



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CONTAMINANTES PROVENIENTES DE FUENTES MÓVILES EN LA JURISDICCIÓN CAR

AURA LILIANA ROJAS PÉREZ

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental
Bogotá, Colombia
2015

ESTIMACIÓN DE EMISIONES DE CONTAMINANTES PROVENIENTES DE FUENTES MÓVILES EN LA JURISDICCIÓN CAR

AURA LILIANA ROJAS PÉREZ

Tesis de maestría presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería Ambiental

Director:

Néstor Yezid Rojas Roa, Ph.D.

Grupo de Investigación:

Calidad del Aire

Línea de Investigación:

Inventario de Emisiones

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental

Bogotá, Colombia

2015

***A la presencia de Dios en mi vida, Papá, Mamá,
Hermanos, Pipe.***

La alegría me abre todas las puertas, hace que toda tarea sea bella y útil, multiplica mis aciertos y atenúa (por no decir perdona) mis errores.

La alegría me obliga a vivir el presente de tal manera que no hay lugar para la nostalgia, que solo aparece cuando uno se distrae de la vida, que está en el presente.

¡Cuida el presente! decía mi madre, porque en esta estación pasarás el resto de la vida.

Facundo Cabral

Agradecimientos

A la vida, por permitirme recorrer y culminar este camino de aprendizaje.

A mis hermosos padres Rosa y Pedro por ser fuente de amor, fortaleza y apoyo infinito en cada paso.

A mis hermanos Miguel y Juan por estar siempre presentes.

A Diego Felipe, por ser sonrisa y mirada de amor que ilumina mi corazón.

A mi Tía Negrita por ser esa luz a seguir y Tía Zenaida cómplice incondicional.

A mi Familia quienes me enseñan el valor de luchar día a día.

Al Profesor Néstor Rojas, Director de esta investigación y principal motivador de que las cosas siempre se pueden hacer mejor.

Al Profesor Mauricio Osses, por su acompañamiento y disposición en cada etapa desarrollada.

A los Profesores Rodrigo Jiménez y Luis Carlos Belalcázar, por compartir sus valiosos conocimientos, cada uno a su mejor estilo.

A Patricia, Alexander, Edison, Sebastián, y Carlos Mario, compañeros de lucha en este maravilloso proceso.

A mis Amigos por su alegría, dispuestos siempre a escuchar.

Al Grupo de Investigación de Calidad de Aire, especialmente a mis compañeros participantes en el desarrollo de la campaña de campo.

A la Corporación Autónoma de Regional de Cundinamarca, Autoridades y personas colaboradoras en cada municipio.

Resumen

Diferentes ejercicios de estimación de emisiones provenientes de fuentes móviles han sido realizados en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional – CAR – en los años 2008, 2009 y 2010, en los cuales se ha utilizado el modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE, por sus siglas en inglés) para estimar las emisiones de CO, COV, NO_x, SO_x y PM. Los inventarios estimados anteriormente cuentan principalmente con tres limitaciones. En primer lugar, la cobertura no abarca la totalidad de la región, ya que fueron desarrollados sólo para tramos vehiculares específicos. En segundo lugar, se han basado en información recolectada por medio de encuestas y conteos vehiculares en las diferentes áreas seleccionadas, pero la distribución y la actividad de las flotas vehiculares, parámetros requeridos por el modelo IVE para la correcta aplicación de la metodología, no han sido caracterizadas. Por último, la incertidumbre de los inventarios, cualitativa o cuantitativa, no ha sido determinada.

La presente investigación tiene como propósito estimar el inventario de emisiones de fuentes móviles en la región de la jurisdicción CAR para el año base 2012, implementando la metodología IVE para la recolección de datos representativos de la región, incluyendo patrones de conducción y la actividad y distribución de la flota vehicular. La campaña de recolección de datos en campo incluyó información de diferentes vías tanto municipales como intermunicipales, así como la incorporación de datos provenientes de las entidades regulatorias. Adicionalmente, por medio de simulación de Monte Carlo y propagación de errores se determinó la incertidumbre asociada al inventario. Las categorías vehiculares incluidas en la investigación fueron las flotas de vehículos particulares, buses, camiones, taxis y motocicletas.

El inventario junto con la incertidumbre (U) asociada muestran que en la región se emitieron, 1.523 ton PM₁₀/año ($U = -235 +468$ ton PM₁₀/año), 109.253 ton CO/año ($U = -17.805 +33.942$ ton CO/año), 27.260 ton NO_x/año ($U = -3.942 +7.246$ ton NO_x/año), 250

ton $\text{SO}_x/\text{año}$ ($U = -33 +60 \text{ ton } \text{SO}_x/\text{año}$) y 24.820 ton $\text{COV}/\text{año}$ ($U = -5.422 + 11.279 \text{ ton } \text{COV}/\text{año}$), en el año 2012. Los vehículos particulares, taxis y motocicletas emiten primordialmente CO. En el caso de NO_x y SO_x , la flota de buses, camiones y vehículos de pasajeros son las principales fuentes de emisión. Las motocicletas constituyen la principal fuente de COV y la tercera fuente de PM_{10} , después de la flota de camiones y buses.

Palabras clave: Inventarios de emisión, fuentes móviles, Modelo Internacional de Emisiones (IVE), incertidumbre, contaminantes criterio.

Abstract

Several estimation exercises of mobile-source emission inventories have been conducted for Cundinamarca's Environmental Agency (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, CAR) in 2008, 2009 and 2010. The International Vehicle Emissions (IVE) model has been used to estimate CO, VOC, NO_x and PM emissions.

These emission inventory estimates have three limitations. Firstly, they do not cover the entire region, but only some road sections. Secondly, they have been based primarily on information collected through surveys and vehicle counts on selected areas, but the fleet distribution and activity have not been characterized, which means that the IVE methodology has not been fully implemented. Finally, the uncertainty of the inventories has not been determined.

This work aims to re-estimate the mobile-source emission inventory, this time for the base year 2012, in the whole CAR jurisdiction, implementing the IVE methodology to collect the fleet driving patterns, activity and distribution for passenger cars, buses, trucks, taxis and motorcycles. The data collection campaign included information from different urban and intercity roads, as well as data collected by governmental institutions. Finally, the uncertainty of the inventory was quantified using Monte Carlo's simulations and error propagation.

The emissions and uncertainty (U) results show emissions of 1.523 ton PM_{10} /year ($U = -235 +468$ ton PM_{10} /year), 109.253 ton CO/year ($U = -17.805 +33.942$ ton CO/year), 27.260 ton NO_x /year ($U = -3.942 + 7.246$ ton NO_x /year), 250 ton SO_x /year ($U = -33 +60$ ton SO_x /year) and 24.820 ton COV/year ($U = -5.422 + 11.279$ ton COV/year), during 2012. Passenger cars, taxis and motorcycles emit mostly CO. Buses, trucks and passenger cars are the main sources of NO_x and SO_x emissions. Motorcycles are the main VOC source and the third emission source of PM_{10} , after truck and bus fleets.

Keywords: Emission Inventory, Mobile sources, International Vehicle Emissions Model (IVE), uncertainty, pollutant criteria.

Contenido

	Pág.
Resumen	V
Lista de gráficas	XI
Lista de figuras.....	XI
Lista de tablas	XII
Lista de ecuaciones	XII
Lista de Símbolos y abreviaturas.....	XIII
Introducción	15
1. Planteamiento del problema.....	20
2. Justificación de la investigación.....	25
2.1 Objetivo general.....	26
2.2 Objetivos específicos.....	26
3. Marco Teórico.....	27
3.1 Inventario de emisión.....	27
3.2 Fuentes móviles de emisión.....	28
3.3 Contaminantes generados por fuentes móviles de emisión	28
3.3.1 Motores a gasolina.....	30
3.3.2 Motores diésel.....	31
3.4 Sistemas de distribución de combustible	32
3.5 Sistemas de control de emisiones	33
3.6 Patrones de conducción	36
3.7 Metodologías de estimación de emisiones por fuentes móviles	37
3.7.1 Factores de emisión.....	39
3.7.2 Modelos empleados (aplicaciones de <i>software</i>)	40
3.8 Metodologías de estimación de incertidumbre asociada al inventario de emisiones.....	45
4. Metodología.....	49
4.1 Desarrollo y obtención de factores de emisión.....	49
4.1.1 Selección zona de estudio	49
4.1.2 Diseño y desarrollo de la campaña de campo.....	53
4.1.3 Grabación de flujos vehiculares	59

4.1.4	Distribución y caracterización de las categorías vehiculares.....	60
4.1.5	Procesamiento de información.....	61
4.1.6	Generación de factores de emisión.....	66
4.2	Estimación del inventario de emisiones.....	68
4.3	Estimación de incertidumbre	71
4.3.1	Función de densidad de probabilidad	72
5.	Resultados	73
5.1	Caracterización del parque automotor.....	73
5.2	Patrones de conducción	75
5.3	Factores de emisión	77
5.4	Procesamiento y análisis de información del factor de actividad	82
5.4.1	Kilómetros vehiculares recorridos	82
5.4.2	Cantidad de vehículos por categoría.....	86
5.5	Inventario de emisiones e incertidumbre asociada	87
6.	Conclusiones y recomendaciones	94
6.1	Conclusiones.....	94
6.2	Recomendaciones.....	97
A.	Anexo: Bases de datos generadas. Archivo Flota.....	99
B.	Anexo: Estadísticos de Ajuste. Factores de Emisión	106
	Bibliografía	117

Lista de gráficas

Gráfica 1. Inventario de emisiones por fuentes móviles, jurisdicción CAR, años 2008, 2009 y 2010.	21
Gráfica 2. Composición del gas de escape de motores operados con gasolina.....	30
Gráfica 3. Composición del gas de escape de motores operados con diésel	31
Gráfica 4. Distribución porcentual actividad económica jurisdicción CAR.	50
Gráfica 5. Distribución categorías vehiculares y uso de combustible.....	73
Gráfica 6 Características de conducción en la jurisdicción – Distribución de bins.....	76
Gráfica 7. VKT promedio por categoría vehicular	83
Gráfica 8 Cantidad de vehículos registrados por año modelo según categoría vehicular.	86
Gráfica 9 Contribución a la emisión por categoría vehicular	88
Gráfica 10 Comparativo de emisiones con inventarios anteriores	89
Gráfica 11 Incertidumbre asociada al inventario estimado por contaminante criterio.....	90
Gráfica 12 Incertidumbre asociada a la emisión de PM ₁₀ y CO.....	91
Gráfica 13 Incertidumbre asociada a la emisión de NO _x y SO _x	91
Gráfica 14 Incertidumbre asociada a la emisión de COV.....	92

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 Esquema general del proceso de estimación de incertidumbre	48
Figura 2. Zona de estudio. Municipios (Izquierda). Vías Intermunicipales (Derecha).	53
Figura 3. Actividades de la campaña de campo.	54
Figura 4 Monitor de actividad vehicular (VAM)	54
Figura 5 Rutas para recolección de datos en el municipio de Mosquera.	56
Figura 6 Captura de datos para vehículo particular.	57
Figura 7 Instrumentación taxi y motocicleta.....	58
Figura 8 Instrumentación y persecución a camiones	59
Figura 9 Grabación de flujo vehicular	59
Figura 10 Diligenciamiento de encuestas.	60
Figura 11 Estimación de potencia específica vehicular (VSP)	62
Figura 12 Evolución de la calidad del diésel en Colombia	63
Figura 13 Evolución de la calidad de la gasolina en Colombia	64
Figura 14 Resumen contraste de hipótesis de VKT por categoría vehicular.	84
Figura 15 Gráficos P-P distribución de VKT por flota vehicular.....	85

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Cantidad de vías incluidas en los inventarios realizados	22
Tabla 2. Intervalos para Histogramas de Frecuencias.....	51
Tabla 3. Clasificación de tamaño vehicular según categoría.	66
Tabla 4. Calendario de propiedades de los combustibles y categorías vehiculares.	67
Tabla 5. Desagregación de los factores de emisión estimados	69
Tabla 6. Ubicación de las Secretarías de Tránsito y Transporte.....	70
Tabla 7. Caracterización del parque automotor	74
Tabla 8. Velocidad promedio según tipo de vía y categoría vehicular.	76
Tabla 9. Factores de emisión en ruta según categoría vehicular.....	79
Tabla 10. Factores de emisión por partidas según categoría vehicular.	79
Tabla 11. Factores de emisión globales en ruta según categoría vehicular.....	80
Tabla 12. Factores de emisión globales por encendidos según categoría vehicular.	80
Tabla 13. Parámetros de la distribución Lognormal.	81
Tabla 14. Parámetros de la distribución Weibull estimados.....	84
Tabla 15. Emisiones vehiculares totalizadas por categoría vehicular	87
Tabla 16. Resultados de la emisión en ruta estimada y la simulación de MC.....	90

Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Potencia específica vehicular (VSP)	37
Ecuación 2. Estimación de emisión de contaminantes criterio.	38
Ecuación 3. Proceso de cálculo general IVE.....	44
Ecuación 4. Combinación de incertidumbres – Propagación de errores – multiplicación	46
Ecuación 5. Combinación de incertidumbres – Propagación de errores – suma y resta.	47
Ecuación 6. Ecuación general de estimación de emisiones en ruta.	68
Ecuación 7. Ecuación general de estimación de emisiones por partida.	69
Ecuación 8. Estimación de kilómetros recorridos anualmente.....	70

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>IVE</i>	International Vehicle Emissions Model Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares.
<i>GEI</i>	Gases Efecto Invernadero
<i>PM₁₀</i>	Material Particulado menor a 10 micrómetros de diámetro
<i>COV</i>	Compuestos Orgánicos Volátiles
<i>NO_x</i>	Óxidos de Nitrogeno
<i>SO_x</i>	Óxidos de Azufre
<i>CO</i>	Monóxido de Carbono
<i>THC</i>	Hidrocarburos Totales
<i>PCV</i>	Positive crankcase ventilation Sistema de ventilación positiva del Cáster
<i>EGR</i>	Exhaust gas recirculation Recirculación de gases de escape
<i>MPFI</i>	Multipoint full injection Inyección multipunto
<i>SPFI</i>	Single point full injection Inyección mono punto
<i>FE</i>	Factor de emisión
<i>FA</i>	Factor de actividad
<i>VKT</i>	Vehicle Kilometres Travelled Kilómetros vehiculares recorridos
<i>CAR</i>	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
<i>CDA</i>	Centros de Diagnóstico Automotor
<i>VAM</i>	Vehicle Activity Monitor
<i>VSP</i>	Vehicle Specific Power Potencia específica vehicular
<i>FDP</i>	Función de Densidad de Probabilidad
<i>GVWR</i>	Gross vehicle weight rating Peso bruto vehicular

Abreviatura **Término**

I/M Inspección y mantenimiento

RUNT Registro Único Nacional de Tránsito

Introducción

Los inventarios de emisiones son el núcleo de la comprensión de los problemas ambientales, compilados tanto para fines de política pública como para fines científicos, constituyéndose en herramientas básicas para el seguimiento de los avances de la aplicación de políticas ambientales y convirtiéndose en insumo para evaluaciones retrospectivas y prospectivas de concentraciones de contaminantes en el aire y los impactos asociados (Pulles & Heslinga). En general, para los propósitos de un inventario de emisiones, las fuentes de emisión se agrupan en cuatro categorías principales: fuentes puntuales o fijas, fuentes de área, fuentes móviles y fuentes naturales. (INECC, 2005).

Diferentes estimaciones han demostrado que las fuentes móviles aportan principalmente emisiones de monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Estimaciones realizadas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) determinaron que dichas fuentes contribuyeron al inventario nacional del año 2012, con 56% de las emisiones de CO y 61% de NO_x (USEPA, 2015). En la Zona Metropolitana del Valle de México, las emisiones por fuentes móviles contribuyeron en el año 2012, a la generación de 98,2% de CO y 87,7% de NO_x (S. d. M. Ambiente, 2012). Una situación similar ocurrió en el Distrito Metropolitano de Quito en el año 2011, en cuyo caso las emisiones estimadas de CO y NO_x contribuyeron al inventario en 98,5% y 69,2% respectivamente (S. d. Ambiente, 2014).

En el contexto colombiano, se han realizado diversos ejercicios para la cuantificación de las emisiones de contaminantes criterio generadas por fuentes móviles. Sin embargo, estas estimaciones se han estimado en ámbitos locales, principalmente en las grandes ciudades. Dichos ejercicios han involucrado metodologías de estimaciones directas e indirectas, tanto de factores de emisión como en la estimación del inventario.

En Bogotá, en el marco del proyecto IVE Bogotá de 2005 (Giraldo & Behrentz, 2006), se estimó el inventario de PM₁₀, CO, COV, NO_x, SO_x, GEI, y sustancias tóxicas para la ciudad, mediante la aplicación de la metodología de Modelo Internacional de Emisiones (IVE, por sus siglas en inglés). El estudio incluyó las categorías de vehículos particulares, motocicletas, buses y camiones. Por medio de la campaña de campo, se recolectó información de estilos de conducción y patrones de encendido del vehículo, además de la caracterización del parque automotor de la ciudad. Los resultados mostraron que se emitieron 822.500 ton/año para CO, 49.350 ton/año para NO_x, 1.974 ton/año de PM₁₀, 65.800 ton/año para COV, y 2.303 ton/año para SO_x. Este estudio no incluyó la estimación de incertidumbres del inventario.

En el mismo año 2005, el proyecto START (Behrentz, Belalcazar, & Echeverry, 2005), tuvo la estimación de gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄ y N₂O) y contaminantes criterio (CO, NO_x y THC) como principal objetivo. Los factores de emisión empleados fueron tomados de California, obtenidos a través de pruebas en dinamómetro. Sin embargo, para ser aplicados en el contexto bogotano, fue necesaria la homologación de categorías vehiculares entre California y Bogotá. Los factores de emisión empleados se validaron por medio de una corta campaña de campo, en la cual se empleó un sistema medidor de emisiones de CO, NO_x, THC y se estimaron cantidades de CO₂ a partir de mediciones de O₂ y contenido energético. Los resultados mostraron que se emitieron 230.000 ton/año de CO, 12.000 ton/año de NO_x, 25.000 ton/año de THC, y las emisiones de GEI se cuantificaron en 3'059.000 ton CO₂ equivalente /año. Este estudio tampoco incluyó la estimación de incertidumbre.

Para la modelización de calidad de aire de Bogotá, tomando como base el año 2002, se aplicó una combinación de técnicas para la estimación y evaluación del inventario de emisiones (Zarate, Belalcazar, Clappier, Manzi, & Bergh, 2007). Se incluyeron fuentes de emisión de producción y servicios (divididas en fuentes puntuales y fuentes de área), tráfico aéreo, fuentes biogénicas y fuentes móviles. Específicamente para las emisiones de fuentes móviles, se emplearon dos enfoques. El primero consistió en el cálculo de las emisiones con los factores de emisión de la base de datos CORINAIR; el segundo, se enfocó en la obtención de factores de emisión a través de mediciones de aire ambiente en un cañón urbano y la aplicación de modelación inversa. Se evaluaron las emisiones

de NO_x , CO, PM_{10} y COVNM. Las emisiones fueron superiores al realizar las estimaciones con los factores de emisión con base en mediciones y modelación inversa directamente en Bogotá. Los resultados obtenidos por medio de CORINAIR fueron 165 ton CO/día, 39 ton NO_x /día, 1 ton PM_{10} /día y 42,6 ton COVNM/día, mientras que con los factores de Bogotá los resultados obtenidos fueron 838,8 ton CO/día, 37,4 ton NO_x /día, 4,5 ton PM_{10} /día, y COV 130,4 ton COVNM/día. Dentro de esta investigación se establece que una de las principales limitaciones para la estimación del inventario se encuentra relacionada con la baja calidad y/o inexistencia de datos necesarios para ingresar al modelo, tales como composición y distribución de la flota, número de vehículos, velocidad promedio, entre otros. De igual manera, para obtener factores de emisión más realistas a las condiciones de la ciudad, se requiere información de mantenimiento de la flota, patrones de conducciones locales y efectos de altitud. Aunque este estudio no reporta incertidumbre cuantitativa, se mencionan tres importantes fuentes de incertidumbre, la primera fuente es la calidad de la información de ingreso, segundo, la extrapolación realizada a partir de la información existente para completar datos restantes y en tercer lugar, la metodología del modelo empleado se ha aplicado en países europeos y no necesariamente se encuentra optimizada para otros países.

En el año 2009, se llevó a cabo la actualización al inventario de emisiones de fuentes móviles para Bogotá por medio de mediciones directas (Rodríguez & Behrentz, 2009). La actualización se realizó para los vehículos que operan con gasolina, ACPM (diésel) y gas natural vehicular. La metodología aplicada consistió en dos etapas; la primera fue la recopilación de información referente al tamaño y distribución vehicular, así como los factores de actividad. La segunda etapa consistió en la determinación de factores de emisión por medio de mediciones directas, para lo cual se realizaron 202 experimentos, utilizando técnicas de medición en tiempo y condiciones reales de operación vehicular. Se desarrollaron factores de emisión para CO_2 , CO, NO_x y HTC para vehículos de carga liviana, mientras que para vehículos de carga pesada se desarrollaron factores de emisión de $\text{PM}_{2.5}$. Se obtuvieron emisiones de 450.000 ± 70.000 ton CO/año, 30.000 ± 6.000 ton NO_x /año, 60.000 ± 10.000 ton THC/año y $4'800.000 \pm 300.000$ ton CO_2 /año y 1.100 ± 450 ton $\text{PM}_{2.5}$ /año. Los factores de emisión estimados mediante esta campaña se encuentran contenidos en el Plan Decenal de Descontaminación de Aire para Bogotá (SDA, 2010), desagregados por categoría vehicular, combustible, y características como tamaño del motor y utilización de sistemas de control de emisiones de escape.

Además de Bogotá, otras ciudades han desarrollado inventarios de emisiones. En la zona de Cali-Yumbo, se estimó el inventario de fuentes de área, fijas y móviles en el año 1997 (Jaramillo, Núñez, Ocampo, Pérez, & Portilla, 2004). Las emisiones de fuentes móviles, estimadas por medio del modelo MOBILE 6, fueron 318.053 ton CO/año, 29.260 ton COV/año, 18.966 ton NO_x/año, 4.133 ton SO_x/año y 1.052 ton PM₁₀/año, contribuyendo al 80,44% de inventario total estimado para la zona Cali-Yumbo. No se hizo una estimación de la incertidumbre.

En el Área Metropolitana del Valle de Aburra (AMVA, 2010), la estimación del inventario de emisiones por fuentes móviles se ha realizado por medio del modelo Emisión de Tráfico Rodado para Medellín y municipios aledaños (ETROME), desarrollado en 2001 por la Universidad Pontificia Bolivariana. El modelo consiste en una serie de subrutinas que calculan las emisiones relativas de las categorías vehiculares definidas y sus aportes a la emisión total en el dominio. Los datos de entrada para este modelo son la red vial de tránsito, la distribución de la flota, intensidad de tráfico horario (flujo vehicular), ecuaciones de balances de flujo en los nodos, longitud de las vías, velocidad promedio y factores de emisión (tomados del modelo IVE). En el año 2009 se estimaron emisiones de 166.899 ton CO/año, 29.324 ton NO_x, 1.669 ton SO_x/año, 2.377 ton PM₁₀/año y 2.075 ton PM_{2.5}/año. No se establecieron valores de incertidumbre.

La presente investigación hace parte de las estimaciones de inventarios de emisión proveniente del uso de vehículos en vía. En esta oportunidad, se desarrolla a nivel regional, abarcando la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). Se estimaron, inicialmente, los factores de emisión de manera indirecta, empleando el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE), para lo cual se ejecutó la campaña de campo correspondiente en diferentes vías municipales e intermunicipales representativas de la región. Se estimaron factores de emisión de contaminantes criterio para las categorías de vehículos particulares, motocicletas, taxis, camiones y buses. Posteriormente, se estimó el inventario total para la región incorporando factores de actividad expresados como kilómetros recorridos anuales y cantidad de vehículos por categoría para todos los municipios. Finalmente, e

incorporando el principio de exactitud de los inventarios, se realizó la estimación de incertidumbre asociada.

1. Planteamiento del problema

En la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) se han desarrollado tres inventarios de emisión anteriores al desarrollado en este trabajo. La Universidad Militar de Colombia estimó, para el año 2008, el inventario de fuentes puntuales y móviles de emisión, el cual se ejecutó en 10 provinciales, de las cuales se recolectó información de 31 municipios para fuentes fijas y 19 vías que abarcan 7 municipios, para el caso de fuentes móviles (CAR, 2008). Posteriormente, en el año 2009, la Universidad de Pamplona estimó nuevamente un inventario de emisiones, contemplando para fuentes fijas, 10 provinciales y 35 municipios, y, para fuentes móviles, 13 municipios y 35 vías (CAR, 2009). Finalmente, se cuenta con el inventario de emisiones para el año 2010, estimado por K2 Ingeniería, cuya cobertura para fuentes fijas se centró en 10 municipios y para fuentes móviles en 16 vías (CAR, 2010).

Cada uno de los inventarios anteriormente nombrados, se revisaron y evaluaron bajo los criterios de calidad que deben cumplir los inventarios de emisión (Pulles & Heslinga):

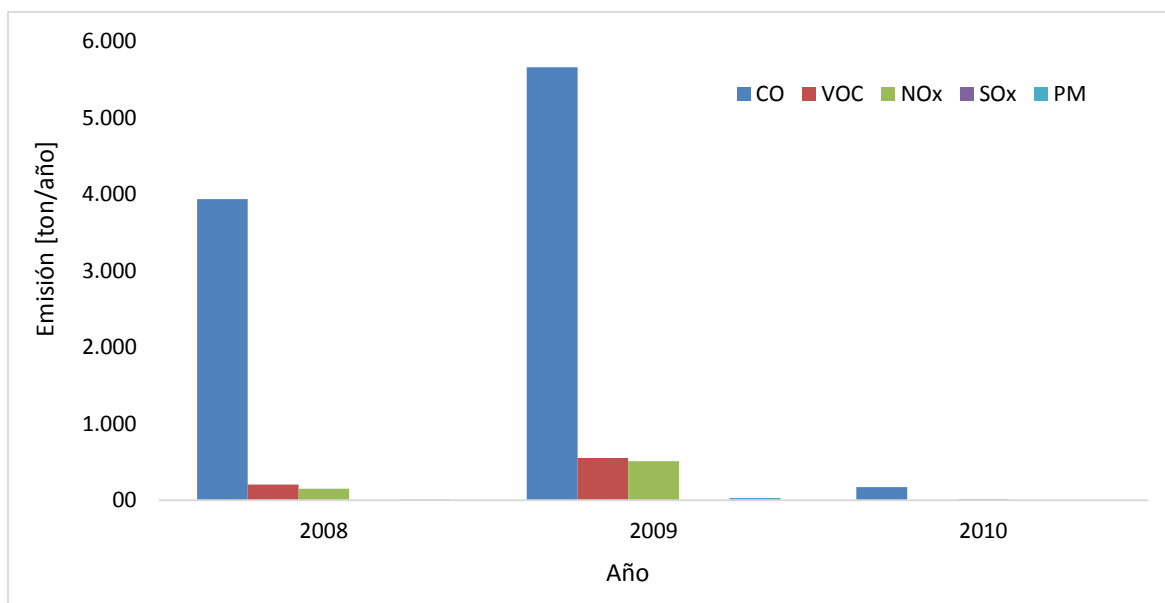
- *Transparencia:* las hipótesis y metodologías utilizadas en un inventario deben ser explicadas claramente.
- *Consistencia:* un inventario debe ser internamente coherente en todos sus elementos con inventarios de otros años, así como la implementación de la misma metodología entre ellos.
- *Comparabilidad:* las estimaciones de emisiones y absorciones notificadas por las partes en los inventarios deben ser comparables.
- *Integridad:* El inventario abarca todas las fuentes y sumideros, así como todos los gases.

- *Precisión*: es una medida relativa de la exactitud de una estimación de emisión o absorción.

Si bien la Corporación Autónoma Regional cuenta con tres inventarios que incorporan las emisiones provenientes de fuentes móviles, las estimaciones muestran diversas limitaciones, descritas a continuación.

En primer lugar, como se observa en la Gráfica 1, las emisiones presentan irregularidades con respecto a la tendencia, con un fuerte descenso en el año 2010. Esta no parece ser una tendencia creíble de las emisiones de fuentes móviles en una región que ha tenido un incremento constante del parque automotor y un crecimiento poblacional y económico sostenido. La principal explicación de este comportamiento es la diferencia en la cobertura de los inventarios, ya que éstos no han sido extendidos a toda la jurisdicción, sino que se han realizado sólo en algunos tramos viales específicos. No se conoce, entonces, una aproximación al inventario total, con la misma cobertura, para poder establecer la contribución de fuentes móviles a las emisiones de contaminantes en la jurisdicción y la tendencia real de las emisiones en el tiempo.

Gráfica 1. Inventario de emisiones por fuentes móviles, jurisdicción CAR, años 2008, 2009 y 2010.



Fuente: Elaboración propia. Datos base, Inventarios de Emisiones CAR.

Como se presenta en la Tabla 1, las provincias comunes consideradas en los inventarios son: Sabana Occidente, Sabana Centro y Soacha (únicas provincias tenidas en cuenta en el inventario de 2010). De estas provincias solo los municipios de Zipaquirá y Soacha fueron contemplados en los tres inventarios. Sin embargo, solo han incluido dos vías comunes (Carrera 10 en Zipaquirá y Panamá en Soacha). El municipio de Facatativá fue inventariado en 2008 y 2009, pero no se incluyeron vías en común. Funza y Madrid se incluyeron en 2008 y 2010 (con las vías Parque y Plaza de Funza en común) y Cajicá en 2009 y 2010 (con dos vías en común: Cra 6, Dg 2 Cra 6); Sopó y Cota solo se inventariaron en 2009 y Nemocón, Cogua y Sibaté únicamente en 2010.

En el caso de la provincia Alto Magdalena, se contempló solo en los inventarios de 2008 y 2009 para el municipio de Girardot, pero con diferentes vías (tres en el inventario de 2008 y una en el inventario de 2009).

Para las provincias: Alto Magdalena, Chiquinquirá, Ubaté, Almeidas, Sumapaz, Tequendama y Gualivá se consideraron solo en el inventario de 2009. Finalmente, la provincia Bogotá – La Calera es contemplada únicamente en el inventario de 2008.

Tabla 1. Cantidad de vías incluidas en los inventarios realizados

Provincia	Municipio	Cantidad de vías inventariadas			
		2008	2009	2010	
Bogotá- La Calera	La Calera	Vía La Calera			
Sabana Occidente	Mosquera	Vía Carrefour Mosquera		Parque	
		Vía Mosquera Parque		Carrefour	
		Vía Mosquera Balcillas			
	Facatativá	Vía Faca Plaza-Parque		Cra 1° con CII 2°	
		Vía Faca Calle 15		Cra 12 con CII 2°	
		Vía Faca Cra 2			
	Funza	Vía Funza parque central			Parque
		Vía Funza Plaza			Plaza
		Vía Funza Cra 13 CII13 y Cra 10 CII14			
	Madrid	Vía Madrid			Interna
Sabana Centro	Zipaquirá	Vía Zipaquirá-Cogua	Calle 8°	CII 8°	
		Vía Zipaquirá Cra 10	Cra 10°	Cra 10°	
		Vía Zipaquirá éxito nuevo	Cra 15°		
			Calle 4°		
	Cajicá		Cra 6°	Cra Sexta	
			Dg 2 Cra 6°	Dg 2 Cra 6°	
	Nemocón			Vía Ubaté	
	Sopo		Cra 4°		
			Cra 6° - CII 8°		

			Variante	
			Cra 6°	
	Cogua			Zipa-Cogua
	Cota		Cra 5° - CII 11	
			La variante	
	Tocancipa - Sopó			Variante
Rio Negro	Pacho			
Soacha	Soacha	Chuzacá	Indumil	Indumil
			vía 64 Sur Compartir	
			Auto Sur N-S con Cra 13	
			Auto Sur con Cra 4°	
			Cra 7°	
			Secundaria San Mateo	
	Panamá		Panamá	
	Sibaté		Auto Sur S-N	
			Auto Sur N-S	
Alto Magdalena	Girardot	Vía en Girardot	Principal	
		Avenida Kennedy		
		Tramo de la vía Girardot- Tocaima		
Chiquinquirá	Chiquinquirá		Cra 10°	
			Principal	
Ubaté	Ubaté		Cra 4°	
			Cra 7°	
Almeidas	Villapinzón		CII 5°	
			Cra 1°	
Sumapaz	Fusagasugá		Cra 12	
			Principal	
			Cra 9°	
Tequendama	La Mesa		CII 8°	
			CII 3° con Cra 1°	
Gualivá	Villeta		vía del Centro	
			principal	

Fuente: Elaboración propia. Adaptado Convenio 746 CAR-UN

En segundo lugar, el modelo aplicado para la estimación de las emisiones vehiculares es el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE). Para la correcta implementación del modelo, se requiere la captura de información claramente establecida en la metodología propia del modelo (ver Marco Teórico). Sin embargo, los inventarios realizados se han basado principalmente en la información recolectada por medio de la aplicación de encuestas y conteos vehiculares en las diferentes zonas seleccionadas,

pero no se han hecho caracterizaciones de distribución y actividad de la flota en campo. Las encuestas y conteos son herramientas válidas para visualizar la categorización y distribución vehicular, pero no proporcionan información suficiente para determinar patrones y costumbres de conducción (insumos requeridos por el modelo), las cuales poseen un papel vital en la generación de emisiones de contaminantes, teniendo en cuenta que estos patrones varían dependiendo del tipo de vehículo (motocicletas, vehículos particulares, buses y camiones).

Finalmente, no se presenta una determinación de la incertidumbre asociada a los inventarios estimados.

2. Justificación de la investigación

Siendo los inventarios de emisión un requerimiento esencial dentro de la gestión de la calidad del aire y una importante herramienta para la toma de decisiones, y partiendo de la preocupación por los efectos de la calidad del aire urbano en la salud humana y la producción de ozono troposférico proveniente de las emisiones debidas al tráfico (Colville, Hutchinson, Mindell, & Warren, 2001), se genera la necesidad de identificar, determinar e incorporar, dentro de su desarrollo, parámetros que reflejen el comportamiento real de la zona de estudio, reduciendo adicionalmente el número de supuestos y permitiendo estimaciones de emisiones representativas basadas en características propias, que en este caso, se enfocan en el parque automotor de la jurisdicción de Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).

La presente investigación es de alta relevancia, ya que dentro de su desarrollo se implementó la metodología de recolección de información requerida por el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE), modelo que ha sido empleado parcialmente en los ejercicios anteriormente desarrollados en la región, pero que en esta oportunidad se abordó desde la captura de información directamente de la zona de estudio, con el fin de incorporar factores de actividad propios de la región. Así mismo, se incluyó la determinación del grado de incertidumbre asociada a la magnitud de la emisión por cada contaminante criterio incluido dentro del inventario: CO, NO_x, SO_x, PM₁₀ y COV. Lo anterior dio como resultado una mejor interpretación y un mejor procesamiento de la información requerida por el modelo, la cual podrá ser incorporada en la estimación de inventarios posteriores, permitiendo avanzar en el cumplimiento de los criterios de transparencia, consistencia, comparabilidad y completitud y exactitud, requeridos para asegurar la calidad de los inventarios de emisión estimados.

2.1 Objetivo general

Estimar la magnitud y la incertidumbre del inventario de emisiones de contaminantes criterio proveniente de fuentes móviles en la jurisdicción de la CAR mediante la aplicación del modelo IVE, a partir de información recolectada en campo.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar la distribución de la flota vehicular representativa en la jurisdicción.
- Determinar los patrones de actividad vehicular representativos en la jurisdicción.
- Estimar la emisión total de contaminantes criterio en la jurisdicción aplicando el modelo IVE.
- Identificar los aportes de emisiones de cada categoría vehicular.
- Determinar la incertidumbre asociada al inventario de emisiones por fuentes móviles.

3. Marco Teórico

3.1 Inventario de emisión

Un inventario de emisiones es una base de datos que enumera, según la fuente, la cantidad de contaminantes atmosféricos descargados en el ambiente durante un periodo de tiempo determinado, en una región definida (EPA, 2015b). Las emisiones son el resultado de actividades económicas y sociales como la industria, el transporte, el uso de productos, la agricultura y el tratamiento de residuos. Los datos de emisiones contenidos en los inventarios son el núcleo de la comprensión de los problemas ambientales (Pulles & Heslinga).

La generación de un inventario completo de emisiones es un paso importante en un proceso de gestión de la calidad del aire. Los inventarios de emisiones se utilizan para ayudar a determinar las fuentes significativas de contaminantes atmosféricos, establecer tendencias de las emisiones a través del tiempo, definir objetivos de las medidas reglamentarias y estimar la calidad del aire a través de modelos de dispersión. Un inventario de emisiones incluye estimaciones de las emisiones procedentes de diversas fuentes de contaminación en un área geográfica específica. Un inventario completo típicamente contiene todos los contaminantes regulados o criterio (EPA, 2015b).

Existen cuatro fuentes de emisión de contaminantes: las fuentes puntuales fijas o estacionarias, referentes a industrias y procesos específicos; fuentes móviles, que incluyen las diversas formas de transporte, como automóviles, camiones, aviones, etc.; fuentes de área, que se refieren a una serie de fuentes pequeñas, numerosas y dispersas, que no pueden ser incluidas de manera eficiente en un inventario de fuentes puntuales, pero que en conjunto pueden afectar la calidad del aire de una región; y fuentes naturales, de carácter biogénico y suelos (INECC, 2014).

3.2 Fuentes móviles de emisión

Las fuentes móviles, según su operación, se pueden clasificar en dos grupos: fuentes móviles fuera de ruta y fuentes móviles en ruta. Las fuentes móviles fuera de ruta incluyen aviones, equipamiento de construcción, barcos y trenes, mientras que las fuentes móviles en ruta incluyen cualquier fuente que normalmente opere en carreteras públicas, incluyendo vehículos de pasajeros, camiones, buses, motocicletas y vehículos de tres ruedas.

Las fuentes de emisiones en ruta son, típicamente, la principal de las fuentes en áreas urbanas. Debido al gran número y variedad de vehículos involucrados y al impacto que tienen los patrones de conducción en las emisiones, estas emisiones son difíciles de cuantificar. Por tal razón, se ha hecho un esfuerzo considerable para obtener factores de emisión y desarrollar aplicaciones de software que permitan realizar estimaciones de emisiones provenientes de este tipo de fuentes (Lents et al.).

Los tipos de emisiones provenientes de las fuentes móviles son fundamentalmente tres: las derivadas de la combustión cuando el motor se encuentra en condiciones de operación estables (emisiones en caliente), aquellas generadas cuando el motor se encuentra frío (emisiones por partidas en frío) y, por último, las emisiones evaporativas, relacionadas con la evaporación del combustible en el tanque de almacenamiento y los sistemas de transporte hacia el motor (COMANA, 2009).

3.3 Contaminantes generados por fuentes móviles de emisión

En la actualidad, la mayoría de los vehículos en ruta son potenciados por motores de combustión interna que se alimentan con gasolina, diésel, gas natural, propano o etanol (Lents et al.). Un motor de combustión interna basa su funcionamiento en el quemado de una mezcla comprimida de aire y combustible dentro de una cámara cerrada o cilindro, con el fin de incrementar la presión y generar potencia suficiente para desplazar el vehículo a la velocidad deseada y con la carga que se necesite transportar.

Mediante el proceso de la combustión, la energía química contenida en el combustible es transformada primero en energía calorífica, parte de la cual se transforma en energía cinética (movimiento), la que a su vez se convierte en trabajo útil aplicable a las ruedas propulsoras. La otra parte se disipa en el sistema de refrigeración y en el sistema de escape de gases de combustión, en el accionamiento de accesorios y en pérdidas por fricción.

En los motores a gasolina, es preciso preparar la mezcla de aire y combustible convenientemente dosificada, lo cual se realizaba antes en el carburador y en la actualidad se logra mediante inyectores controlados electrónicamente. Después de introducir la mezcla en el cilindro, es necesario provocar la combustión en la cámara de del cilindro por medio de una chispa de alta tensión que la proporciona el sistema de encendido. En los motores diésel, el encendido se logra por autoignición de la mezcla presurizada de aire y combustible.

La mayoría de los motores de combustión interna trabajan con base en un ciclo de cuatro tiempos. Algunos funcionan bajo el ciclo termodinámico de Otto (con combustible gasolina o gas) y otros bajo el ciclo termodinámico de Diésel (con combustible ACPM). Por lo tanto, su eficiencia está basada en la variación de la temperatura tanto en el proceso de compresión isentrópico, como en el calentamiento a volumen constante (Otto) o presión constante (Diésel) (SENA, 2011).

Los gases de escape del motor se crean como producto de las reacciones químicas entre el oxígeno del aire y el carbón, hidrogeno, azufre, y otros compuestos oxidables del combustible (Lents et al.). Es así como las fuentes móviles producen emisiones de gases directos de efecto invernadero de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O) procedentes de la quema de diversos tipos de combustible (IPCC, 2006b), y otros contaminantes generados por la combustión incompleta como el monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos (THC), el material particulado (PM), o los provenientes de la oxidación de las especies no combustibles presentes en la cámara de combustión (NO_x proveniente del N_2 contenido en el aire, SO_x proveniente del azufre en el combustible y lubricantes, etc.), que causan o contribuyen a la contaminación del aire local o regional. (Ntziachristos & Samaras, 2013).

3.3.1 Motores a gasolina

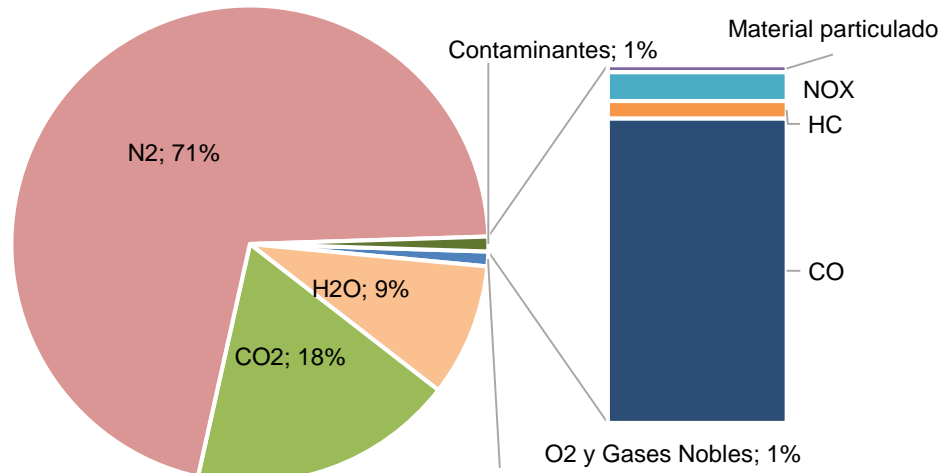
El motor de gasolina Otto es un motor de combustión por encendido externo que quema una mezcla de aire y combustible, transformando así la energía química contenida en el combustible en energía cinética.

Durante mucho tiempo estuvo en el carburador la función de preparar la mezcla de aire y combustible. El carburador forma la mezcla inflamable en el tubo de admisión, que aspira el aire necesario para la combustión.

Regulaciones normativas en cuanto a valores límite en la emisión de gases contribuyeron al avance de la inyección de gasolina, que hace posible una dosificación más exacta del combustible. El desarrollo de la inyección directa de gasolina trajo otras ventajas, particularmente en lo referente al consumo de combustible y al aumento de la potencia. Esta técnica inyecta el combustible en el momento preciso directamente en la cámara de combustión. (Bosch, 2003).

De manera general, en la Gráfica 2 se presenta la composición del gas de escape generado durante la combustión de los motores a gasolina.

Gráfica 2. Composición del gas de escape de motores operados con gasolina



Fuente: Elaboración propia. Adaptado de (CESVIMAP)

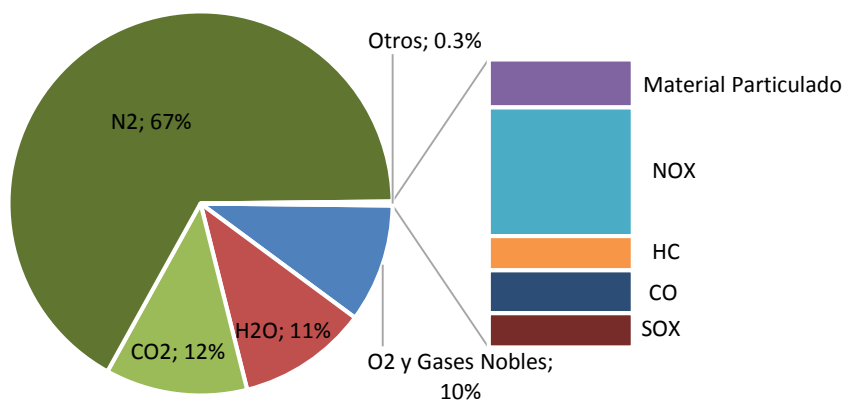
3.3.2 Motores diésel

En el Diésel, o motor de encendido por compresión, el combustible y el aire son mezclados directamente en los cilindros. Un volumen esencialmente constante de aire es aspirado dentro de los cilindros y se comprime. Cerca del final de ruta de compresión, el combustible bajo alta presión es pulverizado dentro del aire, que debido a que ha sido comprimido, se encuentra a una temperatura suficientemente elevada para ocasionar la ignición espontánea del combustible.

La salida de potencia en los motores Diésel es controlada por medio de la regulación de la cantidad de combustible inyectado dentro de los cilindros, por medio de una bomba capaz de suministrar cantidades variables de combustible a alta presión. (Schrenk, F.A.P.H.A, & L.B.Berger, 1941)

La combustión diésel inherentemente tiende a producir cantidades significativas de material particulado (PM) y óxidos de nitrógeno (NO_x). El calor extremo asociado con el proceso de combustión de compresión de diésel tiende a generar más NO_x. El bajo nivel de oxígeno en la zona de combustión alrededor de las gotas de combustible impide la combustión completa del diésel que contribuye a la emisión de hollín (carbón no quemado del combustible) también conocido como el material particulado (PM). (Forum, 2001)

Gráfica 3. Composición del gas de escape de motores operados con diésel



Fuente: Elaboración propia. Adaptado (Volkswagen)

3.4 Sistemas de distribución de combustible

Uno de los factores más importantes al minimizar las emisiones producidas en un motor alimentado por combustible de tipo gasolina, es mantener la razón aire/combustible cercana a la condición estequiométrica. Esta razón aire/combustible en un vehículo es controlada por el sistema de inyección de combustible. El sistema de inyección introduce una cierta cantidad de combustible al flujo de aire antes de cada ciclo de combustión.

Existen varios tipos de sistemas de inyección que se pueden encontrar en vehículos, pasando de sistemas mecánicos a sistemas electrónicos (Lents et al.), los cuales se describen a continuación:

- **Carburador:** Encontrado en vehículos de gasolina y gas natural, esta es la forma más antigua de control aire/combustible. Es un sistema mecánico en donde las válvulas de mariposa controlan el nivel de vacío en los inyectores de combustible, resultando un aumento en la disminución del flujo de combustible hacia el motor. La cantidad de vacío desplazado se relaciona solamente con la velocidad del motor.
- **Inyección de combustible monopunto (SPFI):** Esta es la primera forma de inyección de combustible electrónica. El combustible es inyectado después de la toma de aire antes de alcanzar el motor. La tasa de inyección normalmente es controlada al medir la razón aire/combustible varía según la cantidad de tiempo durante el cual la válvula de inyección está abierta.
- **Inyección de combustible multipunto (MPFI):** Esta es la forma más reciente de inyección de combustible, es similar a la inyección monopunto, sin embargo, el combustible se inyectado cerca de las válvulas de toma en cada cilindro del motor. Puede tener controles más sofisticados que se basan en más de un sensor de oxígeno para variar la cantidad de combustible entregada. Este sistema de inyección de combustible se encuentra en vehículos operados con gasolina y gas natural.

- **Adaptación de reconversión del motor:** Algunos sistemas de reemplazo han sido diseñados para convertir motores a gasolina y que operen con gas natural o propano.
- **Pre-inyección:** Esta es la forma más antigua de control aire/combustible para los motores diésel. Es similar a la inyección monopunto de los vehículos a gasolina, ya que el combustible es inyectado en un único punto en la toma de aire antes de llegar al motor.
- **Inyección directa:** Esta forma de control aire/combustible es similar a la inyección multipunto de los vehículos a gasolina ya que el combustible es inyectado en las válvulas de toma o directamente en la cámara de combustión.

3.5 Sistemas de control de emisiones

De manera general las emisiones automotrices se distribuyen de la siguiente manera, los gases de escape 60%, 20% provienen de las emisiones evaporativas de los depósitos de gasolina, como el tanque de combustible y la cuba del carburador y el 20% restante se generan por los residuos de la combustión que escapan de la cámara hacia el interior del motor y los vapores del cárter. (SENA, 2011)

La función primordial de los sistemas de control de emisiones es la de disminuir la salida de los gases contaminantes. Dentro de los controles de emisión se encuentran:

- **Sistema de ventilación positiva del cárter (PCV, por sus siglas en inglés):** Fue el primer control instalado. La ventilación positiva del cárter es un sistema que fue desarrollado para remover vapores dañinos del motor y prevenir que esos vapores sean expelidos a la atmósfera. El sistema PCV lleva a cabo esto mediante un cabezal de vacío para retirar los vapores del cárter hacia el múltiple de admisión. De ahí los vapores son llevados junto con la mezcla aire-combustible a la cámara de combustión en donde son quemados. El flujo o circulación dentro del sistema está controlado por la válvula PCV. La válvula PCV es efectiva como un sistema de ventilación del cárter y como un mecanismo de control de contaminación.(Council)

- **Control de emisiones evaporativas:** Los sistemas de control de emisiones evaporativas capturan las emisiones de hidrocarburos que ocurren durante la operación y el parqueo de vehículos. Los vapores de hidrocarburos provenientes del combustible son conducidos al filtro de carbón activado (canister), donde se almacenan mientras el vehículo se encuentra estacionado. El canister es regenerado por purgado de aire durante la operación del vehículo. (Sawyer et al., 2000). Para los vehículos de motor de gasolina se necesita un sistema de retención de evaporación de combustible, para recoger los valores de combustible del depósito y cumplir con los valores límite de emisión para pérdidas por evaporación establecido. Los vehículos con motor diésel pueden prescindir de esta medida debido a la alta temperatura de ebullición del combustible. (Dietsche & Klingebiel, 2005)

- **Sistemas de recirculación parcial de los gases de escape (EGR, por sus siglas en inglés):** Dirige una pequeña fracción de los gases de escape de nuevo a la cámara de combustión para diluir la carga de admisión y reducir la temperatura pico de combustión, por lo tanto, se reducen las emisiones de NO_x. (Sawyer et al., 2000). Se utiliza principalmente en los motores Diésel, donde no es posible la utilización de convertidores catalíticos de tres vías para el control de las emisiones de CO, HC y NO_x. (SENA, 2011)

- **Insuflación de aire secundario:** El aire insuflado adicional en el tubo de escape produce una reacción exotérmica y por lo tanto una combustión de los componentes de HC y CO existentes, sobre todo durante el calentamiento del motor. Además, este proceso libera calor de tal modo que el gas de escape se calienta y caldea de forma rápida el catalizador por el que pasa el gas. La insuflación de aire secundario es un medio adecuado para, en los vehículos con motor de gasolina, reducir las emisiones de HC y CO después del arranque del motor y calentar de forma rápida el catalizador y por lo tanto conseguir una conversión lo más rápido posible de emisiones de NO_x. (Dietsche & Klingebiel, 2005)

-
- **Convertidor catalítico:** Los sistemas de control catalítico son el método más común para reducir emisiones de CO, NO_x y COVs en el flujo de gas de escape. Platino, Rodio y otros metales se utilizan como sustratos en matrices cerámicas o metálicas para proveer una superficie donde los contaminantes que existen en el flujo de gas reaccionan para formar dióxido de carbono, agua y nitrógeno. Los catalizadores son sistemas pasivos y de baja mantención, sin embargo algunos químicos como el azufre y el plomo así como también las temperaturas extremadamente altas pueden dañarlos. La primera forma de control catalítico es el catalizador de 2 vías, el cual oxida el HC y CO en CO₂ y H₂O. Posteriormente, se encuentra el catalizador de 3 vías, el cual oxida el CO e HC de igual forma que el de 2 vías, pero además convierte el NO en N₂ y O₂ (Lents et al.)
 - **Filtro de partículas:** Son sistemas de filtrado metálicos o cerámicos, remueve el material particulado desde el flujo de gas de escape. El filtro cerámico está formado por una gran cantidad de canales paralelos. Sin embargo, estos canales están cerrados alternativamente. Por ello, los gases de escape deben circular a través de las paredes porosas del cuerpo tipo nido de abeja. Las partículas sólidas se quedan en los poros al pasar. Según la porosidad del cuerpo cerámico, la eficiencia de filtración puede ser de hasta 97%. (Dietsche & Klingebiel, 2005)
 - **Reducción catalítica selectiva:** La reducción catalítica selectiva (SCR) se utiliza para la reducción de emisiones de NO_x en fuentes estacionarias desde los años 80. Recientemente se ha aplicado en programas RETROFIT en fuentes móviles, reduciendo simultáneamente las emisiones de NO_x, HCs y PM, mediante un sistema similar al de los catalizadores oxidantes. Sin embargo en SCR se añade un agente reductor (amoníaco o urea) al flujo de emisión, el cual convierte NO_x en N₂ y O₂ mientras pasan (gas y agente reductor) sobre el sustrato catalítico. En esta aplicación PM, NO_x y HCs son convertidos en sustancias de bajo o nulo impacto ambiental. (CSIC, 2006)

3.6 Patrones de conducción

Los patrones de conducción son uno de los aspectos influyentes en la generación de emisiones, las diferencias en las características del modo de funcionamiento tales como las tasas de aceleración y las distribuciones de velocidad crucero son importantes en el desarrollo de nuevos modelos de emisiones debido a ciertos modos de vehículo y de funcionamiento del motor, están demostrando ser fuentes significativas de las tasas de emisiones elevadas (Lents et al.).

Las principales características de los modos de conducción son la velocidad instantánea y la aceleración, incluyendo además la pendiente de la ruta. Con estos parámetros es posible caracterizar el estado de operación del motor mediante la potencia específica del vehículo (VSP, por sus siglas en inglés) segundo a segundo. La VSP traduce cuantitativamente los parámetros característicos de un modo de conducción instantáneo a niveles de demanda energética del motor. (Araya, 2008).

La potencia específica está definida como la potencia instantánea por unidad de masa del vehículo. Dicha potencia generada por el motor, se utiliza para superar la resistencia a la rodadura y la resistencia aerodinámica y aumentar las energías cinética y potencial del vehículo. En comparación con otros parámetros como la velocidad, potencia y consumo de combustible, la dependencia de la emisión de CO, HC, y NO_x, presentan mejor relación con la potencia específica vehicular que con dichos parámetros (Jiménez-Palacios, 1999).

Los modelos conocidos y utilizados comúnmente calculan emisiones basándose en la velocidad media de un ciclo de conducción, sin embargo esto generaliza demasiado el trabajo real que se ejerce sobre el motor dejando de lado otras variables importantes (Araya, 2008).

El Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE) incorpora dentro de las estimaciones de los factores de emisión el comportamiento o patrón de conducción, caracterizado en términos de potencia específica vehicular (VSP, por sus siglas en inglés) y en estrés del motor (ISSRC, 2008). El cálculo realizado para la estimación de VSP se presenta en la Ecuación 1.

Ecuación 1. Potencia específica vehicular (VSP)

$$VSP = v[1,1 a + 9,81 (\text{atan}(\text{sen}(\text{pendiente}))) + 0,132] + 0,000302v^3$$

Donde:

Pendiente = $(h_{t=0} - h_{t=-1}) / V$ (t = -1 a 0 segundos)

v = velocidad (m/s)

a = aceleración (m/s²)

h = Altitud (m)

La VSP puede ser positiva o negativa, dependiendo de la aceleración y la pendiente de la ruta (Lents et al.). Cada *bin* de agrupación corresponde a niveles de demanda energética del motor, lo cual se traduce en la carga colocada en el motor en eventos determinados.

Las Cargas Bajas son alcanzadas en situaciones de estrés medio sobre el motor. La carga baja se observa típicamente en situaciones de conducción sin mucha pendiente, con velocidades bajas y sin aceleraciones demasiado bruscas ni prolongadas. Esto podría representarse típicamente en la conducción de sectores residenciales y la gran mayoría de las avenidas.

Las Cargas Medias implican potencias más elevadas sobre el motor, estados en que se cambia de velocidad en forma muy brusca, aceleraciones en tramos prolongados o pendientes muy inclinadas por varios segundos, aunque no es muy usual, tiende a aparecer en autopistas.

La Carga Alta sucede cuando las situaciones mencionadas en la Carga Media son extremas. Velocidades muy elevadas durante un tiempo prolongado o cambios muy bruscos en velocidad o altura son típicas de este estado (Araya, 2008).

3.7 Metodologías de estimación de emisiones por fuentes móviles

Las metodologías empleadas en la estimación de emisiones provenientes de fuentes móviles, incorporan, en la mayoría de los casos dos parámetros esenciales, el primero consiste en determinar el factor de emisión y el segundo consiste en estimar la actividad del vehículo en función de la categoría, hora del día, ubicación, velocidad y densidad

(Sawyer et al., 2000). Generalmente, el empleo de la metodología de estimación de los inventarios es determinado por la disponibilidad y detalle de la información en la zona de estudio, así como del propósito del inventario.

Para la estimación de los inventarios por fuentes móviles, la metodología general se describe por medio de la Ecuación 2 (CAI, 2013).

Ecuación 2. Estimación de emisión de contaminantes criterio.

$$E_i = \sum_i FE_i \times KRV_i \times FV_i$$

E = Emisión del contaminante (unidad de masa / unidad de tiempo)

FE_i = Factor de emisión para el tipo de vehículo i, (unidad de masa / unidad de distancia)

KRV_i = Distancia recorrida por tipo de vehículo i en un periodo determinado (unidad de distancia / unidad de tiempo)

FV_i = Flota vehicular por tipo de vehículo i (número de vehículos)

La estimación se puede llevar a cabo empleando factores de emisión medidos o valores por defecto proporcionado por estudios y guías de referencia. Cabe aclarar que los factores de emisión construidos por medio de mediciones directas en los vehículos de todas las categorías refieren un alto nivel de detalle; sin embargo, se requiere un elevado número de muestras y recursos para poder realizar las estimaciones. Otro de los métodos consiste en estimarlos a partir del uso de modelos computacionales, incorporando además de los datos propios de la zona, factores de actividad vehicular y la posibilidad de estimar de manera indirecta (por medio de diferentes ajustes a los factores de emisión base) un factor de emisión aproximado que represente de una manera cercana a la realidad las condiciones del comportamiento de la flota vehicular y de conducción en la zona de estudio. La mayoría de modelos computacionales permiten estimar directamente el inventario de emisiones y los factores de emisión globales o específicos según las categorías vehiculares incluidas.

3.7.1 Factores de emisión

Un factor de emisión es un valor representativo que relaciona la cantidad de un contaminante emitido a la atmósfera con una actividad asociada con generación del contaminante (EPA, 2015a).

Las técnicas directas para la obtención de factores de emisión vehiculares están basadas en mediciones en la fuente. Estos métodos generalmente representan las emisiones de un vehículo en condiciones reales de operación (CAI, 2013).

- **Medición a bordo:** Este método permite medir las emisiones directas procedentes de un vehículo en operación mediante el uso de un analizador de gases mientras el vehículo está en operación. Las condiciones específicas de la zona de operación incluyen variables críticas como la velocidad de circulación, tráfico, carga, aceleración y desaceleración entre otras. Para realizar este estudio es necesario considerar el periodo total de medición, el tipo de vehículo, el tamaño de la muestra de la flota, la ruta para las pruebas, la logística para el arranque en frío o caliente y los contaminantes a medir. Es un método costoso, pero se obtiene información precisa sobre las condiciones de operación del vehículo.
- **Pruebas dinamométricas:** Las pruebas de dinamómetro se llevan a cabo en condiciones controladas donde a los vehículos se les aplica una carga conocida para representar la operación normal. Las unidades de medida de los factores de emisión obtenidos son los gramos por unidad de energía (g/kWh o g/bhp-hr).
- **Técnicas detección remota:** Este método de medición está basado en la detección de emisiones vehiculares que pasan en un punto de control a través de un haz de rayos infrarrojos y/o rayos ultravioletas. Con éste método se determinan los cambios en las concentraciones de contaminantes en el instante que pasa un vehículo, incluyendo el CO₂, CO, HC y NO_x, y mediante el uso de equipos más avanzados es posible medir las partículas. Este método no es muy preciso y por lo general se utiliza para identificar vehículos con emisiones muy altas o muy bajas y no directamente el factor de emisión. Las ventajas del sensor

remoto se centran en la obtención de una muestra mucho más grande de los vehículos en circulación y en su menor costo frente a otros métodos.

3.7.2 Modelos empleados (aplicaciones de *software*)

En la actualidad se cuenta con diferentes modelos o software que permite la estimación de emisiones y factores de emisión para fuentes móviles, los más importantes y utilizados se presentan a continuación.

- **COPERT (COmputer Programme to calculate Emissions from Road Transport)**

Modelo desarrollado por la Unión Europea para calcular las emisiones provenientes del sector transporte. Las emisiones calculadas incluyen contaminantes regulados (CO, NO_x, COV, PM) y no regulados (N₂O, NH₃, SO₂, COVNM, etc.), adicionalmente, estima el consumo de combustible (EU, 2012). Las metodologías de estimación de emisiones generadas por los gases de escape, evaporación de combustible y emisiones de material particulado diferentes a gases de escape (desgaste de frenos, neumáticos y superficie de la vía), corresponden a las contenidas en las guías elaboradas por EMEP/CORINAIR.

Las categorías vehiculares incluidas en COPERT corresponden a vehículos de pasajeros, vehículos comerciales ligeros, vehículos pesados, autobuses, ciclomotores y motocicletas (Ntziachristos & Samaras, 2013), en total, la metodología cuenta con 28 categorías, adicionalmente, incorpora las normas en cuanto al control de emisiones (EURO) y programas de mejora de tecnología vehicular. Como factores de actividad, y dependiendo del nivel de detalle, el modelo requiere información de consumo de combustible, composición del combustible (p. ej. contenido de azufre), cantidad, distribución, millas recorridas por categoría vehicular, así como millas recorridas por tipo de vía, velocidad promedio por vía y categoría vehicular, además de otras variables como, condiciones climáticas, etc.

- **EMFAC (*EMission FACtors*)**

El modelo EMFAC, es un modelo desarrollado por la junta de Recursos del Aire de California (ARB), el cual predice emisiones provenientes de vehículos en ruta operando específicamente en California. La razón principal por la cual California desarrollo este modelo es que los estándares de emisión son diferentes al resto de Estados Unidos. El modelo EMFAC estima tanto la tasa de emisión como las emisiones globales provenientes de cualquier área en California, el modelo contiene información de la actividad de vehículos localizados en este estado, referente a cantidad de kilometraje recorrido por cada vehículo diariamente y la cantidad de partidas (Lents et al.). EMFAC estima emisiones de contaminantes criterio y gases efecto invernadero, las categorías vehiculares se establecen en dos grandes grupos definidos como vehículos ligeros y vehículos de servicio pesado, los requerimientos de información se refieren a la población o cantidad de vehículos registrados, millas recorridas por tipo de vehículo y distribución de velocidades, así como características de temperatura y humedad relativa (ARB, 2011).

- **MOBILE (*Highway Vehicle Emission Factor Model*)**

Modelo desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) para la estimación de la contaminación generada por los vehículos en carretera. MOBILE estima las emisiones de hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono provenientes de vehículos de pasajeros, motocicletas y de camiones pesados y livianos (EPA, 2013). Diferentes versiones del modelo se han generado desde 1978 con la versión MOBILE1, actualmente se cuenta con la versión MOBILE6.2 generada en el año 2004, cada nueva versión de MOBILE refleja la recopilación y el análisis de nuevos datos de prueba. También incorpora cambios en el vehículo, motor y tecnologías de sistemas de control de emisiones; cambios en las regulaciones aplicables, las normas de emisión, y los procedimientos de prueba; y una mejor comprensión de los niveles de emisión y los factores que influyen en ellos (EPA, 2003) , sin embargo, la serie de MOBILE fue reemplazada por el modelo MOVES a partir del año 2010.

El modelo es un programa de cómputo integrado por rutinas elaboradas en lenguaje Fortran, considera las emisiones de escape, evaporativas, sistemas de frenado y desgaste de neumáticos (INECC, 2015b).

Los parámetros que se requieren de manera general son: características de la flota vehicular, actividad vehicular, regulación de emisiones, programas de inspección y mantenimiento, especificaciones de combustibles, características geográficas y climáticas, etc.

Las tasas de emisión básicas del modelo se derivan de las pruebas de emisiones realizadas bajo condiciones estándar tales como la temperatura, combustible y ciclo de conducción. Las tasas de emisión suponen además un patrón de deterioro en el rendimiento de las emisiones a través del tiempo, nuevamente, basado en resultados de pruebas de emisiones estandarizadas. MOBILE6 calcula ajustes en las tasas básicas de emisión para las condiciones que difieren de las pruebas estándar típica. Los ajustes son realizados empleando la velocidad promedio por tipo de vía, temperatura, uso de aire acondicionado, humedad, volatilidad y contenido de oxigenantes en la gasolina, contenido de azufre en el combustible, manipulación, exceso de emisiones, programas de inspección y mantenimiento, etc. Para la caracterización de la flota vehicular, MOBILE6 define 28 categorías, así como emisiones de 21 categorías de contaminantes y 5 tipos de hidrocarburos, a los cuales se adicionan en la versión MOBILE 6.2, seis contaminantes tóxicos.

- **MOVES (*Motor Vehicle Emission Simulator*)**

MOVES es el Simulador de Emisiones de Vehículos de Motor desarrollado por la EPA, el propósito de la herramienta es proporcionar un estimado de las emisiones de fuentes móviles bajo un amplio intervalo de condiciones definidas por el usuario. MOVES puede calcular inventarios de emisiones (cantidad total de emisiones para un tiempo dado) o factores de emisión (emisiones por distancia y población). Como se nombró anteriormente, MOVES reemplaza a MOBILE en la estimación de emisiones de fuentes móviles en diferentes vías, adicionalmente, proporciona una interfaz gráfica codificada en lenguaje JAVA, y permite el almacenamiento de datos de entrada y salida en una

estructura de base de datos relacional MySQL (INECC, 2015a). Dentro de los parámetros requeridos por MOVES se encuentra:

- Definición de la escala de cálculo (municipal, estatal, nacional),
- Tiempo de simulación
- Número de vehículos por tipo
- Caracterización de la flota y actividad vehicular
- Caracterización de viabilidades
- Características de tipo de combustible
- Entre otros

MOVES estima emisiones provenientes de la circulación de vehículos, arranque, reposo, evaporativas, carga de combustible, uso de neumáticos y frenos. El modelo estima emisiones de hidrocarburos, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, amoníaco, dióxido de azufre, material particulado (por procesos de combustión, frenos y desgaste de llantas), gases efecto invernadero, tóxicos (benceno, naftaleno, formaldehído, etc.), y consumo de energía. MOVES contiene 13 categorías de flota vehicular, en comparación con MOBILE el cual opera con 21 categorías.

- **IVE (*International Vehicle Emissions Model*)**

El modelo predice contaminantes atmosféricos locales, gases efecto invernadero y tóxicos. El modelo fue desarrollado por el Centro para la Investigación y Tecnología Ambiental (CE-CERT) de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de California en Riverside (UCR), Investigación de Sistemas Sustentables Globales (GSSR) y el Centro de Investigación de Sistemas Sustentables Internacionales (ISSRC, 2008).

El modelo requiere principalmente dos archivos de entrada, que describen la flota y la actividad vehicular para la localidad de interés. Un tercer archivo opcional se utiliza en el caso que la localidad de interés cuente con información específica de factores de emisión. La información de flota y actividad debe existir o debe ser obtenida mediante una campaña de campo.

El archivo Localidad contiene la siguiente información en el área de estudio:

- Comportamiento de conducción, que comprende los datos de magnitud de conducción y Patrones de conducción (perfiles de velocidad y aceleración).
- Patrones de Partidas, que hace referencia a la cantidad de partidas y patrón de Soak (distribución del tiempo en el que el motor ha estado apagado antes de una partida).
- Variables Ambientales, descripción de características de la zona de estudio Altitud, Pendiente y Temperatura.
- Características del combustible, como calidad del combustible y cantidad de contaminantes y aditivos.

Además de definir los estilos de conducción de la región, es igualmente necesario definir apropiadamente las tecnologías que componen la flota que opera en la región. El archivo Flota es una lista de la fracción de la flota por tecnología vehicular. El modelo IVE contiene un total de 1372 tecnologías predefinidas y 45 tecnologías adicionales no definidas. Las tecnologías se agrupan usando los siguientes parámetros de tamaño de vehículo, tipo de combustible, uso de vehículo, sistema de entrega de combustible, sistema de control emisiones evaporativas, control de emisiones de escape, edad del vehículo, entre otras.

El proceso de estimación de emisiones en el modelo IVE consiste en multiplicar la base de factores de emisión por cada uno de los factores de corrección. El proceso de cálculo interno del modelo para estimar los factores de emisión corregidos se muestra en la Ecuación 3:

Ecuación 3. Proceso de cálculo general IVE.

$$Q[t] = B[t] * K\{1\}[t] * K\{2\}[t] \dots \dots K\{x\}[t]$$

Esta ecuación multiplica la base de factores de emisión (B) por la serie de factores de corrección (K) para estimar los ajustes del factor de emisión (Q) para cada tipo de vehículo. (ISSRC, 2008).

3.8 Metodologías de estimación de incertidumbre asociada al inventario de emisiones

La incertidumbre de la medición es una forma de expresar el hecho de que, para un mensurado¹ y su resultado de medición datos, no hay un solo valor, sino un número infinito de valores dispersos alrededor del resultado, que son consistentes con todas las observaciones, datos y conocimientos que se tengan del mundo físico, y que con distintos grados de credibilidad pueden ser atribuidos al mensurado. (Sáez & Ávila, 2001)

La incertidumbre se convierte en un elemento esencial para completar la estimación de los inventarios de emisiones. La identificación y asociación de la incertidumbre a los inventarios de emisiones, es considerado una buena práctica, cuyo principal propósito no es cuestionar la validez de las estimaciones, si no por el contrario, ayuda a priorizar los esfuerzos para mejorar la exactitud de los futuros inventarios y orienta la selección de las metodologías a implementar. (IPCC, 2001).

Existen diferentes métodos para la cuantificación de incertidumbre, los más importantes son (Lumbreras, García-Martos, Mira, & Borge, 2009):

- Propagación de errores
- Análisis/Simulación de Monte Carlo
- Concepto de expertos
- *Numeral Unit Spread Assessment Pedigree* (NUSAP): Incluye algunas herramientas cuantitativas en combinación de revisión crítica y análisis de árbol genealógico. Tiene como objetivo proporcionar un análisis y diagnóstico de la incertidumbre en la ciencia para las aplicaciones políticas.
- Marco pluralista de gestión integrada de la incertidumbre y análisis de riesgos (PRIMA, por sus siglas en inglés): Meta-método de evaluación de la incertidumbre integrando otras herramientas dependiendo de la aplicación particular.

¹ Mensurado: Valor de una magnitud particular

- Bootstrap: Procedimiento de remuestreo con el fin de estimar las desviaciones estándar, y por lo tanto, las incertidumbres, de los datos de emisión (Romano, Bernetti, & Lauretis, 2004).
- Lógica de análisis difuso: El análisis de incertidumbre también se puede tratar con métodos difusos donde la incertidumbre se debe a la vaguedad o imprecisión y no sólo a la aleatoriedad (Romano et al., 2004).

En el método de propagación de errores (IPCC, 2006a), una incertidumbre en una emisión se puede propagar a partir de incertidumbres en la actividad y el factor de emisión por medio de la ecuación de propagación de errores. Para cuantificar la incertidumbre, se necesitan las estimaciones de la media y la desviación estándar para cada entrada, así como la ecuación a través de la cual se combinan todas las entradas para estimar una salida. Entre las ecuaciones más simples se incluyen las entradas estadísticamente independientes (no correlacionadas). Una vez determinadas las incertidumbres de los factores de actividad, el factor de emisión, se los puede combinar para lograr estimaciones de incertidumbre para todo el inventario en cualquier año.

En los casos en los que se deben combinar las cantidades inciertas por multiplicación, la desviación estándar de la suma es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones estándar de las cantidades que se suman, con las desviaciones estándar expresadas como coeficientes de variación, que son las relaciones de las desviaciones estándar con los valores medios adecuados. La combinación de incertidumbre por multiplicación de factores se presenta en la Ecuación 4.

Ecuación 4. Combinación de incertidumbres – Propagación de errores – multiplicación

$$U_{Total} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$$

Donde:

U_{total} = el porcentaje de incertidumbre del producto de las cantidades (la mitad del intervalo de confianza del 95 por ciento, dividido por el total y expresado como porcentaje).

U_i = el porcentaje de incertidumbre asociado con cada una de las cantidades.

En los casos en los que se deben combinar las cantidades inciertas por suma o resta, la desviación estándar de la suma es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las desviaciones estándar de las cantidades que se suman con las desviaciones estándar, todas expresadas en términos absolutos. La combinación de incertidumbre por suma o resta de factores se presenta en la Ecuación 5, expresada en términos porcentuales.

Ecuación 5. Combinación de incertidumbres – Propagación de errores – suma y resta.

$$U_{Total} = \frac{\sqrt{(U_1*x_1)^2+(U_2*x_2)^2+..+(U_n*x_n)^2}}{|x_1+x_2+..+x_n|}$$

Donde:

U_{total} = el porcentaje de incertidumbre de la suma de las cantidades (la mitad del intervalo de confianza del 95 por ciento, dividido por el total (es decir, la media) y expresado como porcentaje). Este término «incertidumbre» se basa en el intervalo de confianza del 95 por ciento.

x_i y U_i = las cantidades inciertas y el porcentaje de incertidumbres asociado, respectivamente.

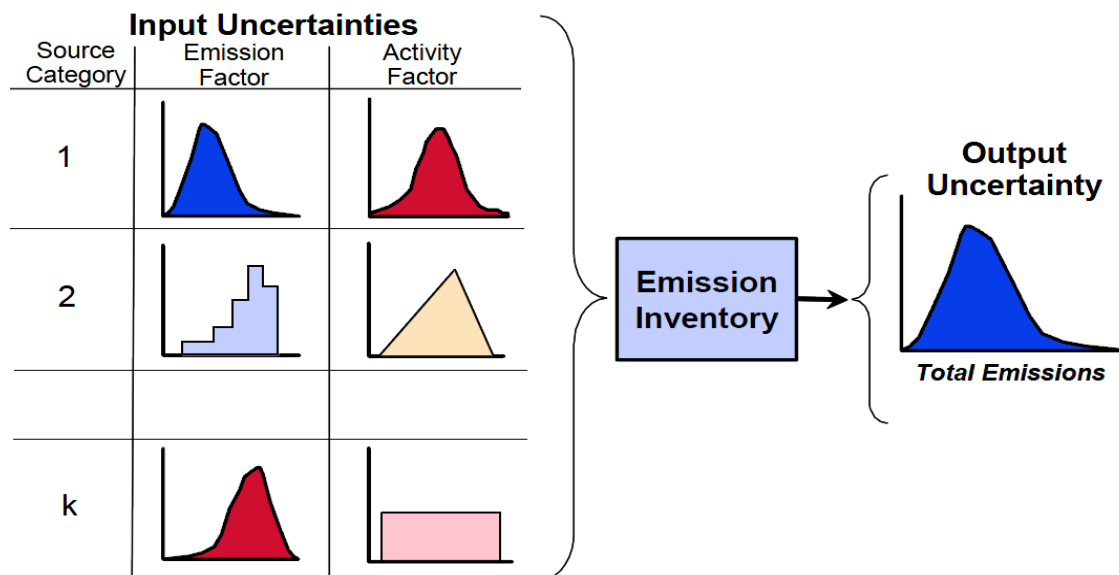
Las técnicas estadísticas numéricas, en particular la técnica de Monte Carlo, sirven para estimar la incertidumbre en las tasas de emisión (a partir de incertidumbres en las medidas de actividad y los factores de emisión) cuando:

- Las incertidumbres son grandes.
- No tienen una distribución gaussiana.
- Los algoritmos son funciones complejas.
- Existen correlaciones entre algunos de los conjuntos de datos de actividad, factores de emisión o ambos.

El principio del análisis de Monte Carlo es seleccionar valores aleatorios de factor de emisión, datos de la actividad y otros parámetros de estimación de sus funciones de densidad de probabilidad individuales y calcular los valores de emisión correspondientes (IPCC, 2006a). El inventario se estima varias veces, cada vez con factores inciertos de emisión o parámetros del modelo y los datos de actividad elegidos al azar dentro de la

distribución de incertidumbre especificada inicialmente por el usuario. Las incertidumbres en los factores de emisión y/o datos de actividad a menudo son muy grandes y no tienen distribución normal generalmente. El análisis de Monte Carlo puede hacer frente a esta situación mediante la generación de una distribución de la incertidumbre de la estimación del inventario que es consistente con las distribuciones de incertidumbre de entrada sobre los factores de emisión, los parámetros de modelo y los datos de actividad. (Pulles & Kuenen, 2013).

Figura 1 Esquema general del proceso de estimación de incertidumbre



Fuente: NC State University (University, 2007)

El principal requisito para realizar la simulación de Monte Carlo, consiste en especificar para cada factor de entrada al modelo, la función de densidad de probabilidad (FDP) que represente el comportamiento de cada factor (factor de emisión y factor de actividad). Las fases que contiene la simulación de Monte Carlo son los siguientes:

Fase 1: Determinar las funciones de densidad de probabilidad asociadas a los parámetros de ingreso al modelo.

Fase 2: Seleccionar los valores de entrada.

Fase 3: Estimación de emisiones correspondientes.

Fase 4: Repetir y observar coherencia de resultados.

4. Metodología

4.1 Desarrollo y obtención de factores de emisión

Para la obtención de los factores de emisión de los contaminantes criterio incluidos dentro del inventario de emisión (PM_{10} , NO_x , SO_x , CO , COV), se siguió la metodología de recolección y procesamiento de datos requeridos por el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE, por sus siglas en inglés), el cual fue diseñado para estimar las emisiones de vehículos motorizados y tiene como principal propósito el ser usado en países en vías de desarrollo.

Los factores de emisión se estimaron para cada categoría vehicular incluida dentro de la presente investigación, las cuales son, vehículos de pasajeros, camiones, buses, y motocicletas.

4.1.1 Selección zona de estudio

La selección de la zona de estudio se estableció con el objetivo principal de obtener datos representativos en cuanto a la actividad, distribución y caracterización del parque automotor y patrones de conducción por categorías vehiculares, que transita por los diferentes corredores viales municipales e intermunicipales de la jurisdicción CAR.

La zona de estudio comprende dos escenarios de interés, el primero se establece en las vías municipales y el segundo en vías intermunicipales.

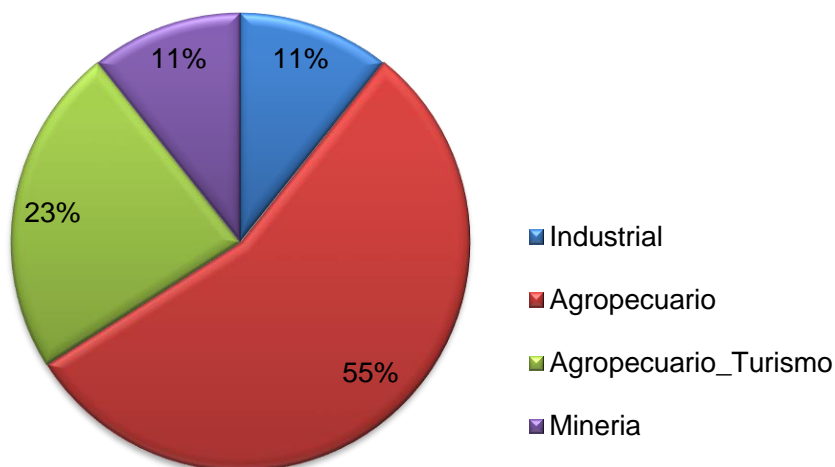
▪ Vías Municipales

Para la selección de los municipios dentro de los cuales se desarrolló la campaña de campo, se establecieron como parámetros de clasificación, el tamaño poblacional, actividad económica, producto interno bruto (PIB)² municipal y distribución geográfica por la jurisdicción.

La jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional – CAR-, se encuentra distribuida en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá, siendo, 98 municipios y 6 municipios respectivamente.

La información para definir la actividad económica de cada municipio fue tomada de los sitios web oficiales, categorizando las actividades económicas en Industrial, Agropecuario, Agropecuario-Turismo y Minería.

Gráfica 4. Distribución porcentual actividad económica jurisdicción CAR.



Fuente: Elaboración propia

² En la fuente se hace referencia al PIB pero se aclara que se refiere al valor agregado municipal, ya que el término PIB es a nivel nacional.

Como se observa en la Gráfica 4, la actividad agropecuaria representa el 55% de la actividad económica, seguido del 23% de la agropecuaria-turismo, la actividad industrial y minera las cuales cuentan con participación del 11% respectivamente.

Posterior a la distribución de los municipios por tipo de actividad industrial, se realizó un segundo procedimiento relacionado con el valor agregado y población, datos obtenidos del Visor Estadísticas Básicas de la Gobernación de Cundinamarca y de Proyecciones de población – Municipios de Cundinamarca 2011-2012 (Cundinamarca, 2013).

Los histogramas de frecuencia se desarrollaron utilizando los siguientes intervalos de selección:

Tabla 2. Intervalos para Histogramas de Frecuencias.

Intervalos de PIB (Miles de millones de pesos corrientes)	Intervalos de Población (hab)
100	15.000
300	30.000
600	70.000
1.400	150.000
5.000	500.000

Fuente: Elaboración propia

Para los municipios de categoría industrial se identificó que los representativos son los que cuentan con un PIB entre 300 y 1.400 miles de millones de pesos corrientes para el año 2010, así mismo, los municipios con una población entre 70.000 y 150.000 habitantes son los representativos para esta categoría.

En el caso de la categoría de municipios cuya actividad económica se encuentra establecida en la minería se identificó que los municipios representativos son los que cuentan con un PIB entre 100 y 300 miles de millones de pesos corrientes para el año 2010, así mismo, los municipios con una población menor a 15.000 habitantes son los representativos para esta categoría.

En el caso de la categoría de municipios cuya actividad económica se encuentra basada en actividades agropecuarias y turísticas se identificó que los municipios representativos de esta categoría son los que cuentan con un PIB entre 100 y 300 miles de millones de

pesos corrientes para el año 2010; en cuanto a la población, los municipios representativos son los menores a 15.000 habitantes.

Finalmente, en cuanto a la categoría económica de tipo agropecuario, se identificaron que los municipios representativos son los que cuentan con un PIB menor de 100 mil millones de pesos corrientes para el año 2010, así mismo, los municipios con una población menor a 15.000 habitantes son los representativos para esta categoría.

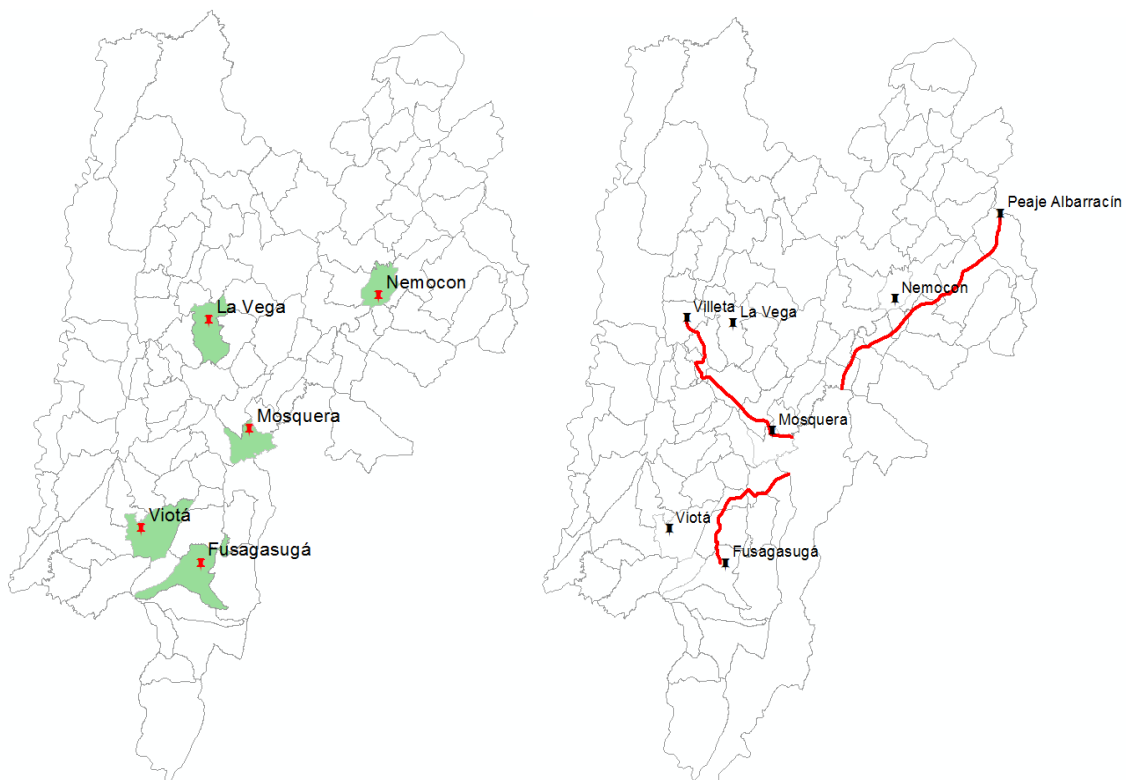
El municipio de Mosquera fue seleccionado como municipio representativo de la categoría Industrial; Viotá, como municipio agropecuario; La Vega, como municipio agropecuario-turístico; y Nemocón, como municipio minero. No obstante, se incluyó dentro de la ejecución de la campaña de campo el municipio de Fusagasugá, con el fin de ampliar la captura de información municipal. La distribución de los municipios se presenta en la Figura 2.

▪ **Vías Intermunicipales**

La selección de vías intermunicipales se realizó partiendo de la información contenida en la Cartilla de Volúmenes de Tránsito (INVIAS, 2010-2011) acerca de flujos vehiculares registrados por las estaciones maestras distribuidas por las diferentes vías, se incorporó a los criterios de selección características del terreno (plano, ondulado, montañoso y escarpado) clasificando las vías según los porcentajes de las pendientes longitudinales (CSIC, 2006), y finalmente la infraestructura teniendo en cuenta las variaciones en cuanto al número de carriles (amplitudes y reducciones) en todo el segmento a incorporar.

Los tramos seleccionados se encuentran comprendidos entre los siguientes puntos: Peaje Los Andes - Peaje Albarracín, Peaje Río Bogotá - Villeta (Vía Facatativá) y finalmente, Peaje Chusacá – Fusagasugá. La ubicación de los tramos se visualiza en la Figura 2

Figura 2. Zona de estudio. Municipios (Izquierda). Vías Intermunicipales (Derecha).

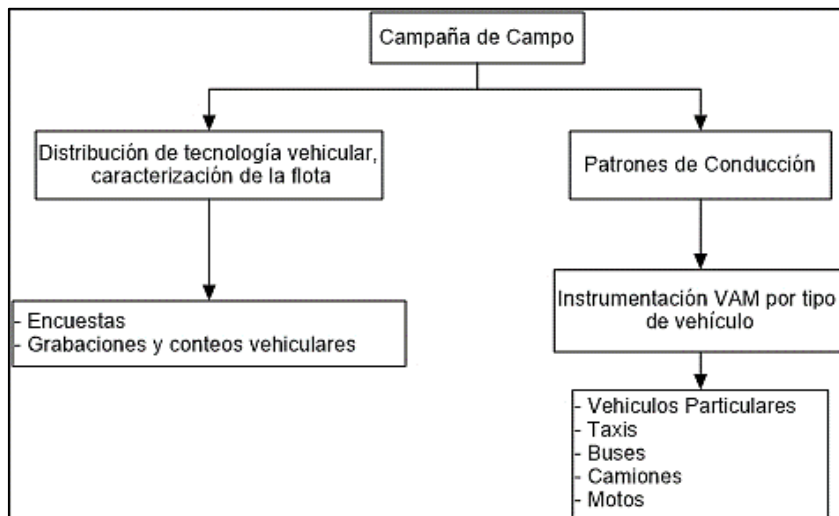


Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Diseño y desarrollo de la campaña de campo

Posterior a la identificación y selección de la zona de estudio, se diseñó y ejecutó la campaña de campo con el objetivo principal de obtener información representativa para la estimación del inventario de emisiones provenientes de fuentes móviles en la jurisdicción CAR. Por medio de la campaña, se obtuvo información de patrones de conducción y una primera caracterización del parque automotor de la zona de estudio. Cabe resaltar que la caracterización del parque automotor se refinó empleando, en una etapa posterior, información secundaria proveniente de los Centros de Diagnóstico Automotor (CDA) distribuidos en la jurisdicción.

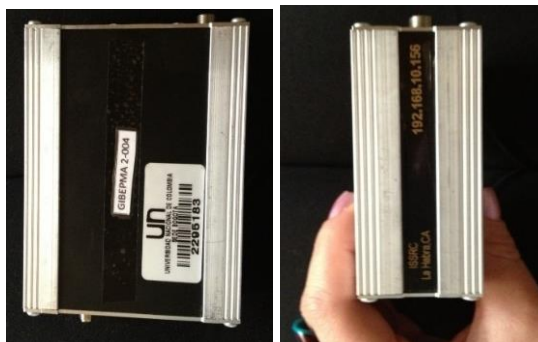
La campaña de campo se diseñó y desarrolló siguiendo las actividades presentadas en la Figura 3.

Figura 3. Actividades de la campaña de campo.

Fuente: Elaboración propia

▪ Patrones de Conducción

Una variable crítica en la determinación de emisiones vehiculares es la forma en que los vehículos son conducidos en una ubicación de interés (Lents et al.). La recolección de datos consta de la captura de información segundo a segundo de datos de velocidad y posición geográfica. Esto se logró equipando un vehículo de cada categoría (vehículo particular, taxi, bus, camión, motocicleta) con un monitor de actividad vehicular (*Vehicle Activity Monitor, VAM*), el cual cuenta con un sensor pasivo de Posicionamiento Global (GPS) de alta resolución, una memoria de adquisición de datos y un batería recargable (ISSRC, 2011).

Figura 4 Monitor de actividad vehicular (VAM)

Fuente: Elaboración propia

- **Procedimiento para vehículo particular**

Existen diferentes técnicas de pruebas vehiculares para obtener datos de tiempos de viaje. Esta información se convierte en tiempo de viaje, velocidad y paradas en cada segmento de ruta. El método empleado depende de la instrumentación utilizada en el vehículo y las instrucciones de conducción entregadas al conductor (Institute & System, 1998). El sistema de posicionamiento global (GPS) se ha convertido en la más reciente tecnología que se utilizará para la recolección de datos de tiempo de viaje. Un receptor GPS recoge la información de latitud y longitud que permite el seguimiento del vehículo de prueba.

Los siguientes elementos se incluyen para cada técnica:

Vehículo Promedio: El vehículo de prueba se desplaza de acuerdo con la valoración del conductor, siguiendo la velocidad media de la corriente de tráfico.

Vehículo Flotante: El conductor "flota" con el tráfico, tratando de pasar con seguridad el mayor número de vehículos que han sobrepasado el vehículo de pruebas.

Vehículo Máximo: El vehículo de prueba se conduce en el límite de velocidad permitido, teniendo precaución con el nivel de tráfico reales y/o consideraciones de seguridad.

La técnica utilizada para la toma de datos en campo en este estudio es la de Vehículo Promedio, cuyo objetivo principal del vehículo es circular por las vías municipales e intermunicipales realizando tantos viajes como sea posible durante el día(s) de pruebas en campo, asegurando (en lo posible), tomar información durante las horas pico y valle en la mañana y tarde-noche.

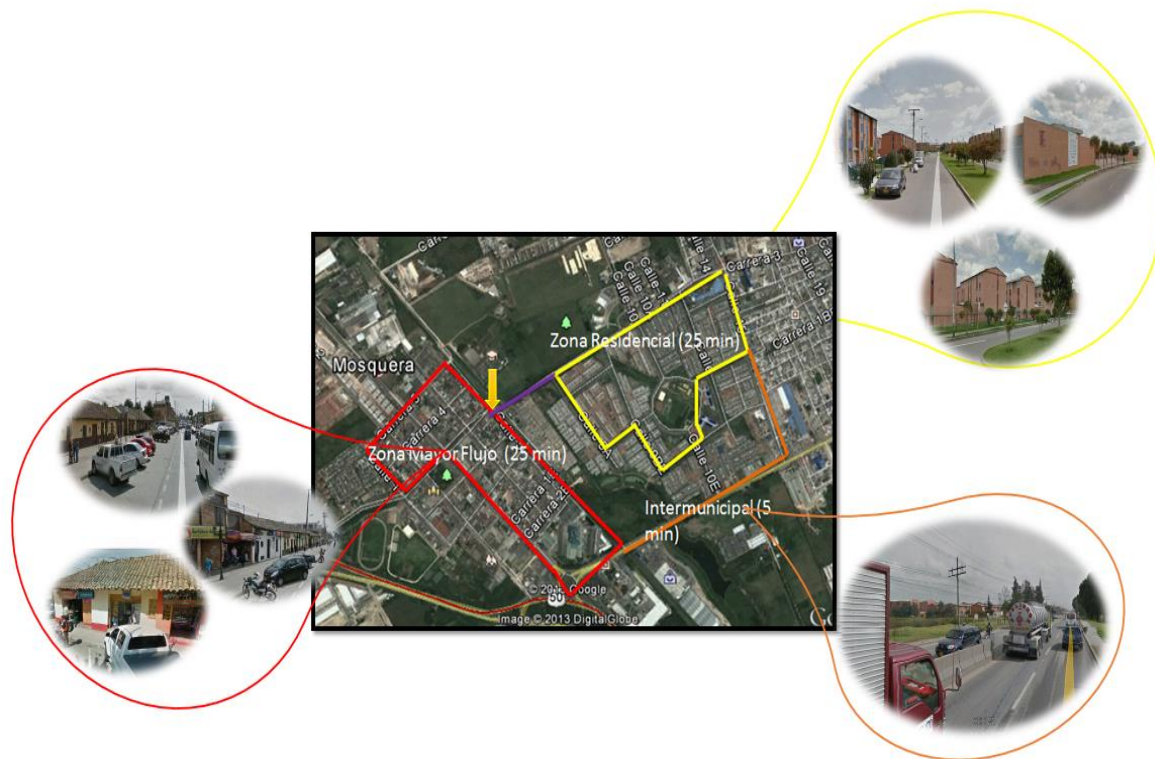
Los recorridos o circuitos variaron dependiendo de las características propias de la zona de trabajo, para el caso de las vías municipales, los circuitos determinados a seguir dentro de cada municipio se establecieron teniendo en cuenta las zonas identificables dentro del mismo. Para el caso de Mosquera (Figura 5) y Fusagasugá, que son los municipios de mayor tamaño y actividad vehicular, se definieron dos tipos de zonas de especial interés, una zona comercial y una zona residencial. Se estableció un circuito de

aproximadamente 55 minutos de operación del vehículo, compuesto de dos recorridos de 20 a 25 minutos en cada una de las zonas.

Para el caso de los municipios de Nemocón, Viotá y La Vega, se estableció únicamente un recorrido representativo, ya que al ser municipios de menor tamaño – en comparación con Mosquera y Fusagasugá –, las zonas comerciales y residenciales no se encuentran claramente diferenciadas. Se estableció, entonces, un recorrido abarcando la mayor parte del casco urbano de cada municipio.

El recorrido por las vías intermunicipales se llevó a cabo empleando la misma técnica de Vehículo Promedio. Se realizaron tantos viajes cómo fue posible durante los días de pruebas en campo. La captura de información se llevó a cabo durante las otras pico y valle, en la mañana y tarde-noche.

Figura 5 Rutas para recolección de datos en el municipio de Mosquera.



Fuente: Elaboración propia. Imagen base Google Earth® 2013.

Figura 6 Captura de datos para vehículo particular.



Fuente: Elaboración propia

- **Procedimiento para Buses**

Esta medición se llevó a cabo durante todo el día de operación, cambiando de bus frecuentemente, tratando de obtener la mayor información posible de los diferentes buses circulando tanto a nivel municipal como en ruta intermunicipal. La persona que sube en los buses debe tener el comportamiento normal de cualquier pasajero, con el propósito de que el conductor del bus no cambie su estilo de conducción cotidiano. Se debe mantener la unidad VAM en el interior de un bolso y dejar solamente la antena receptora fuera de él, sin que llame la atención.

La captura de información en los buses se realizó en los municipios cuyo servicio público de buses contara con rutas dentro del municipio (Mosquera y Fusagasugá principalmente). Para las vías intermunicipales, se implementó el procedimiento anteriormente mencionado, realizando el cambio de bus en cada destino, es decir en el municipio donde termine el recorrido establecido.

- Procedimiento para taxis y motocicletas

Se contactó a las empresas de servicio de taxi, quienes prestaron colaboración para la instalación de la unidad VAM, designando un vehículo que portara la unidad VAM durante el día laborable normal (sin cambiar su actividad). Para el caso de las motocicletas, el contacto se realizó a personas que realicen actividades de mensajería o entregas a domicilio, empleando la motocicleta como medio de transporte.

Figura 7 Instrumentación taxi y motocicleta



Fuente: Elaboración propia

- Procedimiento para camiones

Para el caso especial de los camiones, se emplearon dos técnicas diferentes. La primera fue la instrumentación de vehículos (de igual manera que las categorías anteriores), en la cual los datos se obtuvieron utilizando el procedimiento de llevar la VAM dentro de la cabina del vehículo. Este método se empleó en la mayor parte de la campaña de campo, realizando contactos con diferentes empresas y/o propietarios de los vehículos. Se solicitó llevar el dispositivo durante su recorrido habitual dentro del municipio, durante los días destinados para la ejecución de las pruebas en campo.

La segunda técnica empleada fue la persecución vehicular, empleada específicamente en el municipio de Nemocón. La técnica consiste en equipar un vehículo particular con una unidad VAM y seleccionar un tramo vial en el cual realizar las persecuciones a los camiones. El vehículo particular debe mantener una distancia segura y constante con respecto al camión, adquiriendo la mayor cantidad de datos posibles detrás de un mismo

camión. Al finalizar el tramo seleccionado de la vía, se invierte el sentido de avance y se selecciona otro camión para perseguir.

Figura 8 Instrumentación y persecución a camiones



Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Grabación de flujos vehiculares

Se instaló una cámara de vídeo digital a nivel de la vía para captar imágenes de los vehículos que circulan durante los días de campaña de campo. Posteriormente, estos datos se revisaron manualmente para la estimación del número, tamaño y tipo de vehículo circulante.

La grabación se realizó tomando una muestra de 15 a 20 minutos por cada hora del día.

Figura 9 Grabación de flujo vehicular



Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Distribución y caracterización de las categorías vehiculares

El proceso de identificación de la tecnología en carretera se realiza en conjunto con las videograbaciones. Sin embargo, la información capturada en video no recoge toda la información necesaria para identificar completamente el vehículo. Por lo tanto, es importante complementar estos datos mediante la inspección visual de los vehículos estacionados en diferentes zonas y la aplicación de encuestas (ISSRC, 2003).

Figura 10 Diligenciamiento de encuestas.



Fuente: Elaboración propia

Las encuestas se aplicaron a nivel municipal, tomando información para cada categoría vehicular: vehículos particulares, taxis, motocicletas, buses y camiones. Adicionalmente, se solicitó información relacionada con el parque automotor de servicio público a las empresas que realizan esta actividad.

Las categorías vehiculares se clasificaron de la siguiente manera:

- Vehículo particular (VP): Incluye automóviles, camionetas y camperos.
- Camiones (C): Incluye Livianos – medianos, vehículos menores a 3 ejes y pesados vehículos ≥ 3 ejes.
- Motocicletas (M): Motocicletas de motor de 2 y 4 tiempos
- Buses (B): Microbuses, busetas, buses.
- Taxis (T)

4.1.5 Procesamiento de información

El procesamiento de la información recopilada consistió en la generación del archivo *Localidad y Flota* para la jurisdicción, dichos archivos son el insumo principal para el ingreso de información al modelo IVE, generando así los factores de emisión de los contaminantes incluidos en la presente investigación.

- **Archivo Localidad jurisdicción CAR**

Como se mencionó anteriormente, el archivo Localidad requiere información del comportamiento de conducción, patrones de partidas, variables ambientales, características del combustible y descripción de los Programas de Inspección y Mantenimiento Vehicular.

- **Patrones de conducción**

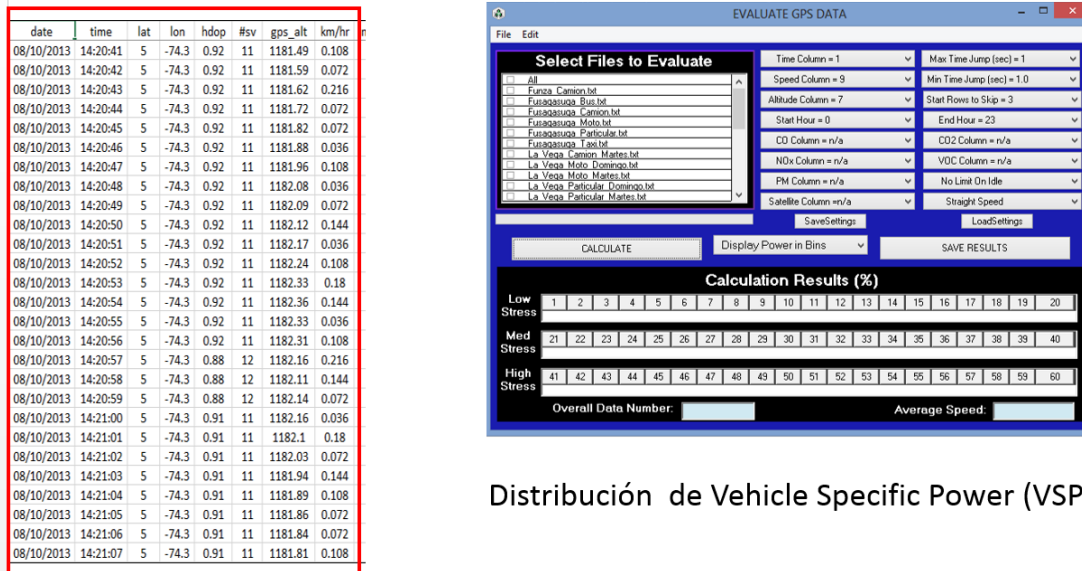
Para la generación de los patrones de conducción, se requirió la depuración de la información obtenida en las VAM, lo cual se llevó a cabo en una primera etapa, que consistió en la eliminación de datos que no reportaran información satelital. Posteriormente, por medio de los formatos diligenciados en campo, se removieron los datos que por diferentes eventos ocurridos durante la campaña de campo generaran información que no perteneciera propiamente a la actividad vehicular. Finalmente, los puntos tomados se visualizaron en programas de georreferenciación, con el propósito de verificar los puntos que no quedaron registrados en los formatos. Esta actividad se llevó a cabo para todos los datos proveniente de las diferentes categorías vehiculares incluidas.

Una vez obtenidas las bases de datos con la información de posicionamiento, hora, altitud y velocidad, depuradas y verificadas, se ingresaron al preprocesador *Speed Analysis (Evaluate GPS Data)*, cuya interfaz se presenta en la Figura 11, por medio del cual, se obtuvo la distribución de la potencia específica vehicular (VSP, por sus siglas en inglés).

La información de distribución de VSP se obtuvo de manera regional, es decir, la información tomada a nivel de vías intermunicipales y municipales se mezclaron por tipo

de vehículo, generando un comportamiento unificado que representara de manera aproximada los patrones de conducción por flota en la región de la jurisdicción CAR.

Figura 11 Estimación de potencia específica vehicular (VSP)



Distribución de Vehicle Specific Power (VSP)

Fuente: Elaboración propia. El Generador de VPS Evaluate GPS Data es desarrollado por ISSRC

- Variables ambientales

La información de variables ambientales requeridas se obtuvo de las diferentes estaciones meteorológicas distribuidas por la zona de estudio, las variables requeridas a incorporar en IVE son temperatura y humedad relativa.

- Tipo de inspección y mantenimiento (I/M)

El programa de inspección y mantenimiento que se realiza por parte de los Centros de Diagnóstico Automotor (CDA), autorizados por el Ministerio de Transporte y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Colombia, 2012) (Colombia, 1995) (Colombia, 2008), que cumplan con las condiciones de operación descritas en las Normas Técnicas Colombianas NTC- 5375 y NTC- 5385, consta de la prueba en aceleración libre, aplicada

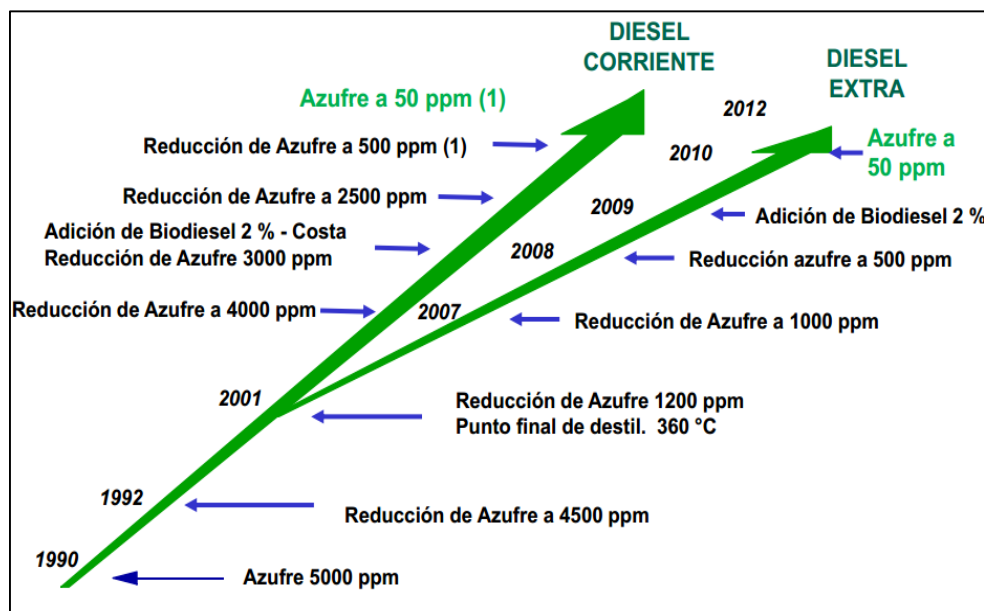
tanto para vehículos de motor a gasolina como a diésel, en la cual no hay aplicación de carga al motor.

Teniendo en cuenta las categorías contenidas en el modelo IVE, se identificó y seleccionó para este caso, la categoría de Programa de Ralentí Descentralizado para todos los vehículos. El término descentralizado hace referencia a los programas de I/M operado por privados en lugar del gobierno o por un único operador seleccionado por el gobierno (ISSRC, 2008).

- Características de los combustibles

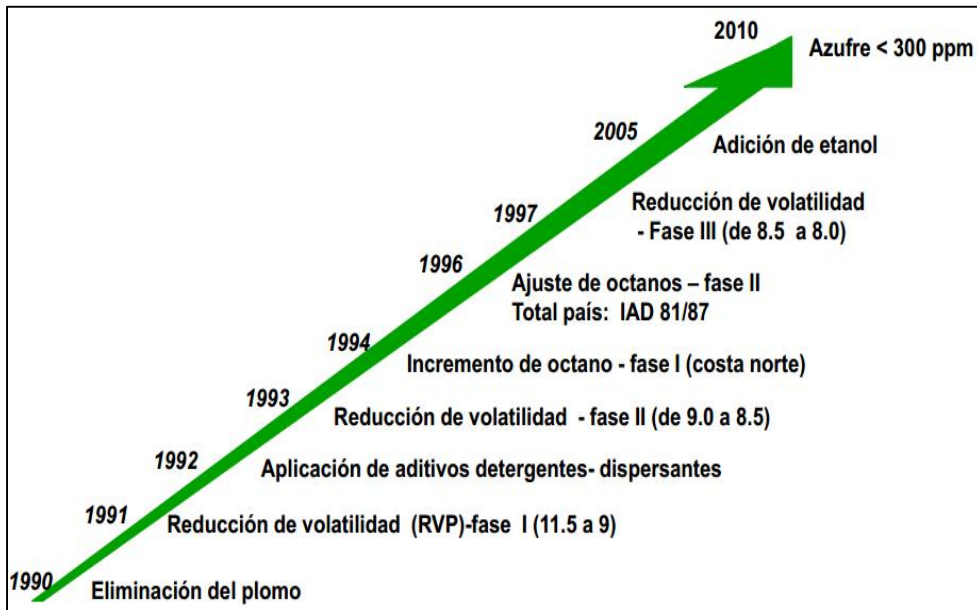
En cuanto a las características del combustible distribuido, se empleó la información publicada por ECOPETROL (Arango, 2009) en la que se relaciona la evolución de las características de los combustibles, presentadas en las Figura 12 y Figura 13.

Figura 12 Evolución de la calidad del diésel en Colombia



Fuente: ECOPETROL 2009

Figura 13 Evolución de la calidad de la gasolina en Colombia



Fuente: ECOPETROL 2009

En 2012, el diésel distribuido en las demás zonas del país diferentes a Bogotá tenía un contenido de azufre de 500 ppm y la gasolina, de 300 ppm. El biodiésel comenzó su distribución nacional en el año 2009 aproximadamente. El contenido de etanol en la gasolina en Colombia es del 10%. Adicionalmente, el país distribuye gasolina con un contenido de 0.7% de benceno en la gasolina.

- **Distribución tiempos SOAK y encendidos**

La distribución de los tiempos SOAK hace referencia a la distribución de cuánto tiempo el motor ha estado apagado antes de una partida (ISSRC, 2008). En la presente investigación no se determinaron los patrones de encendido en campo. Debido a esto, se emplearon los datos de la campaña IVE realizada para Bogotá en el año 2005, en el cual se reportan los números de encendidos al día para cada categoría vehicular incluida en el estudio.

- **Flota jurisdicción CAR**

La configuración del archivo *Flota* involucra todos los aspectos que permiten la caracterización del parque automotor dentro de la zona de estudio, para lo cual, el procesamiento de información consistió en la generación de una base de datos por categoría vehicular (Anexo A), incorporando además de la información tomada en campo, información de la campaña de medición de gases vehiculares desarrollada por la CAR en diferentes municipios de la jurisdicción y la proporcionada por las empresas de transportes de los municipios visitados³, lo cual permitió completar y aumentar la cantidad de vehículos por flota incluidos dentro de cada base de datos.

En cuanto a la edad del parque automotor, se emplearon los datos proporcionados por los Centros de Diagnóstico Automotor (CDA) autorizados, distribuidos por la región⁴. Sin embargo, los datos proporcionados se depuraron garantizando tener datos coherentes relacionando el año modelo del vehículo, el kilometraje acumulado registrado y el servicio del vehículo. El modelo IVE requiere la clasificación de edad vehicular en tres categorías, <79.000 km, 8.000-161.000 km, y finalmente, >161.000 km.

Otro aspecto importante para la caracterización del parque automotor, es el ingreso de las diferentes tecnologías vehiculares, en cuanto a control aire/combustible y tecnología de control de emisiones, para lo cual se realizó la consulta a expertos, fabricantes y distribuidores vehiculares en el país⁵. La Tabla 4 presenta el calendario de propiedades de los combustibles y categorías vehiculares construido partiendo de las fuentes de información anteriormente nombradas, empleado para la caracterización del parque automotor de la jurisdicción CAR.

Para la clasificación según el peso vehicular, requeridos por el modelo IVE, se consultaron las fichas técnicas de cada referencia vehicular incluida en la base de datos, se recopiló información del peso bruto vehicular (GVW, *Gross Vehicle Weight rating*) y se agrupó según los intervalos definidos por el modelo presentados en la Tabla 3.

³ Información de los municipios de Mosquera y La Vega.

⁴ Información proporcionada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR-

⁵ General Motors GM COLMOTORES, INCOLMOTOS YAMAHA

Tabla 3. Clasificación de tamaño vehicular según categoría.

Categoría Vehicular	Tamaño
Camión	Pequeño: (GVWR : 4.081,5 – 6.349 kg)
	Mediano: (GVWR : 6.349,5 – 14.965,5 kg)
	Pesado: (GVWR: >14.966 kg y típicamente >27.210 kg)
Bus	Pequeño: (GVWR : 4.081,5 – 6.349 kg)
	Mediano: (GVWR : 6.349,5 a 14.965,5 kg)
	Pesado: (GVWR: >14.966 kg y típicamente >27.210 kg)
Vehículo Particular	Pequeño: (Motor < 1.500 cc y típicamente GVWR <2.267,8 kg.)
	Mediano: (Motor < 3.000 cc y típicamente GVWR >2.267,5 y <2.993,1 kg)
	Pesado: (Motor > 3.000 cc and típicamente GVWR >2.993,1 y < 4.081,5 kg).
Taxi	Pequeño: (Motor < 1.500 cc y típicamente GVWR < 2.267,5 kg.)
	Mediano: (Motor < 3.000 cc y típicamente GVWR >2.267,5 y < 2.993,1 kg)
Moto	2 Tiempos
	4 Tiempos

Fuente: Elaboración propia. Adaptado de intervalos de clasificación de peso vehicular IVE

4.1.6 Generación de factores de emisión

Para la generación de los factores de emisión, se construyeron e ingresaron los archivos localidad y flota, según el formato requerido por el modelo IVE, las corridas del modelo se realizaron variando los parámetros climáticos y de altitud, según los municipios incluidos en la presente investigación. Los demás parámetros del archivo localidad y flota se mantuvieron iguales, simulando condiciones regionales de operación. El factor de emisión definitivo para los procesos de circulación vehicular (emisiones en ruta) y encendidos (partidas) se obtuvo como promedio de las diferentes corridas realizadas.

**Estimación de emisiones de contaminantes provenientes de fuentes
móviles en la jurisdicción CAR**

Tabla 4. Calendario de propiedades de los combustibles y categorías vehiculares.

Propiedades de los combustibles y categoría vehicular		Año																							
		< 90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13
Gasolina	Plomo	Con Pb	Ninguno																						
	Azufre (ppm)	1.000																			300				
	Benceno(% vol)	0.7																							
	Etanol (%Vol)	Ninguno															10								
	Control Aire/combustible	Carburador							SPFI		MPFI (Indirecto)											MPFI (Directo)			
	Control de emisiones evaporativas	Ninguno							Canister			PCV/Canister													
	Control de emisiones de escape	Ninguno							2- vías					3- vías						EURO II		EURO III			
	Tipo de motor (motos)	2-Ciclos																		4-Ciclos					
	Control Aire/combustible (moto)	Ninguno																							
	Control de emisiones evaporativas (moto)	Ninguno															PCV								
	Control de emisiones de escape (moto)	Ninguno															1-vía								
Diésel	Azufre (ppm)	5.000			4.500						4.000						500			50					
	Biodiesel (% vol)	No																							
	Dispositivo mezcla aire/combustible	Iny. Pre Cámara	Inyección directa (bombas lineales y rotatorias)																			COMMON RAIL (FI)			
	Control Emisiones de escape	Pre-EURO - EPA 1998 (1990 - 2000)										EURO I										EURO II/EUROIII		EURO IV	

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Estimación del inventario de emisiones

La estimación de emisiones proveniente de fuentes móviles en la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca –CAR- se encuentra establecida mediante una aproximación *Bottom-up*, la cual permite una cuantificación más detallada partiendo de información específica del área de estudio.

El año base del inventario es 2012 y los contaminantes incluidos son monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), compuestos orgánicos volátiles (COV) y material particulado (PM₁₀). Es de resaltar que el modelo IVE genera factores de emisión para contaminantes de gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄ y N₂O) y contaminantes tóxicos (Plomo, NH₃, Benceno, Formaldehído, Acetaldehído, y 1,3, Butadieno), sin embargo, la presente estimación se enfocó en los contaminantes criterio siendo estos principalmente incluidos en los inventarios anteriores estimados para la región.

Los procesos incluidos en el estudio, involucran la emisión generada para la circulación vehicular (emisión en ruta) y por los encendidos (emisiones por partidas).

De manera general, el inventario se estima según los requisitos de la Ecuación 6 y Ecuación 7.

Ecuación 6. Ecuación general de estimación de emisiones en ruta.

$$E_i = \sum_i FE_i \times KRV_i \times FV_i$$

E = Emisión del contaminante (unidad de masa / unidad de tiempo)

FE_i = Factor de emisión para el tipo de vehículo i, (unidad de masa / unidad de distancia)

KRV_i = Distancia recorrida por tipo de vehículo i en un periodo determinado (unidad de distancia / unidad de tiempo).

FV_i = Flota vehicular por tipo de vehículo i (número de vehículos)

Ecuación 7. Ecuación general de estimación de emisiones por partida.

$$E_i = \sum_i FE_i \times Encendidos_i \times FV_i$$

E = Emisión del contaminante (unidad de masa / unidad de tiempo)

FE_i = Factor de emisión para el tipo de vehículo i, (unidad de masa / encendido)

Encendidos_i = Número de encendidos por tipo de vehículo i en un periodo determinado (Cantidad de encendidos / unidad de tiempo).

FV_i = Flota vehicular por tipo de vehículo i (número de vehículos)

Los factores de emisión se estimaron de manera indirecta, empleando el modelo IVE desagregados según lo presentado en la Tabla 5.

Tabla 5. Desagregación de los factores de emisión estimados

Categoría Vehicular	Tamaño	Combustible
Camión	Pequeño	Gasolina
		Gas Natural
		Diésel
	Mediano	Gasolina
		Diésel
	Pesado	Gasolina
Diésel		
Bus	Pequeño	Gasolina
		Diésel
		Gas Natural
	Mediano	Diésel
		Gasolina
	Pesado	Gasolina
Diésel		
Vehículo Particular	Pequeño	Gasolina
		Gas Natural
		Diésel
	Mediano	Gasolina
		Gas Natural
		Diésel
	Pesado	Gasolina
		Gas Natural
		Diésel
Taxi	Pequeño	Gasolina
		Gas Natural
	Mediano	Gasolina
		Gas Natural
Moto	2 Tiempos	Gasolina
	4 Tiempos	Gasolina

Fuente: Elaboración propia.

La distancia recorrida, se determinó empleando la información proporcionada por los Centros de Diagnóstico Automotor (CDA) y la información capturada en campo, relacionando la información del kilometraje acumulado y el año modelo por categoría vehicular. La estimación se realizó por medio de la Ecuación 8.

Ecuación 8. Estimación de kilómetros recorridos anualmente

$$km/año_i = \frac{Kilometraje\ Acumulado_i}{Año\ base\ inventario - Año\ modelo\ vehicular_i}$$

i : Categoría vehicular.

La cantidad o número de vehículos se tomó del Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT), información de vehículos registrados en las Secretarías de Tránsito y Transporte (STYT) distribuidas en 18 municipios de la región, suponiendo que los vehículos registrados son los que circulan en la jurisdicción.

Tabla 6. Ubicación de las Secretarías de Tránsito y Transporte

Provincia	Municipio
Almeidas	Chocontá
Alto Magdalena	Girardot
	Ricaurte
Chiquinquirá	Chiquinquirá
	Saboya
Gualiva	Villeta
Guavio	La Calera
Rionegro	Pacho
Sabana centro	Chía
	Cota
	Zipaquirá
Sabana occidente	El Rosal
	Facatativá
	Funza
	Mosquera
Soacha	Soacha
Sumapaz	Fusagasugá
Ubaté	Ubaté

Fuente: Elaboración propia

Las emisiones estimadas siguieron la estructura del factor de emisión, es decir, se estimaron según categoría vehicular, subdividida en tamaño y combustible utilizado (Tabla 5). Debido a que el registro entregado por el RUNT solo cuenta con información de año modelo y clase de servicio del vehículo registrado, la desagregación se realizó partiendo de las fracciones encontradas en campo, de tal manera que se pudieran determinar las cantidades de vehículos por categoría, que pertenecieran a las subdivisiones del inventario. En cuanto a los kilómetros recorridos, se empleó el kilometraje promedio por año modelo vehicular.

El inventario de emisiones se estimó para los vehículos de año modelo posterior a 1980, aunque durante el desarrollo de la campaña de campo se encontraron años modelos anteriores, los cuales representan 5,7% de la flota total.

4.3 Estimación de incertidumbre

La metodología empleada para la estimación de incertidumbre del presente inventario es la simulación de Monte Carlo⁶, la cual consistió en el recálculo de la emisión por categoría vehicular, clasificada por peso y combustible. Para el recálculo de la cada emisión se ejecutaron 100.000 simulaciones, cuyo valor medio se comparó con el valor estimado inicialmente. La incertidumbre relativa se determinó partiendo de los valores presentados en el intervalo de confianza del 95%. Posteriormente, y debido que el inventario se totalizó por medio de adición, se hizo necesaria la aplicación del método de propagación de errores, aplicando la **Ecuación 5**, descrita en el marco teórico.

La simulación de Monte Carlo, requirió la definición de las funciones de densidad de probabilidad (FDP) de cada parámetro de entrada. Según el tipo de FDP que representen los parámetros de entrada a la simulación, se estimaron adicionalmente los estadísticos que representen el conjunto de datos.

⁶ Por medio del Software RStudio, paquete mc2d

4.3.1 Función de densidad de probabilidad

- **Factores de emisión**

La función de densidad de probabilidad de los factores de emisión se identificó por medio del análisis de sensibilidad del modelo IVE. Las pruebas consistieron en la modificación de los parámetros básicos del modelo y posteriormente en la generación aleatoria de las fracciones de distribuciones de VSP, flota vehicular y velocidad promedio.

La función de densidad de probabilidad estimada para los factores de emisión de cada contaminante corresponde o representa al factor de emisión global generado por IVE, que integra (adiciona) los factores de emisión específicos generados según las características de cada una de las flotas de la zona de estudio. Para efectos de la presente investigación, se supuso que el comportamiento del factor de emisión global es el mismo para los factores de emisión específicos.

- **Kilómetros recorridos vehiculares (VKT).**

La distribución de densidad de probabilidad para los VKT se determinó por medio de diagrama de probabilidad – probabilidad (gráfico P-P), se identificó gráficamente la función de distribución de probabilidad que ajusta y representa de mejor manera cada grupo de datos estimados por contaminante y categoría vehicular. Posteriormente, se estimaron los parámetros estadísticos que definen la función de densidad de probabilidad para finalmente ingresarlas a la simulación de Monte Carlo.

- **Cantidad de vehículos**

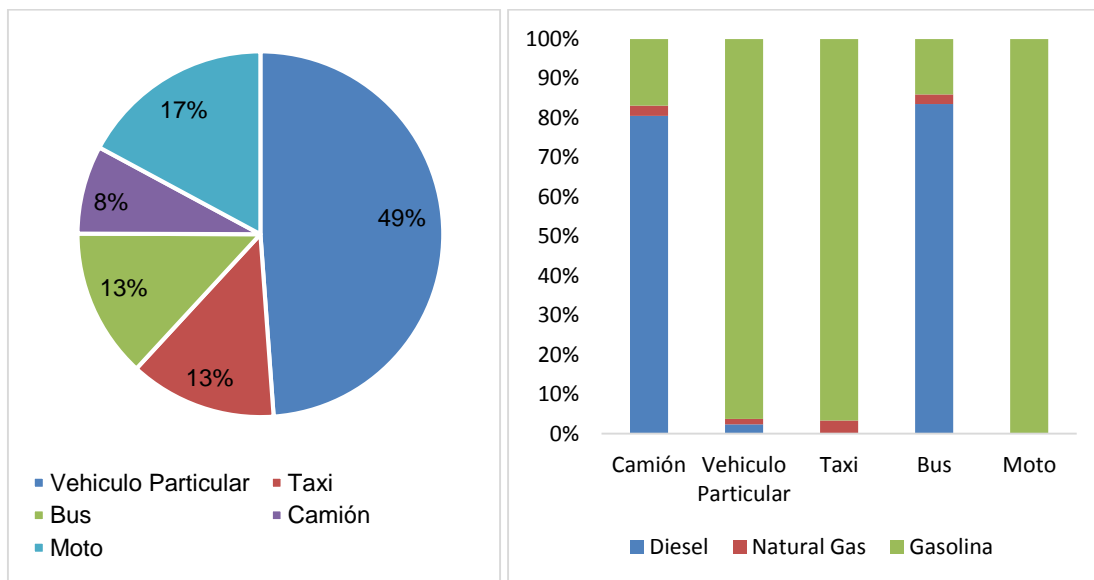
Para el caso de la cantidad de vehículos, la distribución de la función de densidad de probabilidad se realizó por medio de criterio de los realizadores de la presente investigación, ya que el conjunto de datos no contenía información suficiente que permitiera la aplicación de técnicas estadísticas para la determinación del FDP. Adicionalmente, la fuente de generación del dato no reporta un error asociado por medio de la cual se permita inferir el grado de incertidumbre del dato de actividad.

5. Resultados

5.1 Caracterización del parque automotor

El parque automotor que compone la jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR-, se encuentra compuesto principalmente por vehículos particulares y motocicletas, con 66%, como se presenta en la Gráfica 5. Taxis y buses presentan fracciones similares, de 13% cada uno. La categoría con menos vehículos es la de camiones, con el 8% del total.

Gráfica 5. Distribución categorías vehiculares y uso de combustible.



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la distribución por uso de combustible, el diésel es utilizado en aproximadamente el 80% de las flotas de buses y camiones. Cerca del 100% de motocicletas, vehículos particulares y taxis emplean gasolina como combustible, mientras que el gas natural lo utilizan principalmente los taxis (3,4%) y los buses (2,5%).

La base de datos definitiva contiene información recolectada de 4.924 vehículos de todas las categorías, compuestos por 2.408 vehículos particulares, 637 taxis, 650 buses, 385 camiones y 844 motocicletas.

Tabla 7. Caracterización del parque automotor

Categoría Vehicular	Aire/Combustible	Cantidad	%	Control Gases Escape	Cantidad	%
Vehículo particular	Carburador	880	37%	Ninguno	980	41%
	Iny. Monopunto	310	13%	2-Vias	226	9%
	Iny. Multipunto	1127	47%	3-Vias	997	41%
	Carb/mixer	32	1%	3-Vias/EGR	131	5%
	Pre-Cámara de Iny.	2	0,1%	Euroll	42	2%
	Iny. Directa	30	1%	EGR+Mejorado	30	1%
	FI	25	1%			0%
Taxi	Carburador	41	6%	Ninguno	47	7%
	Iny. Monopunto	26	4%	2-Vias	36	6%
	Iny. Multipunto	553	86%	3-Vias	552	86%
	Carb/mixer	21	3%	3-Vias/EGR	6	1%
Bus	Carburador	91	14%	Ninguno	109	17%
	Carb/Mixer	16	2%	2-Vias/EGR	4	1%
	Pre-Cámara de iny.	10	2%	3-Vias/EGR	4	1%
	Iny. Directa	440	68%	Mejorado	440	68%
	FI	93	14%	Eurol	3	0%
				Euroll	90	14%
Camión	Carburador	65	17%	Ninguno	147	38%
	Carb/Mixer	10	3%	Mejorado	182	47%
	Pre-Cámara de iny.	72	19%	Euroll	56	15%
	Iny. Directa	182	47%			
	FI	56	15%			
Moto	2-Tiempos	317	38%	Ninguno	317	38%
	4-Tiempos	527	62%	Catalizador	527	62%

Fuente: Elaboración Propia.

La Tabla 7 presenta la caracterización del parque automotor con respecto a la distribución de tecnologías de control aire/combustible y gases de escape. La inyección multipunto es la tecnología de control aire/combustible que se encuentra en el 46,8% de vehículos particulares y en el 86,3% de los taxis, utilizada en vehículos de años modelo posteriores a 1998. Aunque el carburador es la tecnología más antigua, encontrada

principalmente en vehículos de años modelos inferiores a 1997, su utilización ocurre en vehículos particulares (36,6%) y taxis (6,4%). Para el caso de camiones y buses, la inyección directa es utilizada en el 47,3% y 67,7% de los vehículos que componen cada una de las flotas respectivamente, comprende los vehículos años modelo entre 1991 y 2010. La precámara de inyección se identificó en el 18,7% de los camiones y en el 1,5% de los buses, encontrada en vehículos de años modelo menores a 1991, mientras que el uso del *common rail* (FI), tecnología más reciente que ingreso con los años modelo superiores a 2010, se da en aproximadamente el 14% de los vehículos de ambas categorías. Para el caso específico de las motocicletas, el uso de motores de cuatro tiempos representa el 62,4% de la flota, encontrada en motocicletas posteriores al año 2009.

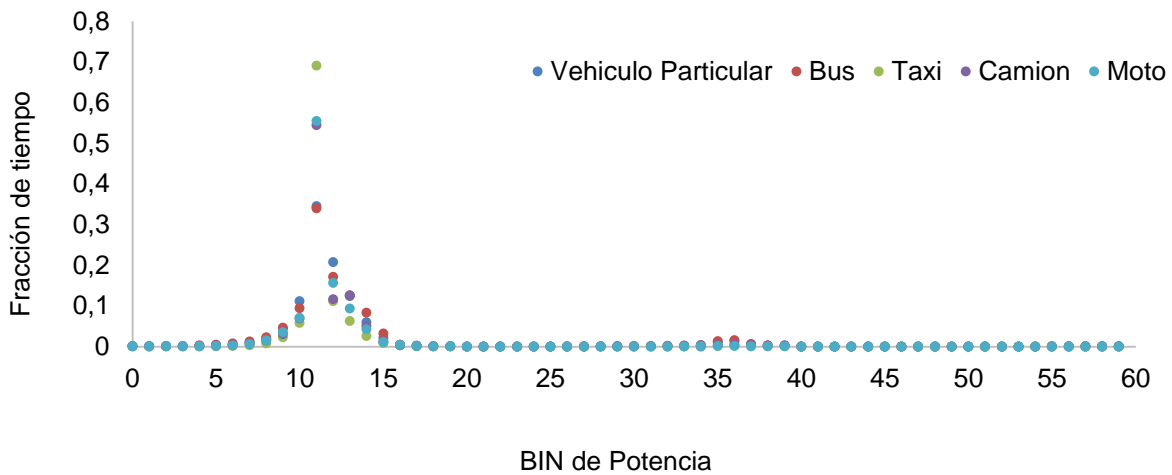
En cuanto a los sistemas de control de gases de escape, el uso de los catalizadores de 3 vías representa la mayor frecuencia. Se identificó en el 41,4% de los vehículos particulares, y en el 86,1% de los taxis. Sin embargo, el 40,7 % de los vehículos particulares circulan sin control de emisiones y para el caso de los taxis es el 7,3% de los vehículos.

El 6,7% de los buses y en el 47,3% de los camiones, utilizan una configuración de la cámara de combustión mejorada. Sin embargo, el 16,8% y 38,2%, respectivamente, no emplea sistemas de control de emisiones en su operación.

5.2 Patrones de conducción

El modelo IVE agrupa en bins la información generada a partir de la toma de datos por medio de las VAM, la agrupación en los bins se determina con la potencia específica (VSP) y estrés del motor.

Gráfica 6 Características de conducción en la jurisdicción – Distribución de bins.



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Gráfica 6, en todas las categorías vehiculares se generan niveles bajos de estrés, o cargas bajas de operación, agrupando las mayores fracciones de tiempo de operación del motor en el bin 11, que corresponde a valores de VSP de $-2,9$ a $1,2$ kW/Ton y un nivel de estrés de $-1,6$ mínimo y máximo de $3,1$.

Las cargas bajas de operación son usualmente encontradas, las cuales hacen referencia a condiciones de conducción con velocidades bajas y sin aceleraciones prolongadas.

Es importante resaltar, que los bins determinados se presentan como valores indicativos debido a que la muestra vehicular tenida en cuenta es reducida, por lo cual es posible que dicha distribución varíe al incorporarse mayor cantidad de unidades al análisis.

Se estimó tanto a nivel de vías municipales e intermunicipales, las velocidades promedio de operación de las flotas vehiculares que operan en la jurisdicción de CAR, las cuales se presentan en la Tabla 8:

Tabla 8. Velocidad promedio según tipo de vía y categoría vehicular.

Categoría	Intermunicipal	Municipal
	km/h	km/h
Buses	42	17
Camiones	43	8
Motocicletas	45	9
Vehículos Particulares	49	16

Taxi	ND	10
------	----	----

ND: No determinado, no se incluyeron taxis en vías intermunicipales

Las velocidades de mayor magnitud se presentan en las vías intermunicipales, en general las magnitudes son similares entre categorías, de las cuales el vehículo particular presenta la más alta para este tipo de vía, por otra parte, a nivel municipal los buses y vehículos particulares presentan un velocidad promedio similar, sin embargo, se hace necesaria aumentar la cantidad de vehículos incluidos para la captura de datos en campo, por medio de los cuales, se pueda ajustar de mejor manera los resultados obtenidos por tipo de categoría.

5.3 Factores de emisión

Los factores de emisión se calcularon ejecutando el Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE), por medio de la creación e ingreso en el modelo de los archivos Flota y Localidad requeridos. Dichos archivos, describen el comportamiento del parque automotor que circula por la jurisdicción CAR, incorporando en ellos los patrones de conducción, caracterización y edad del parque automotor, calidad de combustibles y condiciones ambientales de la región de estudio, determinados luego de la campaña de campo e incorporación de información de fuentes secundarias; obteniendo así, los factores de emisión ajustados a las condiciones propias de operación de cada una de las categorías vehiculares incluidas en la presente investigación.

Por otra parte, en cuanto a los factores de emisión estimados para partidas, la generación de PM10 se presentan asociado a buses y camiones operados con diésel y motocicletas de 2 tiempos principalmente. El CO y COV, de igual manera que los factores de emisiones estimados para ruta, se encuentran asociados a vehículos operados a gasolina.

Por otra parte, en cuanto a los factores de emisión estimados para partidas, la generación de PM10 se presentan asociado a buses y camiones operados con diésel y motocicletas de 2 tiempos principalmente. El CO y COV, de igual manera que los factores de emisiones estimados para ruta, se encuentran asociados a vehículos operados a gasolina.

Tabla 10 En la Tabla 9 y Tabla 10 se presentan los factores de emisión en ruta y en partida calculados por tipo o categoría vehicular desagregados por tipo de combustible (Gasolina, gas natural y diésel) y clasificados según los tamaños especificados por el modelo IVE. Es importante anotar que los factores de emisión estimados se encuentran influenciados por las fracciones según las características de la flota para cada categoría vehicular, lo que representa la participación de cada tipo de vehículo en el factor global estimado para la categoría, para efectos de la presente estimación, el inventario se calculó siguiendo esta estructura de factores de emisión, incorporando a la emisión total la participación según combustible y tamaño de vehículo incluido. Adicionalmente, se presentan los factores de emisión globales estimados para cada categoría vehicular en las Tabla 11 y Tabla 12.

Se presentan los factores de emisión para material particulado (PM_{10}), monóxido de carbono (CO), Óxidos de nitrógeno (NO_x), Óxidos de azufre (SO_x) y compuestos orgánicos volátiles (COV).

En cuanto a los factores de emisión estimados para ruta, La mayor generación de PM_{10} por kilómetro recorrido se agrupa principalmente en los vehículos de tamaño medio y pesado de las categorías de buses y camiones que emplean diésel como combustible, mientras que, para las motocicletas, el factor de emisión de mayor magnitud se presenta en las que operan con motores de dos tiempos.

La generación de CO se encuentra concentrada en vehículos operados a gasolina, especialmente en tamaños pequeños y medianos, ya que representan el 89% de la flota encontrada en la jurisdicción. Para el caso de las motocicletas, el CO es generado principalmente por las motos de dos tiempos.

Para el caso de NO_x y SO_x , la generación es dominada por las flotas de buses y camiones, mayormente operados con diésel. Para el caso de las motos, el factor de emisión que presenta mayor magnitud de estos gases ocurre para las de cuatro tiempos, lo cual puede estar relacionado con la fracción de motocicletas de este tipo, que corresponde a aproximadamente al 62% del parque automotor.

Por último, los vehículos operados a gasolina presentan mayores niveles de generación de COV por kilómetro recorrido.

Tabla 9. Factores de emisión en ruta según categoría vehicular.

Vehículo	Tamaño	Combustible	PM ₁₀ (g/km)	CO (g/km)	NO _x (g/km)	SO _x (g/km)	COV (g/km)
Camión	Pequeño	Gasolina	0,016	36,042	1,021	0,013	1,609
		Gas Natural	1,3E-04	5,961	0,159	5,2E-05	0,021
		Diésel	0,159	0,705	3,802	0,022	0,213
	Mediano	Gasolina	3,1E-03	11,404	0,317	0,004	0,513
		Diésel	0,215	2,056	6,166	0,028	0,473
	Pesado	Gasolina	0,001	2,313	0,066	0,001	0,103
Diésel		0,623	2,776	11,465	0,046	0,615	
Bus	Pequeño	Gasolina	0,016	33,001	1,189	0,011	0,919
		Diésel	0,305	0,620	5,065	0,030	0,188
		Gas Natural	1,5E-04	2,979	0,109	3,9E-05	0,007
	Mediano	Diésel	0,153	0,508	3,934	0,019	0,125
	Pesado	Gasolina	7,6E-05	0,210	0,019	0,000	0,016
		Diésel	0,009	0,018	0,146	0,001	0,018
Vehículo Particular	Pequeño	Gasolina	2,2E-03	10,068	0,765	0,016	0,905
		Gas Natural	1,1E-05	0,052	0,004	2,2E-06	1,3E-04
	Mediano	Gasolina	1,7E-03	7,237	0,577	0,013	0,598
		Gas Natural	3,2E-05	0,226	0,019	6,4E-06	1,2E-03
	Pesado	Diésel	9,8E-04	3,8E-03	-	4,0E-04	0,002
		Gasolina	2,1E-03	1,782	0,202	3,2E-03	0,190
	Gas Natural	3,0E-05	0,072	0,006	2,1E-06	3,5E-04	
	Diésel	6,2E-04	0,003	0,009	3,9E-04	0,001	
Taxi	Pequeño	Gasolina	1,0E-02	11,973	1,018	0,047	2,510
		Gas Natural	2,0E-04	0,796	0,135	4,5E-05	0,008
	Mediano	Gasolina	1,0E-03	2,410	0,164	0,005	0,421
		Gas Natural	5,7E-05	0,289	0,033	1,2E-05	0,003
Moto	2 Tiempos		0,189	15,139	0,032	0,005	9,483
	4 Tiempos		0,035	4,049	0,114	0,008	0,958

Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte, en cuanto a los factores de emisión estimados para partidas, la generación de PM₁₀ se presentan asociado a buses y camiones operados con diésel y motocicletas de 2 tiempos principalmente. El CO y COV, de igual manera que los factores de emisiones estimados para ruta, se encuentran asociados a vehículos operados a gasolina.

Tabla 10. Factores de emisión por partidas según categoría vehicular.

Vehículo	Tamaño	Combustible	PM ₁₀ (g/start)	CO (g/start)	NO _x (g/start)	SO _x (g/start)	COV (g/start)
Camión	Pequeño	Gasolina	0,028	3,051	0,107	0,002	0,054

**Estimación de emisiones de contaminantes provenientes de fuentes
móviles en la jurisdicción CAR**

		Gas Natural	0,000	0,502	0,017	0,000	0,001	
		Diésel	0,159	0,055	0,280	0,001	0,006	
		Mediano	Gasolina	0,005	0,949	0,033	0,000	0,017
			Diésel	0,218	0,164	0,544	0,002	0,014
		Pesado	Gasolina	0,001	0,200	0,007	0,000	0,004
			Diésel	0,631	0,219	0,904	0,003	0,019
Bus	Pequeño	Gasolina	0,033	3,213	0,113	0,002	0,057	
		Diésel	0,505	0,075	0,524	0,002	0,010	
		Gas Natural	0,000	0,284	0,010	0,000	0,000	
	Mediano	Diésel	0,248	0,061	0,403	0,001	0,007	
		Pesado	Gasolina	0,000	0,050	0,002	0,000	0,001
	Diésel		0,014	0,002	0,015	0,000	0,000	
Vehículo Particular	Pequeño	Gasolina	0,006	10,790	0,417	0,002	0,699	
		Gas Natural	0,000	0,069	0,002	0,000	0,000	
	Mediano	Gasolina	0,004	9,189	0,504	0,002	0,583	
		Gas Natural	0,000	0,208	0,010	0,000	0,001	
		Diésel	0,002	0,012	0,001	0,000	0,003	
	Pesado	Gasolina	0,006	1,667	0,117	0,000	0,129	
Gas Natural		0,000	0,056	0,003	0,000	0,000		
Diésel		0,001	0,011	0,001	0,000	0,003		
Taxi	Pequeño	Gasolina	0,012	21,340	0,721	0,003	1,463	
		Gas Natural	0,000	0,601	0,018	0,000	0,002	
	Mediano	Gasolina	0,001	2,094	0,108	0,000	0,143	
		Gas Natural	0,000	0,173	0,007	0,000	0,001	
Moto	2 Tiempos		0,274	29,136	0,186	0,000	7,533	
	4 Tiempos		0,047	4,047	0,373	0,000	0,853	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 11. Factores de emisión globales en ruta según categoría vehicular.

Categoría Vehicular	PM ₁₀ (g/km)	CO (g/km)	NOx (g/km)	SOx (g/km)	VOC (g/km)
Camión	1,02	61,26	23	0,11	3,55
Bus	0,48	37,34	10,46	0,06	1,27
Vehículo particular	0,01	19,44	1,58	0,03	1,70
Taxi	0,01	15,47	1,35	0,05	2,94
Moto	0,22	19,19	0,15	0,01	10,44

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12. Factores de emisión globales por encendidos según categoría vehicular.

Categoría Vehicular	PM ₁₀ (g/start)	CO (g/start)	NOx (g/start)	SOx (g/start)	VOC (g/start)
Camión	1,04	5,14	1,89	0,01	0,11
Bus	0,80	3,69	1,07	0,01	0,08
Vehículo particular	0,02	22,00	1,06	0,005	1,42

Taxi	0,01	24,21	0,85	0,004	1,61
Moto	0,32	33,18	0,56	0,001	8,39

Fuente: Elaboración Propia

El análisis de sensibilidad permitió evidenciar los parámetros cuya variación impacta en la magnitud del factor de emisión por categoría vehicular y contaminante. De manera general, las variaciones en los parámetros en la potencia específica vehicular (VSP), velocidad, y distribución de la flota vehicular afectan las magnitudes de los factores de emisión para los contaminantes criterio incluidos en esta investigación. Sin embargo, existen casos puntuales de variación, especialmente en la generación de PM₁₀, en buses y camiones, relacionados con el cambio en el contenido de azufre y clase del diésel.

Con el conjunto de datos generados a partir del análisis de sensibilidad para cada factor de emisión por categoría vehicular, se identificaron las funciones de densidad de probabilidad, requerimiento necesario para el análisis de incertidumbre del inventario total. La selección de la distribución se realizó mediante el estadístico de ajuste Anderson-Darling, cuyo valor menor representa un mejor nivel de ajuste del conjunto de datos con la distribución teórica. En el Anexo B se encuentran los reportes comparativos para todos los casos analizados.

Los conjuntos de datos se ajustaron a la distribución *Lognormal*. Sin embargo, en casos específicos de CO para la flota de taxis, PM₁₀ y COV para vehículos particulares, así como para PM₁₀, SO_x y COV en el caso de buses, el estadístico de Anderson-Darling presentaba mejor ajuste con distribuciones tipo Weibull y Gamma. Sin embargo, para efectos de unificación de términos, se supuso que el comportamiento correspondía a distribuciones *Lognormal*, habiendo observado que esta distribución estaba en segunda y tercera posición dentro de los reportes generados para cada caso.

La Tabla 13 presenta los parámetros de la distribución determinada para cada factor de emisión, los cuales fueron empleados para la simulación de Monte Carlo.

Tabla 13 Parámetros de la distribución Lognormal.

Categoría Vehicular	Contaminante	Escala	Forma
Motocicletas	CO	100,02	0,93
	COV	28,75	0,68
	NO _x	1,00	0,54

	SO _x	0,02	0,85
	PM ₁₀	1,06	1,04
Camión	CO	81,89	1,02
	COV	2,60	0,54
	NO _x	18,23	0,51
	SO _x	0,09	0,59
	PM ₁₀	1,69	0,45
	Bus	CO	51,87
COV		1,26	0,51
NO _x		11,38	0,47
SO _x		0,06	0,79
PM ₁₀		1,12	0,84
Taxi		CO	104,34
	COV	4,08	0,83
	NO _x	5,17	1,13
	SO _x	0,06	1,02
	PM ₁₀	0,05	1
	Vehículos Particulares	CO	61,71
COV		2,95	0,54
NO _x		3,38	0,49
SO _x		0,03	0,91
PM ₁₀		0,04	0,69

Fuente: Elaboración Propia

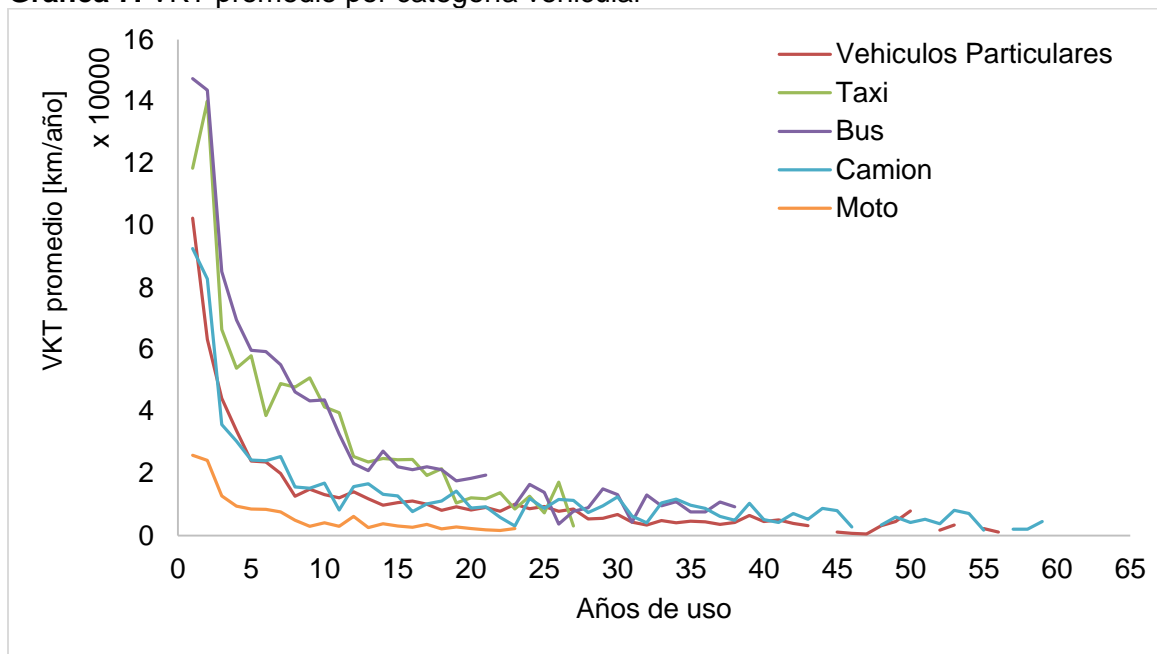
5.4 Procesamiento y análisis de información del factor de actividad

5.4.1 Kilómetros vehiculares recorridos

Como se mencionó anteriormente, el año base para el cálculo del inventario es el 2012. Partiendo de este año, se estimaron los kilómetros recorridos por cada flota vehicular (*Vehicle Kilometers Traveled – VKT*). El kilometraje recorrido se encuentra estrechamente relacionado con el tipo de uso o servicio que presta el vehículo. Es así como las flotas de taxis y buses presentan en promedio mayor recorrido que las demás categorías, con 62.314 km/año y 45.484 km/año respectivamente, seguido de los camiones con 24.571 km/año, vehículos particulares con 22.110 km/año y motocicletas con 16.459 km/año.

De manera general y como se observa en la Gráfica 7, en la jurisdicción de la CAR el uso de los vehículos se concentra en los primeros 15 años, extendiéndose para taxis y buses entre 25-35 años, y entre 40-50 años para los camiones y vehículos particulares. Las motocicletas presentan uso hasta aproximadamente 18 años.

Gráfica 7. VKT promedio por categoría vehicular



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la distribución de la vida útil del parque automotor de la jurisdicción, el 90% de la vida útil de la categoría de taxis se encuentra distribuida entre los 0 y 19 años, mientras que para los buses se encuentra comprendida entre 0 y 28 años. Para el caso de los vehículos particulares, el 90% se establece entre los 0 y 35 años, y camiones entre 0 y 41 años, por otra parte, las motocicletas presentan el 90% de uso entre los 0 y 17 años.

Finalmente, y con el propósito de definir los parámetros a ingresar en el análisis de incertidumbre del inventario, se determinó la función de densidad de probabilidad que representa el comportamiento de los kilómetros recorridos por flota vehicular. Se realizaron las pruebas no paramétricas, rechazando en todos los casos la hipótesis nula, como se presenta en la Figura 14.

Figura 14 Resumen contraste de hipótesis de VKT por categoría vehicular.

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de vkt_VP es normal con la media 11.494 y la desviación estándar 6.446,493.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	,000 ¹	Rechace la hipótesis nula.
2	La distribución de vkt_Taxi es normal con la media 51.843 y la desviación estándar 33.569,078.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	,000 ¹	Rechace la hipótesis nula.
3	La distribución de vkt_Bus es normal con la media 43.414 y la desviación estándar 33.466,258.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	,000 ¹	Rechace la hipótesis nula.
4	La distribución de vkt_Camion es normal con la media 16.913 y la desviación estándar 11.128,312.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	,000 ¹	Rechace la hipótesis nula.
5	La distribución de vkt_Moto es normal con la media 16.187 y la desviación estándar 11.613,284.	Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra	,000 ¹	Rechace la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es ,05.

¹Lilliefors corregido

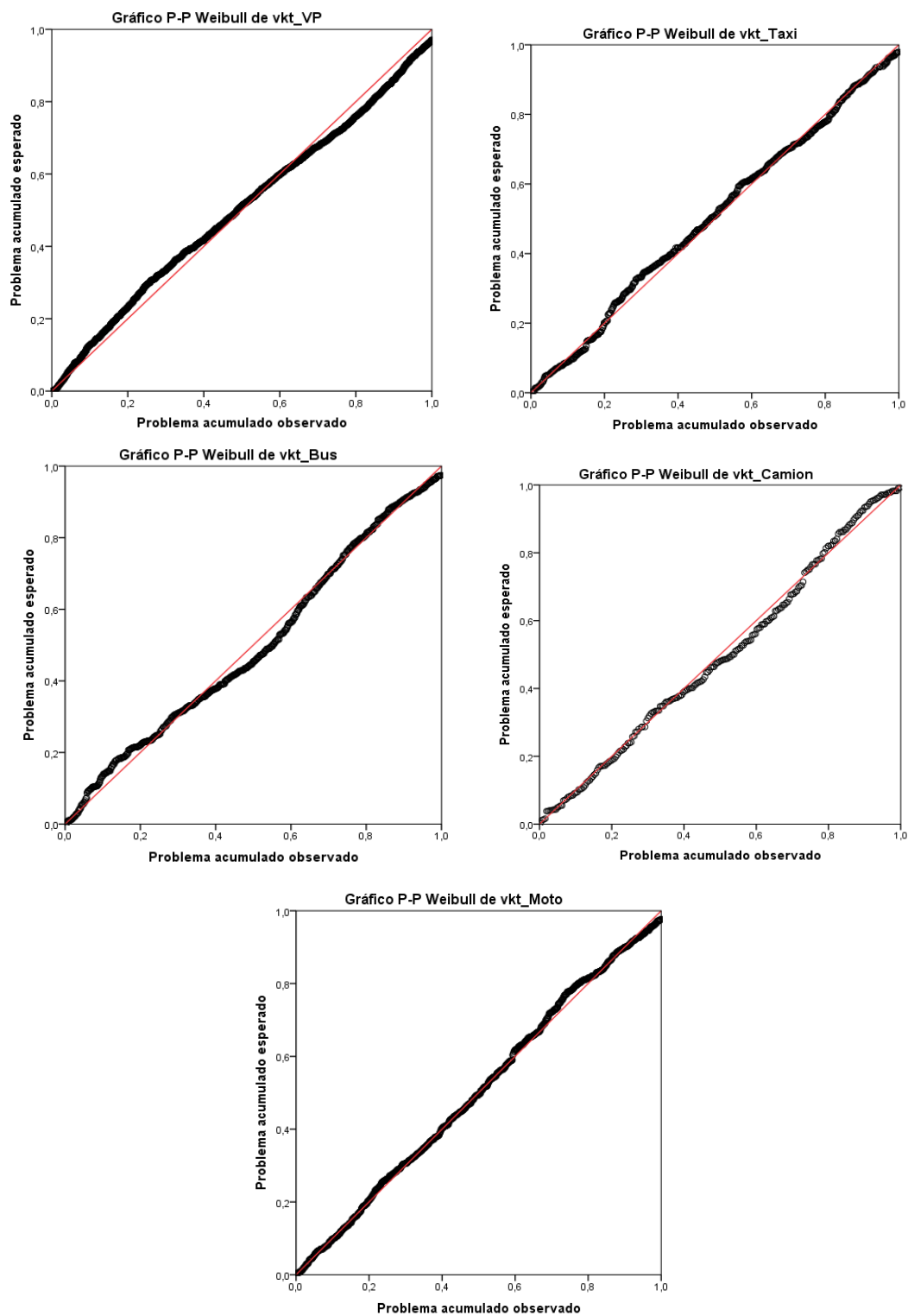
Fuente: Elaboración propia

De los gráficos P-P se determinó que la distribución que mejor se ajusta es la distribución *Weibull*, como se presenta en la Figura 15. Los parámetros de la distribución se presentan en la Tabla 14.

Tabla 14. Parámetros de la distribución Weibull estimados

Categoría Vehicular	Escala	Forma
Vehículo Particular	13.304,8	1,565
Taxi	58.027,9	1,445
Bus	47.752,4	1,214
Camión	18.746,8	1,620
Moto	17.761	1,292

Fuente: Elaboración propia.

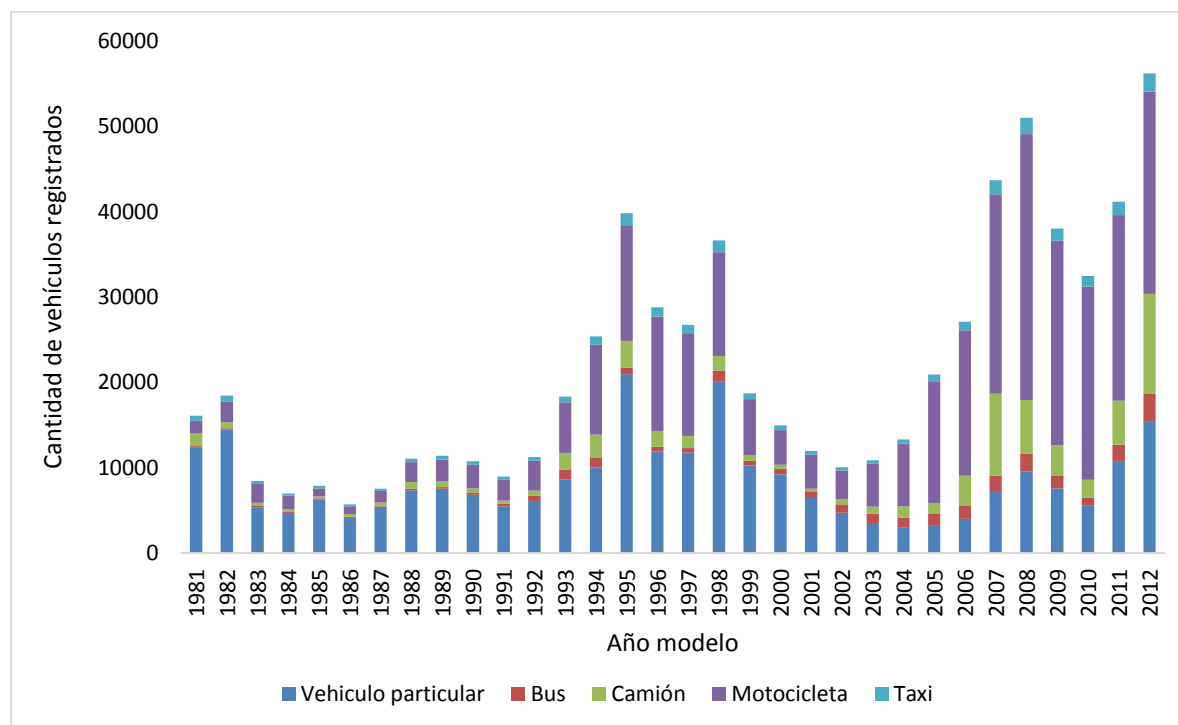
Figura 15 Gráficos P-P distribución de VKT por flota vehicular

Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Cantidad de vehículos por categoría

La cantidad de vehículos registrados por categoría se presentan en la Gráfica 8, en la cual se observan las cantidades vehiculares desagregadas por año modelo registrado en las Secretarías de Tránsito y Transporte, distribuidas en la jurisdicción CAR.

Gráfica 8 Cantidad de vehículos registrados por año modelo según categoría vehicular.



Fuente: Elaboración propia. Adaptación base de datos RUNT.

La cantidad de vehículos registrados presentan dos periodos sobresalientes, el primero con los vehículos año modelo entre 1994 y 1998, y el segundo en el registro de vehículos año modelo entre 2007 y 2012. Es de resaltar el aumento en la cantidad de motocicletas registradas, a partir del año 1994 aproximadamente, incluso superando la cantidad de vehículos particulares en el año 2012.

En cuanto a la densidad de distribución de probabilidad, debido a la poca cantidad de registros, se supuso que el comportamiento de los datos es representado por una distribución normal en todos los casos.

5.5 Inventario de emisiones e incertidumbre asociada

La Tabla 15 presenta el inventario de emisiones totalizado y la participación de las emisiones en partida y ruta a la emisión total. El contaminante emitido en mayor cantidad durante el año 2012 fue el monóxido de carbono, componiendo el 67% de la emisión, seguido de los compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno con participación en la emisión de 15.2% y 16.7% respectivamente. Finalmente, las emisiones de material particulado y óxidos de azufre, con aproximadamente 1% de participación cada uno.

Tabla 15. Emisiones vehiculares totalizadas por categoría vehicular

Tipo de Emisión	PM ₁₀ (ton/año)	PM ₁₀ (%)	CO (ton/año)	CO (%)	NOx (ton/año)	NOx (%)	SOx (ton/año)	SOx (%)	COV (ton/año)	COV (%)
Partidas	176	11.6	20.489	18.8	439	1.6	2	0.6	4.173	16.8
Ruta	1.347	88.4	88.764	81.2	26.821	98.4	249	99.4	20.647	83.2
TOTAL	1.523	100	109.253	100	27.260	100	250	100	24.820	100

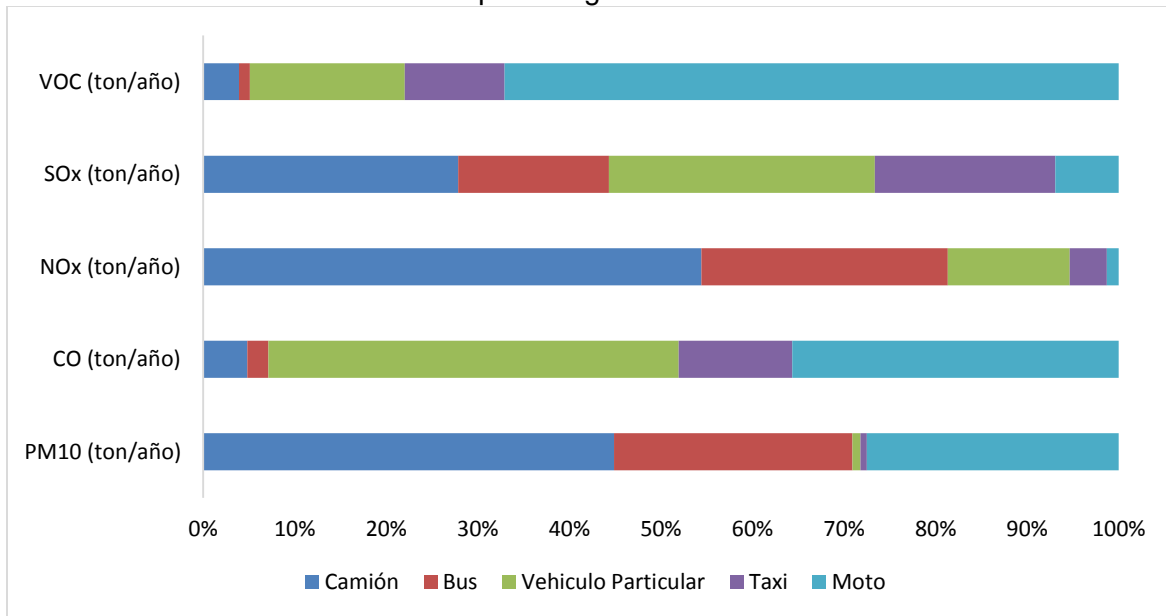
Fuente: Elaboración propia

La Gráfica 9 presenta el aporte a la emisión por contaminante generado por cada categoría vehicular incluida en esta investigación. La generación de PM₁₀ se concentra principalmente en las categorías vehiculares de camiones y buses, con el 45% y 26% respectivamente. Sin embargo, se presenta un aporte considerable proveniente de la flota de motocicletas (28%) a las emisiones de partículas en la jurisdicción.

Es importante resaltar el aumento en el uso de la motocicleta como medio de transporte, con una participación del 43% en la composición del parque automotor de la jurisdicción, superando la cantidad de vehículos particulares registrados en 4,3%, lo cual se ve reflejado en el aporte a las emisiones estimadas, especialmente en CO, COV y PM₁₀.

En el caso del CO, el 93% fue emitido por vehículos particulares (45%), taxis (13%) y motocicletas (36%). El NOx lo emiten principalmente las flotas de camiones, buses y vehículos particulares, con aportes del 54%, 27% y 13% respectivamente.

Gráfica 9 Contribución a la emisión por categoría vehicular



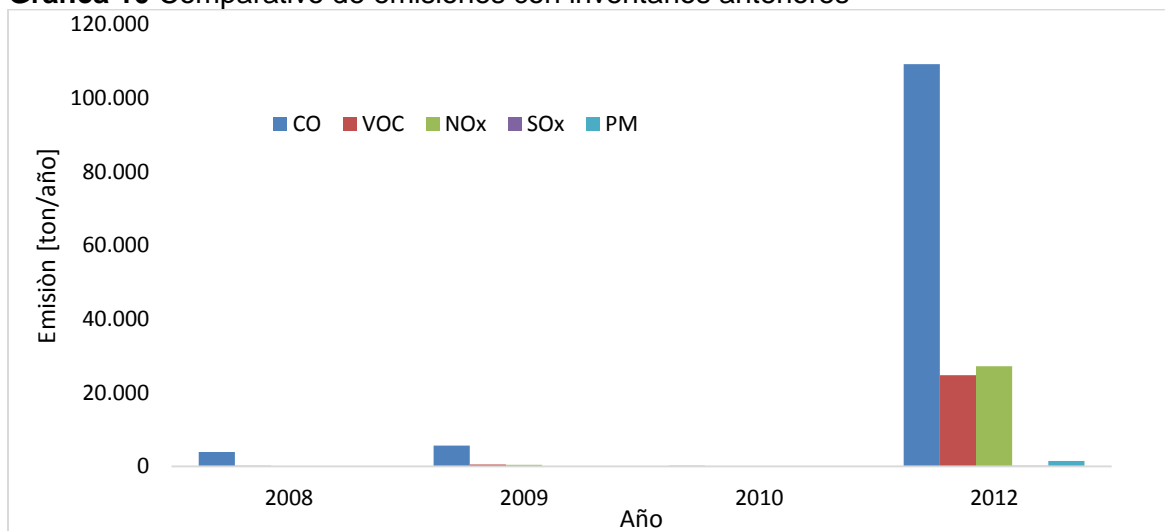
Fuente: Elaboración propia

La principal categoría vehicular generadora de COV son las motocicletas, con el 67% de participación total, seguida de vehículos particulares con 17% y taxis con 11%.

La flota vehicular impulsada con gasolina como combustible aporta a la generación de CO y COV, principalmente. En 2012, se generaron por el uso de este combustible emisiones de 104.483 ton CO/año y 23.660 ton COV/año, en la jurisdicción de la CAR.

El uso de diésel aportó principalmente a la generación de NOx y PM₁₀, emitiendo para el año en estudio, 22.070 ton NOx/año y 1.079 ton PM₁₀/año. El gas natural, presentó aportes en la generación de CO y NOx principalmente. Sin embargo, la participación es menor al 0,1% de la emisión estimada.

La Gráfica 10 presenta el comparativo entre emisiones estimadas en los diferentes ejercicios anteriormente desarrollados en la jurisdicción. Si bien la comparación no se realiza sobre los mismos años estimados, se aprecia la enorme diferencia de magnitudes entre las estimaciones, atribuible a que los cálculos previos no abarcaron las emisiones de toda la jurisdicción.

Gráfica 10 Comparativo de emisiones con inventarios anteriores

Fuente: Elaboración propia.

La incertidumbre del inventario de emisiones estimado para el año 2012, se cuantificó por medio de la simulación de Monte Carlo, mediante el re-cálculo del inventario. Debido a que las emisiones en ruta representan más del 80% de la emisión total, la estimación de la incertidumbre se enfocara en dichas emisiones, dando prioridad a las entradas al inventario que producen la mayor repercusión sobre la incertidumbre general de éste (IPCC, 2006a).

Se realizó la simulación para cada sub-cálculo incluido, incorporando la función de densidad de probabilidad de cada componente del cálculo determinado anteriormente, así como los parámetros estadísticos que representan dicho comportamiento. Posteriormente, la totalización de la incertidumbre se realizó por medio del método de propagación de errores, obteniendo la magnitud total de la incertidumbre asociada a la emisión total por contaminante criterio incluido.

La diferencia relativa entre el inventario estimado y las emisiones obtenidas luego de la simulación de Monte Carlo (MC), son en promedio de 8,6% entre ambos valores para todos los contaminantes, lo que presenta una reproducibilidad buena de la simulación a las emisiones estimadas. Los resultados se presentan en la Tabla 16.

El comportamiento de la incertidumbre del inventario es asimétrica, influencia por las distribuciones del factor de emisión y los kilómetros recorridos vehiculares, cuyas

distribuciones son lognormal y weibull respectivamente. De la simulación de Monte Carlo se establecieron los límites de cada estimación que representen el 95% de confianza, y se asociaron a las emisiones estimadas, esta aproximación se considera apropiada ya que las diferencias entre los valores estimados por la simulación y los estimados por el inventario no presenta altas variaciones en sus magnitudes.

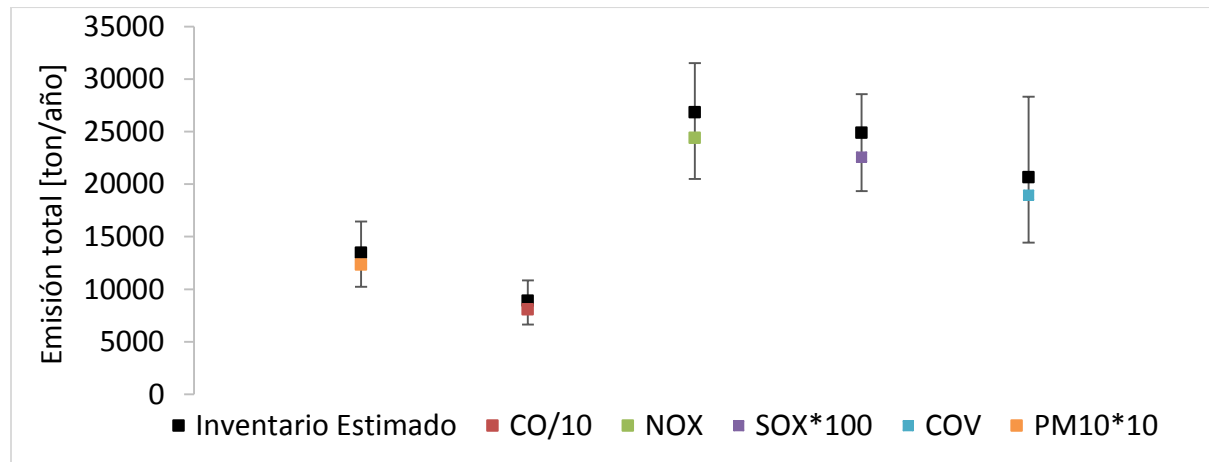
Tabla 16 Resultados de la emisión en ruta estimada y la simulación de MC

Contaminante	Emisión Total Estimada	Simulación MC	Diferencia relativa
PM ₁₀ (ton/año)	1.347	1.235	8,3%
CO (ton/año)	88.764	80.864	8,9%
NOx (ton/año)	26.821	24.380	9,1%
SOx (ton/año)	249	226	9,2%
COV (ton/año)	20.647	19.057	7,7%

Fuente: Elaboración propia

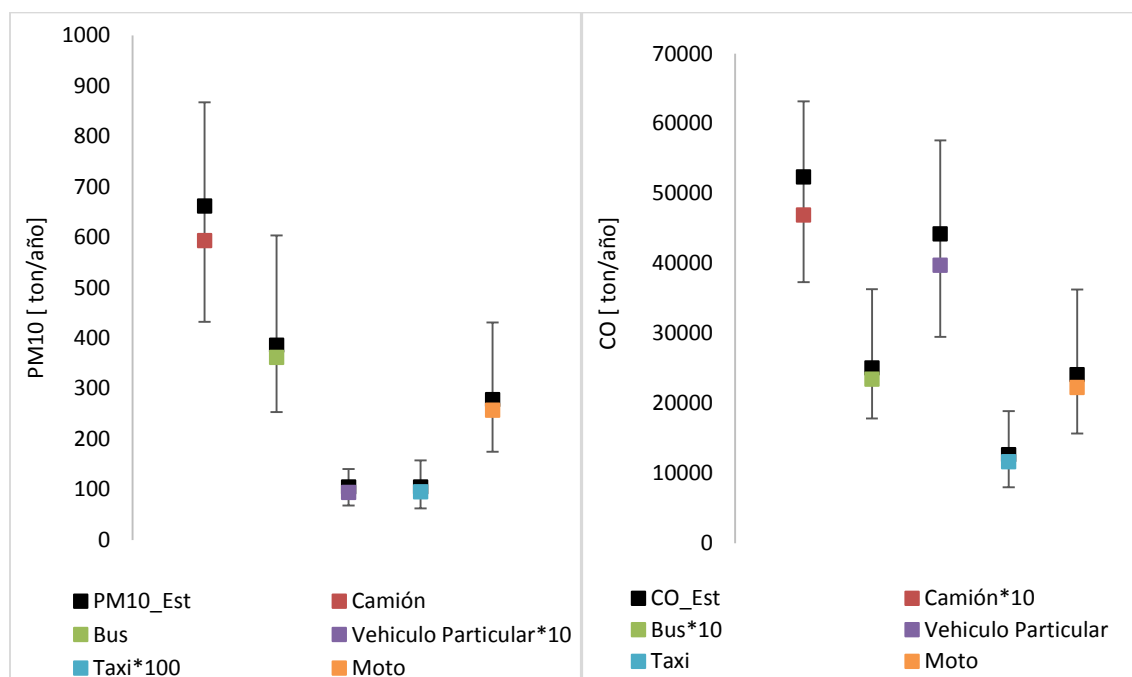
En la Gráfica 11 se presenta de manera gráfica el intervalo en el cual la magnitud de la emisión puede tomar valores con 95% de confianza. La incertidumbre relativa se encuentra en promedio entre 15% como límite inferior y 29% en el límite superior para todos los contaminantes. Sin embargo, la emisión de COV representa variaciones más amplias alcanzando la incertidumbre relativa de 22% a 45%, mientras que las emisiones de SOx cuentan con un intervalo de incertidumbre relativa entre 13% - 24,1%.

Gráfica 11 Incertidumbre asociada al inventario estimado por contaminante criterio

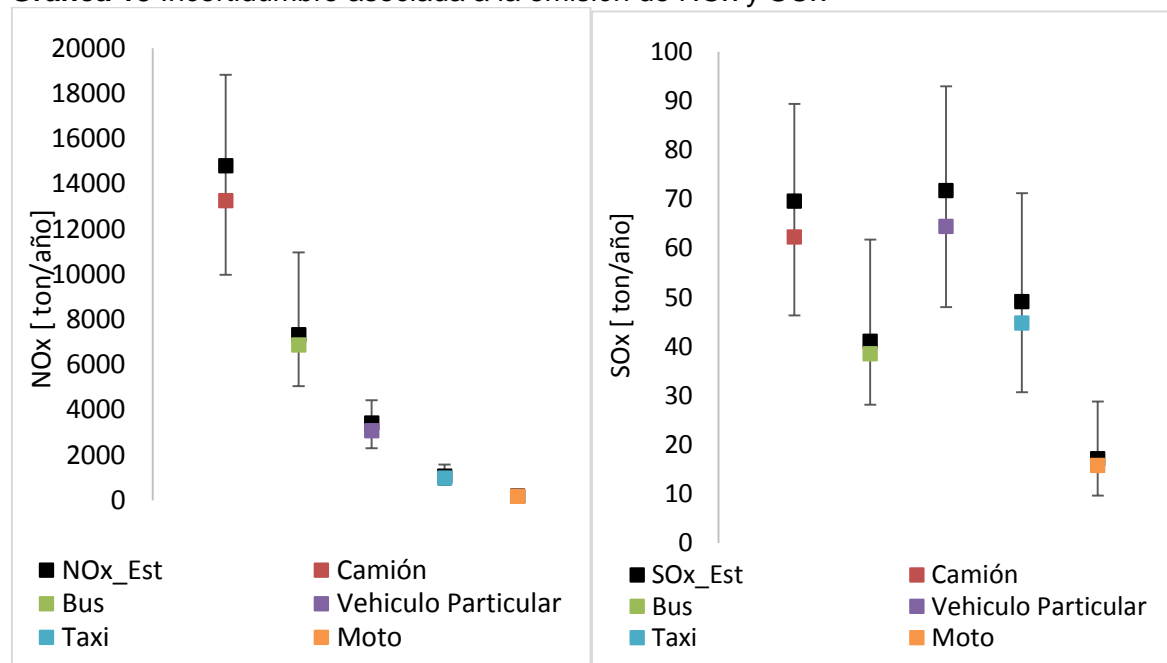


Fuente: Elaboración propia

La Gráfica 12, Gráfica 13 y Gráfica 14 describen el comportamiento de la incertidumbre por tipo de contaminante emitido según la flota vehicular.

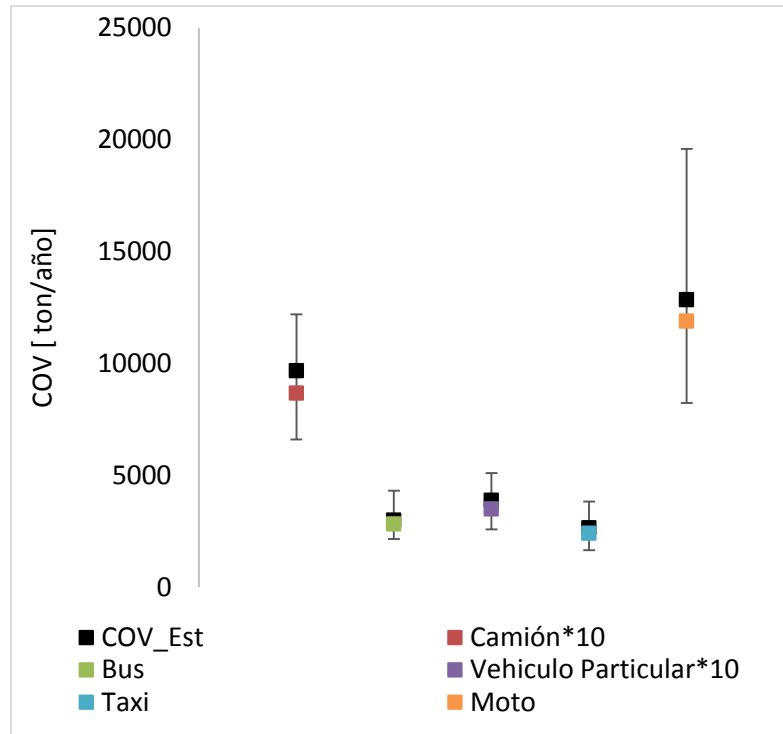
Gráfica 12 Incertidumbre asociada a la emisión de PM₁₀ y CO

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 13 Incertidumbre asociada a la emisión de NO_x y SO_x

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 14 Incertidumbre asociada a la emisión de COV



Fuente: Elaboración propia

La categoría de camiones presenta, en promedio, límites de incertidumbre relativas comprendidos entre 23,8% y 40,4%. Específicamente en la estimación de la emisión de SO_x, presenta la mayor incertidumbre, variando entre 25,7% y 43,5% como límites inferior y superior respectivamente.

Para el caso de los buses, el intervalo de mayor amplitud se presenta en la estimación de PM₁₀ siendo este de 28% en el límite inferior y 63% en el límite superior. De manera general en esta categoría vehicular, se observan, en promedio, incertidumbres relativas de 25,8% en el límite inferior y 58,1% en el intervalo superior.

En cuanto a los vehículos particulares, las incertidumbres relativas se encuentran entre los límites superior e inferior en promedio de 25,5% y 44,5% respectivamente, presentando la mayor incertidumbre en la generación de COV con límites inferior de 26,2% y superior de 45,8%. Para la flota de taxis, el límite inferior promedio presenta

31,3% y el superior de 60%, observándose mayores incertidumbres relativas en la estimación de la emisión de CO, cuyo límite inferior es de 31,3% y superior de 62%.

Por último, en la categoría de motocicletas, la incertidumbre promedio se observa entre 34,2% como límite inferior y 72% en el superior. La emisión de NOx es la presente intervalos de mayor amplitud, variando entre los límites 41,9% y 87,9%.

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1 Conclusiones

La estimación del inventario de emisiones de contaminantes criterio para la jurisdicción CAR, llevó consigo la definición de los factores de actividad característicos del parque automotor de la jurisdicción y el cálculo de los factores de emisión propios de la región. La información fue recolectada mediante el desarrollo de la campaña de campo en vías municipales e intermunicipales, así como la incorporación de datos tomados por la CAR y entidades regulatorias como los Centros de Diagnóstico Automotor y el Registro Único Nacional de Tránsito, así como consulta a expertos e información de los principales distribuidores de vehículos en el país. Por otra parte, la estimación de incertidumbre se realizó por medio de la simulación de Monte Carlo, definiendo para ello las funciones de densidad de probabilidad para cada parámetro del inventario; las incertidumbres parciales del inventario se totalizaron por medio de la metodología de propagación de errores, obteniendo así la cuantificación de la incertidumbre total del inventario para cada contaminante incluido.

Los factores de emisión calculados por medio del modelo IVE incorporan las condiciones de operación del parque automotor, influenciados por los patrones de conducción, definidos en términos de la potencia específica vehicular, caracterización y distribución de las categorías vehiculares, así como las condiciones ambientales de la zona de estudio. La generación de factores de emisión propios, ya sea aplicando técnicas de estimación directas o indirectas, permite aumentar el nivel de detalle y la rigurosidad en la estimación del inventario, reduciendo la utilización de supuestos y ajustando las metodologías a las circunstancias reales de la zona de estudio, propiciando además, el

uso de los mismos en las futuras estimaciones, homogenizando la metodología de estimación, permitiendo así su comparabilidad y reproducibilidad en el tiempo.

La caracterización del parque automotor permitió definir que en la jurisdicción CAR la inyección multipunto es la tecnología de control aire/combustible que se encuentra en la mayor parte de los vehículos particulares y taxis, pero que sin embargo, el carburador aún es empleado en el 36,6% y 6,4% respectivamente, siendo esta la tecnología más antigua encontrada principalmente en vehículos operados a gasolina menores al año 1997. También se estableció, que en buses y camiones la inyección directa lo utilizan en promedio el 57,5% de los vehículos de estas categorías y que las motocicletas de 4 tiempos conforman el 62,4% de esta categoría vehicular.

Adicionalmente se estableció que aunque el 41,4% de los vehículos particulares y el 86.1% de los taxis utilizan convertidor catalítico de 3 vías, existe una importante fracción de vehículos que no utilizan sistemas de control de gases de escape, es decir, vehículos perteneciente a años modelo anteriores al 2004, situación similar presentan las categorías de buses y camiones, en cuyo caso 16,8% y 38,2% de la flota no utiliza ningún sistema de control de gases de escape; se hace entonces necesaria la implementación, puesta en marcha y control de medidas de chatarrización y culturización a la población en dejar de utilizar vehículos antiguos, permitiendo la renovación del parque automotor que circula por la región CAR.

En cuanto al factor de actividad, expresada en kilómetros vehiculares recorridos, en promedio la categoría de taxi recorre 62.314 km/año, la de buses 45.484 km/año, camiones 24.571 km/año, vehículos de pasajeros 24.571 km/año y finalmente motocicletas con 16.457 km/año. El mayor uso vehicular se encuentra concentrado en promedio en los primeros 15 años de vida útil vehicular, sin embargo, en la jurisdicción CAR se encontraron en operaciones, camiones de aproximadamente 41 años, vehículos particulares de 35 años, motocicletas de 17 años, taxis de 19 años y camiones de 25 años.

De los vehículos registrados en las Secretarías de Tránsito y Transporte distribuidas en la jurisdicción, se determinó que las motocicletas y vehículos particulares componen el 82% del parque automotor, con 43% y 39% respectivamente, seguido de camiones con 10%, y finalmente de buses y taxis con participación del 4% de cada flota. Es importante resaltar el ingreso y operación de las motocicletas, sobrepasando incluso la utilización de

los vehículos particulares. La flota de motocicletas se ha convertido en el medio de transporte preferido no solamente en la jurisdicción, sino a nivel nacional; según estadísticas del RUNT de los 10'308.628 vehículos de todas las categorías registrados, 5'546.039 unidades son motocicletas, correspondiendo al 53,8% del parque automotor nacional. Actualmente, el uso de las motocicletas no cuenta con mayor regulación, y esto sumado a los bajos costos de adquisición y a la versatilidad que brinda este medio de transporte, el impacto en su uso se ve reflejado en el inventario de emisiones, por cual, se requiere profundizar en medidas regulatorias que permitan desmotivar su uso y migrar hacia tecnologías limpias, que de igual manera que las motocicletas, representen bajos costos tanto de adquisición como de operación.

De los factores de emisión de contaminantes criterio estimados para la región de la jurisdicción CAR, los camiones constituyen la categoría vehicular que genera la mayor emisión por kilómetro recorrido para todos los contaminantes, con excepción de la generación de COV, la cual es liderada por las motocicletas. Las categorías que operan con diésel presentan mayor generación de PM₁₀, NO_x y SO_x, mientras que los operados a gasolina generan principalmente CO y COV por kilómetro recorrido.

El inventario de emisiones evidenció que al año 2012 en la región se emitieron, 1.523 ton PM₁₀/año, 109.253 ton CO/año, 27.260 ton NO_x/año, 250 ton SO_x/año y 24.820 ton COV/año. Vehículos particulares, taxis y motocicletas emiten primordialmente CO. En el caso de NO_x y SO_x, la flota de buses, camiones y vehículos particulares son las principales fuentes de emisión. Las motocicletas es la tercera fuente de PM₁₀, luego de la flota de camiones y buses, y es la principal fuente de COV.

El reporte de la incertidumbre es uno de los criterios de calidad de los inventarios de emisión, por tal razón, se deben implementar metodologías que permitan determinar cuantitativamente el nivel de certeza que se tiene con respecto al valor de emisión reportado. De la presente investigación se obtuvo información de caracterización aproximada del comportamiento y distribución de los parámetros ingresados en la estimación del inventario, encontrándose que las distribuciones son principalmente asimétricas, tanto de los factores de emisión como de los kilómetros recorridos vehiculares, distribuciones lognormal y weibull respectivamente, por lo cual el comportamiento de la incertidumbre estimada es asimétrica en todos los casos. El inventario estimado presenta consistencia con los resultados obtenidos luego de la

Simulación de Monte Carlo, presentándose diferencias entre las estimaciones en promedio de 8.6%, por tal razón el intervalo de confianza estimado para la simulación se considera una buena aproximación para representar los límites del inventario estimado. Las incertidumbres relativas, con nivel de confianza del 95%, se estimaron en los límites inferior y superior de 15,4 – 30,7% para PM₁₀; 16,3 – 31,1% para CO; 14,5 – 26,6 % para NO_x; 13 – 24,1% para SO_x, y finalmente 22 - 45% para COV.

Por último, se concluye que la correcta aplicación de las metodologías de estimación de emisiones repercute directamente en la calidad del inventario, por ende, en las decisiones científicas y/o políticas que se deriven de la información reportada por los inventarios de emisión. Al visualizar los resultados del presente estudio frente a lo reportado en ejercicios anteriores, se evidencian variaciones importantes en las magnitudes reportadas, esto se debe principalmente a la manera de aplicación de la metodología del modelo IVE, y a la cobertura espacial. Por tal razón, y reconociendo, que los inventarios de emisión son una de las principales herramientas de toma de decisiones e insumo esencial en la gestión de la calidad del aire, se requiere aumentar la calidad en la manera de estimar el inventario, mejorando adicionalmente las técnicas de toma de datos de actividad de la flota vehicular y el uso apropiado del modelo. Permitiendo establecer tendencias en las emisiones a lo largo del tiempo y visualizar a través de los inventarios la eficacia o no de las medidas que se implementen para el mejoramiento de la calidad del aire de la región.

6.2 Recomendaciones

Aunque los factores de emisión estimados en la presente investigación se acercan a la realidad de las condiciones de operación vehicular de la jurisdicción CAR, se recomienda realizar actividades de refinamiento, por medio del aumento de días de recolección de datos en campo, siguiendo a cabalidad la metodología planteada por el modelo IVE, asegurando que la recolección de información sea representativa y pueda ser aplicada para el mejoramiento de la calidad de los factores. También, se hace necesaria la validación y verificación de los factores por medio del desarrollo de campañas de campo de mediciones abordado, siendo esta la segunda fase de implementación del modelo IVE. Adicionalmente, reforzar la metodología en cuanto a la inspección visual de los vehículos por parte de personal capacitado, verificando que efectivamente el vehículo cuenta con

sistemas de control de emisiones y demás parámetros, ajustando en mayor medida los factores de emisión y por ende el inventario de emisión estimado para cada categoría vehicular.

Avanzar en la estimación de las incertidumbres de cada uno de los parámetros incluidos en el inventario, aumentando el número de observaciones en el análisis de sensibilidad al modelo IVE, que permita estimar incertidumbre propia de los factores de emisión estimados, así como, la incorporación de mayor información de kilómetros recorridos por cada categoría vehicular. En cuanto a la incertidumbre de la cantidad de vehículos registrados se hace necesario que la fuente de información relacione junto con el dato, la cuantificación del nivel de incertidumbre que contiene la información emitida.

Por último, motivar a todos los estimadores de inventarios, sean entidades públicas o privadas a la aplicación correcta de las metodologías de estimación de emisiones, generando en cada inventario información que permita establecer medidas de control y políticas, y que además, permita a los inventarios convertirse en herramientas de monitoreo y verificación, evaluando la efectividad de las medidas implementadas o a implementar. Adicionalmente, migrar a la cultura del reporte cuantitativo de la incertidumbre de las estimaciones.

**A. Anexo: Bases de datos
generadas. Archivo Flota.**

Archivo Flota: Vehículos particulares

Description	Fuel	Weight	Air/Fuel Control	Exhaust	Evaporative	Age	Index	Fraction of Miles Driven Standard Vehicles
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Carburetor	None	PCV	<79K km	0	0,037822
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Carburetor	None	PCV	80-161K km	1	0,076060
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Carburetor	None	PCV	>161K km	2	0,089776
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Carburetor	None	PCV	<79K km	3	0,019534
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Carburetor	None	PCV	80-161K km	4	0,045303
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Carburetor	None	PCV	>161K km	5	0,062344
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Carburetor	None	PCV	<79K km	6	0,004572
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Carburetor	None	PCV	80-161K km	7	0,014131
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Carburetor	None	PCV	>161K km	8	0,016209
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Single-Pt FI	None	PCV	<79K km	45	0,002909
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Single-Pt FI	None	PCV	80-161K km	46	0,009975
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Single-Pt FI	None	PCV	>161K km	47	0,007066
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Single-Pt FI	None	PCV	<79K km	48	0,002494
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Single-Pt FI	None	PCV	80-161K km	49	0,005819
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Single-Pt FI	None	PCV	>161K km	50	0,007897
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Single-Pt FI	None	PCV	<79K km	51	0,000416
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Single-Pt FI	None	PCV	80-161K km	52	0,000416
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Single-Pt FI	None	PCV	>161K km	53	0,000831
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Single-Pt FI	2-Way	PCV	<79K km	63	0,009144
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Single-Pt FI	2-Way	PCV	80-161K km	64	0,020366
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Single-Pt FI	2-Way	PCV	>161K km	65	0,019534
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Single-Pt FI	2-Way	PCV	<79K km	66	0,007481
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Single-Pt FI	2-Way	PCV	80-161K km	67	0,012884
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Single-Pt FI	2-Way	PCV	>161K km	68	0,014131
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Single-Pt FI	2-Way	PCV	<79K km	69	0,000831
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Single-Pt FI	2-Way	PCV	80-161K km	70	0,002078
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Single-Pt FI	2-Way	PCV	>161K km	71	0,004572
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	<79K km	117	0,105985
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	80-161K km	118	0,068994
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	>161K km	119	0,045303
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	<79K km	120	0,089360
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	80-161K km	121	0,055694
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	>161K km	122	0,027016
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	<79K km	123	0,012884
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	80-161K km	124	0,004988

Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	>161K km	125	0,004156
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Multi-Pt FI	3-Way/EGR	PCV/Tank	<79K km	135	0,021613
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Multi-Pt FI	3-Way/EGR	PCV/Tank	80-161K km	136	0,007481
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Multi-Pt FI	3-Way/EGR	PCV/Tank	<79K km	138	0,010806
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Multi-Pt FI	3-Way/EGR	PCV/Tank	80-161K km	139	0,006650
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Multi-Pt FI	3-Way/EGR	PCV/Tank	>161K km	140	0,000416
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Multi-Pt FI	Euroll	PCV/Tank	<79K km	180	0,004156
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Multi-Pt FI	Euroll	PCV/Tank	<79K km	183	0,002909
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Medium	Carb/Mixer	None	PCV	<79K km	219	0,000831
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Medium	Carb/Mixer	None	PCV	80-161K km	220	0,000831
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Medium	Carb/Mixer	None	PCV	>161K km	221	0,000416
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Heavy	Carb/Mixer	None	PCV	80-161K km	223	0,000831
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Light	Carb/Mixer	2-Way	PCV	80-161K km	226	0,000416
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Medium	Carb/Mixer	2-Way	PCV	<79K km	228	0,000831
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Medium	Carb/Mixer	2-Way	PCV	80-161K km	229	0,001247
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Medium	Carb/Mixer	2-Way	PCV	>161K km	230	0,000416
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Light	Carb/Mixer	3-Way/EGR	PCV	<79K km	252	0,000831
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Light	Carb/Mixer	3-Way/EGR	PCV	80-161K km	253	0,001247
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Light	Carb/Mixer	3-Way/EGR	PCV	>161K km	254	0,000831
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Medium	Carb/Mixer	3-Way/EGR	PCV	80-161K km	256	0,001663
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Medium	Carb/Mixer	3-Way/EGR	PCV	>161K km	257	0,001663
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Heavy	Carb/Mixer	3-Way/EGR	PCV	80-161K km	259	0,000831
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Heavy	Carb/Mixer	3-Way/EGR	PCV	>161K km	260	0,000416
Auto/Sml Truck	Diesel	Heavy	Pre-Chamber Inject.	None	None	<79K km	744	0,000415628
Auto/Sml Truck	Diesel	Heavy	Pre-Chamber Inject.	None	None	>161K km	746	0,000415628
Auto/Sml Truck	Diesel	Medium	Direct Injection	EGR+Improv	None	<79K km	759	0,004156276
Auto/Sml Truck	Diesel	Medium	Direct Injection	EGR+Improv	None	80-161K km	760	0,002493766
Auto/Sml Truck	Diesel	Medium	Direct Injection	EGR+Improv	None	>161K km	761	0,001246883
Auto/Sml Truck	Diesel	Heavy	Direct Injection	EGR+Improv	None	<79K km	762	0,002909393
Auto/Sml Truck	Diesel	Heavy	Direct Injection	EGR+Improv	None	80-161K km	763	0,00166251
Auto/Sml Truck	Diesel	Medium	FI	Euroll	None	<79K km	795	0,005818786
Auto/Sml Truck	Diesel	Heavy	FI	Euroll	None	<79K km	798	0,004571904

Fuente: Elaboración propia

Archivo Flota: Taxi

Description	Fuel	Weight	Air/Fuel Control	Exhaust	Evaporative	Age	Index	Fraction of Miles Driven Standard Vehicles
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Carburetor	None	PCV	<79K km	0	0,003120
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Carburetor	None	PCV	80-161K km	1	0,014041
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Carburetor	None	PCV	>161K km	2	0,026521
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Carburetor	None	PCV	80-161K km	4	0,007800
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Carburetor	None	PCV	>161K km	5	0,009360
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Carburetor	None	PCV	80-161K km	7	0,001560
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Carburetor	None	PCV	>161K km	8	0,001560
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Single-Pt FI	None	PCV	80-161K km	46	0,001560
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Single-Pt FI	None	PCV	>161K km	47	0,006240
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Single-Pt FI	None	PCV	>161K km	50	0,001560
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Single-Pt FI	2-Way	PCV	<79K km	63	0,001560
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Single-Pt FI	2-Way	PCV	80-161K km	64	0,006240
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Single-Pt FI	2-Way	PCV	>161K km	65	0,018721
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Single-Pt FI	2-Way	PCV	<79K km	66	0,001560
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Single-Pt FI	2-Way	PCV	>161K km	68	0,001560
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Single-Pt FI	3-Way	PCV	80-161K km	82	0,001560
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	<79K km	117	0,126365
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	80-161K km	118	0,218409
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	>161K km	119	0,461778
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	<79K km	120	0,006240
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	80-161K km	121	0,012480
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	>161K km	122	0,032761
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	>161K km	125	0,001560
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Multi-Pt FI	3-Way/EGR	PCV/Tank	>161K km	140	0,003120
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Light	Carb/Mixer	2-Way	PCV	<79K km	225	0,001560
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Light	Carb/Mixer	2-Way	PCV	80-161K km	226	0,009360
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Light	Carb/Mixer	2-Way	PCV	>161K km	227	0,010920
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Medium	Carb/Mixer	2-Way	PCV	80-161K km	229	0,001560
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Medium	Carb/Mixer	2-Way	PCV	>161K km	230	0,003120
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Light	Carb/Mixer	3-Way/EGR	PCV	<79K km	252	0,003120
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Light	Carb/Mixer	3-Way/EGR	PCV	80-161K km	253	0,001560
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Medium	Carb/Mixer	3-Way/EGR	PCV	80-161K km	256	0,001560

Fuente: Elaboración propia

Archivo Flota: Bus

Description	Fuel	Weight	Air/Fuel Control	Exhaust	Evaporative	Age	Index	Fraction of Miles Driven Standard Vehicles
Truck/Bus	Petrol	Light	Carburetor	None	PCV	<79K km	828	0,018462
Truck/Bus	Petrol	Light	Carburetor	None	PCV	80-161K km	829	0,015385
Truck/Bus	Petrol	Light	Carburetor	None	PCV	>161K km	830	0,104615
Truck/Bus	Petrol	Heavy	Carburetor	None	PCV	<79K km	834	0,001538
Truck/Bus	Natural Gas	Light	Carb/Mixer	None	PCV	<79K km	963	0,001538
Truck/Bus	Natural Gas	Light	Carb/Mixer	None	PCV	>161K km	965	0,010769
Truck/Bus	Natural Gas	Light	Carb/Mixer	2-Way/EGR	PCV	<79K km	972	0,001538
Truck/Bus	Natural Gas	Light	Carb/Mixer	2-Way/EGR	PCV	>161K km	974	0,004615
Truck/Bus	Natural Gas	Light	Carb/Mixer	3-Way/EGR	PCV	>161K km	983	0,006154
Truck/Bus	Diesel	Light	Pre-Chamber Inject.	None	None	<79K km	1071	0,001538
Truck/Bus	Diesel	Light	Pre-Chamber Inject.	None	None	80-161K km	1072	0,003077
Truck/Bus	Diesel	Light	Pre-Chamber Inject.	None	None	>161K km	1073	0,007692
Truck/Bus	Diesel	Medium	Pre-Chamber Inject.	None	None	>161K km	1076	0,003077
Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	Improved	None	<79K km	1080	0,032308
Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	Improved	None	80-161K km	1081	0,053846
Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	Improved	None	>161K km	1082	0,390769
Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	Improved	None	<79K km	1083	0,016923
Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	Improved	None	80-161K km	1084	0,020000
Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	Improved	None	>161K km	1085	0,158462
Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	Improved	None	<79K km	1086	0,001538
Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	Improved	None	>161K km	1088	0,003077
Truck/Bus	Diesel	Light	FI	Eurol	None	80-161K km	1117	0,001538
Truck/Bus	Diesel	Light	FI	Eurol	None	>161K km	1118	0,003077
Truck/Bus	Diesel	Light	FI	Euroll	None	<79K km	1125	0,010769
Truck/Bus	Diesel	Light	FI	Euroll	None	80-161K km	1126	0,033846
Truck/Bus	Diesel	Light	FI	Euroll	None	>161K km	1127	0,029231
Truck/Bus	Diesel	Medium	FI	Euroll	None	<79K km	1128	0,007692
Truck/Bus	Diesel	Medium	FI	Euroll	None	80-161K km	1129	0,033846
Truck/Bus	Diesel	Medium	FI	Euroll	None	>161K km	1130	0,021538
Truck/Bus	Diesel	Heavy	FI	Euroll	None	80-161K km	1132	0,001538

Fuente: Elaboración propia

Archivo Flota: Camión

Description	Fuel	Weight	Air/Fuel Control	Exhaust	Evaporative	Age	Index	Fraction of Miles Driven Standard Vehicles
Truck/Bus	Petrol	Light	Carburetor	None	PCV	<79K km	828	0,012987013
Truck/Bus	Petrol	Light	Carburetor	None	PCV	80-161K km	829	0,041558442
Truck/Bus	Petrol	Light	Carburetor	None	PCV	>161K km	830	0,077922078
Truck/Bus	Petrol	Medium	Carburetor	None	PCV	<79K km	831	0,007792208
Truck/Bus	Petrol	Medium	Carburetor	None	PCV	80-161K km	832	0,01038961
Truck/Bus	Petrol	Medium	Carburetor	None	PCV	>161K km	833	0,012987013
Truck/Bus	Petrol	Heavy	Carburetor	None	PCV	>161K km	836	0,005194805
Truck/Bus	Natural Gas	Light	Carb/Mixer	None	PCV	<79K km	963	0,002597403
Truck/Bus	Natural Gas	Light	Carb/Mixer	None	PCV	80-161K km	964	0,012987013
Truck/Bus	Natural Gas	Light	Carb/Mixer	None	PCV	>161K km	965	0,01038961
Truck/Bus	Diesel	Light	Pre-Chamber Inject.	None	None	80-161K km	1072	0,01038961
Truck/Bus	Diesel	Light	Pre-Chamber Inject.	None	None	>161K km	1073	0,018181818
Truck/Bus	Diesel	Medium	Pre-Chamber Inject.	None	None	<79K km	1074	0,01038961
Truck/Bus	Diesel	Medium	Pre-Chamber Inject.	None	None	80-161K km	1075	0,023376623
Truck/Bus	Diesel	Medium	Pre-Chamber Inject.	None	None	>161K km	1076	0,05974026
Truck/Bus	Diesel	Heavy	Pre-Chamber Inject.	None	None	80-161K km	1078	0,025974026
Truck/Bus	Diesel	Heavy	Pre-Chamber Inject.	None	None	>161K km	1079	0,038961039
Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	Improved	None	<79K km	1080	0,046753247
Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	Improved	None	80-161K km	1081	0,088311688
Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	Improved	None	>161K km	1082	0,046753247
Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	Improved	None	<79K km	1083	0,036363636
Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	Improved	None	80-161K km	1084	0,036363636
Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	Improved	None	>161K km	1085	0,031168831
Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	Improved	None	<79K km	1086	0,051948052
Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	Improved	None	80-161K km	1087	0,064935065
Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	Improved	None	>161K km	1088	0,07012987
Truck/Bus	Diesel	Light	FI	EuroII	None	<79K km	1125	0,044155844
Truck/Bus	Diesel	Light	FI	EuroII	None	80-161K km	1126	0,025974026
Truck/Bus	Diesel	Light	FI	EuroII	None	>161K km	1127	0,002597403

Truck/Bus	Diesel	Medium	FI	EuroII	None	<79K km	1128	0,020779221
Truck/Bus	Diesel	Medium	FI	EuroII	None	80-161K km	1129	0,023376623
Truck/Bus	Diesel	Medium	FI	EuroII	None	>161K km	1130	0,002597403
Truck/Bus	Diesel	Heavy	FI	EuroII	None	<79K km	1131	0,012987013
Truck/Bus	Diesel	Heavy	FI	EuroII	None	80-161K km	1132	0,012987013

Fuente: Elaboración propia

Archivo Flota: Motocicletas

Description	Fuel	Weight	Air/Fuel Control	Exhaust	Evaporative	Age	Index	Fraction of Miles Driven Standard Vehicles
Sml Engine	Petrol	Light	2-Cycle	None	None	0-25K	1170	0,015402844
Sml Engine	Petrol	Light	2-Cycle	None	None	26-50K	1171	0,024881517
Sml Engine	Petrol	Light	2-Cycle	None	None	>50K	1172	0,021327014
Sml Engine	Petrol	Medium	2-Cycle	None	None	0-25K	1173	0,08056872
Sml Engine	Petrol	Medium	2-Cycle	None	None	26-50K	1174	0,167061611
Sml Engine	Petrol	Medium	2-Cycle	None	None	>50K	1175	0,05450237
Sml Engine	Petrol	Heavy	2-Cycle	None	None	0-25K	1176	0,005924171
Sml Engine	Petrol	Heavy	2-Cycle	None	None	26-50K	1177	0,003554502
Sml Engine	Petrol	Heavy	2-Cycle	None	None	>50K	1178	0,002369668
Sml Engine	Petrol	Light	4-Cycle, Carb	Catalyst	None	0-25K	1233	0,003554502
Sml Engine	Petrol	Light	4-Cycle, Carb	Catalyst	None	26-50K	1234	0,003554502
Sml Engine	Petrol	Medium	4-Cycle, Carb	Catalyst	None	0-25K	1236	0,296208531
Sml Engine	Petrol	Medium	4-Cycle, Carb	Catalyst	None	26-50K	1237	0,291469194
Sml Engine	Petrol	Medium	4-Cycle, Carb	Catalyst	None	>50K	1238	0,010663507
Sml Engine	Petrol	Heavy	4-Cycle, Carb	Catalyst	None	0-25K	1239	0,009478673
Sml Engine	Petrol	Heavy	4-Cycle, Carb	Catalyst	None	26-50K	1240	0,009478673

Fuente: Elaboración propia

**B. Anexo: Estadísticos de Ajuste.
Factores de Emisión**

CATEGORIA VEHICULAR: Motocicletas

FACTOR DE EMISION: CO

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Lognormal	A=4.8 P=0.0(K=0.25 P=0.01)	a=100.02 b=0.93
Weibull	A=7.46 P=0.01(K=0.24 P=0.01)	a=165.99 b=0.91 c=0.0
Exponencial	A=8.35 P=0.0(K=0.28 P=0.01)	scale=0.01
Gamma	A=8.46 P=0.0(K=0.28 P=0.0)	scale=0.01 shape=1.02
Normal	A=15.93 P=0.0(K=0.32 P=0.01)	mean=176.06 stddev=266.43
Triangular	A=84.58 P=.(K=0.64 P=.)	max=1690.03 min=12.07 mode...
Uniforme	A=135.84 P=0.0(K=0.74 P=0.0)	max=1690.03 min=12.07
Empírica		min=12.07 max=1690.03
Beta	No ajustado	

FACTOR DE EMISION: NO_x

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Lognormal	A=7.68 P=0.0(K=0.21 P=0.01)	a=1.0 b=0.54
Gamma	A=10.53 P=0.0(K=0.26 P=0.0)	scale=2.2 shape=2.68
Weibull	A=11.24 P=0.01(K=0.26 P=0.01)	a=1.36 b=1.38 c=0.0
Exponencial	A=14.18 P=0.0(K=0.35 P=0.01)	scale=0.82
Normal	A=15.54 P=0.0(K=0.33 P=0.01)	mean=1.22 stddev=1.12
Triangular	A=70.76 P=.(K=0.64 P=.)	max=8.58 min=0.37 mode=0.37
Uniforme	A=121.01 P=0.0(K=0.74 P=0.0)	max=8.58 min=0.37
Empírica		min=0.37 max=8.58
Beta	No ajustado	

FACTOR DE EMISION: PM₁₀

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Lognormal	A=6.17 P=0.0(K=0.25 P=0.01)	a=1.06 b=1.04
Weibull	A=7.77 P=0.01(K=0.23 P=0.01)	a=1.85 b=0.84 c=0.0
Gamma	A=9.14 P=0.0(K=0.27 P=0.0)	scale=0.41 shape=0.86
Exponencial	A=10.78 P=0.0(K=0.3 P=0.01)	scale=0.48
Normal	A=15.86 P=0.0(K=0.31 P=0.01)	mean=2.1 stddev=3.42
Triangular	A=97.87 P=.(K=0.64 P=.)	max=22.69 min=0.1 mode=0.1
Uniforme	A=150.44 P=0.0(K=0.74 P=0.0)	max=22.69 min=0.1
Empírica		min=0.1 max=22.69
Beta	No ajustado	

FACTOR DE EMISION: SO_x

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Lognormal	A=9.58 P=0.0(K=0.28 P=0.01)	a=0.02 b=0.85
Exponencial	A=11.78 P=0.0(K=0.3 P=0.01)	scale=38.43
Weibull	A=11.83 P=0.01(K=0.31 P=0.01)	a=0.03 b=1.02 c=0.0
Gamma	A=12.4 P=0.0(K=0.34 P=0.0)	scale=49.68 shape=1.29
Beta	A=16.88 P=.(K=0.37 P=.)	shape1=0.48 shape2=17.95
Normal	A=18.53 P=0.0(K=0.38 P=0.01)	mean=0.03 stddev=0.04
Triangular	A=80.69 P=.(K=0.68 P=.)	max=0.26 min=0.0 mode=0.0
Uniforme	A=131.8 P=0.0(K=0.76 P=0.0)	max=0.26 min=0.0
Empírica		min=0.0 max=0.26

FACTOR DE EMISION: COV

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Lognormal	A=5.16 P=0.0(K=0.17 P=0.01)	a=28.75 b=0.68
Gamma	A=7.59 P=0.0(K=0.23 P=0.0)	scale=0.05 shape=2.02
Weibull	A=8.37 P=0.01(K=0.22 P=0.01)	a=40.97 b=1.26 c=0.0
Exponencial	A=10.24 P=0.0(K=0.3 P=0.01)	scale=0.03
Normal	A=13.9 P=0.0(K=0.31 P=0.01)	mean=37.55 stddev=38.65
Triangular	A=55.05 P=.(K=0.58 P=.)	max=290.9 min=2.54 mode=2.54
Uniforme	A=102.64 P=0.0(K=0.71 P=0.0)	max=290.9 min=2.54
Empírica		min=2.54 max=290.9
Beta	No ajustado	

CATEGORIA VEHICULAR: Camión

FACTOR DE EMISION: CO

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Lognormal	A=2.86 P=0.0(K=0.15 P=0.01)	a=81.89 b=1.02
Weibull	A=5.78 P=0.01(K=0.17 P=0.01)	a=137.81 b=0.89 c=0.0
Gamma	A=6.25 P=0.0(K=0.21 P=0.0)	scale=0.01 shape=0.97
Exponencial	A=6.33 P=0.0(K=0.22 P=0.01)	scale=0.01
Normal	A=17.07 P=0.0(K=0.33 P=0.01)	mean=148.53 stddev=246.64
Triangular	A=81.8 P=.(K=0.65 P=.)	max=1526.65 min=1.51 mode=...
Uniforme	A=132.97 P=0.0(K=0.75 P=0.0)	max=1526.65 min=1.51
Empírica		min=1.51 max=1526.65
Beta	No ajustado	

FACTOR DE EMISION: NO_x

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Lognormal	A=6.1 P=0.0(K=0.25 P=0.01)	a=18.23 b=0.51
Gamma	A=8.71 P=0.0(K=0.29 P=0.0)	scale=0.14 shape=3.08
Weibull	A=10.86 P=0.01(K=0.28 P=0.01)	a=24.22 b=1.45 c=0.0
Exponencial	A=15.46 P=0.0(K=0.31 P=0.01)	scale=0.05
Normal	A=15.72 P=0.0(K=0.35 P=0.01)	mean=21.63 stddev=18.79
Triangular	A=60.14 P=.(K=0.66 P=.)	max=148.92 min=5.37 mode=5....
Uniforme	A=108.68 P=0.0(K=0.77 P=0.0)	max=148.92 min=5.37
Empírica		min=5.37 max=148.92
Beta	No ajustado	

FACTOR DE EMISION: PM₁₀

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Lognormal	A=3.57 P=0.0(K=0.19 P=0.01)	a=1.69 b=0.45
Gamma	A=4.63 P=0.0(K=0.22 P=0.0)	scale=2.51 shape=4.74
Weibull	A=6.89 P=0.01(K=0.25 P=0.01)	a=2.13 b=1.92 c=0.0
Normal	A=8.84 P=0.0(K=0.29 P=0.01)	mean=1.88 stddev=1.06
Exponencial	A=16.46 P=0.0(K=0.38 P=0.01)	scale=0.53
Triangular	A=20.84 P=.(K=0.46 P=.)	max=7.82 min=0.35 mode=0.35
Uniforme	A=55.92 P=0.0(K=0.63 P=0.0)	max=7.82 min=0.35
Empírica		min=0.35 max=7.82
Beta	No ajustado	

FACTOR DE EMISION: SO_x

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Lognormal	A=6.02 P=0.0(K=0.23 P=0.01)	a=0.09 b=0.59
Gamma	A=9.08 P=0.0(K=0.28 P=0.0)	scale=20.43 shape=2.34
Weibull	A=10.68 P=0.01(K=0.28 P=0.01)	a=0.13 b=1.29 c=0.0
Exponencial	A=13.31 P=0.0(K=0.3 P=0.01)	scale=8.71
Beta	A=15.81 P=.(K=0.34 P=.)	shape1=0.7 shape2=5.41
Normal	A=16.96 P=0.0(K=0.37 P=0.01)	mean=0.11 stddev=0.12
Triangular	A=54.64 P=.(K=0.64 P=.)	max=0.79 min=0.02 mode=0.02
Uniforme	A=101.26 P=0.0(K=0.75 P=0.0)	max=0.79 min=0.02
Empírica		min=0.02 max=0.79

FACTOR DE EMISION: COV

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Lognormal	A=1.91 P=0.0(K=0.12 P=0.01)	a=2.6 b=0.54
Gamma	A=2.34 P=0.0(K=0.14 P=0.0)	scale=1.09 shape=3.33
Weibull	A=4.61 P=0.01(K=0.18 P=0.01)	a=3.43 b=1.59 c=0.0
Normal	A=7.86 P=0.0(K=0.23 P=0.01)	mean=3.05 stddev=2.23
Exponencial	A=12.05 P=0.0(K=0.26 P=0.01)	scale=0.33
Triangular	A=38.55 P=.(K=0.56 P=.)	max=18.48 min=0.47 mode=0.47
Uniforme	A=82.87 P=0.0(K=0.73 P=0.0)	max=18.48 min=0.47
Empírica		min=0.47 max=18.48
Beta	No ajustado	

CATEGORIA VEHICULAR: Taxi

FACTOR DE EMISION: CO

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Lognormal	A=6.34 P=0.0(K=0.28 P=0.01)	a=104.34 b=1.15
Weibull	A=8.45 P=0.01(K=0.24 P=0.01)	a=198.1 b=0.68 c=0.0
Gamma	A=11.27 P=0.0(K=0.29 P=0.0)	scale=0.0 shape=0.58
Exponencial	A=22.31 P=0.0(K=0.41 P=0.01)	scale=0.0
Normal	A=23.36 P=0.0(K=0.37 P=0.01)	mean=301.33 stddev=849.32
Triangular	A=204.32 P=(K=0.79 P=.)	max=6295.16 min=24.55 mode...
Uniforme	A=264.22 P=0.0(K=0.85 P=0.0)	max=6295.16 min=24.55
Empírica		min=24.55 max=6295.16
Beta	No ajustado	

FACTOR DE EMISION: NO_x

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Weibull	A=8.1 P=0.01(K=0.27 P=0.01)	a=9.52 b=0.72 c=0.0
Lognormal	A=8.38 P=0.0(K=0.32 P=0.01)	a=5.17 b=1.13
Gamma	A=9.77 P=0.0(K=0.31 P=0.0)	scale=0.05 shape=0.66
Exponencial	A=16.73 P=0.0(K=0.41 P=0.01)	scale=0.08
Normal	A=21.22 P=0.0(K=0.38 P=0.01)	mean=13.07 stddev=40.67
Triangular	A=220.47 P=(K=0.79 P=.)	max=390.98 min=1.04 mode=1...
Uniforme	A=281.94 P=0.0(K=0.87 P=0.0)	max=390.98 min=1.04
Empírica		min=1.04 max=390.98
Beta	No ajustado	

FACTOR DE EMISION: PM₁₀

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Lognormal	A=6.63 P=0.0(K=0.28 P=0.01)	a=0.05 b=1.0
Weibull	A=8.21 P=0.01(K=0.24 P=0.01)	a=0.08 b=0.79 c=0.0
Gamma	A=9.74 P=0.0(K=0.3 P=0.0)	scale=7.85 shape=0.79
Exponencial	A=12.24 P=0.0(K=0.35 P=0.01)	scale=9.91
Normal	A=19.9 P=0.0(K=0.36 P=0.01)	mean=0.1 stddev=0.25
Triangular	A=189.32 P=(K=0.78 P=.)	max=2.2 min=0.01 mode=0.01
Uniforme	A=249.7 P=0.0(K=0.84 P=0.0)	max=2.2 min=0.01
Empírica		min=0.01 max=2.2
Beta	No ajustado	

FACTOR DE EMISION: SO_x

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Lognormal	A=9.42 P=0.0(K=0.31 P=0.01)	a=0.06 b=1.02
Gamma	A=10.24 P=0.0(K=0.26 P=0.0)	scale=9.51 shape=1.04
Exponencial	A=10.24 P=0.0(K=0.26 P=0.01)	scale=9.15
Weibull	A=10.38 P=0.01(K=0.3 P=0.01)	a=0.1 b=0.9 c=0.0
Normal	A=21.87 P=0.0(K=0.37 P=0.01)	mean=0.11 stddev=0.24
Triangular	A=145.69 P=.(K=0.79 P=.)	max=2.28 min=0.0 mode=0.0
Uniforme	A=204.82 P=0.0(K=0.85 P=0.0)	max=2.28 min=0.0
Empírica		min=0.0 max=2.28
Beta	No ajustado	

FACTOR DE EMISION: COV

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Lognormal	A=7.7 P=0.0(K=0.23 P=0.01)	a=4.08 b=0.83
Gamma	A=9.74 P=0.0(K=0.23 P=0.0)	scale=0.23 shape=1.38
Weibull	A=10.89 P=0.01(K=0.26 P=0.01)	a=6.11 b=1.0 c=0.0
Exponencial	A=10.92 P=0.0(K=0.26 P=0.01)	scale=0.16
Normal	A=21.43 P=0.0(K=0.34 P=0.01)	mean=6.1 stddev=11.93
Triangular	A=131.92 P=.(K=0.77 P=.)	max=115.11 min=0.09 mode=0....
Uniforme	A=190.32 P=0.0(K=0.84 P=0.0)	max=115.11 min=0.09
Empírica		min=0.09 max=115.11
Beta	No ajustado	

CATEGORIA VEHICULAR: Vehículo particular

FACTOR DE EMISION: CO

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Lognormal	A=3.53 P=0.0(K=0.16 P=0.01)	a=61.71 b=0.63
Gamma	A=7.73 P=0.0(K=0.19 P=0.0)	scale=0.02 shape=1.89
Weibull	A=10.01 P=0.01(K=0.21 P=0.01)	a=87.34 b=1.13 c=0.0
Exponencial	A=11.54 P=0.0(K=0.26 P=0.01)	scale=0.01
Normal	A=19.9 P=0.0(K=0.34 P=0.01)	mean=82.23 stddev=116.63
Triangular	A=87.98 P=.(K=0.72 P=.)	max=907.08 min=4.83 mode=4....
Uniforme	A=142.38 P=0.0(K=0.82 P=0.0)	max=907.08 min=4.83
Empírica		min=4.83 max=907.08
Beta	No ajustado	

FACTOR DE EMISION: NO_x

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Lognormal	A=3.62 P=0.0(K=0.2 P=0.01)	a=3.38 b=0.49
Gamma	A=4.44 P=0.0(K=0.21 P=0.0)	scale=0.98 shape=3.81
Weibull	A=5.43 P=0.01(K=0.18 P=0.01)	a=4.39 b=1.75 c=0.0
Normal	A=7.38 P=0.0(K=0.21 P=0.01)	mean=3.88 stddev=2.47
Exponencial	A=13.45 P=0.0(K=0.35 P=0.01)	scale=0.26
Triangular	A=29.27 P=.(K=0.39 P=.)	max=16.74 min=1.22 mode=1.22
Uniforme	A=71.87 P=0.0(K=0.61 P=0.0)	max=16.74 min=1.22
Empírica		min=1.22 max=16.74
Beta	No ajustado	

FACTOR DE EMISION: PM₁₀

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Weibull	A=6.96 P=0.01(K=0.24 P=0.01)	a=0.06 b=1.36 c=0.0
Lognormal	A=7.0 P=0.0(K=0.26 P=0.01)	a=0.04 b=0.69
Beta	A=7.01 P=.(K=0.23 P=.)	shape1=1.24 shape2=21.06
Gamma	A=7.45 P=0.0(K=0.27 P=0.0)	scale=37.3 shape=2.08
Exponencial	A=8.62 P=0.0(K=0.29 P=0.01)	scale=17.96
Normal	A=9.2 P=0.0(K=0.26 P=0.01)	mean=0.06 stddev=0.05
Triangular	A=33.12 P=.(K=0.42 P=.)	max=0.28 min=0.01 mode=0.01
Uniforme	A=75.95 P=0.0(K=0.59 P=0.0)	max=0.28 min=0.01
Empírica		min=0.01 max=0.28

FACTOR DE EMISION: SO_x

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Lognormal	A=15.5 P=0.0(K=0.34 P=0.01)	a=0.03 b=0.9
Weibull	A=20.96 P=0.01(K=0.36 P=0.01)	a=0.05 b=0.67 c=0.0
Gamma	A=24.91 P=0.0(K=0.43 P=0.0)	scale=5.33 shape=0.55
Normal	A=33.97 P=0.0(K=0.48 P=0.01)	mean=0.1 stddev=0.64
Exponencial	A=37.88 P=0.0(K=0.55 P=0.01)	scale=9.73
Triangular	A=313.22 P=.(K=0.94 P=.)	max=6.3 min=0.0 mode=0.0
Uniforme	A=376.91 P=0.0(K=0.96 P=0.0)	max=6.3 min=0.0
Empírica		min=0.0 max=6.3
Beta	No ajustado	

FACTOR DE EMISION: COV

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Normal	A=6.68 P=0.0(K=0.25 P=0.01)	mean=3.21 stddev=1.12
Gamma	A=7.69 P=0.0(K=0.22 P=0.0)	scale=1.89 shape=6.06
Weibull	A=8.09 P=0.01(K=0.24 P=0.01)	a=3.55 b=2.72 c=0.0
Lognormal	A=11.39 P=0.0(K=0.26 P=0.01)	a=2.95 b=0.54
Triangular	A=13.3 P=.(K=0.3 P=.)	max=7.92 min=0.07 mode=1.64
Uniforme	A=21.51 P=0.0(K=0.45 P=0.0)	max=7.92 min=0.07
Exponencial	A=24.12 P=0.0(K=0.46 P=0.01)	scale=0.31
Empírica		min=0.07 max=7.92
Beta	No ajustado	

CATEGORIA VEHICULAR: Bus

FACTOR DE EMISION: CO

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Lognormal	A=2.19 P=0.0(K=0.16 P=0.01)	a=51.87 b=0.96
Gamma	A=3.03 P=0.0(K=0.18 P=0.0)	scale=0.02 shape=1.3
Weibull	A=3.45 P=0.01(K=0.16 P=0.04)	a=82.17 b=1.06 c=0.0
Exponencial	A=3.77 P=0.0(K=0.17 P=0.01)	scale=0.01
Normal	A=11.38 P=0.0(K=0.24 P=0.01)	mean=79.92 stddev=98.7
Triangular	A=56.74 P=.(K=0.56 P=.)	max=677.59 min=1.34 mode=1....
Uniforme	A=105.25 P=0.0(K=0.71 P=0.0)	max=677.59 min=1.34
Empírica		min=1.34 max=677.59
Beta	No ajustado	

FACTOR DE EMISION: NO_x

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Lognormal	A=4.65 P=0.0(K=0.21 P=0.01)	a=11.38 b=0.47
Gamma	A=5.51 P=0.0(K=0.24 P=0.0)	scale=0.35 shape=4.51
Weibull	A=6.73 P=0.01(K=0.23 P=0.01)	a=14.48 b=1.98 c=0.0
Normal	A=8.55 P=0.0(K=0.27 P=0.01)	mean=12.76 stddev=6.93
Triangular	A=10.35 P=.(K=0.27 P=.)	max=40.13 min=2.58 mode=2.58
Exponencial	A=15.6 P=0.0(K=0.38 P=0.01)	scale=0.08
Uniforme	A=35.29 P=0.0(K=0.46 P=0.0)	max=40.13 min=2.58
Empírica		min=2.58 max=40.13
Beta	No ajustado	

FACTOR DE EMISION: PM₁₀

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Gamma	A=10.7 P=0.0(K=0.28 P=0.0)	scale=2.3 shape=3.06
Weibull	A=11.28 P=0.01(K=0.29 P=0.01)	a=1.48 b=1.78 c=0.0
Normal	A=11.82 P=0.0(K=0.32 P=0.01)	mean=1.33 stddev=0.77
Lognormal	A=15.04 P=0.0(K=0.34 P=0.01)	a=1.12 b=0.83
Exponencial	A=19.85 P=0.0(K=0.43 P=0.01)	scale=0.75
Triangular	A=29.24 P=.(K=0.5 P=.)	max=6.98 min=0.01 mode=0.01
Uniforme	A=65.89 P=0.0(K=0.68 P=0.0)	max=6.98 min=0.01
Empírica		min=0.01 max=6.98
Beta	No ajustado	

FACTOR DE EMISION: SO_x

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Gamma	A=7.81 P=0.0(K=0.27 P=0.0)	scale=32.85 shape=2.35
Weibull	A=8.66 P=0.01(K=0.28 P=0.01)	a=0.08 b=1.46 c=0.0
Lognormal	A=9.63 P=0.0(K=0.31 P=0.01)	a=0.06 b=0.79
Beta	A=10.2 P=.(K=0.32 P=.)	shape1=1.37 shape2=17.75
Normal	A=11.74 P=0.0(K=0.27 P=0.01)	mean=0.07 stddev=0.06
Exponencial	A=13.61 P=0.0(K=0.37 P=0.01)	scale=14.0
Triangular	A=41.54 P=.(K=0.54 P=.)	max=0.49 min=0.0 mode=0.0
Uniforme	A=85.44 P=0.0(K=0.69 P=0.0)	max=0.49 min=0.0
Empírica		min=0.0 max=0.49

FACTOR DE EMISION: COV

Distribución	Estadísticos de ajuste	Parámetros
Gamma	A=3.38 P=0.0(K=0.16 P=0.0)	scale=3.28 shape=4.61
Lognormal	A=4.21 P=0.0(K=0.16 P=0.01)	a=1.26 b=0.51
Weibull	A=6.82 P=0.01(K=0.2 P=0.01)	a=1.58 b=1.81 c=0.0
Normal	A=7.84 P=0.0(K=0.24 P=0.01)	mean=1.41 stddev=0.84
Exponencial	A=17.52 P=0.0(K=0.34 P=0.01)	scale=0.71
Triangular	A=33.69 P=.(K=0.54 P=.)	max=8.23 min=0.06 mode=0.06
Uniforme	A=74.19 P=0.0(K=0.72 P=0.0)	max=8.23 min=0.06
Empírica		min=0.06 max=8.23
Beta	No ajustado	

Bibliografía

- Ambiente, S. d. (2014). *Informe Final Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio. DMQ 2014*. Distrito Metropolitano de Quito.
- Ambiente, S. d. M. (2012). Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio y Efecto Invernadero. Zona Metropolitana del Valle de México.
- AMVA. (2010). Simulaciones especiales Tarea 1: Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas: Universidad Pontificia Bolivariana.
- Arango, J. H. (2009). Calidad de los combustibles en Colombia. *Revista de ingeniería. Universidad de los Andes*.
- Araya, A. D. (2008). *Metodología de cálculo de emisiones vehiculares basada en modos de conducción y potencia específica vehicular*. Ingeniero Civil Mecánico, Universidad de Chile, Chile. Retrieved from http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2008/araya_ac/html/index-frames.html
- ARB. (2011). Handbook for Project-level Analyses *California Environmental Protection Agency. Mobile Source Analysis Branch Planning & Technical Support Division*.
- Behrentz, E., Belalcazar, L. C., & Echeverry, D. (2005). Estimation of pollutant and greenhouse gas emissions from mobile sources in Bogotá.
- Bosch, R. (2003). *Técnica de gases de escape para motores de gasolina*.
- CAI. (2013). Metodologías para la estimación de emisiones de transporte urbano de carga y guías para la recopilación y organización de datos. In C. A. Insitute (Ed.).
- CAR. (2008). Elaboración Del Inventario De Fuentes Móviles En Jurisdicción De La CAR Y Actualización Del Inventario De Fuentes Fijas, Incluyendo Gases De Efecto Invernadero. Convenio 0673 De Septiembre De 2008: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
- CAR. (2009). Elaboración Y Actualización Del Inventario De Fuentes Móviles Y Fijas Y Modelación De Emisiones En Jurisdicción De La CAR. Convenio 0586 Del 14 De Agosto De 2009: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
- CAR. (2010). Elaboración Y Actualización Del Inventario De Emisiones De Fuentes Móviles Y Fijas, Incluyendo Gases De Efecto Invernadero Y La Modelación De La Calidad Del Aire En Los Municipios De Funza, Madrid, Mosquera, Zipaquirá, Cajicá, Cogua, Nemocón, Tocancipá, Soacha Y Sibaté De La Jurisdicción De La CAR. Contrato De Consultoría N° 267 Del

- 7 De Octubre De 2010: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
- CESVIMAP. Información Técnica de Electromecánica. *CESVIMAP*, 23.
- Colombia, R. d. (1995). *Decreto 948 de 1995. Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.*
- Colombia, R. d. (2008). *Resolución 910 de 2008. Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del Decreto 948 de 1995 y se adoptan otras disposiciones.*
- Colombia, R. d. (2012). *Decreto 19 de 2012. Por el cual se dictan normas para suprimir o reformar regulaciones, procedimientos y trámites innecesarios existentes en la Administración Pública*
- Colville, R. N., Hutchinson, E. J., Mindell, J. S., & Warren, R. F. (2001). The transport sector as a source of air pollution. *Atmospheric Environment*, 1537-1565.
- COMANA. (2009). *Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes.* Chile: Gobierno de Chile Retrieved from <http://retc.conama.cl/archivo/GUIA%20CONAMA.pdf>.
- Council, F. M. Boletín de Servicio Técnico 94-2R.
- CSIC. (2006). Calidad de aire urbano, salud y tráfico rodado. In C. S. d. I. Científicas (Ed.).
- Cundinamarca, G. (2013). Estadísticas Básicas Municipales.
- Dietsche, K. H., & Klingebiel, M. (2005). Manual de la técnica del automóvil
- EPA. (2003). User's Guide to MOBILE6.1 and MOBILE6.2.
- EPA. (2013). Description and History of the MOBILE Highway Vehicle Emission Factor Model.
- EPA. (2015a). *Air Quality Emission Factor.* Retrieved from http://www3.epa.gov/airquality/aqportal/management/emissions_inventor y/emission_factor.htm.
- EPA. (2015b). Air Quality Management Online Portal *Emission Inventory.*
- EU. (2012). COPERT 4. Computer programme to calculate emissions from road transport. In D. Gkatzoflias, C. Kouridis, L. Ntziachristos & a. Z. Samaras (Eds.).
- Forum, D. T. (2001). Engineering Clean Air: The Continuous Improvement of Diesel Engine Emission Performance.
- Giraldo, L., & Behrentz, E. (2006). *Estimación del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá e identificación de variables pertinentes.*, Universidad de los Andes, Colombia. Retrieved from <http://dspace.uniandes.edu.co:9090/xmlui/bitstream/handle/1992/939/Balke ma%20Tesis%20Liliana%20Giraldo.pdf?sequence=1>

- INECC. (2005). *Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones*. México: Retrieved from http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=457.
- INECC. (2014). Fuentes de contaminación del aire. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- INECC. (2015a). Modelación de fuentes móviles utilizando MOVES. In M. Alvarado (Ed.).
- INECC. (2015b). Uso del modelo de factores de emisión para vehículos en circulación. MOBILE6-México. In A. A. Gómez (Ed.).
- Institute, T. T., & System, T. A. M. U. (1998). Travel Time Data Collection Handbook. : Office of Highway Information Management Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation.
- INVIAS. (2010-2011). *Volúmenes de Tránsito*.
- IPCC. (2001). *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Capítulo 6 La Cuantificación De Las Incertidumbres En La Práctica*. Panel Intergubernamental de Cambio Climático Retrieved from http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/6_Uncertainty_ES.pdf.
- IPCC. (2006a). Capítulo 3: Incertidumbres *Volumen 1: Orientación general y generación de informes*.
- IPCC. (2006b). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. *Capítulo 3. Combustión Móvil. Módulo Energía*.
- ISSRC. (2003). Field Data Collection Activities. International Vehicle Emissions Model (IVE) Retrieved from <http://www.issrc.org/ive/>
- ISSRC. (2008). Manual de usuario del Modelo IVE Retrieved from <http://www.issrc.org/ive/downloads/manuals/UsersManual.pdf>
- ISSRC. (2011). The VAM unit. Instructional Booklet.
- Jaramillo, M., Núñez, M. E., Ocampo, W., Pérez, D., & Portilla, G. (2004). Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos convencionales en la zona de Cali-Yumbo. *Revista Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia*.
- Jiménez-Palacios, J. L. (1999). *Understanding and Quantifying Motor Vehicle Emissions with Vehicle Specific Power and TILDAS Remote Sensing*. Massachusetts Institute of Technology. Retrieved from <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/44505>
- Lents, J., Walsh, M., He, K., Davis, N., Osses, M., Tolvett, S., & Liu, H. Handbook of Air Quality Management
- Lumbreras, J., García-Martos, C., Mira, J., & Borge, R. (2009). Computation of uncertainty for atmospheric emission projections from key pollutant sources in Spain. *Atmospheric Environment*, 1557-1564.
- Ntziachristos, L., & Samaras, Z. (2013). Passenger cars, light commercial trucks, heavy-duty vehicles including buses and motor cycles EMEP/EEA emission

- inventory guidebook 2013: EEA (European Environment Agency). Retrieved from <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>.
- Pulles, T., & Heslinga, D. The Art of Emission Inventorying Retrieved from http://www.csb.gov.tr/db/necen/editoridosya/file/NEC/CollectER_Training/The_Art_of_Emission_Inventorying.pdf
- Pulles, T., & Kuenen, J. (2013). UncertaintiesEMEP/EEA emission inventory guidebook 2013: EEA (European Environment Agency). Retrieved from <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>.
- Rodríguez, P. A., & Behrentz, E. (2009). *Actualización del inventario de emisiones de fuentes móviles para la ciudad de Bogotá a través de mediciones directas.*, Universidad de los Andes, Colombia.
- Romano, D., Bernetti, A., & Lauretis, R. D. (2004). Different methodologies to quantify uncertainties of air emissions. *Environmental Internarional*, 1099-1107.
- Sáez, S., & Ávila, L. F. (2001). Incertidumbre de la medición: Teoría y Práctica.
- Sawyer, R. F., Harley, R. A., Cadle, S. H., Norbeck, J. M., Slott, R., & Bravo, H. A. (2000). Mobile sources critical review: 1998 NARSTO assessment. *Atmospheric Environment*, 34, 2161-2181.
- Schrenk, H. H., F.A.P.H.A, & L.B.Berger. (1941). Composition of Diesel Engine Exhaust Gas. *American Journal of Public Health*, 31.
- SDA. (2010). *Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá*.
- SENA. (2011). Gas Natural Comprimido Vehicular GNCV *Publicación digital en la página web de la Biblioteca Luis Ángel Arango del Banco de la República*.
<<http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/historia/viajes/indice.htm>>
- University, N. S. (2007). Quantification of Uncertainty in Air Pollutant Emissions Inventories.
- USEPA. (2015). Air Emissions Inventories: Air Pollutant Emissions Trends Data.
- Volkswagen. Emisiones de gases de escape de vehículos. Fundamentos.
- Zarate, E., Belalcazar, L. C., Clappier, A., Manzi, V., & Bergh, H. V. d. (2007). Air quality modelling over Bogota, Colombia: Combined techniques to estimate and evaluate emission inventories. *Atmospheric Environment*, 41, 6302-6318.