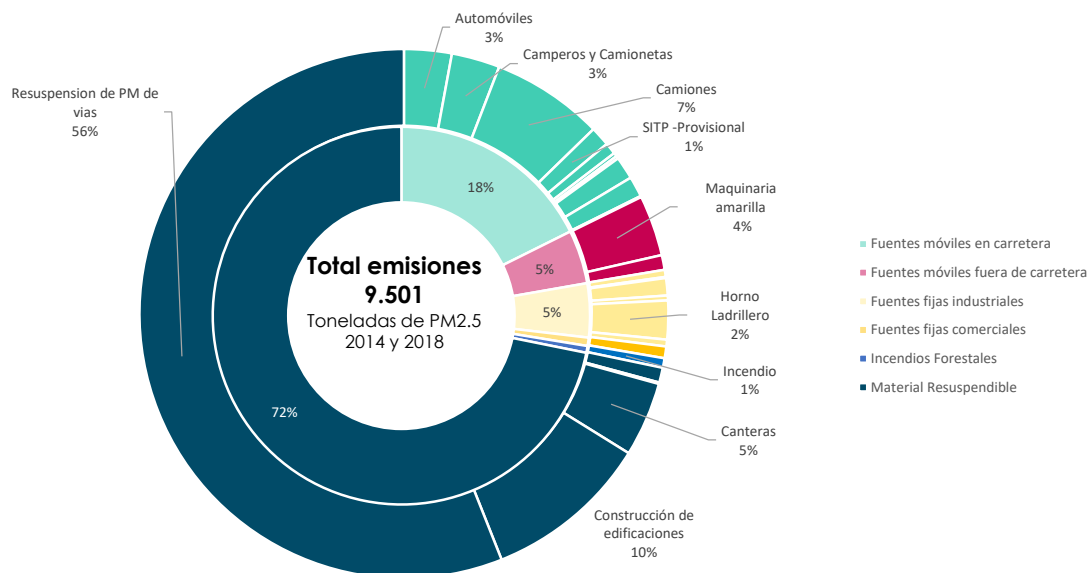
FUENTE		Metodología	Años del inventario	Emisiones (Toneladas/año)					
				PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	CO	VOC
MÓVILES	En carretera	Top- Down	2018	1.846	1.676	84.032	1.872	595.441	109.942
		Bottom-Up	2018	2.090	1.907	88.094	1.278	393.953	31.522
	Fuera de carretera <sup>13</sup>	Top- Down	2018	450	437	5.457	16	2.858	534
FIJAS	Industriales	Bottom-Up	2018	482	438	1.740	645	565	92
	Comerciales	Bottom-Up	2014	130	68	67	190	2.529	105
	EDS Y CAC	Bottom-Up	2012	-	-	-	-	-	23.786
FUENTES NATURALES Y FORESTALES	Incendios Forestales	Bottom-Up	2014	61	55	14	-	500	-
	Biogénicas	Bottom-Up	2012	-	-	-	-	-	2.037
MATERIAL PARTICULADO RESUSPENDIDO	Desgaste de frenos, llantas y superficies	Bottom-Up	2014	657	86	-	-	-	-
	Vías pavimentadas y no pavimentadas	Bottom-Up	2018	51.652	5.341	-	-	-	-
	Rehabilitación de vías	Bottom-Up	2014	110	8	-	-	-	-
	Terrenos Agrícolas	Bottom-Up	2012	5	-	-	-	-	-
	Canteras	Bottom-Up	2012	936	431	-	-	-	-
	Construcciones de edificaciones	Bottom-Up	2014	1.249	960	-	-	-	-
<b>TOTAL*</b>				<b>57.577</b>	<b>9.501</b>	<b>91.310</b>	<b>2.723</b>	<b>601.893</b>	<b>136.496</b>

\*Las emisiones totales suman únicamente las emisiones de las fuentes móviles en carretera estimadas a partir de la metodología Top-Down.

En la Figura 50. Consolidación de fuentes de emisiones para el contaminante PM<sub>2.5</sub> Figura 48 se presentan los resultados de la recopilación de los inventarios de emisiones estimados para PM<sub>2.5</sub>, que para la ciudad de Bogotá contemplan 9501 tonelada al año. Entre las fuentes destacadas por generación de este contaminante se destaca el material particulado resuspendido que proveniente principalmente de las de las vías de la ciudad (56%). La emisión de este material particulado depositado en las vías es debido al e paso de los vehículos, sin embargo, no tiene una

<sup>13</sup> 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+.

fuentes de generación específica, ya que puede ser producido por erosión eólica, arrastre desde otras fuentes de emisión, desgaste de frenos y llantas de los vehículos o el mismo desgaste de la superficie de las vías.



**Figura 48. Participación por tipo de fuentes en las emisiones totales de PM<sub>2.5</sub>**

Otra forma de reportar las emisiones consolidadas para la ciudad de Bogotá es dividiendo las emisiones en dos grandes grupos de acuerdo con la identificación de su fuente de emisión. El primer grupo son las emisiones básicas, que corresponden a aquellas en las que su generación se puede relacionar directamente con una fuente de emisión. Estas integran emisiones por material resuspendido como construcciones, canteras, fuentes de emisión móviles y fijas, entre otras (Figura 49). El segundo grupo corresponde a las emisiones no asociadas y son aquellas que no tienen una fuente de generación directa. Este es el caso de las emisiones de material particulado resuspendido en las vías de la ciudad.

La presentación grafica de esta clasificación de emisiones, para las fuentes de emisión se presenta en la Figura 49.

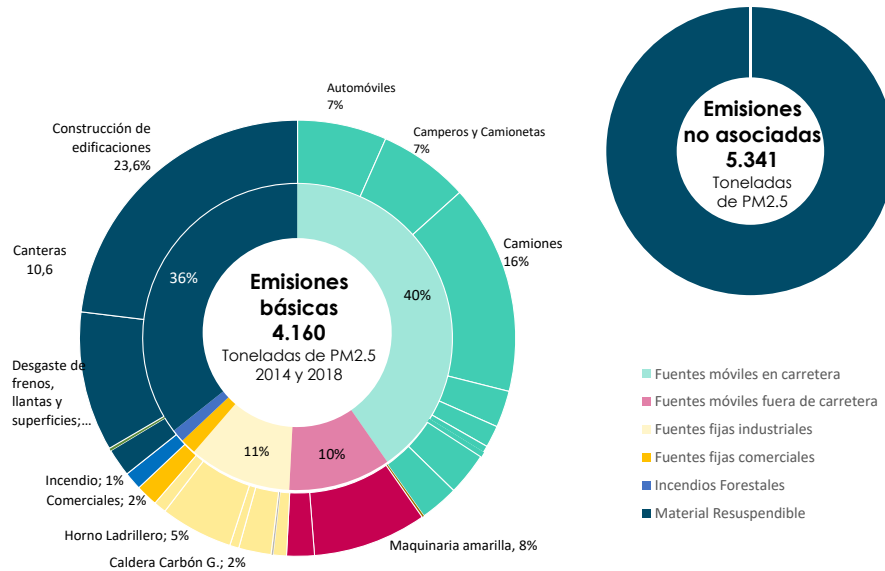


Figura 49. Participación por tipo de emisiones y tipo de fuentes en las emisiones totales de PM<sub>2.5</sub>

### 7.1. Desagregación espacial de las emisiones totales

De la Figura 50 y Figura 55, se presentan los mapas de desagregación espacial de las emisiones totales entoneladas año de los contaminantes PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> y VOC. Estos mapas corresponden a la suma de las emisiones por combustión de las fuentes fijas industriales y comerciales, las emisiones de las estaciones de servicio, las emisiones por combustión de las fuentes móviles en carretera y material particulado resuspendido (construcciones, canteras, vías pavimentadas y no pavimentadas).

En relación para el PM<sub>10</sub> mostrado en la Figura 50, se presentan dos puntos de alta de emisión, que corresponden a su ubicación a canteras. Adicionalmente, otras zonas de la ciudad como sur y el norte presentan también emisiones significativas.

Para el PM<sub>2.5</sub>, se observa una mayor distribución de las emisiones en toda la ciudad, en comparación a las emisiones del PM<sub>10</sub>. Aun así, observan también para este contaminante, los puntos de alta concentración referentes a las canteras. Las demás emisiones en la ciudad se encuentran relacionadas a las emisiones por material particulado resuspendido.

Los NO<sub>x</sub> y CO se asocian a emisiones generadas por procesos de combustión. En este caso, las emisiones representan claramente en el mapa las mayores concentraciones en las vías principales de la ciudad, asociadas a la combustión interna de los vehículos.

Con respecto a los SO<sub>2</sub>, las emisiones de este contaminante se encuentran asociada a las emisiones fuentes fijas por hornos crematorio y hornos ladrilleros, fuentes móviles y comerciales. Se observan mayores emisiones en las localidades de Fontibón, Teusaquillo y Usme.

Y finalmente para los VOC, que en su mayoría se asociadas principalmente de las fuentes móviles en carretera y estaciones de servicio, presentan las mayores emisiones en las localidades de Usaquén, Teusaquillo y Chapinero.

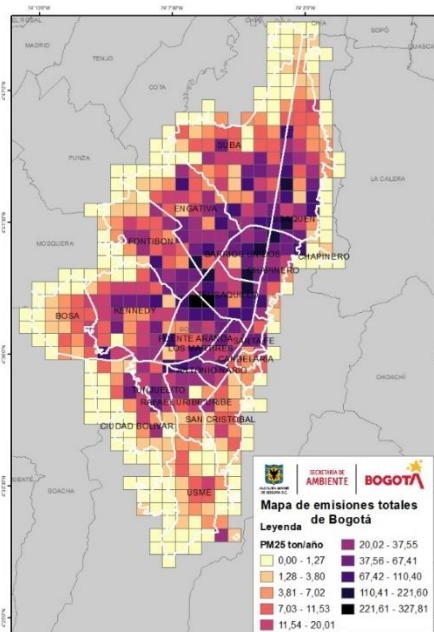


Figura 50. Consolidación de fuentes de emisiones para el contaminante PM<sub>2,5</sub>

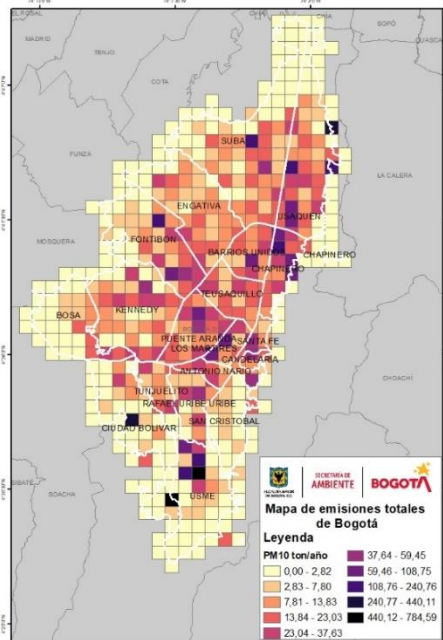


Figura 51. Consolidación de fuentes de emisiones para el contaminante PM<sub>10</sub>



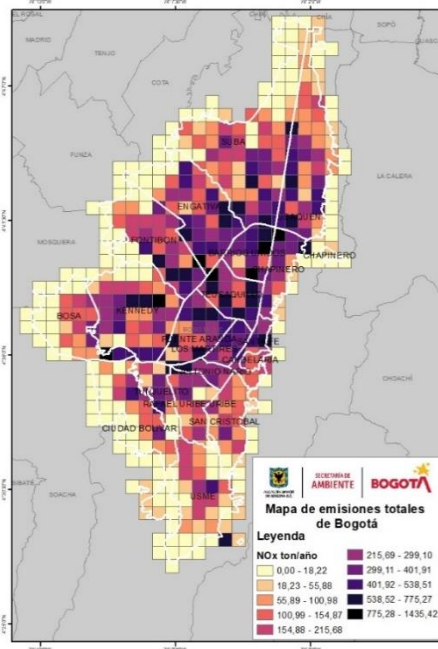


Figura 52. Consolidación de fuentes de emisiones para el contaminante NO<sub>x</sub> Fuente: Propia

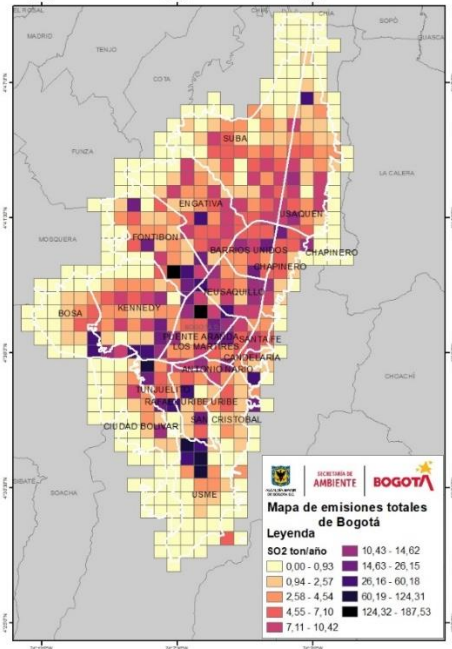


Figura 53. Consolidación de fuentes de emisiones para el contaminante SO<sub>2</sub>

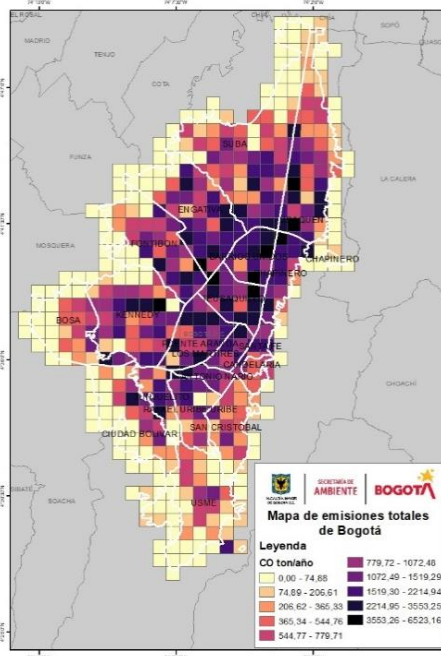


Figura 54. Consolidación de fuentes de emisiones para el contaminante CO

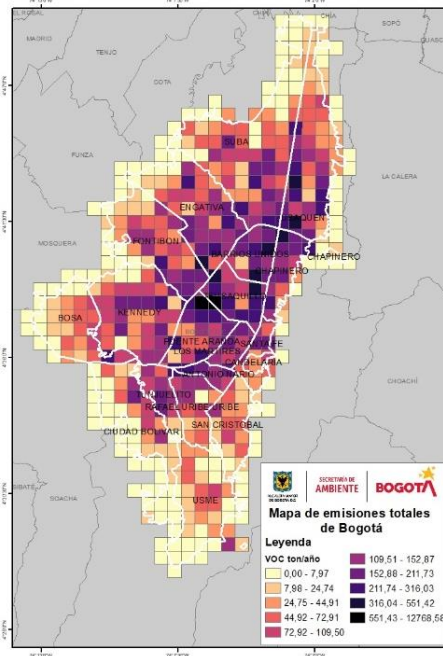


Figura 55. Consolidación de fuentes de emisiones para el contaminante VOC

## 8. OPORTUNIDADES DE MEJORA

A continuación, se presentan las oportunidades de mejora que puede tener el inventario de emisiones y de las cuales invitamos a ser partícipes a la academia, centros de investigación, ONG, entidades internacionales entre otras.



**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.



**Reducir los tiempos de estimación de los inventarios:** A partir de: - uso de herramientas de programación – mejorar los canales de transferencia de información entre entidades – colaboración con instituciones académicas y de investigación.



**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 residenciales, 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, pero que por motivos de como escasa información o complejo procesamiento de la información no se han podido actualizar. Ejemplo de esto son: incendios forestales, biogénicas, estaciones de servicio, entre otras.



**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.



## 9. BIBLIOGRAFÍA

Steer Davies Gleave. (2015). *Actualización y ajuste de la matriz origen destino de transporte de carga en la ciudad de Bogotá D.C.* Secretaría Distrital de Movilidad.

Universidad de La Salle, & SDA. (2013). *Informe estimación inventario de material particulado resuspendido, contrato 1467 de 2013.*

Universidad de la Salle, & SDA. (2019). *Informe convenio 20191239 - Caracterización química de material particulado de Bogotá.*

Universidad Nacional, & SDA. (2013). *Informe Convenio 013/2012.*

Universidad Nacional, & SDA. (2013). *Informe convenio 015/2013.*

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