UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

DESAGREGACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS POR FUENTES FIJAS Y MÓVILES EN CUNDINAMARCA

Claudia Patricia Dávila Pinzón

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

DESAGREGACIÓN ESPACIOTEMPORAL DEL INVENTARIO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS POR FUENTES FIJAS Y MÓVILES EN CUNDINAMARCA

Claudia Patricia Dávila Pinzón

Trabajo Final presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería Ambiental

Director:
Néstor Y Rojas, Ph.D.

Línea de Investigación:
Modelación
Grupo de Investigación: Calidad del Aire

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

En agradecimiento a la mujer perfecta quien me guía a buscar lo infinito.

Agradecimientos

Grupo de investigación de Calidad del Aire de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá; Apoyó constantemente mi investigación durante el curso del programa de maestría. Además, fortaleció mis conocimientos vinculándome a diferentes proyectos y facilitó mi asistencia a encuentros científicos destacados.

Néstor Y. Rojas Roa, Ph.D, Director del grupo de investigación en calidad del aire, Profesor asociado al Departamento de Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia. Por vincularme a su grupo de investigación y darme la oportunidad de trabajar en diferentes proyectos. Además de ser mi Director de la tesis y brindarme constante apoyo en el desarrollo y consecución de la maestría, de quien aprendí su integridad a nivel personal y profesional.

Néstor Y. Rojas Roa, Ph.D, Director del grupo de investigación en calidad del aire, Profesor asociado al Departamento de Ingeniería Química y Ambiental de la Universidad Nacional de Colombia. Por permitirme desarrollar mi maestría junto al grupo de investigación y darme la oportunidad de trabajar en diferentes proyectos, los cuales aportaron grandes enseñanzas para mi desarrollo personal y profesional. Además de ser mi Director de tesis y brindarme constante apoyo en el desarrollo y consecución de la maestría, de quien aprendí su integridad a nivel personal y profesional.

James Lents, Ph.D, Presidente de ISSRC mi gratitud por su constante ayuda y soporte en el desarrollo de este estudio.

Mauricio Osses, Ph.D. Profesor asociado de tiempo completo en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile, Investigador en estudios de transporte y sostenibilidad urbana ISSRC. Por su valioso soporte durante mi entrenamiento en el modelo International Vehicle Emissions - IVE

Pilar Henríquez y Sebastián Tolvett. Investigadores de ISSRC. Por su valioso entrenamiento en Sistema de inventario de emisiones International Environmental Database -IED.

International Sustainable Systems Research Center –ISSRC Desarrolladores del modelo International Vehicle Emissions - IVE y del sistema de inventario de emisiones, International Environmental Database -IED.

Rodrigo Jiménez Pizarro, Ph.D y Luis Carlos Belalcazar, Ph.D Profesores Asociados, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental, Universidad Nacional de Colombia. Por su asesoría y motivación durante la maestría.

Corporación Autónoma de Cundinamarca – CAR. Agradezco el suministro de las bases de datos para la estimación de los inventarios de fuentes fijas y móviles, las cuales fueron un insumo primordial en el desarrollo de la presente investigación.

Aura Rojas, Alexander Rincón, Edison Ortiz y Sebastián Diez por amistad y acompañamiento durante este tiempo.

A mis padres, mis hermanos, mi sobrino, a mi tía Amparo y a mis primas.

A mis amigos, mi lunita amiguita hermosa. Muchas gracias por estar presentes y por haberme apoyado en diversos momentos.

Resumen

Diferentes ejercicios de estimación del inventario de emisiones se han realizado en Cundinamarca para los años 2009, 2010 y 2012, ninguno de los cuales ha cubierto toda la región. Este trabajo tiene como objetivo consolidar el inventario de emisiones y desagregarlo espacial y temporalmente con una resolución relativamente alta, con el fin de ser utilizado como insumo para un modelo de calidad del aire para la región.

Las emisiones de CO, NOx, SO_2, partículas y compuestos orgánicos volátiles procedentes de fuentes fijas y móviles se incluyeron en esta consolidación y ejercicio de desagregación. Se calcularon y distribuyeron utilizando la *International Environmental Database* (IED), una herramienta de código abierto desarrollado por el Centro de Sistemas de Investigación Internacional Sostenible (ISSRC). IED cuenta con un gran número de factores de emisión y los patrones de actividad básicos para hacer frente tanto a la contaminación del aire local como a las cuestiones del cambio climático global.

Para las fuentes móviles, la estimación tuvo en cuenta el recuento de vehículos y modelos de actividad para las carreteras interurbanas y urbanas, medidas en este trabajo. Para fuentes fijas, los datos de actividad y de localización de las plantas de fabricación se tomaron de los ejercicios anteriores en 2010 y 2012. Las emisiones se estimaron para un día normal y para el año base 2012, y luego se visualizaron gráficamente utilizando IED en una cuadrícula con alta resolución espacial (celdas de 2 kilómetros x 2 kilómetros) y temporal (1h).

Las fuentes fijas que operan dentro de la jurisdicción modelada aportan 5153.2 ton/año de SO_2, 2034.18 ton/año de CO, 2938.9 ton/año de NOx y 1604.4 ton/año de material partículado PM_{10}.

Las fuentes móviles emiten anualmente 202,077 toneladas de CO, 30,542 toneladas de NOx, 249 toneladas de SO_2, 3089 toneladas de PM_{10} y 34197 toneladas de VOC. Las mayores emisiones de fuentes móviles se presentan en las vías intermunicipales y principalmente a las 7 a.m. y 4 p.m. para monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y material particulado. Por otro lado los óxidos de nitrógeno y de azufre presentan sus mayores aportes a las emisiones a medio día. Los resultados obtenidos en la distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes fijas coinciden con los municipios de mayor industrialización de Cundinamarca

Palabras clave: Inventario de emisiones espacio-temporal, trafico, industrias, calidad del aire.

Abstract

Different emission inventory estimation exercises have been conducted in Cundinamarca – Bogota's surrounding region – in 2009, 2010 and 2012. None of these exercises has covered the whole region. This works aims to consolidate the emission inventory for the region and to disaggregate it spatially and temporally with a relatively high resolution, in order to be used as an input for an air quality model for the region.

Emissions of CO, NOx, SO_2, PM_{10} and VOC from stationary and mobile sources were included in this consolidation and disaggregation exercise. Emissions were calculated and distributed using the International Environmental Database (IED), an open source tool developed by International Sustainable Systems Research Center (ISSRC). IED has a large number of emission factors and basic activity patterns to address both local air pollution and global climate change issues.

For mobile sources, the estimation took into account vehicular counts and activity patterns for intercity and urban roads, measured in this work. For stationary sources, activity and location data of the manufacturing plants were taken from the previous exercises in 2010 and 2012. Emissions were estimated for a typical day and for the base year 2012, then visualized graphically using IED in a grid with high spatial (2km x 2km cells) and temporal (1 h) resolutions.

Stationary sources operating within the jurisdiction modeled provide 5153.2 tons / year of SO2, 2034.18 tons / year of CO, 2938.90 tons / year of NOx and 1604.4 tons / year of particulate matter PM10.

Mobile sources emit annually 202.077 tons of CO, 30,542 tons of NOx, 249 tons of SO_2 3089 tons of PM_{10} and 34197 tons of VOC. The largest mobile source emissions are presented in inter-municipal roads and mainly at 7 am and 4 pm for carbon monoxide, volatile organic compounds and particulate matter. Furthermore nitrogen oxides and sulfur present their greatest contributions to emissions noon. The results of the spatial distribution of emissions from stationary sources match the most industrialized municipalities of Cundinamarca

Keywords: Emission inventory Temporal Spatial, Traffic; Industries, air quality).

Tabla de Contenido

Pág.

Resumen ..... **IX**

Lista de figuras ..... **XV**

Lista de gráficas. ..... **XVI**

Lista de tablas ..... **XVII**

Introducción **19**

1. MARCO TEORICO **22**
1.1 Generalidades 22
1.2 Inventarios de emisiones 23
1.3 Desagregación espacial y temporal de inventarios de emisión 25
1.3.1 Desagregación temporal 25
1.3.2 Desagregación espacial 26
1.4 Base de datos Ambiental Internacional (IED) 27
1.4.1 Información Requerida por IED 27
1.4.2 Creación de escenarios. 30
1.4.3 Plataforma IED 30

2. METODOLOGÍA **31**
2.1 Definición de la información Regional 31
2.1.1 Información Regional. 32
2.1.2 Variables medioambientales 33
2.1.3 Temporadas. 34
2.1.4 Distribución Horaria. 34
2.1.5 Distribución de crecimiento 38
2.1.6 Distribución Espacial. 39
2.2 Obtención y Preparación de la Información – Fuentes fijas 42
2.2.1 Evaluación de Inventarios Existentes Jurisdicción CAR 43
2.2.2 Geoprocesamiento de la Base de Datos de Fuentes Fijas Jurisdicción CAR 45
2.2.3 Factores de emisión. 46
2.3 Obtención y Preparación de la Información – Fuentes móviles 48
2.3.1 Factor de emisión 48
2.3.2 Factor de Actividad 52
2.4 Información de Entrada IED 54

3. RESULTADOS **55**

3.1 EVALUACIÒN DE LOS INVENTARIOS DE FUENTES FIJAS DE LA JURISDICCIÒN CAR. 55
3.1.1 Integridad....55
3.1.2 Transparencia....57
3.1.3 Aseguramiento de calidad de los datos 62
3.1.4 Consistencia Entre Inventarios 63
3.1.5 Comparabilidad de resultados 64
3.2 RESULTADOS EMISIONES FUENTES FIJAS 66
3.2.1 Emisiones por municipio 66
3.2.2 Emisiones por actividad productiva....73
3.2.3 Emisiones por equipo y combustible....75
3.2.4 Distribución espacial y temporal. 79
3.3 RESULTADOS EMISIONES FUENTES MÓVILES 84

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 92
4.1 Conclusiones....92
4.2 Recomendaciones....94

REFERENCIAS 97

ANEXOS....102

Anexo 1 Descripción de la plataforma IED....102

Anexo 2 Información de las tablas IED....102

Anexo 4 Registro de número de vehículos por año. 115

Lista de figuras

Pág.

Figura 1. Información de las fuentes en IED 29
Figura 2. Esquema general de la metodología. 31
Figura 3. Dominio Jurisdicción CAR.....33
Figura 4. Métricas por categoría vehicular. 41
Figura 5. Obtención del Factor de Emisión 50
Figura 6. Datos reportados para los diferentes contaminantes – Provincia Soacha, Municipios Soacha y Sibaté.....65
Figura 7. Numero de fuentes y municipios por inventario de la jurisdicción CAR. 65
Figura 8. Emisiones de SO_2 para las 10.00h.....82
Figura 9. Emisiones de PM_{10} para las 10.00h 83
Figura 10. Emisiones de CO para las 7.00h.....89
Figura 11. Emisiones de PM_{10} para las 7.00h 90

Lista de gráficas.

Gráfica 1. Distribución horaria- Fuentes Fijas..... 35
Gráfica 2. Distribución Horaria – Vía Intermunicipal. 37
Gráfica 3. Distribución Horaria – Vía municipal. 38
Gráfica 4. Registro de Número de vehículos por año 53
Gráfica 5. Distribución porcentual del número de industrias..... 68
Gráfica 6. Distribución emisiones por provincia CAR 69
Gráfica 7. Emisiones provincia Sabana Occidente..... 69
Gráfica 8.Emisiones provincia Sabana Centro 70
Gráfica 9. Emisiones Provincia Chiquinquirá..... 70
Gráfica 10. Emisiones Provincia Ubaté 70
Gráfica 11. Emisiones Provincia Alto Magdalena 71
Gráfica 12. Emisiones provincia Gualivá 71
Gráfica 13. Emisiones Provincia Soacha..... 71
Gráfica 14. Distribución industrias por grupo..... 74
Gráfica 15. Distribución emisiones según grupo industrial 75
Gráfica 16. Distribución industrias por combustible y equipo..... 76
Gráfica 17. Emisiones por tipo de combustible..... 77
Gráfica 18. Emisiones por calderas..... 78
Gráfica 19. Emisiones por hornos 78
Gráfica 20. Distribución temporal de las emisiones de fuentes fijas. 81
Gráfica 21. Porcentaje de emisiones por categoría vehicular..... 85
Gráfica 22. Distribución temporal de las emisiones de fuentes móviles -CO 86
Gráfica 23. Distribución temporal de las emisiones de fuentes móviles –NOx-VOC..... 87
Gráfica 24. Distribución temporal de las emisiones de fuentes móviles –PM_{10}..... 87
Gráfica 25. Distribución temporal de las emisiones de fuentes móviles –SO_2 88

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1. Información general regional para IED 28
Tabla 2. Datos requeridos *RegionalGridInfo*. 32
Tabla 3. Códigos tablas *HourlySchedule* 36
Tabla 4. Valores tabla *GrowthMetric* para un crecimiento del 4% 39
Tabla 5. Número total de vehículos por categoría y tipo de vía 40
Tabla 6. Factores de emisión para calderas por tipo de combustible 46
Tabla 7. Factores de emisión para hornos por tipo de industria 47
Tabla 8. FE para hornos por tipo de combustible 47
Tabla 9.Factores de emisión campaña IVE 51
Tabla 10. Emisiones industriales totales Jurisdicción CAR 66
Tabla 11. Emisiones totales por municipio 67
Tabla 12. Emisiones totales por grupo industrial 75
Tabla 13. Emisiones por tipo de combustible 79
Tabla 14. Emisiones por tipo de equipo 79
Tabla 15. Distribución temporal de las emisiones de fuentes fijas 80
Tabla 16. Emisiones Totales fuentes móviles 84
Tabla 17. Emisiones por categoría vehicular 84
Tabla 18. Distribución temporal de las emisiones de fuentes móviles 85

Abreviaturas

Abreviatura	Término
CMAQ	Community Multi-scale Air Quality
ISSRC	International Sustainable Systems Research Center
CAR	Corporación Autónoma Regional
CDA	Centros de Diagnóstico Automotor
CORINAIR	
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
EMEP	European Monitoring and Evaluation Programme
RUNT	Registro Único Nacional de Tránsito
SMOKE	Sparse Matrix Operator Kernel Emissions
TBE	Tasas Básicas de Emisión
USEPA	United States Environmental Protection Agency

Introducción

El crecimiento poblacional, económico e industrial, tanto en Bogotá como en Cundinamarca, ha llevado al aumento en el consumo y demanda de energía y de recursos naturales. Desde el año 2000 hasta 2012, el consumo de energía eléctrica en la Región Capital creció un 50%, principalmente gracias al dinamismo del sector comercial de Bogotá. En los últimos trece años, el consumo en la región creció en cerca de 4.000 GWh. En 2012, el consumo total de la Región Capital superó los 12.459 GWh. En Cundinamarca, el consumo de energía eléctrica está fuertemente concentrado en los municipios de la Sub sabana, los cuales representan el 92% del total del consumo del departamento.(Afanador, y otros, 2013).

En el 2010 y 2011 se registró una recuperación del PIB departamental alcanzando 6,0% y 6,1%, respectivamente. Para Cundinamarca la actividad industrial representó el (13,0%), seguida de alimentos, bebidas y tabaco (8,0%) y cultivo de otros productos agrícolas (7,4%). Por otro lado, las mayores variaciones se registraron en extracción de carbón, carbón lignítico y turba con un incremento de 48,2%, construcción de obras de ingeniería civil 17,1%.Todo esto conlleva a una mayor generación emisiones de contaminantes a la atmósfera, con el consecuente deterioro en la calidad del aire. De allí que haya crecido la preocupación e interés del gobierno, de las autoridades ambientales, de la academia y de los gremios industriales involucrados, por generar políticas públicas y establecer planes de gestión ambiental que conduzcan a la prevención, control y reducción de la contaminación, con el fin de proteger a la población y los ecosistemas.

El inventario global de emisiones por fuentes fijas y móviles para Bogotá ha sido estimado en varias ocasiones en la última década. La última estimación tuvo lugar en 2014 con el estudio realizado por la Universidad de la Salle Desarrollo e

implementación de un modelo de calidad del aire para Bogotá, el cual realizo la estimación del inventario de fuentes fijas, móviles y de área y la desagregación espacial y temporal del mismo utilizando una metodología similar a la usada por Peñaloza en 2010 la cual incluyó CO, NOx, SO_2, PM y VOC para fuentes móviles, y CO, NOx, SO_2 y PM para fuentes fijas. [Peñaloza, 2010]. Los resultados obtenidos de dicha desagregación del inventario fueron utilizados como datos de entrada al modelo de calidad del aire (CMAQ) que cuenta con los procesos de transporte y transformación química y fotoquímica en la atmósfera, con base en la modelación meteorológica a las condiciones de Bogotá. Esto con el fin de identificar las zonas críticas de emisión de contaminantes dentro de la región capital, y ser fuente de información para la formulación de estrategias de reducción de emisiones, y la evaluación de políticas públicas locales para la vigilancia y control de la calidad del aire. Sin embargo, es necesario replicar este tipo de ejercicios en Cundinamarca y región Andina idealmente.

El conocimiento detallado del inventario de emisiones de los contaminantes criterio - identificados como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos - y su distribución espacial y temporal son un aspecto clave en los objetivos de gestión de la calidad del aire y se constituyen en un insumo fundamental para la elaboración de Programas de Prevención y Control de la Contaminación. Por esta razón, es importante adelantar la actividad en mención, para lo cual se han abordado en primer lugar 1) Compilar y evaluar la información existente en la CAR sobre los inventarios de emisiones realizados anteriormente, las bases de datos de fuentes fijas y demás documentación pertinente y 2) Desagregar espacio temporalmente los inventarios de la región.

El principal objetivo de este estudio fue desagregar espacialmente y temporalmente la información extraída de los inventarios de emisiones sobre el área geográfica de Cundinamarca, aplicando una malla de 180 × 153 kilómetros, con celdas de 2 × 2 Kilómetros, situando las fuentes fijas puntuales y de área, y las fuentes móviles utilizando IED Model. Esta herramienta fue desarrollada por ISSRC implementación

de la metodología *International Environmental Database* (IED), desarrollada por el *International Sustainable Systems Research Center (ISSRC)*. IED es una base de datos de código abierto integrado por un gran número de factores de emisión y modelos básicos de actividad. Al ser un modelo que cuenta con plataforma online permite la gestión remota de la información para que pueda ser empleada por diferentes autoridades ambientales facilitando la actualización constante de la información, el seguimiento a fuentes reguladas y la gestión integrada de los programas de calidad del aire a escala urbana, regional y global.

El conocimiento detallado del inventario de emisiones de los contaminantes criterio - identificados como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos - y su distribución espacial y temporal, permitirá, que los resultados obtenidos en esta investigación puedan ser adoptados por la CAR para hacer un mejor seguimiento y validación de sus inventarios de fuentes móviles y fijas. Al contar con inventarios desagregados sólidos la CAR como autoridad ambiental podrá establecer un Plan de Gestión Ambiental que conduzca a la preservación y control sobre la calidad del aire en su jurisdicción. El inventario de emisiones desagregado permitirá también a los gremios industriales conocer sus aciertos y fallas en cuanto a sus procesos y sistemas de control para implementar medidas correctivas y así reducir las emisiones generadas.

Además, los resultados asociados a las provinciales de Cundinamarca más próximas a la Sabana de Bogotá, como son: provincial Sabana Occidente (Funza, Faca, Madrid y Mosquera), provincial Sabana Centro (Zipaquirá), provincial Soacha y la provincial de la zona rural de Bogotá y el municipio de la Calera; podrán ser acoplados con el inventario y el modelo de calidad del aire de Bogotá, con el fin de ampliarlo y evaluar los efectos de la contaminación que llega a Bogotá desde las zonas rurales circunvecinas y de los efectos de la contaminación que sale de Bogotá hacia dichas zonas rurales.

1. MARCO TEORICO

La desagregación espacial y temporal de inventarios de emisiones se ha consolidado como una herramienta que permite estudiar con gran detalle el comportamiento de las variables que describen la calidad del aire en modelos aplicados sobre zonas de diferentes escalas. Algunos estudios han demostrado que la calidad del aire local y regional pueden ser altamente dependientes en emisiones a diferentes escalas, por lo que los inventarios a escalas detalladas son de gran utilidad en la predicción de la contaminación del aire (Alonso, y otros, 2010).

1.1 Generalidades

El estudio de la calidad del aire de una región está determinado por factores geográficos generados por la confluencia de variables socioeconómicas como las actividades económicas y sus tasas de emisión de contaminantes atmosféricos, los tipos de uso de suelo y la infraestructura vial e industrial, y variables ambientales como el relieve, el clima y la meteorología del área estudiada (Guerrero, 2013).

La estimación de emisiones de las principales fuentes de emisión, junto a procesos de modelado de la calidad del aire y la generación de cartografía permiten estudiar estas variables a diferentes resoluciones espaciales y temporales, convirtiéndose en una herramienta para evaluación de las estrategias y políticas locales sobre calidad del aire, vigilar el cumplimiento de las normas de calidad de aire y como un instrumento para la planeación del desarrollo de la región (Programa de Inventarios

de Emisiones de México, Volumen VIII - Modelos para el inventario, 2000) (Radian International, 2000).

1.2 Inventarios de emisiones

Los inventarios de emisión son una herramienta diseñada para estudiar las tasas de emisión de contaminantes desde cualquier tipo de fuente identificada en el área de estudio y a lo largo del tiempo, lo que permite complementar la información generada por las redes de monitoreo y vigilancia de la calidad del aire (Gkatzoflias, Mellios, & Samaras, 2013). Los inventarios de emisión son la principal fuente de información para los modelos de calidad del aire, utilizados para la proyección y prospectiva de escenarios de planeación y gestión de la calidad del aire, el análisis del control de emisiones y de las tendencias de emisión (Programa de Inventarios de Emisiones de México, Volumen VIII - Modelos para el inventario, 2000). Generalmente, los inventarios de emisiones están compuestos por información generada para 4 categorías: Fuentes puntuales (maquinaria y equipos utilizados en actividades industriales), fuentes de área (representan varias fuentes asociadas que pueden contribuir significativamente), fuentes móviles (incluye transporte terrestre en carretera) y otras fuentes móviles (incluye otros tipos de transporte y vehículos utilizados fuera de carretera) (AQMD,2008).

La estimación del inventario de fuentes móviles se realiza a través de modelos de emisión basados en factores de emisión que cuantifican diferentes variables asociadas al flujo vehicular sobre una red vial. El modelo internacional de emisiones vehiculares (IVE), desarrollado por la Escuela de Ingeniería de la Universidad de California Riverside (UCR) y el Centro Internacional de Sistemas Sostenibles (ISSRC), requiere de la recolección de información detallada en campo, con el fin de generar 3 tipos de datos de entrada (Dávila, Rojas, & Rojas, 2013). La entrada correspondiente a “Composición de la flota vehicular”, que consiste en dos tipos de inspección: grabación en video del tráfico diario de varias vías, seleccionadas de acuerdo a criterios de tráfico vehicular y usos de suelo, para recoger información

sobre la proporción de tipos de vehículos en carretera; y la inspección de parqueaderos, terminales de buses, estaciones de taxis y camiones, para determinar la distribución de tecnologías de vehículos de pasajeros, buses y camiones. La entrada correspondiente a “Actividad Vehicular”, en la que se describen patrones de conducción específicos del área de estudio (distancias recorridas, perfiles de velocidad y aceleración), patrones de partidas (número de partidas y patrón de distribución entre los tiempos de encendidos del motor), variables ambientales como la altitud, la temperatura y la pendiente. Y la entrada de “Factores de emisión para los vehículos” que son calculados a partir de las Tasas Básicas de Emisión (TBE) provistas por la Base de Datos del modelo, con ajustes dependiendo de parámetros como velocidad, temperatura y condiciones ambientales (Dávila, Rojas, & Rojas, 2013).

En la mayoría de los estudios en los que se realizan inventarios de emisiones de fuentes móviles para una región no es posible obtener información de campo para toda el área estudiada, por lo que se utilizan métodos de extrapolación que correlacionan tipologías socioeconómicas similares entre áreas y entidades administrativas, a través de índices como el tamaño de población, la densidad vehicular, el producto interno bruto, entre otros indicadores socioeconómicos (Alonso, y otros, 2010).

El inventario de fuentes fijas o puntuales, está compuesto por la información sobre tasas de emisión de diferentes contaminantes, generados por actividades económicas industriales, mineras, agrícolas y en algunos casos comerciales. Este inventario se complementa con información sobre tasas de emisión de contaminantes generados por el uso de combustibles para el funcionamiento de maquinaria y equipos de acuerdo a los procesos productivos de cada actividad económica (Peñaloza, 2010), y con los perfiles de composición química o especiación que se pueden encontrar en la base de datos SPECIATE de la agencia para la protección ambiental de estados Unidos, EPA (Borge, Lumbreras, & Rodriguez, 2008).

1.3 Desagregación espacial y temporal de inventarios de emisión

Una etapa intermedia entre la realización de un inventario de emisiones y la generación de un modelo de calidad de aire es la desagregación espacial y temporal de la información encontrada en el inventario de emisiones, por tipo de fuentes, tipo de contaminante, características poblacionales y económicas, características fisiográficas y económicas de las zonas estudiadas, con el fin de generar un modelo con mayor grado de detalle en la distribución espacial y temporal a nivel regional de las emisiones (Programa de Inventarios de Emisiones de México, Volumen VIII - Modelos para el inventario, 2000). Para ello se utilizan herramientas estadísticas, demográficas y de geoprocesamiento que permiten categorizar la región geográfica estudiada, para extrapolar adecuadamente la información representativa de los inventarios en cuadrantes o celdas de información asociada a escalas espaciales menores a la escala del área estudiada (Peñaloza, 2010), lo que permite refinar el detalle y la resolución de las estimaciones que deben estar adaptadas a las condiciones específicas de la región y las actividades económicas encontradas, siendo complementados con información de especiación química y la proyección de emisiones para futuros escenarios (Programa de Inventarios de Emisiones de México, Volumen VIII - Modelos para el inventario, 2000).

1.3.1 Desagregación temporal

La desagregación temporal del inventario de emisiones permite diferenciar los perfiles de distribución temporal de las emisiones, que contienen información sobre la variabilidad anual, estacional, mensual, semanal, diaria y horaria de las emisiones, de acuerdo a las características de operación, funcionamiento o periodicidad de eventos de emisión entre los cuales se estudian fenómenos naturales, turnos de operación de actividades industriales, actividades agrícolas y la variación de flujos vehiculares. La información de los perfiles temporales de los diferentes tipos de fuentes está limitada al tipo de fuente (puntual, área, móvil) y al detalle con el que se encuentre la información sobre el proceso por el cual se genera la emisión (operación de equipos o maquinaria, tipo de actividad económica, tipos de

combustible y motores de combustión, actividad y composición vehicular). (Programa de Inventarios de Emisiones de México, Volumen VIII - Modelos para el inventario, 2000).

Para la proyección de los inventarios de emisiones a escenarios futuros, se tienen en cuenta factores como la evolución de las emisiones en cada sector que las genera, de acuerdo a patrones de crecimiento y actividad esperados, la legislación que regule las actividades y medidas que permitan el control y la vigilancia de las actividades que más aportes realizan (Borge, Lumbreras, & Rodriguez, 2008).

1.3.2 Desagregación espacial

La desagregación espacial del inventario de emisiones agrupa diferentes fuentes de emisión en celdas de escala varias veces menor a la del área estudiada, lo que permite diferenciar zonas con mayor o menor presencia de fuentes de emisión. La variabilidad espacial de la distribución de las fuentes de emisión permite establecer zonas de mayor emisión y con una mayor necesidad de control y vigilancia de la calidad del aire. (Borge, Lumbreras, & Rodriguez, 2008).

En este apartado se pueden utilizar diferentes categorías de desagregación de la información espacial, teniendo en cuenta variables como tipo de fuente y contaminante, sectores generadores de las emisiones (energía, industria, agricultura, transporte), clasificación de uso de suelo y de las actividades económicas representativas de las entidades administrativas o regionales encontradas en el área de estudio clasificación de tipo de vías, tipos de combustibles utilizados (EEA, 2012, Pulido, 2012) (Pulido, 2012).

La desagregación espacial debe tener en cuenta la altura de las fuentes de emisión (Borge, Lumbreras, & Rodriguez, 2008), para complementar la información requerida por modelos de calidad de aire y evitar sobreponer datos que no hacen parte de emisiones a la altura del suelo, como puede suceder con fuentes de emisión como chimeneas.

1.4 Base de datos Ambiental Internacional (IED)

La base de datos International Environmental Database (IED), desarrollada por el Centro de Investigación Internacional de Sistemas Sostenibles (ISSRC), fue diseñada con el propósito de almacenar la información sobre emisiones en diferentes regiones, a través de un formato de grillas o celdas cuya escala puede definirse en resolución de 1 km x 1 km, 2 km x 2 km o 10 km x 10 km, dependiendo de la escala y la extensión de la región estudiada. Para inventarios de emisiones realizados en regiones administrativas mayores a ciudad, se selecciona la escala intermedia, pues las fuentes de emisión estudiadas presentan distribuciones que pueden ser abarcadas con un buen nivel de detalle a esta escala, en comparación de los estudios realizados a escala 1 km x 1 km, que se proponen para inventarios de emisiones en ciudades o la escala 10 km x 10 km, que es utilizada en estudios de regiones de mayor extensión, por ejemplo, países ((ISSRC), 2015).

La presentación de los datos espaciales en la base de datos IED, requiere información de los diferentes tipos de fuentes de emisión y contaminantes del área estudiada. Igualmente, se requiere información de características ambientales de la zona representada por cada celda, tales como temperatura, precipitación, presión, velocidad y dirección de viento, altitud, pendiente, humedad relativa, etc., generando un mapa georreferenciado con gradientes de emisión como producto final ((ISSRC), 2015).

1.4.1 Información Requerida por IED

IED requiere la creación de dos conjuntos de datos los cuales se listaran a continuación:

1.4.1.1 Información general regional.

En la Tabla 1 se listan las tablas que incluyen la información general para el modelo IED.

Tabla 1. Información general regional para IED

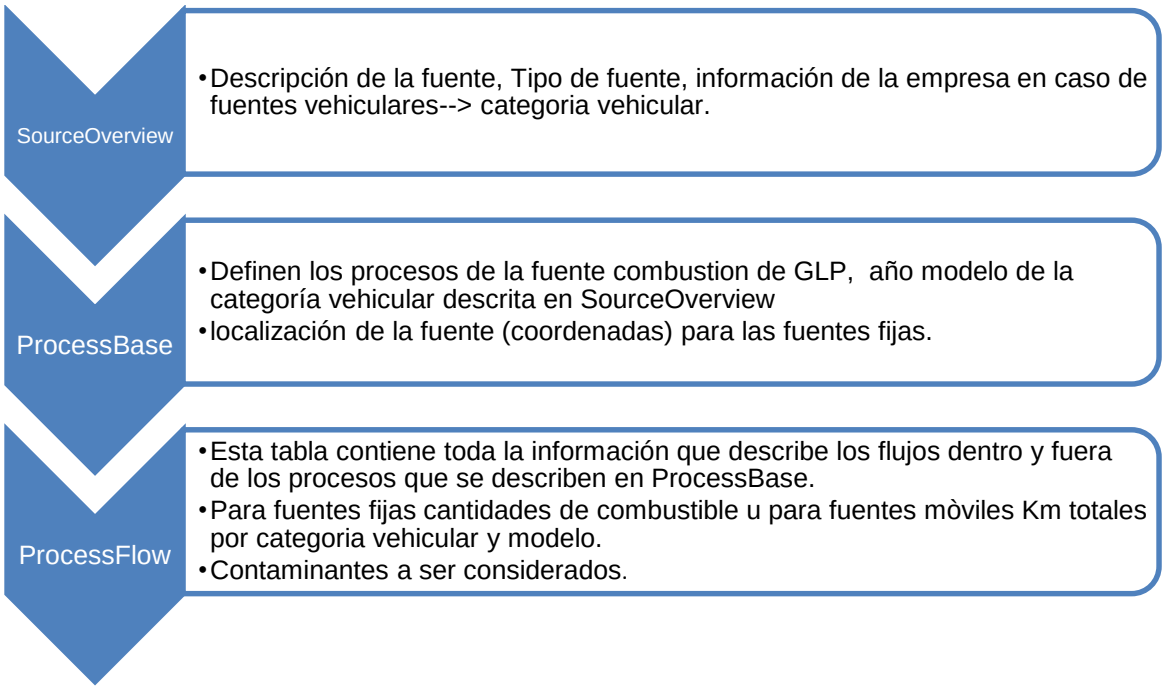
Información Regional (RegionalGridInfo)	Requiere la información de la región, la latitud y la longitud de la esquina suroeste de la región, el tamaño de las celdas del dominio utilizadas para la región, el número de filas y columnas del dominio y el mapa de la región.
Distribución Espacial (FixedGridDistribution)	Esta tabla contiene principalmente la información que se utiliza para distribuir las emisiones sobre la región. Puede contener 41 métricas y es posible adicionar otras, hay cinco métricas importantes que se enumeran a continuación: • -Población Por celda de la cuadrícula. • -Distribución de conducción por categoría vehicular por celda (Fracción). Información que va relacionada con la tabla MetricDescription donde se realiza la distribución de cada tipo de vía en cada celda esto se realiza en la columna llamada "RoadClass".
Variables medioambientales (EnviroGridDistribution)	Esta tabla contiene información regional relacionada con la temperatura, humedad, velocidad del viento, y otra información importante sobre el medio ambiente para la región.
Distribución por temporadas (SeasonalGridDistribution)	Llamada (SeasonalGridDistribution) contiene la información del comportamiento de la actividad en cada una de las temporadas (estaciones, día entre semana y fines de semana), para este caso se consideró una temporada normal típica, día entre semana. Por ejemplo, la dinámica de conducción puede cambiar del invierno al verano o los fines de semana en comparación con los días de semana.
Distribución Horaria (HourlyGridDistribution)	Esta tabla es análoga a SeasonalGridDistribution se utiliza para asignar diferentes distribuciones horarias a diferentes celdas de la cuadrícula. Por ejemplo: la distribución de la conducción por hora en el centro de la ciudad podría ser diferente de la distribución horaria en la zona residencial.

Distribución de Crecimiento (GrowthGridDistribution).	En esta tabla se pueden asignar valores de tasas de crecimiento a celdas determinadas en la región, con el fin de evaluar el crecimiento en el tiempo de las emisiones para así poder evaluar escenarios futuros de políticas o de cambios de tecnología. Para completar esta tabla previamente se define la tasa de crecimiento en la tabla GrowthMetric, en el que se asigna una tasa de crecimiento en un período de 20 años. Por ejemplo: el crecimiento vivienda será mayor en un área de la región que en las otras áreas.

1.4.1.2 Información de la fuente.

En las tablas SourceOverview, ProcessBase y ProcessFlow se describen las características de las fuentes a definir en el dominio. En la Figura 1. Información de las fuentes en IED se describe la información de cada una de estas tablas.

Figura 1. Información de las fuentes en IED



1.4.2 Creación de escenarios.

El IED ofrece la posibilidad de crear escenarios futuros. Esto se hace mediante la creación de un flujo de proceso alternativo que sustituye al flujo de proceso original. Cuando se hace un cálculo para el nuevo flujo de proceso, el escenario se activa en la interfaz de cálculo y el nuevo flujo del proceso sustituye al antiguo flujo del proceso para convertirse en un posible escenario futuro. Es una herramienta para la evaluación de políticas y cambios de tecnologías entre otras.

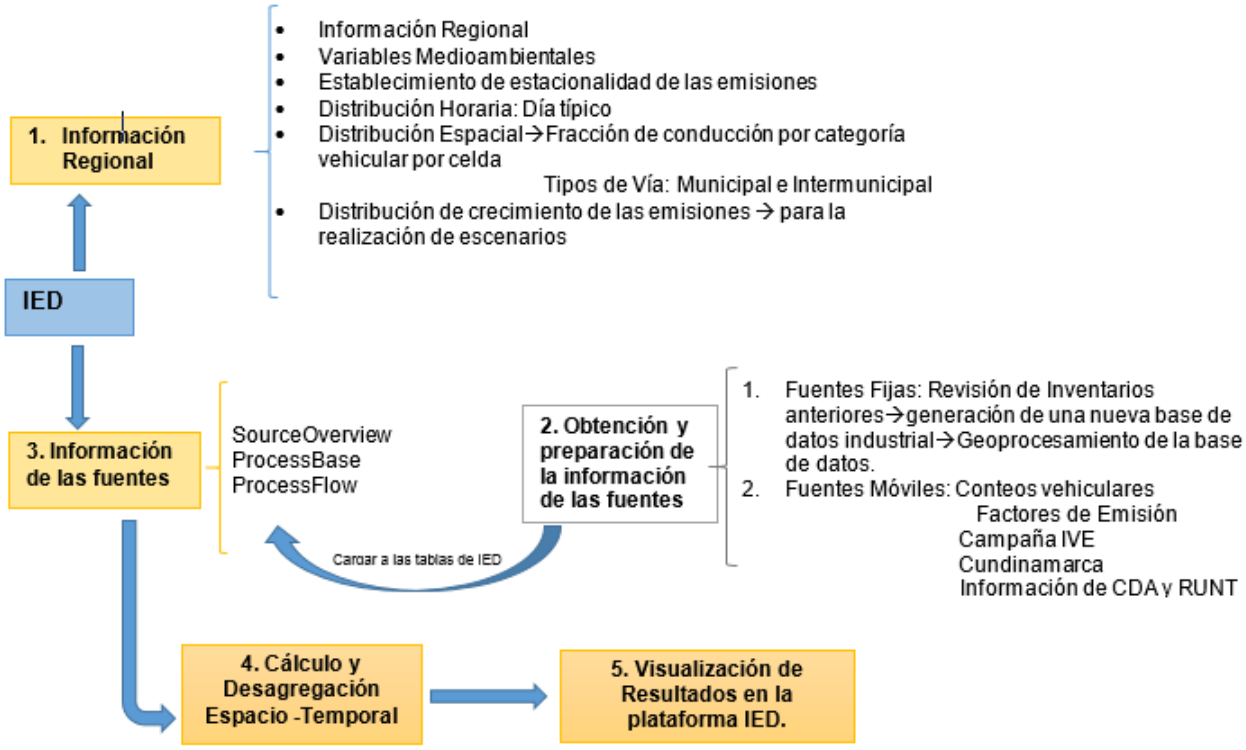
1.4.3 Plataforma IED

El usuario puede interactuar con el IED a través de un navegador web. El uso de un navegador web para interactuar con el IED permite que el sistema sea operado en desde cualquier computadora, la descripción de la interfaz se encuentra en el Anexo 1.

2. METODOLOGÍA

En la Figura 2 se presenta la esquematización general de la metodología la cual se explicará en este capítulo.

Figura 2. Esquema general de la metodología.



Fuente: Elaboración propia.

2.1 Definición de la información Regional

Para la descripción de la información regional IED utiliza las siguientes tablas para la caracterización de la zona:

2.1.1 Información Regional.

Para la desagregación horaria de las emisiones de fuentes móviles y fijas en la jurisdicción CAR se tomó el dominio entre las siguiente latitudes: 3.704104 grados decimales y las siguientes longitudes:-74.92516 divididos en celdas de 2 km X 2 km para un área de 240 km x 170 km; la jurisdicción tiene un cubrimiento de ciento cuatro (104) municipios de los cuales 98 municipios se encuentran localizados en Cundinamarca y los 6 municipios restantes hacen parte del departamento de Boyacá.

Las principales actividades económicas de la jurisdicción son:

- Industrial
- Agropecuaria
- Turismo
- Minería

En la tabla denominada *RegionalGridInfo* se ubica la información general de la región geográfica y de la grilla. Para este caso se definió la región geográfica que incluye a los departamentos de Cundinamarca y parte de Boyacá, con los municipios que conforman la jurisdicción CAR. En la Tabla 2 se observan los parámetros requeridos, tales como el nombre de la región, coordenadas del primer punto, número de filas y columnas.

Tabla 2. Datos requeridos *RegionalGridInfo*.

RegionAbbreviation	RegCar	NS_gridsize	0.018116
RegionName	Metropolitan Region of CAR	NumberRows	119
SWGridLatitude	3.704104	NumberColumns	83
SWGridLongitude	-74.92516	GridTilt	0
EW_gridsize	0.018028	MapFile	BogotaIED.jpg

Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Dominio Jurisdicción CAR

Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Variables medioambientales

Denominada *(EnviroGridDistributionTable)* la información fue obtenida por medio de simulación meteorológica con WRF Se modelaron 3 días de febrero para los parámetros de temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, presión y altitud. A partir de la modelación se obtuvieron los valores de los parámetros meteorológicos para cada celda y cada hora.

Los valores obtenidos en la modelación se incluyeron en la tabla *HOURLY ADJUSTMENTS*, y a cada comportamiento se le asignó un código en la columna *HourlyAdjustmentsKey*. Estos códigos son los que se ubicaron en la tabla *EnviroGridDistribution*, para indicar el comportamiento del parámetro para cada celda. Cabe resaltar que para las cuatro temporadas solicitadas de cada parámetro se usó el mismo código, ya que se realizó la modelación para un día típico del año 2012.

2.1.3 Temporadas.

Llamada *(SeasonalGridDistribution)* esta tabla permite asignar parámetros en los que se defina un comportamiento determinado de las fuentes en las cuatro estaciones del año y para día hábil y de fin de semana. Dichos parámetros son definidos previamente en la tabla *seasonaladjustments*, antes de ser ubicados en esta tabla.

Para este caso se asignó un comportamiento homogéneo de las fuentes en todo el año, en el cual se considera que las fuentes tienen un funcionamiento constante en las cuatro estaciones del año y tanto para día hábil como día en fin de semana. De este modo la emisión se multiplica por 0.125 en cada una de las estaciones y días, para que al final del año la suma de las ocho fracciones equivalga a 1. Este comportamiento se indicó en la tabla base colocando el valor “1” para todas las celdas por las que pasan vías municipales e intermunicipales, y “0” para las demás celdas.

Ya que la métrica ya estaba definida para cada tipo de vehículo mediante los nombres *SnMetric01*, *SnMetric02* y *SnMetric03* para vehículos particulares, camiones y buses respectivamente, se adicionaron dos métricas (*SnMetric07* y *SnMetric08*) para taxis y motos, de acuerdo al orden consecutivo de las métricas para *SeasonalGridDistribution*.

2.1.4 Distribución Horaria.

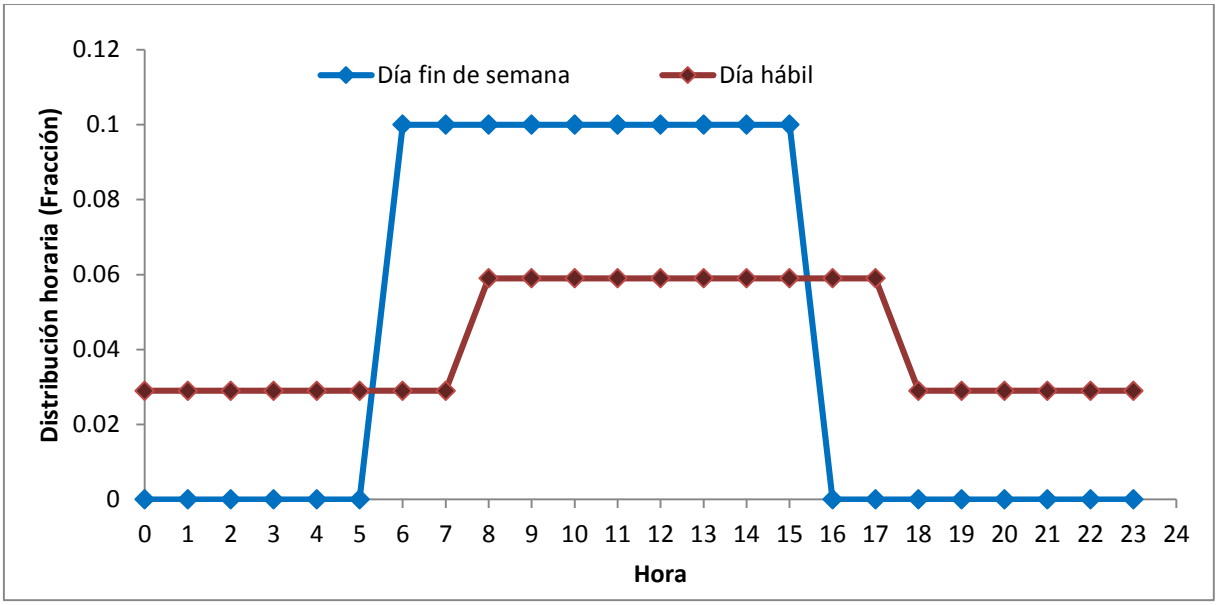
Incluida en la tabla *(HourlyGridDistribution)* la cual contiene la información del comportamiento de la actividad en cada hora del día.

2.1.3.1 Fuentes Fijas.

Para Fuentes fijas se definieron dos distribuciones horarias diferentes, para día hábil y para día de fin de semana, ya que el IED permite la diferenciación de las emisiones para cada día y temporada del año. La distribución definida se observa en Gráfica 1.

Debido a que no se obtuvo la información suficiente del comportamiento horario de las fuentes fijas de la jurisdicción CAR, IED cuenta con diferentes distribuciones de comportamiento horario de las fuentes fijas para este caso se tomó la distribución con el código 1014 la para día hábil que corresponde a una distribución estándar en un horario de 8h–17h, y una actividad nocturna a la mitad de la capacidad. Para ello define una fracción de 0.059 para el horario de 8h–17h, y una fracción para el horario de 18h–7h. Para el día en fin de semana se eligió una distribución con el código 1010, que corresponde a una distribución de 6am a 3 pm, el comportamiento horario se presentan en la Gráfica 1.

Gráfica 1. Distribución horaria- Fuentes Fijas.



Fuente: Elaboración propia.

2.1.3.2 Fuentes Móviles.

Para las fuentes móviles la distribución fue tomada de acuerdo a los conteos vehiculares realizados en la campaña IVE Cundinamarca para vías municipales y la información de los peajes para las vías intermunicipales

Contiene los valores ubicados en esta tabla permiten la distribución horaria de las emisiones, de acuerdo a un comportamiento determinado que se expresa en fracciones para cada hora que al final suman 1. Para completar esta tabla se usan los valores definidos en la tabla *hourlyadjustments*, donde se ubican las fracciones para cada hora. Esta tabla está asociada además a otras tres tablas *(hourlyschedulekey1*, *hourlyschedulekey2* y *hourlyschedulekey3)*, en las cuales existen códigos definidos cuya combinación permite asignar el código del parámetro en *hourlyadjustments*. Por ello, se requirió crear nuevas categorías en estas tablas antes de completar esta tabla.

En la Tabla 3 se observan los códigos usados de las tres tablas *HourlySchedule*, las celdas en azul son nuevos códigos que se insertaron al IED y las demás ya estaban definidos previamente.

Tabla 3. Códigos tablas *HourlySchedule*

Tabla	Código	Significado
HourlyScheduleKey1	1000	Actividad de Conducción
HourlyScheduleKey2	1028	Vehículo de Pasajeros
	1029	Camión
	1030	Bus
	1034	Taxi
	1035	Moto
HourlyScheduleKey3	1047	Vía intermunicipal / Principal
	1048	Vía municipal / Secundaria

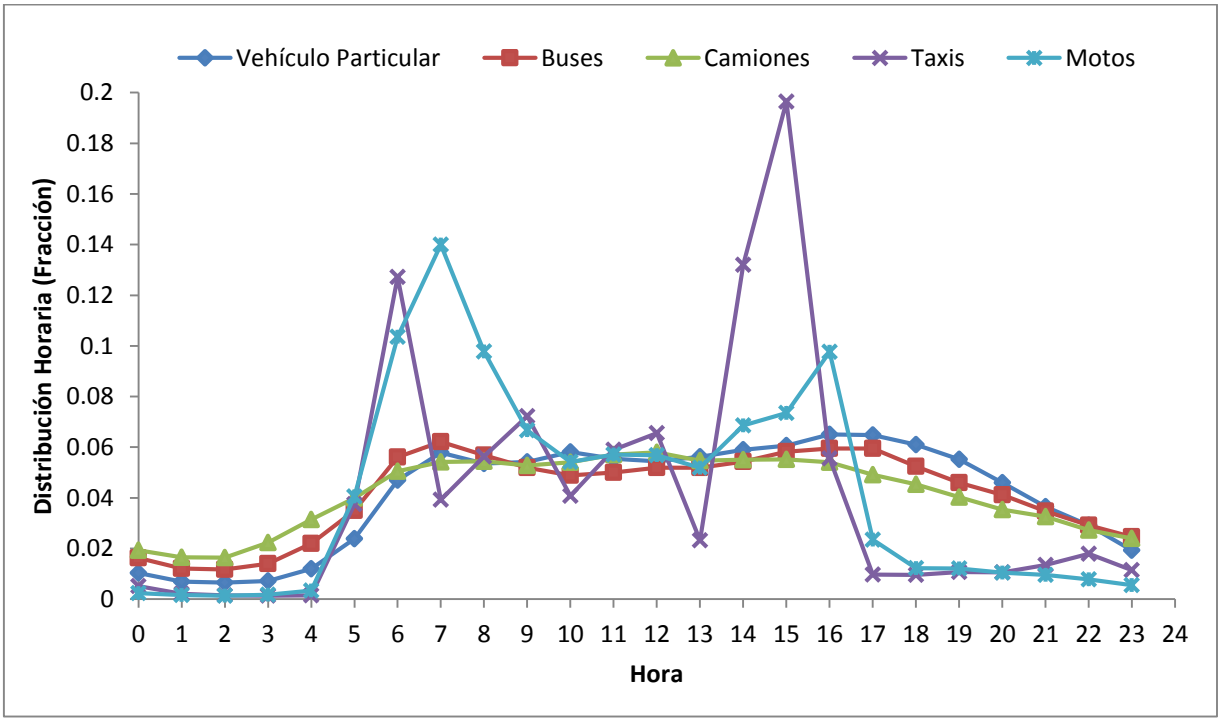
Fuente: Elaboración propia.

Para la definición de las fracciones horarias para cada categoría de vehículo se usó la información de peajes para vías intermunicipales, y de conteos vehiculares para las vías municipales. A partir de los datos obtenidos, se realizó un promedio de los datos por cada vía, para obtener el promedio de vehículos por hora en un día típico del año. Luego se calcularon las fracciones a partir del total de vehículos en el día, y se promediaron las fracciones de todas las vías intermunicipales por un lado, y por otro de las vías municipales, para obtener las fracciones que se usaron finalmente en le IED. Se obtuvieron en total diez conjuntos de fracciones, teniendo en cuenta la

categoría vehicular y el tipo de vía. Las fracciones usadas finalmente en la tabla *HourlyAdjustments* se encuentran en el Anexo 2.

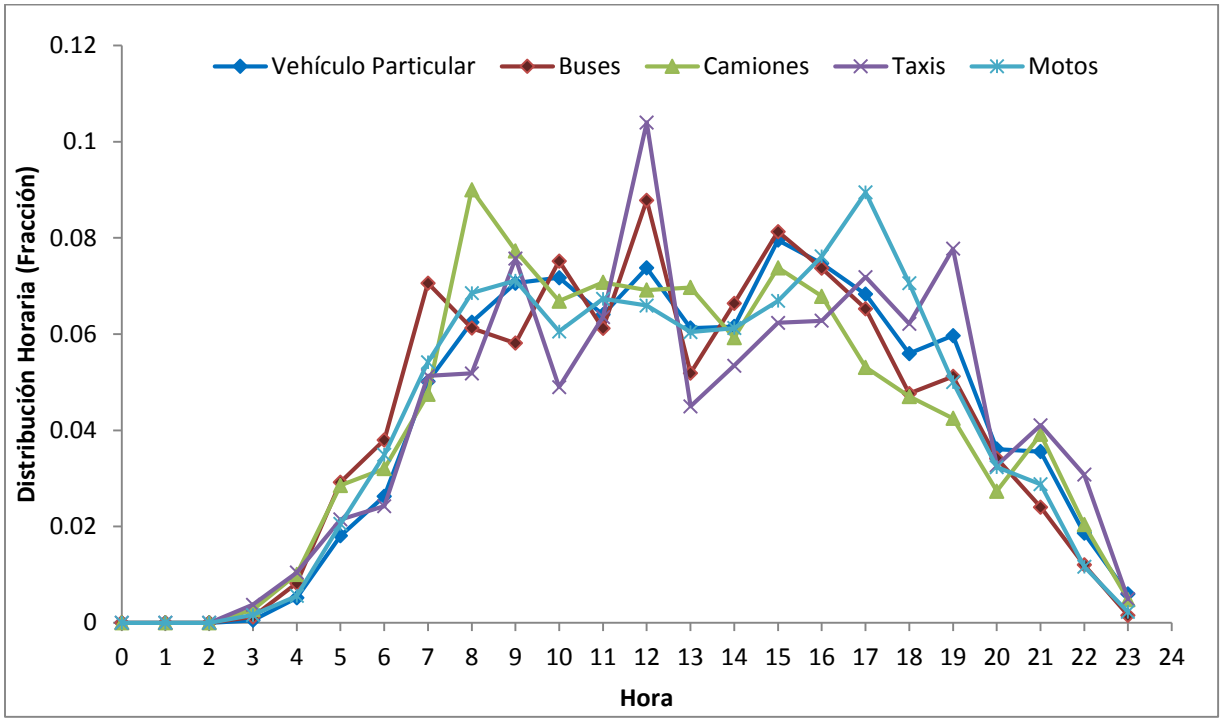
Finalmente, para completar la tabla *HourlyGridDistribution* se tuvieron en cuenta cinco métricas, una por cada tipo de vehículo, por lo que se usaron las columnas HrMetric10 a HrMetric14. Se ubicaron entonces los códigos definidos en el *HourlyAdjustmentKey* de la tabla *HourlyAdjustments* correspondientes a cada celda según sea vía municipal o intermunicipal como se observa en la Gráfica 2 y Gráfica 3.

Gráfica 2. Distribución Horaria – Vía Intermunicipal.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3. Distribución Horaria – Vía municipal.



Fuente: Elaboración propia.

2.1.5 Distribución de crecimiento

Denominada en IED *(GrowthGridDistribution)* para este caso se usó una tasa anual de crecimiento del 4% basado en que el departamento a lo largo de los últimos once años siempre ha tenido un crecimiento positivo aproximado al 4% (Gobernación de Cundinamarca, 2015) Para todas las celdas en las que existen vías municipales e intermunicipales. Dicha distribución tiene el código 1041, el cual fue el valor que se asignó para todas las celdas con vías, y para las demás celdas se colocó el valor 0, que indica un crecimiento del 0% anual. Estos códigos fueron asignados en el parámetro *GrMetric02*, que él es número consecutivo a la métrica de tasa de crecimiento definida en el IED. En la

Tabla **4** se encuentran las tasas de crecimiento asignadas por el IED para el período de 20 años.

Tabla 4. Valores tabla *GrowthMetric* para un crecimiento del 4%

Tasa de crecimiento	Age01	Age02	Age03	Age04	Age05	Age10	Age15	Age20
4.0% por año (todos los años)	0.04	0.0816	0.1249	0.1699	0.2167	0.2653	0.2653	0.2653

Fuente: Elaboración propia.

Esta tasa de crecimiento se escogió de acuerdo al crecimiento económico proyectado para Cundinamarca por el Banco de la República, en donde se espera un crecimiento promedio del 4.3% para el año 2011. (Secretaría de Hacienda de Cundinamarca., 2015). Es de aclarar que para este ejercicio esta tabla no se utilizó en la desagregación de las emisiones si no que se dejó realizada para ser utilizada en el caso de crear escenarios futuros para ver la variación de las fuentes de emisión bajo la influencia de políticas o cambios de tecnología.

2.1.6 Distribución Espacial.

La tabla denominada en IED *(FixedGridDistribution)* contiene la información de la distribución espacial de las emisiones de fuentes móviles de acuerdo al flujo de vehículos por cada categoría vehicular y al tipo de vía por el que circulan. En esta tabla se definen métricas para cada tipo de vehículo, además del tipo de vía. Dichas métricas se definen previamente en la tabla *MetricDescriptions*, en donde cada métrica tiene un nombre propio como *FxMetric*.

Para este caso se definieron cinco métricas una para cada categoría vehicular, las cuales relacionan el número de vehículos con la longitud de vía que pasa por cada celda del dominio discriminadas por tipo de vía municipal o intermunicipal.

Primero se definió el número total de vehículos por categoría que pasa por toda la región de estudio, tanto en vías municipales como en vías intermunicipales. Estos valores totales por tipo de vía se encuentran en la Tabla 5. La información usada fue la misma que se trabajó para elaborar la tabla *HourlyGridDisribution*.

Tabla 5. Número total de vehículos por categoría y tipo de vía

Tipo de vía	Número de vehículos						N° Celdas	Longitud total (km)
	Vehículo Particular	Buses	Camiones	Taxi	Motos	TOTAL		
Intermunicipal	199170	52196	82860	1348	45347	380921	896	1738.79
Municipal	33770	48600	9958	19421	26877	138625	107	187.38

Fuente: Elaboración propia.

Luego se definió el número total de celdas por los que pasaba cada tipo de vía. Para ello se usó el programa ArcGIS ®, en el cual se usaron los archivos que contienen la red vial de Cundinamarca y la grilla de celdas de 2 x 2 km. Se seleccionaron solo las vías de interés para este ejercicio y se obtuvo el resultado en hojas de cálculo. El número total de celdas por cada tipo de vía se encuentra en la Tabla 5. También se obtuvieron los datos de la longitud de vía que pasa por cada celda, mediante la superposición de los archivos de la red vial y la grilla, para obtener una hoja de cálculo con los datos requeridos para cada tipo de vía. La longitud total de cada tipo de vía se encuentra en la Tabla 5.

Para calcular las fracciones finales se realizó una multiplicación de la fracción de vehículos por la fracción de la longitud de vía para una misma celda y un mismo tipo de vía (teniendo en cuenta que una celda podía tener solo un tipo de vía), como se muestra en la ecuación 1:

$$FF_n = FN_n * \left(\frac{L_n}{L_T}\right) \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

Dónde:

FF_n= Fracción final para la celda n

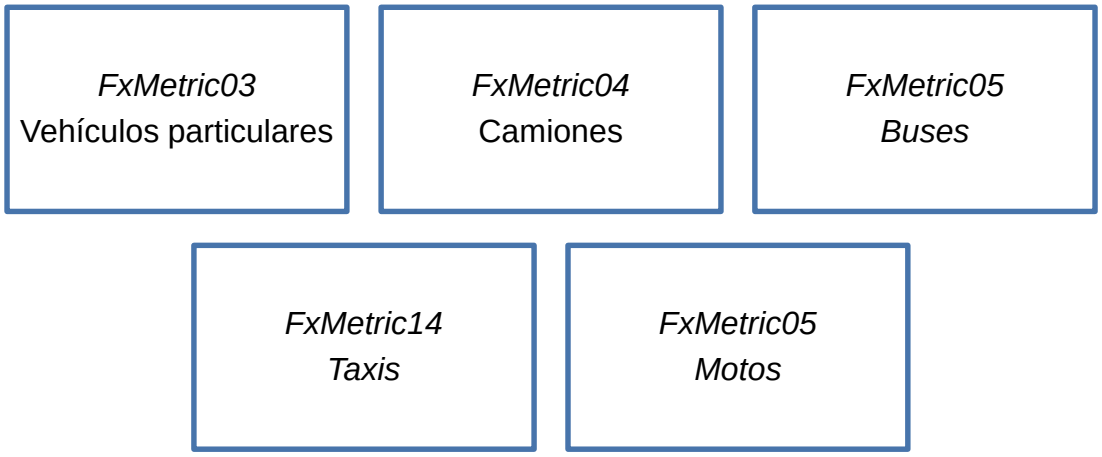
FN_n= Fracción del número de vehículos para la celda n

L_n= Longitud del tramo vía en la celda n

L_T= Longitud total de los tramos de vía

Se calculó una fracción para cada celda y tipo de vehículo de modo que la suma de las fracciones de todas las celdas diera un total de 1. De acuerdo a ello, se obtuvieron las siguientes cinco métricas las cuales se presentan en la Figura 4:

Figura 4. Métricas por categoría vehicular.



Fuente: Elaboración propia.

En la tabla *FixedGridDistribution* además había que completar una métrica adicional, según el tipo de vía, en la columna denominada *RoadClass*. Para ello se consideraron dos categorías establecidas en el IED, de acuerdo a la tabla *RoadClasses*:

Rural roadways (2001): Aplica para las vías dentro de los municipios.

Rural highways (2013): Aplica para las vías intermunicipales que comunican entre sí las cabeceras municipales o con vías departamentales.

Rural roadways en Estados Unidos hace referencia a las vías de tipo “Minor Collectors” y “Local Roads”, las vías que permiten el tráfico de las vías locales a las vías de mayo nivel, transporte a las zonas rurales agrícolas, y son los tramos en los que se recorren las distancias más pequeñas (FHWA, 2013). En comparación con la clasificación de las vías en Colombia, el equivalente sería el de las vías terciarias, que comunican las cabeceras municipales con las veredas. (INVIAS., 2008) En este caso concuerda el hecho de que son las vías de menor nivel, que tienen menores distancias y por ende menor velocidad de flujo.

Rural highways en Estados Unidos para las zonas rurales incluye vías del orden de “Major Collectors”, “Minor Arterials” y “Rural Arterials”, siendo éstas últimas las que manejan mayores velocidades y longitudes. El tipo específico de vía depende de la densidad de las poblaciones que comunican las vías. Los colectores se usan para comunicar centros poblados dentro de los estados con las vías arteriales; las arteriales menores llevan el tráfico hacia las vías interestatales desde algunos centros poblados grandes, y las arteriales rurales conectan los centros urbanos y grandes centros poblados (FHWA, 2013). Al comparar esta clasificación con las vías en Colombia, equivaldrían a las vías secundarias (unen las cabeceras municipales con vías primarias) y las vías primarias (que comunican los grandes centros poblados y tienen la mayor cantidad de carriles) (INVIAS., 2008). En Cundinamarca se encuentran estos dos tipos de vías, ya que existen vías primarias que salen de Bogotá hacia el norte del país y hacia el rio Magdalena, que permiten el transporte de productos hacia el resto del país y el mundo, y las vías secundarias hacia los municipios de mayor densidad poblacional. (Gobernación de Cundinamarca., 2009)

2.2 Obtención y Preparación de la Información – Fuentes fijas

Para el cálculo de las emisiones de fuentes fijas o por proceso IED emplea la siguiente ecuación:

$$P(d,h) = EF * Kf * Qr * S(d) * H(d,h)$$ (Ecuación 2)

Dónde:

P=Emisión

EF= Factor de emisión

Kf=Factor de actividad

Qr=Factor de corrección de unidades (kg/time)

S= temporada/distribución de la actividad diaria para un día *d* de la temporada *S*

H=Distribución de la actividad horaria para una hora *h* del día *d*

d= día de la temporada

h= hora del día

2.2.1 Evaluación de Inventarios Existentes Jurisdicción CAR

La Corporación Autónoma Regional –CAR- , con el objetivo de realizar el diagnóstico del recurso aire en el territorio de su jurisdicción, ha suscrito convenios con diferentes entidades para la elaboración y actualización anual del inventario de emisiones de fuentes fijas y móviles y para la modelación de la dispersión de contaminantes criterio. Algunos de estos convenios son:

- Convenio 0673 – Inventario Universidad Militar Nueva Granada 2008-2009
- Convenio 0586 – Inventario Universidad de Pamplona 2009
- Convenio 267 – Inventario K2 2010-2011

Los documentos técnicos y bases de datos de estos convenios fueron suministrados por la Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible y la Subdirección de Recursos Naturales y Áreas Protegidas de la CAR, en el marco del Convenio Interadministrativo de Asociación N° 746, suscrito entre la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca -CAR y la Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

La revisión y evaluación de los inventarios elaborados para la jurisdicción de la CAR se realizó mediante el siguiente proceso:

1. **Descripción De La Información Existente.** Para cada inventario se describió: Objetivo general, año, tipo de fuentes de emisión, contaminantes considerados, cobertura espacial, metodología general de cálculo de emisiones, factores de emisión empleados, fuentes de información, y resultados.

2. **Revisión De Información Soporte de los Inventarios.** Se realizó la revisión de las encuestas efectuadas para la recolección de información en campo de las variables requeridas para el inventario de emisiones de fuentes fijas. Los ítems de

revisión fueron: Multiplicidad de Encuestas para una empresa, información sobre fuentes de emisión, frecuencia de Operación, insumos y producción, y consumo de combustibles.

Esta revisión se realizó únicamente para los inventarios de los años 2008 y 2010, dado que no se recibió dicha información para el año 2009.

3. **Metodología de Revisión Metodología de Cálculo.** Debido a que los Inventarios de emisión poseen diferencias en cuanto a la estimación de emisiones, se hizo necesaria la revisión por medio de parámetros diferentes para cada inventario, partiendo de la calidad de las encuestas y la información disponible para la verificación de los cálculos.

4. **Criterios de Evaluación de la información existente.** Los criterios implementados para evaluar la calidad de los inventarios se relacionan con la calidad de los datos, procedimientos y metodología. Estos criterios son:

   E1 Integridad: Evalúa el número de fuentes y de contaminantes contemplados.

   E2 Transparencia: Evalúa la documentación de la metodología, de la recolección de los datos y del proceso de cálculo.

   E3 Aseguramiento de calidad de los datos: Se evalúa si se realizó aseguramiento de la calidad de información.

   E4 Consistencia Entre Inventarios: Evalúa si se usó la misma metodología, factores de emisión, combustibles y fuentes de emisión, y determinar si son comparables.

   E5 Comparabilidad de resultados: Se evalúa si los resultados de emisiones finales obtenidos son comparables en términos de orden de magnitud y tendencia entre años.

2.2.2 Geoprocesamiento de la Base de Datos de Fuentes Fijas Jurisdicción CAR

Se generó una base de datos producto de la unión de la información de los inventarios de fuentes fijas existentes en la jurisdicción CAR, teniendo en cuanta los mismos parámetros y variables implementados en la evaluación del contenido de cada inventario. Las etapas llevadas a cabo para verificar y procesar la información geoespacial encontrada en la base de datos unificada se divide en 4 etapas:

1. **Revisión.** Se realizó una revisión minuciosa de la base de datos, con el fin de caracterizar y categorizar la información geoespacial presentada para cada empresa (registro). A partir de esta revisión se definieron 4 categoría para subdividir los registros:

   Categoría 1: Información espacial completa
   Categoría 2: Información espacial por verificar
   Categoría 3: Información espacial incompleta
   Categoría 4: Sin información Espacial

2. **Verificación.** El estado de la información geoespacial de cada categoría se verificó a través de programas como Google Earth® (incluyendo el Tipo de coordenadas y su sistema de proyección), con el fin de determinar si era correcta y precisa.

3. **Análisis de calidad de los datos y de la información.** Con el fin de que los datos sean verificables y reproducibles, se evaluó la calidad de la información de la base unificada por medio de una lista de chequeo de cumplimiento de los criterios básicos de calidad de la información de una vista de datos, basada en las características mencionadas por la Norma Técnica ISO 19113 Y 19114 sobre la calidad y presentación de información geográfica, la NTC 4611 sobre Metadatos geográficos y la NTC 5043 sobre Conceptos Básicos de Calidad.
4. **Sistematización:** se utilizaron diferentes métodos para llevar cada categoría al mismo formato de coordenadas (coordenadas geográficas – grados decimales) y

el mismo sistema de proyección (WGS84), y se generó una nueva base de datos unificada con los datos geoespaciales de todos los registros. Así mismo, la información faltante necesaria para el cálculo de las emisiones y para la homogeneización de los registros de la base, fue completada consultando las encuestas realizadas a las empresas para la elaboración de inventarios, llamando a las empresas, o consultando bibliografía y a expertos.

2.2.3 Factores de emisión.

Los factores de emisión (FE) en fuentes fijas se consideraron según el equipo en el que se realiza la combustión (caldera u horno) y según el combustible usado.

Se definieron en un principio los FE para las calderas según el tipo de combustible, ya que se encontraban FE dentro de la base del IED específicamente para las calderas. En la Tabla 6 se muestran los códigos de los FE definidos para las calderas según el tipo de combustible sin controles de emisión.

Tabla 6. Factores de emisión para calderas por tipo de combustible

COMBUSTIBLE	PM_{10}	SO_2	CO	NOx	Unidades
Carbón	6.2	19.8	9	7.6	g/kg
Diesel / Kerosene	0.1	17.1	0.6	2.9	g/L
Fuel oil	0.7	18.1	0.6	5.6	g/L
Gas Natural	0.00003	0.00001	0.00135	0.00224	g/L
Crudo	1	18.9	0.6	6.6	g/L
Gas propano	0.00005	0.0152	0.00022	0.00037	g/L
GLP	0.1	10.4	0.4	2.5	g/L
Aceite usado	0.3	18.9	0.6	6.6	g/L
Biomasa	3.2	0.04	6.8	0.8	g/kg

Fuente: IED (2013)

Para la definición de los factores de emisión de los hornos se inició la búsqueda de acuerdo a la actividad principal desarrollada por la industria, de modo que estos incluyeran las emisiones por el tipo de combustible y la unidad de combustión de la industria. Estos códigos se aplicaron para casos específicos como hornos de carbón en las industrias ladrilleras y la combustión de diesel en las plantas de generación de

energía. Las industrias y los códigos hallados mediante este método se encuentran en la Tabla 7.

Tabla 7. Factores de emisión para hornos por tipo de industria

INDUSTRIA	COMBUSTIBLE	PM_{10}	SO_2	CO	NOx	Unidad
Hornos Ladrilleras	Carbón	5	6.1	1.2	1.2	g/kg
Hornos	Carbón coque	0.7	19.5	0.3	17	g/kg
Hornos	Crudo	1.2	19	0.6	6.6	g/L
Plantas eléctricas	Diesel	5.1	4.8	15.6	72.4	g/L

Fuente: IED (2013).

A las demás industrias para las cuales no se les asignó un código directamente del IED, se les asignaron factores de emisión provenientes del PDDAB (Plan Decenal de Descontaminación del Aire para Bogotá), asignando cada industria a una categoría según la unidad de combustión y el tipo de combustible. Para la definición de los códigos de dichas industrias se elaboró una base que contiene los factores de emisión por clases (categorías) de acuerdo al combustible usado sin control de emisiones. Esta base es cargada al sistema del IED para que se asocien códigos a los FE y posteriormente se asignen los códigos a las industrias faltantes. Los FE definidos en este caso se encuentran en la Tabla 8.

Tabla 8. FE para hornos por tipo de combustible

CATEGORÍA	PM_{10}	SO_2	CO	NOx	UNIDAD
Class 1. Natural Gas food, drying and curing furnace	49.09	69.66	640.00	1220.73	g/L
Class 2. Natural Gas melting and cremation furnace	7.60	9.60	640.00	1504.00	g/L
Class 3. Carbon furnace	1.65	12.08	6.25	4.56	g/kg
Class 4. Wood furnace	2.31	0.18	4.28	3.50	g/kg
Class 5. Waste oil melting furnace	2470077.49	26460000.00	600000.00	1108945.15	g/L
Class 6. Distillate Oil furnace	409360.00	1704000.00	595000.00	2142000.00	g/L
Class 7. Liquified Petroleum Gas furnace	6432.00	1200.00	381000.00	2261000.00	g/L

Fuente: PDDAB (2010).

2.3 Obtención y Preparación de la Información – Fuentes móviles

Para el cálculo de las emisiones de fuentes móviles IED emplea la siguiente ecuación para una celda del dominio:

$$Q(r,c,d,h) = EF(r,c,d,h) * A(r,c,d,h)$$ (Ecuación 3)

Dónde:

Q= Emisión

EF= Factor de emisión

A= Factor de actividad

r= representa la fila del dominio

c= columna del dominio

d= día de la temporada

h= hora del día

2.3.1 Factor de emisión

Para el cálculo del factor de emisión IED utiliza la siguiente ecuación:

$$EF(r,c,d,h) = EFb * Ag(y_d) * Sp(r,c,d,h)$$ (Ecuación 4)

Dónde:

EF= Factor de emisión

EFb= Factor de emisión base (Campaña IVE)

Ag= Corrección por envejecimiento

Sp= Corrección por congestión de la vía

Los factores de emisión base a utilizar fueron obtenidos a partir de la campaña de fuentes móviles desarrollada para la jurisdicción CAR esta campaña siguió la metodología de recolección y procesamiento de datos requeridos por el modelo International Vehicular Emissions (IVE), el cual fue diseñado para estimar las

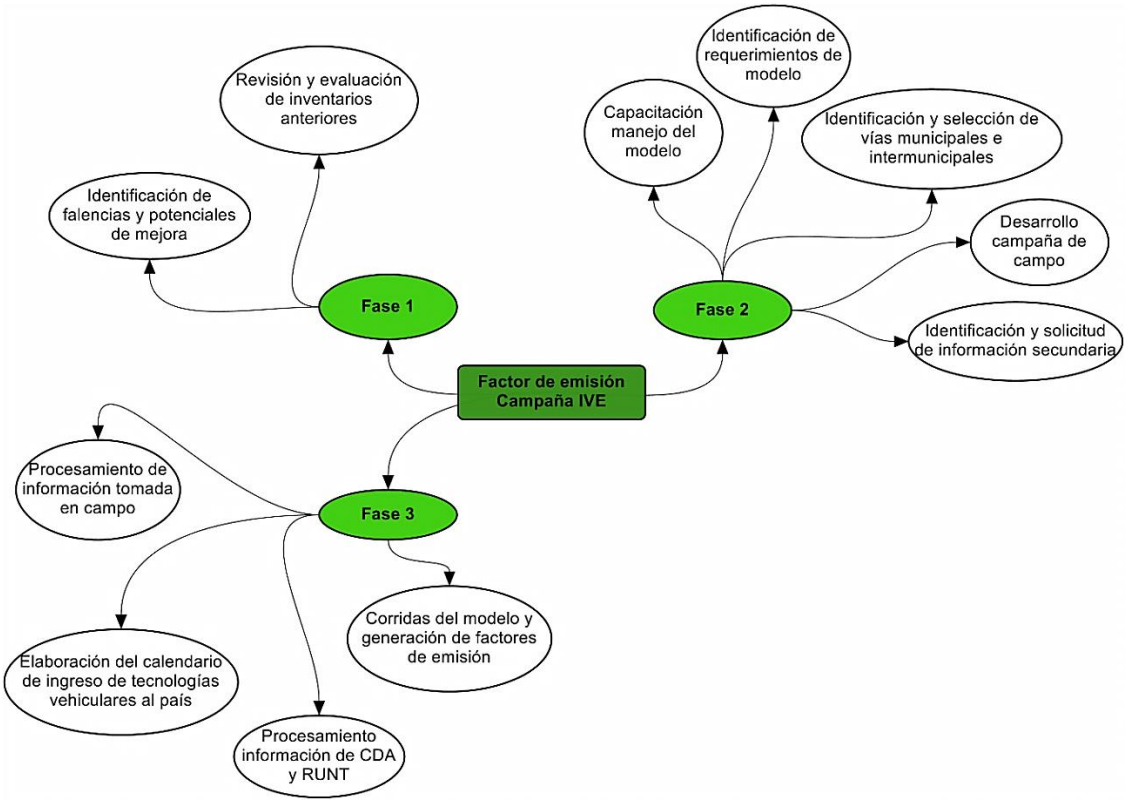
emisiones de vehículos motorizados y tiene como principal propósito el ser usado en países en vías de desarrollo. El modelo predice contaminantes atmosféricos locales, gases efecto invernadero y tóxicos. El modelo fue desarrollado por el Centro para la Investigación y Tecnología Ambiental (CE-CERT) de 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).(ISSRC, 2008).

La campaña para la generación de los factores de emisión para Cundinamarca fue realizada para las vías intermunicipales y las vías municipales evidenciando el comportamiento municipal en vías determinadas que concentren la mayor cantidad de vehículos de diferentes categorías dentro del municipio seleccionado. Para la selección de los municipios dentro de los cuales se planteó el desarrollo de la campaña de información en campo, se establecieron dos parámetros de selección, el primero se encuentra enfocado al tamaño poblacional y el segundo por la representatividad basada en la actividad económica, el producto interno bruto (PIB) municipal para este último se establecieron 4 principales actividades económicas:

- Agropecuario - turismo
- Turismo
- Industrial
- Mineria

Con esto se buscó tener información para cada tipo de municipio que conforma la jurisdicción CAR. En la Figura 5 se presenta la metodología utilizada para la generación de los factores de emisión:

Figura 5. Obtención del Factor de Emisión



Fuente: Adaptado Rojas 2015

En la Tabla 9 se presentan los valores de los factores de emisión utilizados para fuentes móviles.

Tabla 9.Factores de emisión campaña IVE

Vehículo	Tamaño	Combustible	PM_{10} (g/km)	CO (g/km)	NOx (g/km)	SO_2 (g/km)
Camión	Pequeño	Gasolina	0.04313	36.04209	1.02136	0.01324
		Gas Natural	0.00036	5.96114	0.15853	0.00005
		Diesel	0.31790	0.70508	3.80206	0.02181
	Mediano	Gasolina	0.00855	11.40379	0.31750	0.00377
		Diesel	0.43309	2.05629	6.16567	0.02773
	Pesado	Gasolina	0.00226	2.31277	0.06596	0.00067
		Diesel	1.25476	2.77643	11.46488	0.04616
Bus	Pequeño	Gasolina	0.04900	33.00127	1.18869	0.01125
		Diesel	0.80964	0.61968	5.06450	0.03022
		Gas Natural	0.00047	2.97867	0.10922	0.00004
	Mediano	Diesel	0.40115	0.50823	3.93387	0.01892
	Pesado	Gasolina	0.00023	0.20978	0.01878	0.00016
		Diesel	0.02290	0.01763	0.14588	0.00066
Vehículo Particular	Pequeño	Gasolina	0.00801	20.85802	1.18178	0.01552
	Pequeño	Gas Natural	0.00004	0.12065	0.00583	0.00000
	Mediano	Gasolina	0.00624	16.42684	1.08177	0.01306
		Gas Natural	0.00012	0.43382	0.02870	0.00001
		Diesel	0.00274	0.01617	0.01339	0.00040
	Pesado	Gasolina	0.00762	3.44898	0.31950	0.00315
		Gas Natural	0.00011	0.01808	0.00915	0.00000
		Diesel	0.00175	0.00026	0.01023	0.00039
Taxi	Pequeño	Gasolina	0.02227	33.31287	1.73831	0.04686
		Gas Natural	0.00047	1.39641	0.15288	0.00004
	Mediano	Gasolina	0.00234	4.50439	0.27200	0.00533
		Gas Natural	0.00014	0.46214	0.04000	0.00001
Moto	2 Tiempos		0.46267	44.27483	0.21774	0.00475
	4 Tiempos		0.08151	8.09663	0.48691	0.00796

Fuente: Adaptado Rojas 2015

La corrección por congestión en la vía se realiza usando la tabla de patrones de conducción (*DrivingPatternKey*) esta se determina para un día de temporada y para una hora de ese día. Para el desarrollo de este ejercicio se tomara un día normal típico y su cambio en las 24 horas del día

Para esto IED utiliza tres pasos descritos a continuación:

- Tipo de vía (*FixedGridDistribution*)
- Patrones de conducción (*DrivingPatterns*)
- Ajuste Horario (*HourlyAdjustments*)
- Otras correcciones por temperatura y humedad (*EnviroGridDistribution*)

2.3.2 Factor de Actividad

Para IED la actividad vehicular debe ser determinada para cada celda, día y hora de interés para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$A(r,c,d,h) = Ao * Fx(r,c) * Sx(r,c,d) * Hx(r,c,d,h) * G(r,c,y_d)$$ (Ecuación 5)

Dónde:

Ao= Kilometros recorridos para cada categoría vehicular denominado en inglés vehicle kilometers traveled (VKT) y para cada año modelo.

Fx= Distribución de los VKT para cada celda. (FixedGridDistribution)

Sx=Corrección a la actividad para la temporada seleccionada (SeasonalGridDistribution)

Hx=Corrección Horaria a la actividad

G= Corrección de crecimiento esta es utilizada para darle un crecimiento anual a la flota vehicular para casa celda con base al año base (y_d)

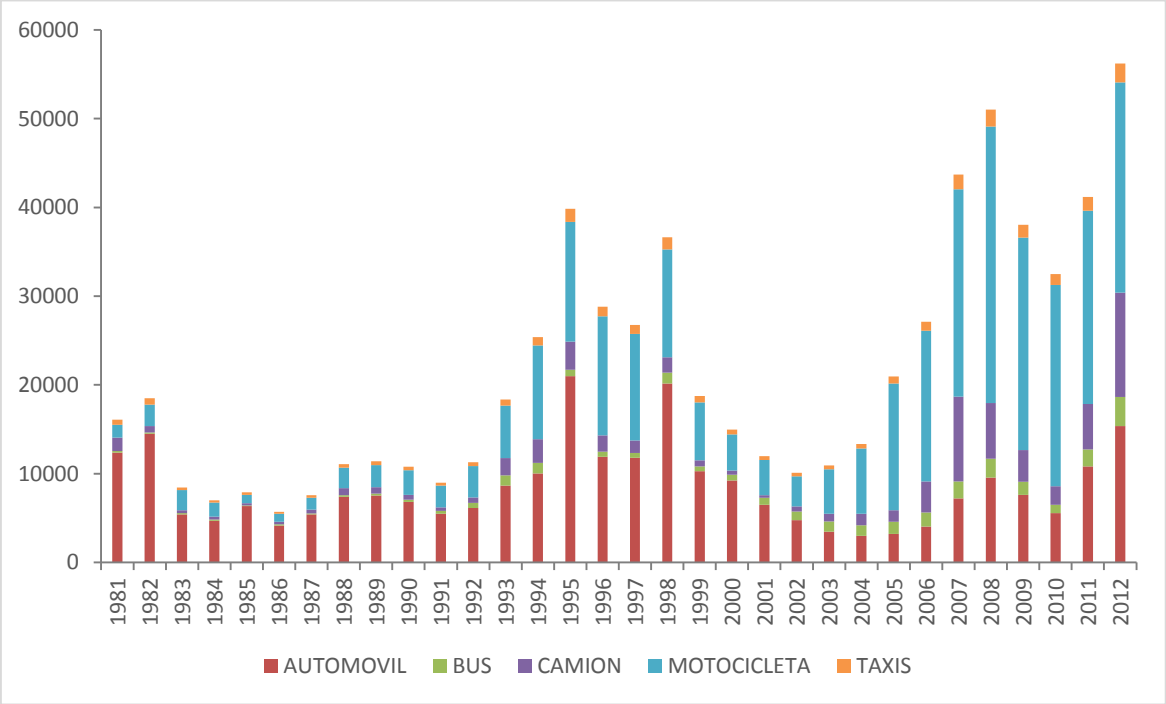
La información de la distribución de los VKT se obtuvo por medio de fuentes secundarias de información siendo estos los Centros de Diagnóstico Automotor (CDA) y Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT). Los CDA son entidades privadas encargadas de la revisión técnico-mecánica vehicular y el RUNT es el sistema de información centralizada del registro de automotores, conductores, licencias de conducción, etc.

Las categorías vehiculares contempladas en este estudio son:

- ✓ **PC:** Vehículo particular (Automóviles, camionetas y camperos).
- ✓ **Camiones:** Camiones (Livianos – medianos, vehículos menores a 3 ejes. Y pesados vehículos ≥ 3 ejes)
- ✓ **Motocicletas:** Motocicletas(2 y 4 tiempos)
- ✓ **Buses:** Buses (Liviano, mediano y pesado)
- ✓ **Taxis:** Taxis

Para la definición de los factores de actividad se tuvieron en cuenta dos datos principales: el VKT promedio y el número de vehículos por categoría vehicular. Los VKT promedio se calcularon para cada categoría vehicular teniendo en cuenta el tamaño (pequeño, mediano o grande), el tipo de combustible (gasolina, diesel, gas natural), y por año de modelo (1981 a 2012). El número de vehículos se obtuvo a partir de la base del RUNT, en donde se obtuvo la flota total por categoría vehicular y año. Los números de vehículos se encuentran en la Gráfica 4.

Gráfica 4. Registro de Número de vehículos por año



Fuente: Elaboración propia con información (Ministerio de Transporte, 2012)

Para obtener el VKT total que se usó como factor de actividad se multiplicó el VKT promedio por el número de vehículos de la categoría correspondiente, además se realizó una correlación con la proporción de vehículos por tamaño y combustible con la flota vehicular obtenida en el registro del RUNT.

La emisión se calculó multiplicando el VKT total con los factores de emisión, para obtener las emisiones en toneladas/año.

2.4 Información de Entrada IED

Las tablas *SourceOverview, ProcessBase* y *ProcessFlow* representan el núcleo de IED. Estas tablas contienen datos que representan todas las fuentes de emisión en la región de interés, tienen la información de ubicación, tipo de fuente, descripción de la fuente, latitud y longitud, tasa de crecimiento del proceso, tasa de flujo de la emisión, indicadores de distribución horaria y espacial entre otras para las fuentes fijas y móviles a incluir. La descripción de cada una de las variables de la estas tablas se encuentra en el Anexo 1

3. RESULTADOS

3.1 EVALUACIÒN DE LOS INVENTARIOS DE FUENTES FIJAS DE LA JURISDICCIÒN CAR.

A continuación se muestra la evaluación comparativa entre los inventarios de fuentes fijas, de acuerdo con los criterios fijados en la metodología.

3.1.1 Integridad

Universidad Militar Nueva Granada 2008 – 2009

El inventario se ejecutó en 10 provinciales de los cuales se recolectó información de 31 municipios de la Jurisdicción CAR, se menciona que el inventario se desarrolló tomando datos de industrias de productos lácteos, cementeras, sector alfarero (cerámica y ladrillo), plantas de asfalto y vidrieras, se especifica que la estimación de emisiones se desarrolló para procesos de combustión específicamente, dependiendo del tipo de combustible manejado por la actividad industrial.

Realizando una cuantificación de las empresas relacionadas en el informe final por municipios, se establece que el inventario abarcó 806 fuentes fijas de emisión, sin embargo, la estimación de emisiones se basó en 290 industrias, 6 fuentes de área y 457 chircales, para un total de 753, no se establece los criterios bajo los cuales no se tomaron las 53 fuentes de emisión faltantes.

Se relaciona cantidades de expedientes consultadas por provincia, sin embargo, en el consolidado no se hace explicito si la información reportada se extrajo de dichos expedientes o si por el contrario, proviene de las encuestas realizadas.

Al realizar la revisión del anexo 5 donde se encuentra la estimación de emisiones, 40 empresas relacionadas no cuentan con encuesta, sin embargo, tampoco se especifica si la información fue tomada de los expedientes consultados.

Universidad de Pamplona 2009 – 2010

Se contemplan 10 provinciales con 35 municipios en total. Se menciona que se revisaron los expedientes CAR y se realizaron llamadas, sin embargo no se documenta dicho aspecto, esto es, no se presenta información sobre los criterios tenidos en cuenta para la selección de industrias a encuestar para levantar información en campo (expedientes consultados, variables revisadas, análisis realizados, selección de la muestra, etc.). Se contemplan 650 empresas en la base de datos, pero el cálculo se realiza para 420, no se documenta la razón por la cual las demás industrias no fueron contempladas o si no fue posible el acceso a la información.

No se realiza una explicación de los procesos generadores de emisiones contaminantes tenidos en cuenta; de la información reportada en el anexo 5 sobre consolidado de la información recolectada en campo se infiere que únicamente se tuvieron en cuenta los procesos de combustión.

Se contemplan todos los principales contaminantes criterio generados por fuentes fija en los procesos de combustión.

Se considera necesario validar los criterios de selección de las fuentes fijas inventariadas y de la representatividad de estas respecto al total. También se considera necesario revisar si existen en la jurisdicción otros procesos diferentes al de combustión que generen emisiones significativas de contaminantes.

K2 2010 -2011

El inventario se realizó para 10 municipios de la jurisdicción CAR. Se hizo una revisión y recopilación de los últimos tres inventarios para evaluar la información

existente y realizar actualización, sin embargo, no se observa evidencia de evaluación de los inventarios anteriores.

Al revisar los inventarios y el documento AP 42 de US- EPA se obtuvo un listado de información requerida para el cálculo de emisiones la cual fue recolectada para aplicarla en la encuesta.

Por medio de la revisión inicial, se establecieron las industrias a visitar. Esta selección se estableció con el fin de realizar la actualización de la información contenida dentro de inventarios realizados anteriormente, renovando la información de empresas inventariadas y visitando nuevas empresas del cual se seleccionaron un total de 405 empresas.

El inventario fue trabajado para procesos de combustión del sector industrial considerando los contaminantes criterio generados por fuentes fijas.

3.1.2 Transparencia

Universidad Militar Nueva Granada 2008 – 2009

1) Planeación y trabajo en campo: Se describen los criterios de selección de las empresas en cuanto a la priorizando por tipo de proceso específicamente los relacionados con (Permisos de Emisiones, L.A., PMA) y los provinciales con mayor industrialización. Posteriormente, se desarrolla el formato de encuestas y la aplicación de las mismas a diferentes empresas, el documento cuenta con los anexos de las encuestas aplicadas.

2) Procesamiento de información: El inventario dispone de las encuestas digitalizadas (382 encuestas relacionadas) y del consolidado, sin embargo, al hacer la revisión y volver a cruzar información se encontró que menos del 50% de la información es congruente entre las encuestas y el consolidado de datos.

Luego de la revisión de las encuestas, se puede estimar que aproximadamente el 60 % presentan información incoherente con respecto a la frecuencia de operación de la industria y al consumo de combustible, con respecto a lo que se reporta en el consolidado, como se presenta detalladamente en los hallazgos en el anexo 2. Revisión de Información Existente Inventarios 2008 y 2010. Se presentan inconvenientes con respecto a las unidades diligenciadas en las encuestas, ya que no permiten hacer una cuantificación de la cantidad de combustible empleada en la actividad industrial.

3) Aplicación de metodología: Los cálculos se basaron en procesos de combustión por tipo de combustibles.

En el documento se nombra que se emplea los factores de emisión del AP-42 Compilation of Air Pollutant Emission Factors (U.S. EPA, 1995), sin embargo, no se referencian las tablas específicas de las cuales se toma el respectivo el factor de emisión.

Por otra parte, los porcentajes de azufre y cenizas no son homogéneos para el mismo tipo de combustible, es decir, no se justifica la variabilidad en el contenido de sustancias de los combustibles empleados en los cálculos de emisiones. También se evidencia que la fuente de información no referencia la composición de los combustibles empleados comúnmente en el país, lo anterior se encuentra relacionado en los hallazgos en el anexo 2. Revisión de Información Existente Inventarios 2008 y 2010.

Específicamente para el caso de las frecuencias de operación de las industrias, luego de la revisión, se evidencia que en los casos donde no es explicita la frecuencia de operación en las unidades que se requiere para el cálculo de la emisión, este se realiza empleando frecuencia de operación diaria de 24 horas y mensual de 30 días al mes, sin embargo, esto no es explícito en el informe final del inventario.

En cuanto a la estimación de emisiones de material particulado, existen empresas en las cuales la emisión se reporta una única emisión para diferentes consumos del mismo combustible para la misma empresa, esto hace confuso sí la emisión reportada es proveniente de cada consumo por separado o es la emisión de material particulado generado por el consumo global de combustible de dicha empresa.

No se especifica la eficiencia de remoción de contaminantes de los equipos de control relacionados en las empresas donde se menciona su implementación en el anexo 5.

4) Documentación de Resultados: En el documento técnico se presentan los resultados de emisiones de cada contaminante por provincia y municipio, los cuales se reportan en toneladas de contaminante por año. Dichos resultados no se pueden comparar con los reportados en el anexo 5, ya que estos se encuentran calculados en kilogramos por hora, no se detallan los cálculos para obtener los resultados en toneladas por año, es decir, no se relacionan en esta tabla las frecuencias de funcionamiento de los equipos empleadas para el cálculo.

Universidad de Pamplona 2009 – 2010

1) Planeación y trabajo en campo: No se describen las etapas de planeación y recolección de información en campo. No se documentan aspectos relacionados con: revisión de antecedentes, definición de los criterios para selección de la cobertura del inventario (municipios e industrias inventariadas), cronograma de visitas, selección y capacitación del personal, aspectos logísticos y de gestión, etc. Se anexa el formato de encuesta para la recolección de datos y el respectivo instructivo para su diligenciamiento. Sin embargo, no se adjuntan las encuestas realizadas en campo.

2) Procesamiento de información: Se adjunta un formato Excel denominado “consolidado del inventario de fuentes fijas” en el cual se digitalizan las variables contempladas en el formato de encuesta en su forma original, pero no se documenta o anexa el cálculo de la forma cómo se procesó la información de acuerdo a los requerimientos del cálculo. Por ejemplo, la obtención de consumos en unidades

comunes (galones, toneladas) y el cálculo de consumos anuales (conversión de frecuencia horaria a anual). Adicionalmente, en este cuadro consolidado se encontraron algunas inconsistencias y falta de datos, los cuales se documentaron como hallazgos en el anexo 2 Revisión de Información Existente Inventarios 2008 y 2010 del presente informe.

3) Aplicación de metodología: Se presenta un ejemplo de cálculo de emisiones para 1 industria que emplea carbón en sus procesos de combustión, 1 que emplea ACPM y otra que emplea GLP y se menciona que “Este mismo procedimiento se aplicó para todas las industrias incluidas en el inventario, para lo cual se diseñaron unas hojas de cálculo que permitieran agilizar el proceso”; sin embargo, en el citado anexo no se documenta el cálculo y se presenta por provincia y por empresa el consumo de combustible horario y el resultado de las emisiones horarias en cada empresa sin detallar el cálculo, esto es, no se presentan los factores de emisión empleados, ni se documenta la forma cómo se seleccionaron o se cita la tabla explicita que se empleó de la base de datos AP-42 de la EPA (fuente referenciada en el documento para consulta de los factores de emisión); no se detallan las variables relacionadas con el contenido de carbono y cenizas del combustible y el sistema de alimentación de combustibles y control de emisiones y la frecuencia de operación de los equipos de combustión que permita calcular las emisiones anuales. Por lo tanto se considera que no se realizó un adecuado proceso de documentación del cálculo realizado.

4) Documentación de Resultados: En el documento técnico se presentan los resultados de emisiones de cada contaminante por provincia, los cuales se reportan en ton/año.

Dichos resultados no se pueden comparar con los reportados en el formato en Excel por cuanto estos se expresan en ton/hora y no se detallan los cálculos para obtener los resultados en ton/año, es decir, no se relacionan en esta tabla las frecuencias de funcionamiento de los equipos empleadas para el cálculo.

Se concluye que no se realiza una amplia y coherente documentación de las etapas de la elaboración del inventario, por cuanto no se presentan aspectos importantes

que afectan la transparencia del inventario. En resumen estos aspectos son: documentación del proceso de recolección de datos en campo, de la definición de los municipios e industrias a inventariar, documentación del procesamiento de la información y del cálculo y evidencia de las encuestas originales tomadas en campo.

K2 2010 -2011

1) Planeación y trabajo de campo: Se describen las etapas de revisión de inventarios anteriores y se genera un listado de información a incluir en la campaña de campo. En la definición de industrias a visitar se menciona que se va a realizar una actualización y que seleccionaron los municipios con mayor actividad industrial y se listan las industrias a visitar en cada municipio. En el diseño de encuestas se explica cuál es el objetivo de cada uno y se anexaba el formato de encuesta y su respectivo instructivo de diligenciamiento. Las encuestas se encuentran en fijo en la carpeta del inventario.

2) Procesamiento de información: Para la revisión del procesamiento de información, el inventario contaba con un consolidado (Excel) de emisiones calculado para cada municipio, el cual se procedió a comprar con las encuestas físicas de la carpeta del inventario y se encontró lo siguiente:

- ✓ No hay concordancia entre los consumos de combustible de las encuestas y el consolidado de emisiones, además hay empresas que no reportan datos de combustible en la encuesta pero aparece el dato en el consolidado de emisiones.
- ✓ No se aclaran los factores de emisión para todos los combustibles (Crudo Rubiales)
- ✓ Se reportan empresas en las encuestas que luego no aparecen en el consolidado de emisiones.
- ✓ Los datos de frecuencia no son concordantes
- ✓ Para la estimación de emisiones no se toma en cuenta los sistemas de control de las empresas que los tienen.

Después de realizar esta revisión se concluye, que los datos obtenidos el proceso de recolección de información y el consolidado del cálculo de las emisiones no fueron realizados con el detalle y confiabilidad necesaria. Los hallazgos están relacionados en el anexo 2. Revisión de Información Existente Inventarios 2008 y 2010

3) Aplicación de metodología:

Cuantificación de emisiones fuentes fijas- Metodología de cálculo: Se explica la metodología a utilizar para la estimación de emisiones (Factores de emisión).

Cálculo de emisión: Se realizó utilizando los factores de emisión de la AP 42 capitulo quinto Volume I de la EPA según el tipo de combustible utilizado en cada empresa estos se encuentran en la ficha técnica de este inventario. Los valores de % cenizas y de azufre, el cual se referencia de forma confusa en el documento de pdf.

4) Documentación de Resultados: Se presentan tablas y gráficas resumen de emisiones para cada uno de los municipios considerados en este inventario.

3.1.3 Aseguramiento de calidad de los datos

Universidad Militar Nueva Granada 2008 – 2009:

Como se expuso en los ítems anteriores, durante el desarrollo y consolidación del inventario se presentan carencias de información soporte para evidenciar el aseguramiento de calidad de los datos obtenidos.

Universidad de Pamplona 2009 – 2010

No se documenta o evidencia proceso de aseguramiento de la calidad de los datos. No se estima la incertidumbre asociada a los resultados reportados. Adicionalmente, dada la ausencia de la descripción detallada del proceso de cálculo, se concluye que no se realizó revisión de la calidad de los datos y del proceso de cálculo.

K2 2010 -2011

No se documenta la estimación de incertidumbre asociada a los resultados reportados. Adicionalmente, dados los hallazgos documentados en el anexo 2. Revisión de Información Existente Inventarios 2008 y 2010 de este documento, la falta de concordancia entre las encuestas y el consolidado de emisiones y su respectivo proceso de cálculo, se concluye que no se realizó revisión de la calidad de los datos y del proceso de cálculo.

3.1.4 Consistencia Entre Inventarios

Metodología general empleada: Los tres inventarios emplean la misma metodología de cálculo basada en el empleo de datos de actividad (consumos de combustibles) y factores de emisiones, empleando la misma ecuación general. Sin embargo, como se describe a continuación, se presentan diferencias significativas en las variables de cálculo.

Cobertura: La cobertura de los tres inventarios no es consistente, por cuanto no contemplan las mismas provincias, los mismos municipios y el mismo número de fuentes. A continuación se describe las diferencias encontradas:

- ✓ Las únicas Provincias comunes consideradas en los 3 inventarios son: Sabana Occidente, Sabana Centro y Soacha (únicas provincias tenidas en cuenta en el inventario de 2010); sin embargo para la Provincia Sabana Occidente en el inventario de 2010 solo se contemplan 3 municipios (Mosquera, Funza y Madrid), mientras que en los inventarios de 2008 y 2009 se contemplan 2 municipios más (Bojacá y Facatativá). De igual forma, para la Provincia Sabana Centro en el inventario de 2010 solo se contemplan 5 municipios (Cajicá, Zipaquirá, Tocancipá, Cogua, Nemocón), mientras que en los inventarios de 2008 y 2009 se contemplan 5 municipios más (Chía, Tenjo, Sopo, Tabio, Cota). En la Provincia Soacha para los 3 inventarios se consideraron los mismos dos municipios (Soacha y Sibaté). Por otra parte, se encuentra que para ninguna de las tres provincias se contempla el mismo número de fuentes en cada municipio y no son las mismas empresas.

- ✓ Las provincias: La Calera, Gualivá, Alto Magdalena, Bajo Magdalena, Chiquinquirá, Ubaté, se consideran solo en los inventarios de 2008 y 2009; sin embargo para la provincia de Ubaté no se contemplaron los mismos municipios. En la mayoría de los municipios no se contempla el mismo número de fuentes.
- ✓ La provincia Almeidas solo es contemplada en el inventario de 2009.

Datos de actividad: Revisando aleatoriamente los datos de consumo reportados para algunas empresas inventariadas en común en los tres inventarios, se encuentra que presentan el mismo orden de magnitud pero no valores que permitan determinar una tendencia anual. Adicionalmente, en el trabajo en campo se reportan diferentes frecuencias de consumo sin hacer explícita la forma cómo se calcula el consumo anual. De los datos y resultados reportados se infiere que para los inventarios de los años 2008 y 2010 se asume frecuencia de consumo de 24 horas/día, 365 días/año pero no se encuentra la justificación que sustente dicho supuesto. Para el inventario del año 2009, no es posible establecer con exactitud este aspecto.

Factores de emisión: En los tres inventarios se referencia la misma fuente de datos para los factores de emisión (AP-42 de la EPA), sin embargo para el inventario del 2009 no se presenta de forma explícita el factor empleado en todos los cálculos y para el inventario de 2010 se emplean unidades de medida diferentes y al realizar la respectiva conversión se presentan diferencias en el dato. Por ejemplo el factor de emisión de S0x para carbón empleado en los inventarios de 2008 y 2009 es 19.5 S Kg/Ton y el empleado en el inventario de 2010 es 17.2 S Kg/Ton, esto con el factor de conversión empleado en el respectivo cálculo. Estos aspectos afectan la consistencia de los inventarios en lo que respecta a esta variable y por lo tanto la comparabilidad de resultados.

3.1.5 Comparabilidad de resultados

Como se mencionó en el criterio anterior, aunque se emplea la misma metodología general en los 3 inventarios, la cobertura y factores de emisión empleados no son consistentes y por lo tanto no es posible comparar los resultados de emisiones

totales de cada contaminante o por provincia. Con el fin de comparar el orden de magnitud y la tendencia en emisiones, se muestra a continuación una gráfica de resultados de emisiones por contaminante para la Provincia de Soacha, la cual es la única que contempla los mismos municipios y similares número de fuentes de emisión en todos los inventarios.

Figura 6. Datos reportados para los diferentes contaminantes – Provincia Soacha, Municipios Soacha y Sibaté

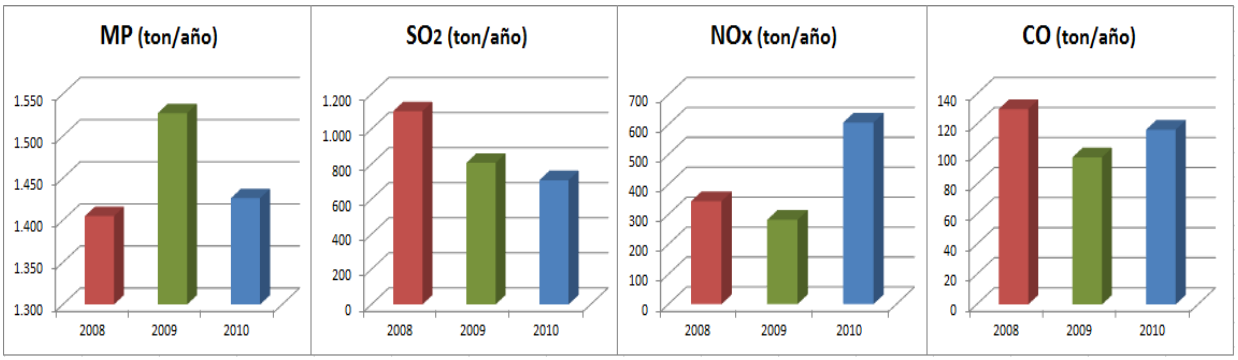


Figura 7. Numero de fuentes y municipios por inventario de la jurisdicción CAR.

U. Militar Nueva Granada 2008	Universidad de Pamplona 2009	K2 2010-2011
• 10 provinciales→31 municipios • 806 fuentes fijas de emisión, → la estimación de emisiones se basó en 290 industrias y 457 chircales, para un total de 747.	• 10 provinciales→ 35 municipios. • 650 empresas en la base de datos, el cálculo se realiza para 420	• 10 municipios de la jurisdicción CAR→ revisión, recopilación evaluación y actualización de los últimos 3 inventarios • 405 empresas.

Como se observa en la Figura 6, se presenta el mismo orden de magnitud en los resultados (con diferencias menores al 10% en el caso del MP, menores al 40% en SO2 y CO y mayores en el caso de NOx), y no se presenta una tendencia anual clara en emisiones. Esto puede estar dado por las diferencias en los factores de emisión (esto en el caso de los resultados para el año 2010) y porque aunque se

contempla similar número de fuentes, estas no corresponden a las mismas empresas en todos los inventarios como se observa en la Figura 7.

Estos resultados reflejan que en su totalidad es necesario realizar una detallada revisión de emisiones por empresa, completar los faltantes de información y hacer los ajustes metodológicos correspondientes, para lograr una coherente actualización del inventario de fuentes fijas.

3.2 RESULTADOS EMISIONES FUENTES FIJAS

Debido a que la información de los inventarios realizados en la jurisdicción CAR no contaban con información consistente se realizó el recalculo a partir de las bases de datos de estos inventarios, se completó y verifico la información de las encuestas y se completó información faltante por medio de información secundaria o entrevistas telefónicas a los encargados ambientales de las empresas.

De acuerdo a esta revisión se estimó el inventario para 396 industrias de 16 municipios pertenecientes a la jurisdicción CAR para el año 2012, se obtuvieron las emisiones totales de los cuatro contaminantes considerados en el estudio. Los resultados se encuentran referidos en la Tabla 10.

Tabla 10. Emisiones industriales totales Jurisdicción CAR

	PM_{10}	SO_2	CO	NOx
Emisiones Industriales (ton/año)	1604.46	5153.22	2034.18	2938.90

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1 Emisiones por municipio

Se estimaron las emisiones para 16 municipios agrupados en siete provincias, de acuerdo a la división elaborada por la CAR. De acuerdo a la información de las industrias, Se encontró que la mayor cantidad se encuentra en la provincia Sabana Centro, conformada por Zipaquirá, Cajicá, Cogua, Nemocón, Chía, Gachancipá, Sopó, Tabio, Tenjo y Tocancipá, con un 42% de las industrias analizadas. La provincia con menor número de industrias es Alto Magdalena, con un 1% de las

industrias; que se ubican en el municipio de Girardot, que fue el único municipio analizado aunque la provincia se conforma de otros siete municipios. Cabe resaltar que las provincias con mayor cantidad de industrias son aquellas en las que los municipios se encuentran más cerca a Bogotá. Se consideraron un total de 396 industrias para la jurisdicción el número de industrias por municipio se encuentra en la Tabla 11 y su respectiva distribución porcentual del número de industrias por provincia se encuentra en la Gráfica 5

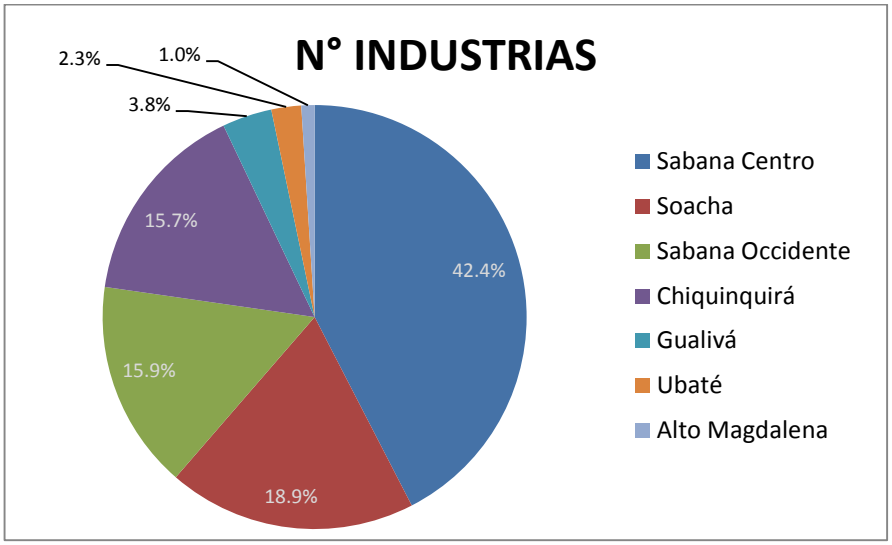
En la Tabla 11 se observan las emisiones totales y el número de industrias analizado por cada municipio.

Tabla 11. Emisiones totales por municipio

Provincia	Municipio	N° Industrias	PM_{10}	SO_2	CO	NOx
Sabana Centro	Zipaquirá	6	20.62	4.86	1.28	0.88
	Cajicá	21	265.91	906.19	468.62	431.32
	Cogua	43	549.21	877.36	236.74	247.76
	Nemocón	89	342.09	725.09	194.97	282.16
	Tocancipá	9	53.94	169.00	90.03	85.84
Sabana Occidente	Funza	4	20.15	68.67	29.13	26.00
	Madrid	10	16.71	164.96	16.62	60.49
	Facatativá	5	0.07	0.40	0.25	0.24
	Mosquera	44	72.75	506.85	229.21	925.78
Alto Magdalena	Girardot	4	0.06	0.38	0.65	0.90
Chiquinquirá	Ráquira	62	97.24	710.36	367.60	268.43
Ubaté	Ubaté	5	0.90	3.39	1.32	1.20
	Cucunubá	4	6.02	167.81	2.58	146.30
Gualivá	Villeta	15	11.83	1.43	21.86	18.36
Soacha	Soacha	65	43.19	308.25	102.98	231.04
	Sibaté	10	103.77	538.22	270.35	212.18
	TOTAL	**396**	**1604.46**	**5153.22**	**2034.18**	**2938.90**

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 5. Distribución porcentual del número de industrias



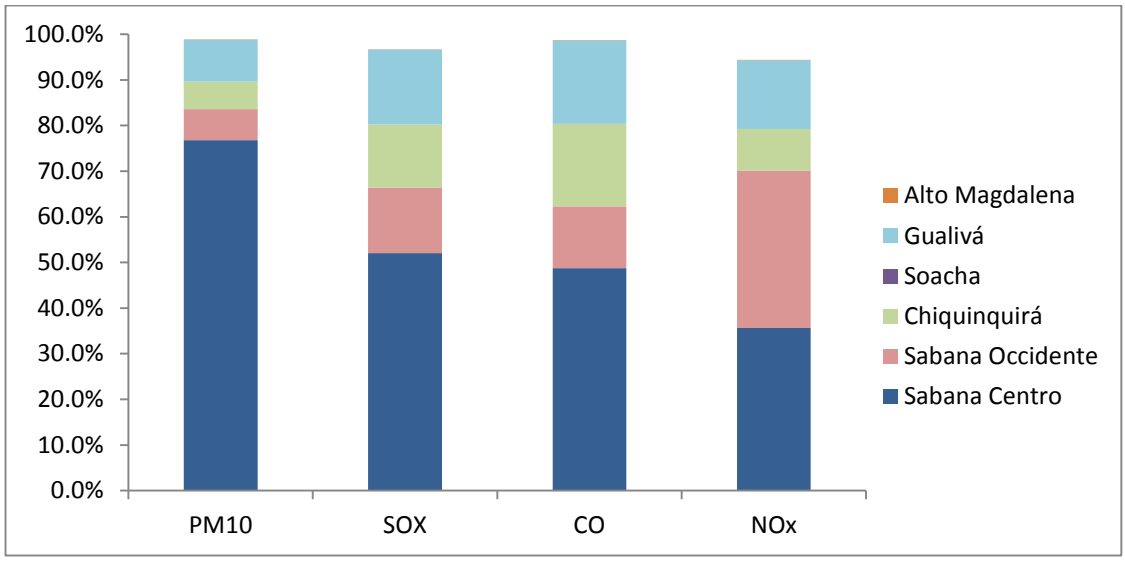
Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos con respecto a los aportes a las emisiones por contaminante de cada provincia (Gráfica 6), se evidencia que la provincia de Sabana Centro genera la mayor proporción de las emisiones para los cuatro contaminantes considerados. Sabana Centro genera las mayores emisiones de PM_{10} (1231.8 ton/año) y de CO (991.6 ton/año), con un aporte del 77% y 48% respectivamente. Además genera los mayores aportes a las emisiones de SO_2 y NOx, con un aporte de 2682.5 y 1047.9 ton/año respectivamente, que corresponden al 52% y al 36% de las emisiones totales por contaminante para la región; la principal actividad que aporta en la provincia de sabana centro es la fabricación de ladrillos y cal. La provincia de Alto Magdalena genera el menor aporte a las emisiones, con 0.9 ton/año de NOx y 0.06 ton/año de PM_{10}.

En las provincias que generan mayores emisiones se encuentra la mayor cantidad de industrias, según la Gráfica 5. La provincia Sabana Centro con la mayor cantidad de industrias, con 168 establecimientos, genera las mayores emisiones de PM_{10}. Aunque la segunda provincia con mayor cantidad de industrias es Soacha (75 establecimientos), genera el 18.4% de las emisiones de CO y el 15.1% de las emisiones de NOx. Cabe resaltar que la Provincia Sabana Centro es la que tiene

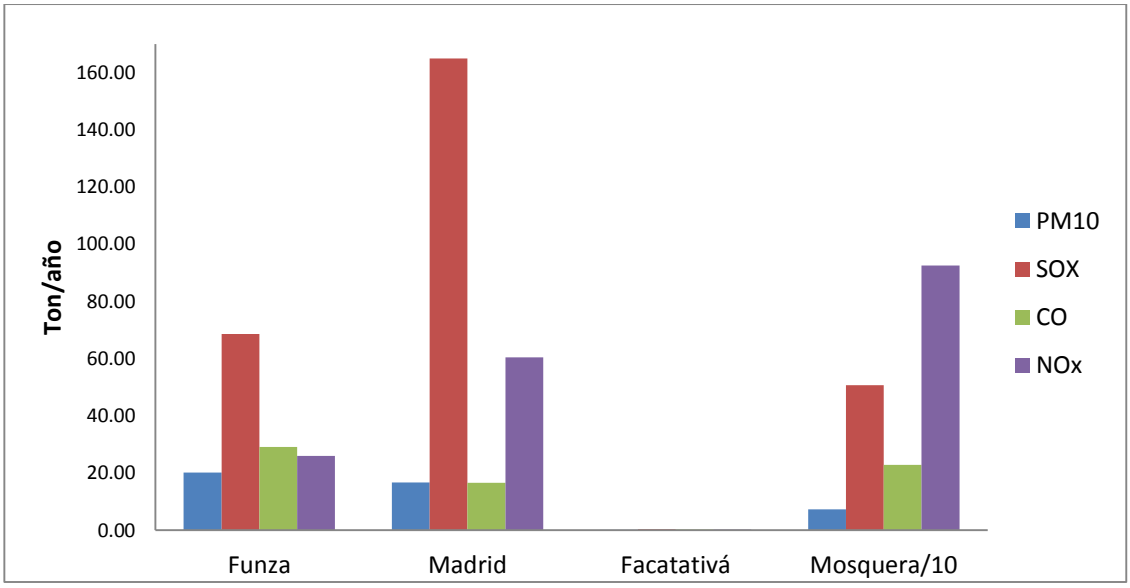
mayor cantidad de municipios en los que existen industrias, en comparación con las demás provincias.

Gráfica 6**. Distribución emisiones por provincia CAR**



Fuente: Elaboración propia.

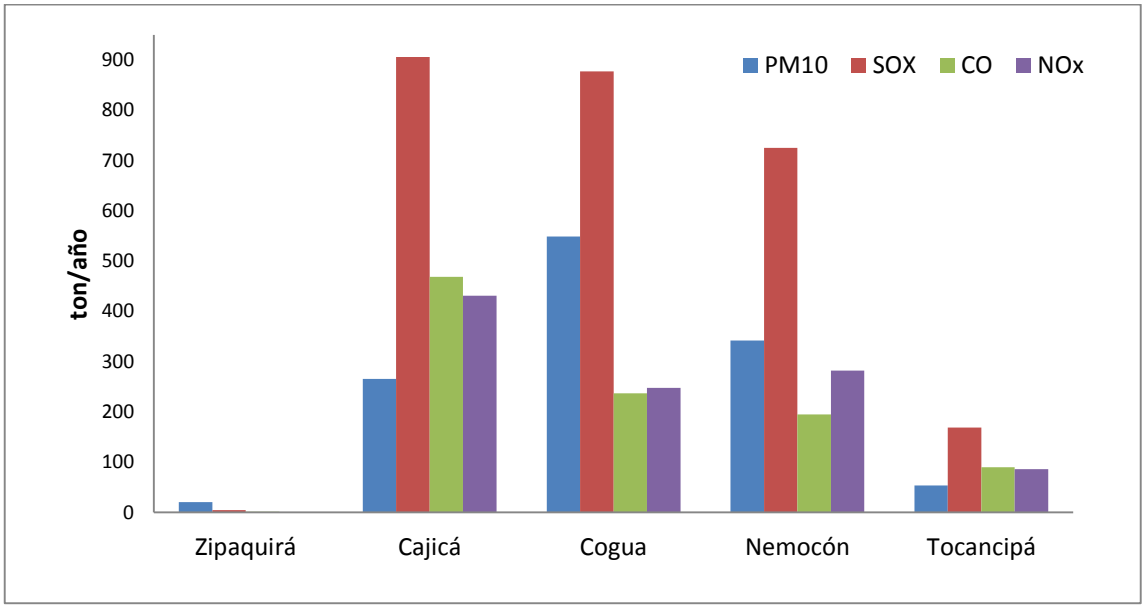
Gráfica 7**. Emisiones provincia Sabana Occidente**[1]



Fuente: Elaboración propia.

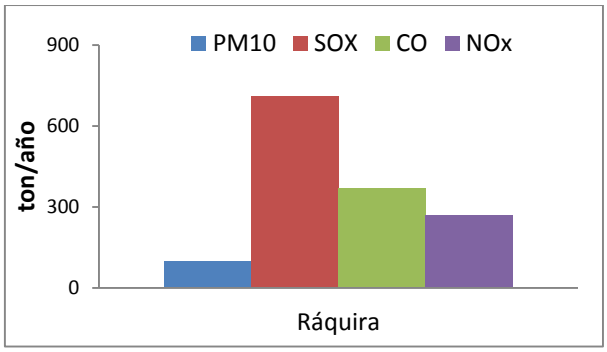
[1] Las emisiones de Mosquera deben multiplicarse por 10

Gráfica 8.Emisiones provincia Sabana Centro

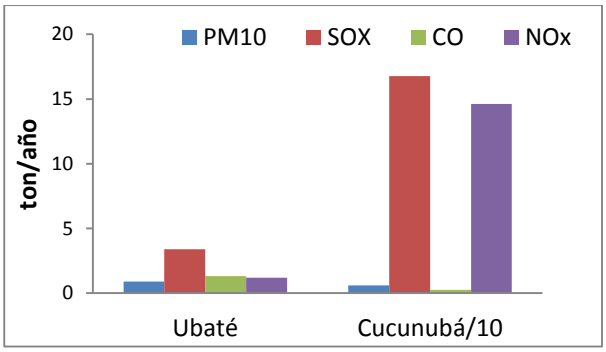


Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 9. Emisiones Provincia Chiquinquirá



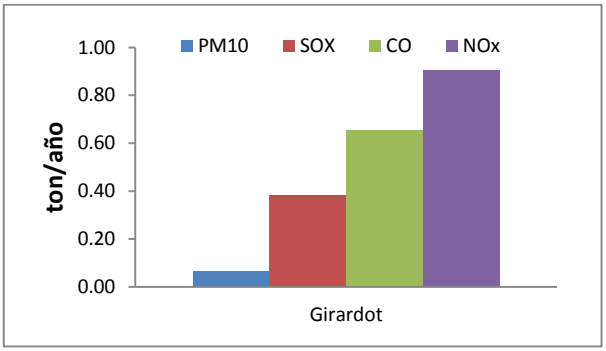
Gráfica 10. Emisiones Provincia Ubaté[2]



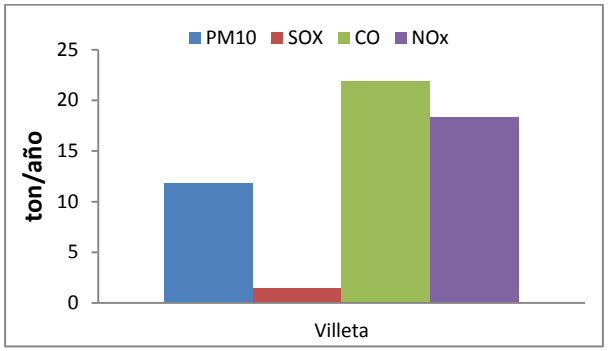
Fuente: Elaboración propia.

[2]Las emisiones de Cucunubá deben multiplicarse por 10

Gráfica 11. Emisiones Provincia Alto Magdalena

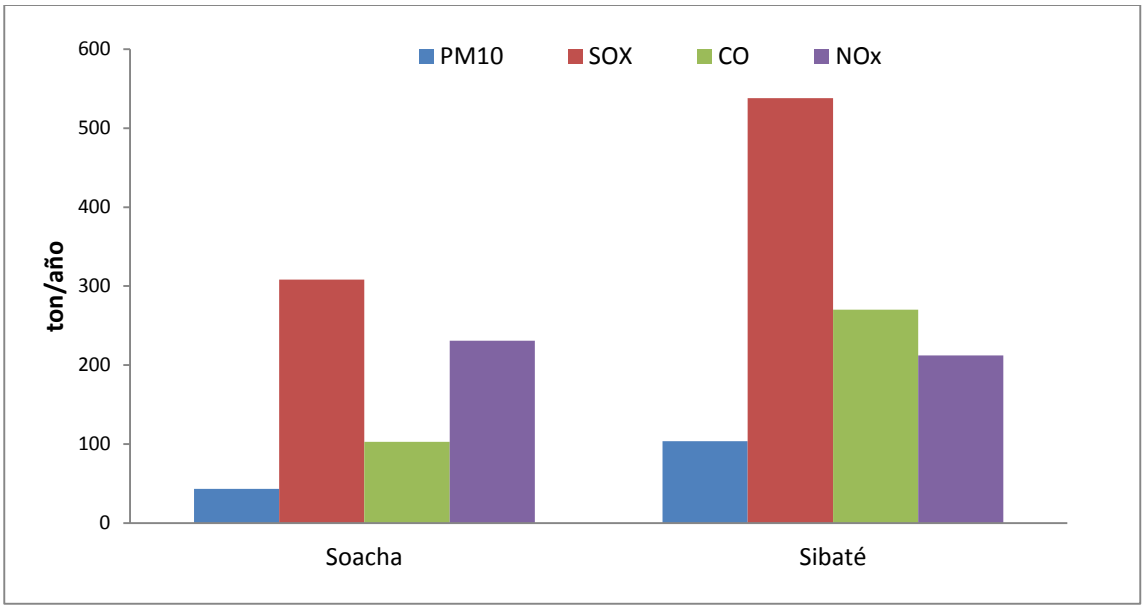


Gráfica 12. Emisiones provincia Gualivá



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 13. Emisiones Provincia Soacha



Fuente: Elaboración propia.

De la Gráfica 7 a la Gráfica 13 se observan las emisiones por provincia y por municipio.

- Sabana Centro: Se analizaron 168 industrias presentes en cinco municipios. Predominan las emisiones de SO_2 en todos los municipios sobre los demás contaminantes (25% de las emisiones totales de SO_2). Las mayores emisiones son generadas por Cajicá, con 906.2 ton/año de SO_2 siendo afectada principalmente por la obtención del cloruro de sodio y sus derivados,

seguido de Cogua y Nemocón municipios donde predomina la fabricación de ladrillos y la fabricación de cal utilizando principalmente carbón como combustible. Zipaquirá genera las menores emisiones de los cuatro contaminantes, generando 20.62 ton/año de PM_{10} y 1.3 ton/año de CO.

- Sabana Occidente: Se analizaron 63 industrias en cuatro municipios. El municipio de Mosquera destaca por generar el mayor aporte a las emisiones de NOx de la provincia con un aporte de 31.5% afectada principalmente por la fabricación de minerales no metálicos y de ACPM. Es importante resaltar que en Mosquera se encuentra el 70% de las industrias de la provincia. De otro lado, Facatativá genera las menores emisiones, 0.4 ton/año de SO_2 y 0.07 ton/año de PM_{10} con 5 industrias en su territorio. Aunque Funza es el municipio con menos industrias de la provincia, genera las mayores emisiones de PM_{10} y CO después de Mosquera, aportando el 18% del PM_{10} y 10% del CO de la provincia debido al uso de carbón en las industrias del municipio.
- Chiquinquirá: De esta provincia se analizaron las 62 industrias presentes en el municipio de Ráquira. Es el tercer municipio con mayor cantidad de industrias, y genera mayor aporte de emisiones de SO_2 con el 14% de las emisiones totales, que equivalen a 710.4 ton/año de SO_2. Las menores emisiones generadas son de PM_{10}, con 97.2 ton/año, equivalentes al 6% de las emisiones totales de PM. En este municipio prevalece el uso de carbón como combustible para la fabricación de cerámicas.
- Ubaté: En esta provincia se analizaron 9 industrias de dos municipios. Las 4 industrias presentes en Cucunubá generan las mayores emisiones de la provincia, predominando las emisiones de SO_2 y NOx, cuyos aportes son del 98% y 99% de las emisiones de la provincia; que equivalen a 167.8 y 146.3 ton/año respectivamente. Sin embargo, estas emisiones solo representan el 1.6% y 3.9% de las emisiones totales. Ubaté genera emisiones muy bajas en comparación con Cucunubá, aunque tienen un número similar de industrias, y aporta menos del 0.06% de las emisiones totales de PM_{10} de la región CAR, la industria que prevalece en el municipio de Cucunubá es la fabricación de carbón metalúrgico.

- Alto Magdalena: En esta provincia se consideraron únicamente 4 industrias ubicadas en el municipio de Girardot. Es el municipio que genera las menores emisiones de todos los municipios analizados, cuyo mayor aporte es del 0.02% de NOx, equivalentes a 0.9 ton/año. La menor emisión corresponde a PM_{10}, con un aporte del 0.004% que corresponde a 0.06 ton/año.
- Soacha: Se analizaron 75 industrias de los dos municipios que conforman la provincia. Sibaté genera las mayores emisiones de la provincia, el 72% de CO y el 71% de PM_{10}, que corresponden a 270.3 y 103.8 ton/año respectivamente. Sin embargo la mayor emisión de la provincia es la de SO_2, de 538.22 ton/año, que corresponde al 10% de las emisiones totales de la región estas emisiones son producidas principalmente por el uso de Carbón en 2 industrias de la zona. La mayor emisión generada por Soacha es de 308.2 ton/año de SO_2, que equivale al 36 % de las emisiones de la provincia, y su mayor aporte a la contaminación de la región es de NOx, con un aporte del 7% de las emisiones, cabe la pena aclarar que aunque Soacha conto con 65 de las industrias de la provincial estas tenían un consumo menor y variado de combustibles.

3.2.2 Emisiones por actividad productiva

De acuerdo a la información recolectada, se realizó una agrupación de las 64 actividades acorde a la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU) 3AC en las que se clasificó cada industria con el fin de facilitar la visualización de las emisiones. Se definieron seis grupos de industrias, que se observan en el Anexo 4.

A partir de esta clasificación se evaluó el número de industrias en cada grupo. Según la Gráfica 14, se observa que la industria mineral es la que predomina con un 56 % de las industrias, y le sigue la industria de alimentos con 14%. Los grupos con menor cantidad de industrias son la química y la industria de la madera, carbón y derivados del petróleo (IMCP).

Según las emisiones obtenidas, se encontró que la industria mineral la cual incluye industrias de minerales no metálicos, cementos entre los que sobresalen la

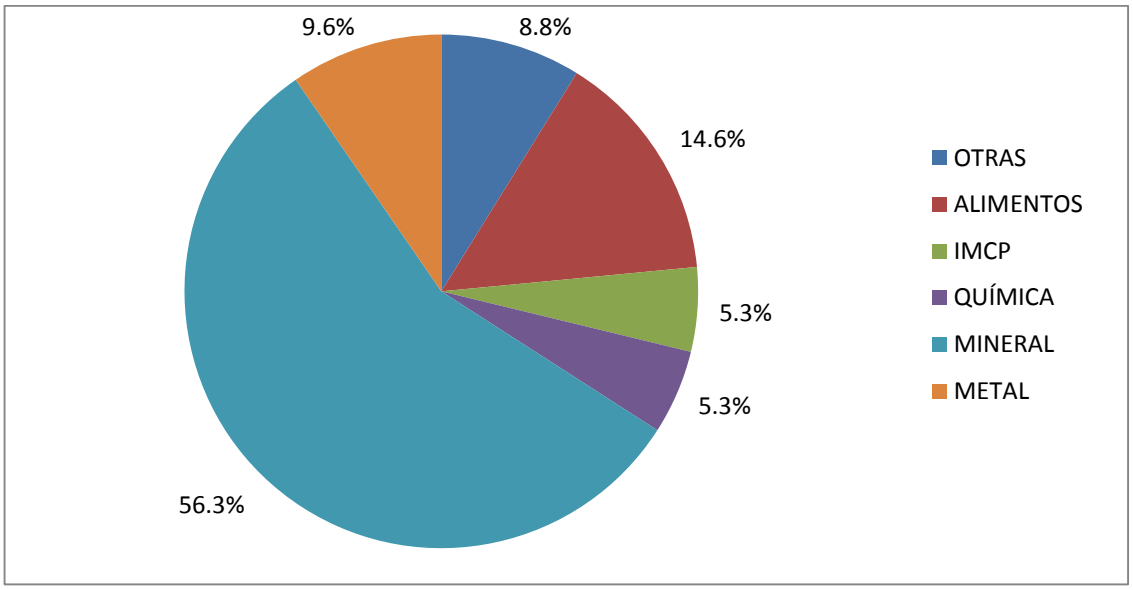
fabricación de materiales para la construcción genera las mayores emisiones de los cuatro contaminantes analizados, cuyo mayor aporte es de 45% para SO_2 (2323.46 ton/año), seguido de 34.9% para NOx (1026.7 ton/año), 60.8% para PM_{10} (975.2 ton/año) y 39% para CO (793.85 ton/año).

Aunque la industria química y la IMCP son las que poseen el menor número de industrias, sobre salen las emisiones de SO_2 con 711.61 ton/año principalmente por el uso de carbón en algunas de sus industrias.

La industria metalúrgica es la que genera las menores emisiones, cuyo mayor aporte es del 5% del NOx generado en la región, equivalente a 190.7 ton/año. La menor contribución es de PM_{10}, con solo un 1.1% de las emisiones totales, generando 17.4 ton/año de PM_{10}.

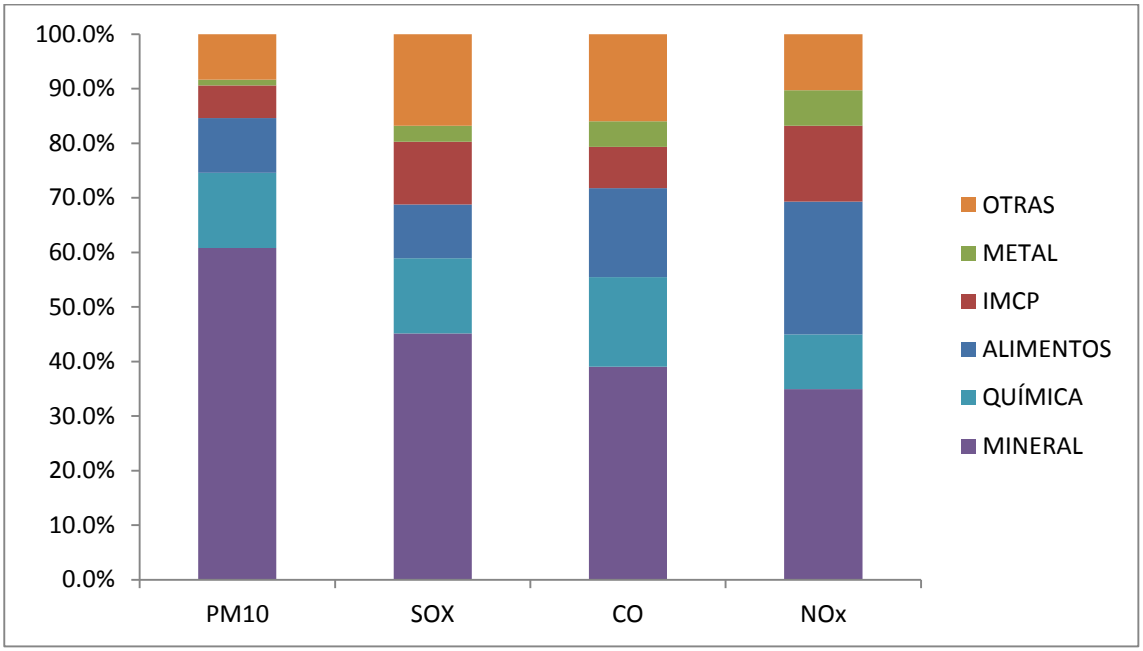
En la Tabla 12 se encuentran los valores de las emisiones totales por grupo industrial.

Gráfica 14. Distribución industrias por grupo



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 15. Distribución emisiones según grupo industrial



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Emisiones totales por grupo industrial

Grupo Industrial	PM_{10}	SO_2	CO	NOx
Alimentos	161.33	506.50	331.42	715.25
Industria de la madera, carbón y petróleo	95.61	591.01	153.23	408.17
Industria química	221.23	711.61	334.73	294.03
Industria mineral	975.20	2323.46	793.85	1026.73
Industria metalúrgica	17.36	154.62	95.53	190.76
Otras industrias	133.64	866.77	325.28	303.98
TOTAL	1604.46	5153.22	2034.18	2938.90

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Emisiones por equipo y combustible

En las industrias analizadas se usan en los procesos productivos principalmente las calderas, hornos y otros equipos como generadores y plantas eléctricas. El 73% de las industrias usa hornos, el 25% usa calderas y el 2% usa otro tipo de equipos.

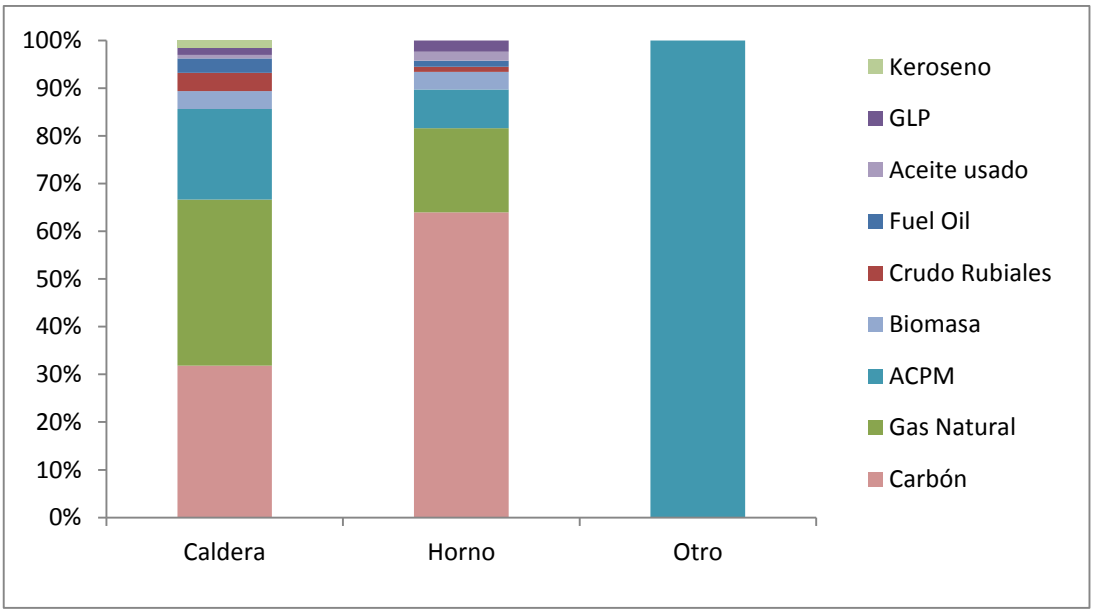
En el proceso de combustión se usan diversos combustibles en diferente estado, principalmente carbón y gas natural (Gráfica 16). En calderas predomina el uso de

gas natural, con un 35% de las industrias, le sigue el carbón con 32%, y ACPM con 19%. El combustible menos usado son el aceite usado y GLP, todos con un 0.76%. En los hornos se usa principalmente el carbón, con un 64%. Le sigue el gas natural con un 18%, y el ACPM con 8%. Los combustibles menos usados en hornos son Fuel oil y GLP con 1.3% y 2.37 respectivamente.

Con respecto a las emisiones calculadas por combustible para todas las industrias, se halló que el carbón genera las mayores emisiones de PM_{10}, SO_2, CO y NOx, con aportes del 95%, 83%, 82% y 55% respectivamente, equivalentes a 1524.6, 4319.07, 1678.9 y 1629 ton/año.

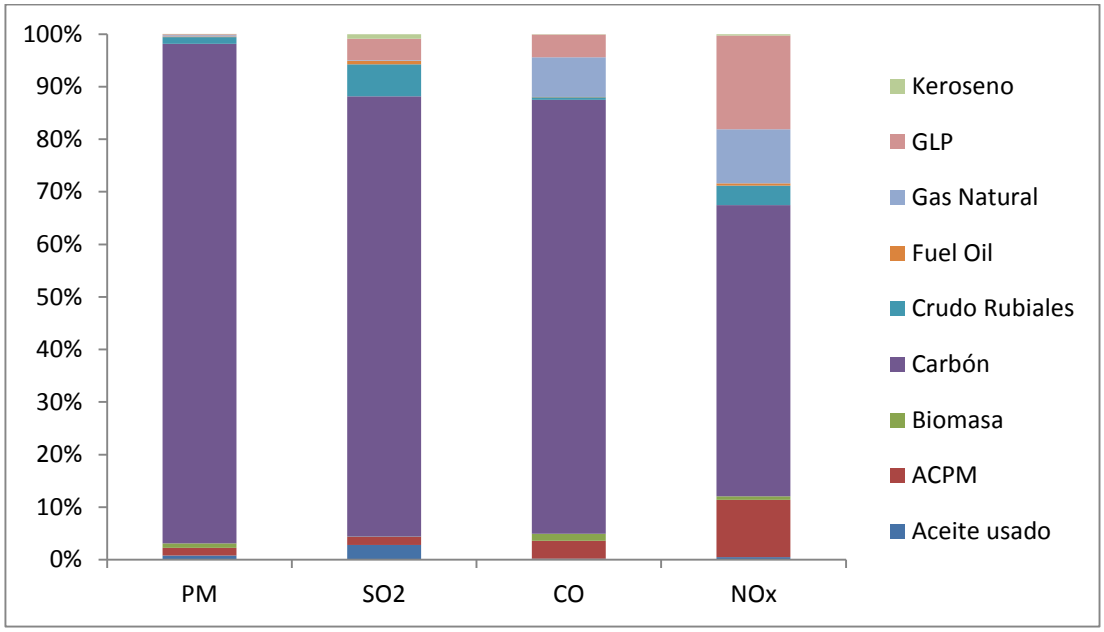
El combustible que genera la menor contribución a las emisiones totales es el fuel oil, cuyo mayor aporte es de 0.43 % de NOx, correspondiente a 12.92 ton/año. El uso de biomasa también genera bajas emisiones de SO_2, del orden de 0.97 ton/año correspondiente al 0.01% de las emisiones totales de SO_2.

Gráfica 16. Distribución industrias por combustible y equipo



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 17. Emisiones por tipo de combustible

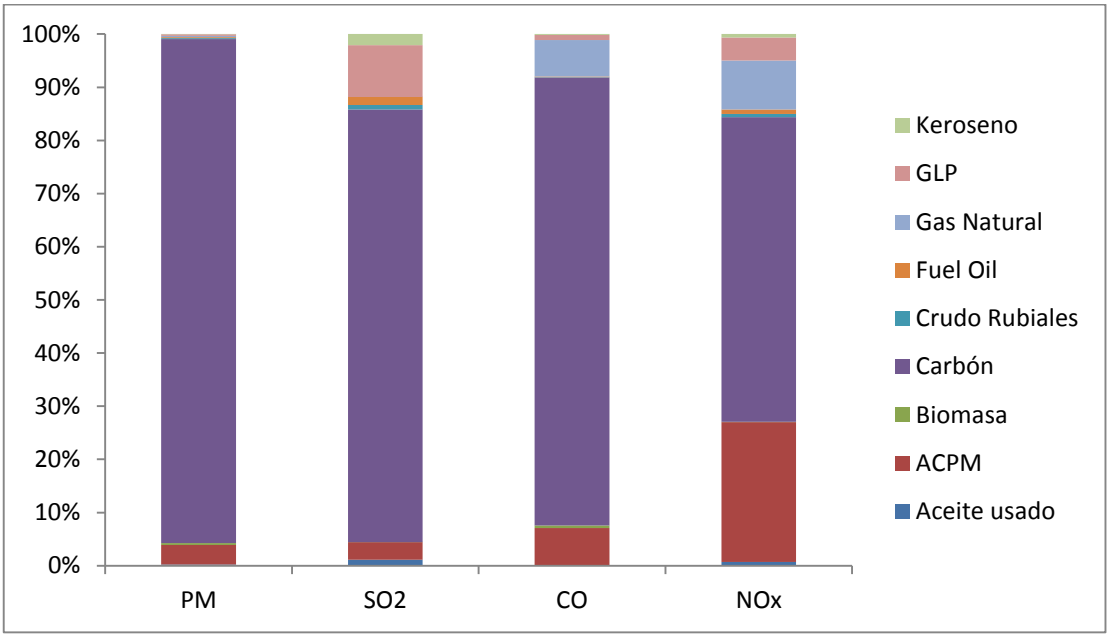


Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfica 18 y en la Gráfica 19 se encuentran las emisiones por tipo de equipo. En las calderas es predominan las emisiones por carbón, con aportes superiores al 94.7% para PM_{10}, SO_2 y CO con un aporte del 81% y 84% respectivamente; las emisiones de NOx participan con 57%. El ACPM por su parte, genera las mayores emisiones después del carbón, siendo su mayor aporte el 27% a NOx. La siguiente contribución en orden de magnitud corresponde al gas natural, con aportes del 10% y el 7 % de las emisiones de NOx y CO, respectivamente (109 y 65.7 ton/año). Las emisiones generadas por los demás combustibles tienen contribuciones inferiores al 3% de las emisiones totales.

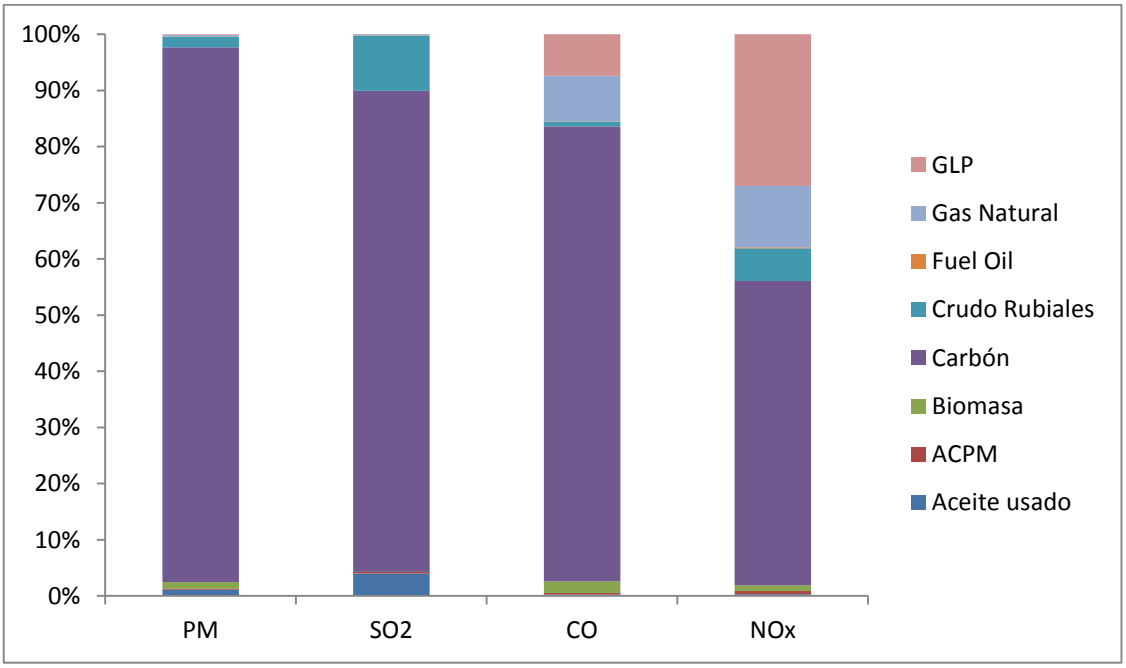
En los hornos, los combustibles que generan las mayores emisiones son el generando los mayores aportes de PM_{10} SO_2, CO y NOx con 95%, 85%, 80% y 54%, que corresponden a 970.94, 2254.2, 875.2 y 950.3 Ton/año. Los demás combustibles generan aportes a las emisiones menores al 4%.

Gráfica 18. Emisiones por calderas



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 19. Emisiones por hornos



Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 13 y la Tabla 14 se encuentran resumidas las emisiones por tipo de combustible y por tipo de equipo. En las emisiones por equipo se observa que las emisiones son mayores por el uso de hornos, generando el mayor aporte a la emisión de PM con el 63% de las emisiones totales.

Tabla 13. Emisiones por tipo de combustible

Combustible	PM_{10}	SO_2	CO	NOx
Aceite usado	12.43	144.39	3.50	13.64
ACPM	23.52	79.71	69.65	321.06
Biomasa	14.33	0.97	27.05	18.99
Carbón	1524.63	4319.07	1678.95	1629.07
Crudo Rubiales	20.20	313.20	9.91	109.02
Fuel Oil	1.84	34.49	1.87	12.92
Gas Natural	4.39	4.48	153.04	301.48
GLP	2.82	211.86	88.64	525.15
Keroseno	0.31	45.04	1.57	7.56
TOTAL	1604.46	5153.22	2034.18	2938.90

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Emisiones por tipo de equipo

Equipo	PM_{10}	SO_2	CO	NOx
Caldera	584.31	2169.52	953.64	1183.98
Horno	1020.16	2983.70	1080.55	1754.92
Total	1604.46	5153.22	2034.18	2938.90

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4 Distribución espacial y temporal.

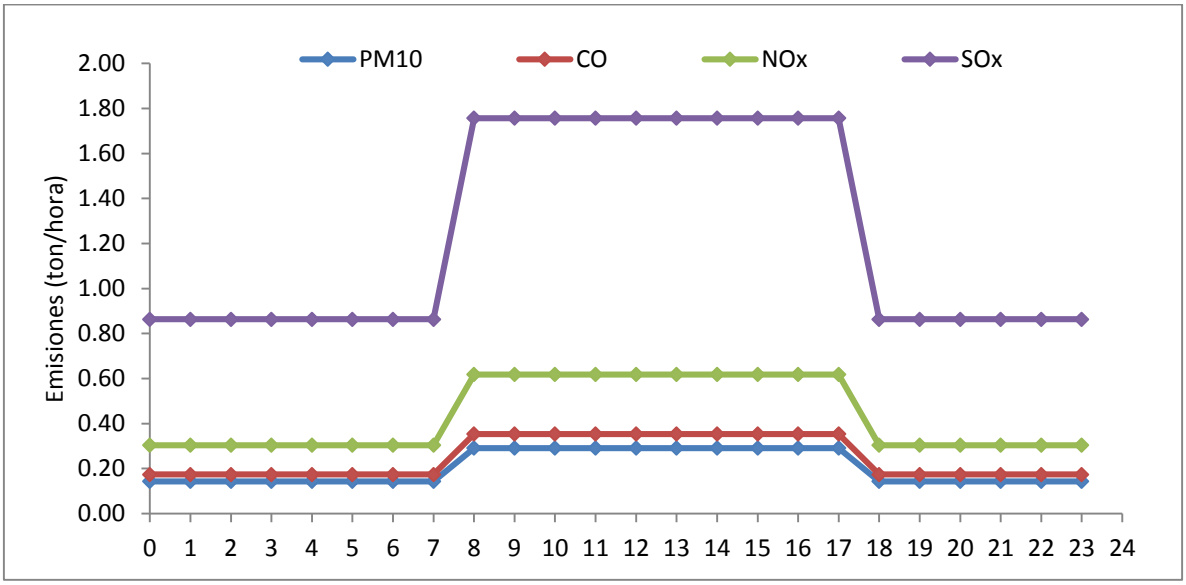
En la Tabla 15 se presenta la distribución temporal de las emisiones generadas por las fuentes fijas.

Tabla 15. Distribución temporal de las emisiones de fuentes fijas.

Hora	ton/hora			
	PM_{10}	SO_2	CO	NOx
0	0.14	0.86	0.17	0.30
1	0.14	0.86	0.17	0.30
2	0.14	0.86	0.17	0.30
3	0.14	0.86	0.17	0.30
4	0.14	0.86	0.17	0.30
5	0.14	0.86	0.17	0.30
6	0.14	0.86	0.17	0.30
7	0.14	0.86	0.17	0.30
8	0.29	1.76	0.35	0.62
9	0.29	1.76	0.35	0.62
10	0.29	1.76	0.35	0.62
11	0.29	1.76	0.35	0.62
12	0.29	1.76	0.35	0.62
13	0.29	1.76	0.35	0.62
14	0.29	1.76	0.35	0.62
15	0.29	1.76	0.35	0.62
16	0.29	1.76	0.35	0.62
17	0.29	1.76	0.35	0.62
18	0.14	0.86	0.17	0.30
19	0.14	0.86	0.17	0.30
20	0.14	0.86	0.17	0.30
21	0.14	0.86	0.17	0.30
22	0.14	0.86	0.17	0.30
23	0.14	0.86	0.17	0.30

Fuente: Elaboración propia.

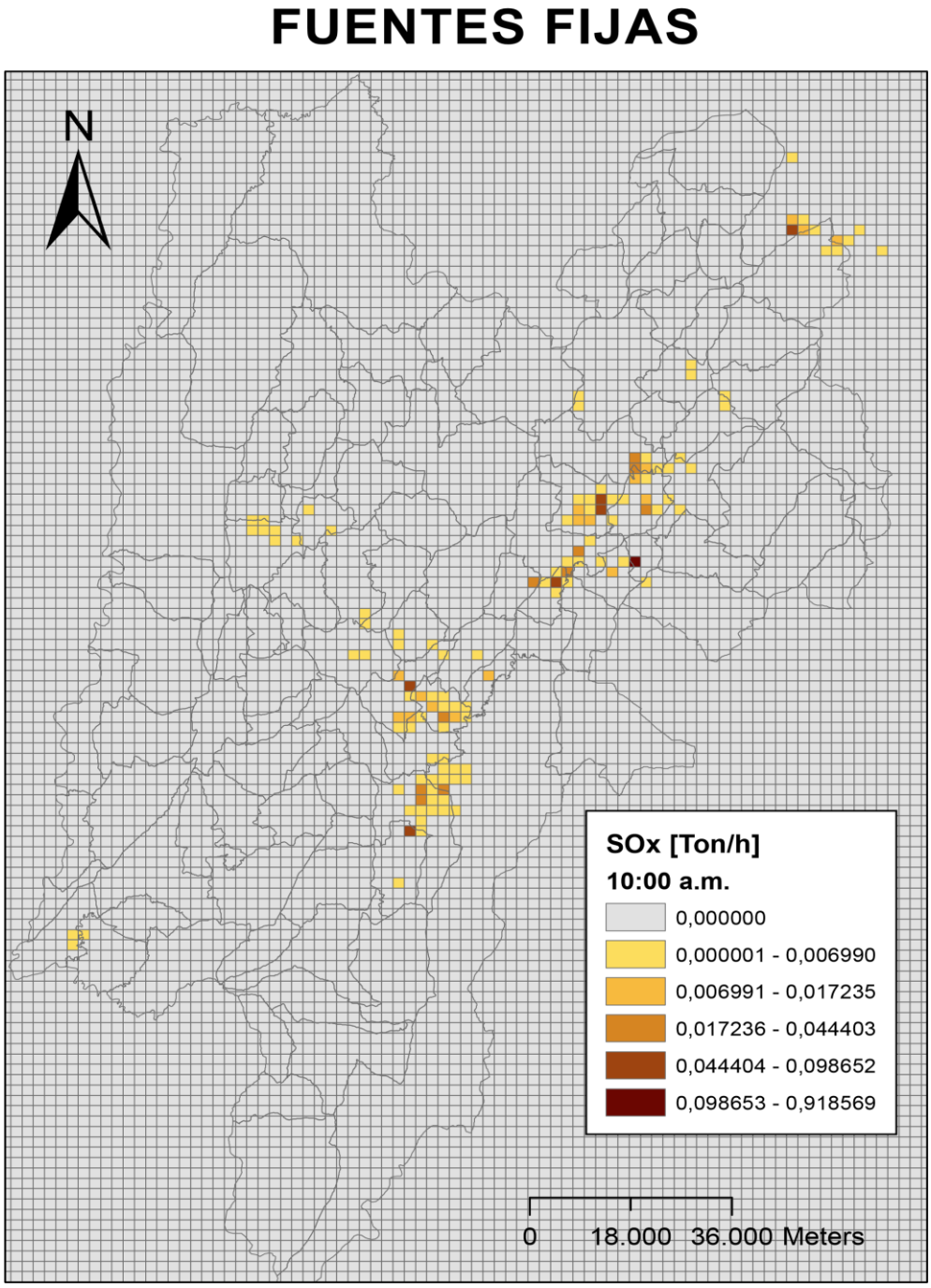
Gráfica 20. Distribución temporal de las emisiones de fuentes fijas.



Fuente: Elaboración propia.

IED tiene una herramienta de gráficos con la cual se puede visualizar la distribución en el espacio y en el tiempo de las emisiones estimadas para las fuentes fijas. La muestra el mapa con la distribución espacial de las emisiones de SO_2 a las 10:00 del día típico. En los municipios de Mosquera, Cogua, Nemocón y Cajicá se encuentran las mayores emisiones de óxidos de azufre como se presenta en la Figura 8.

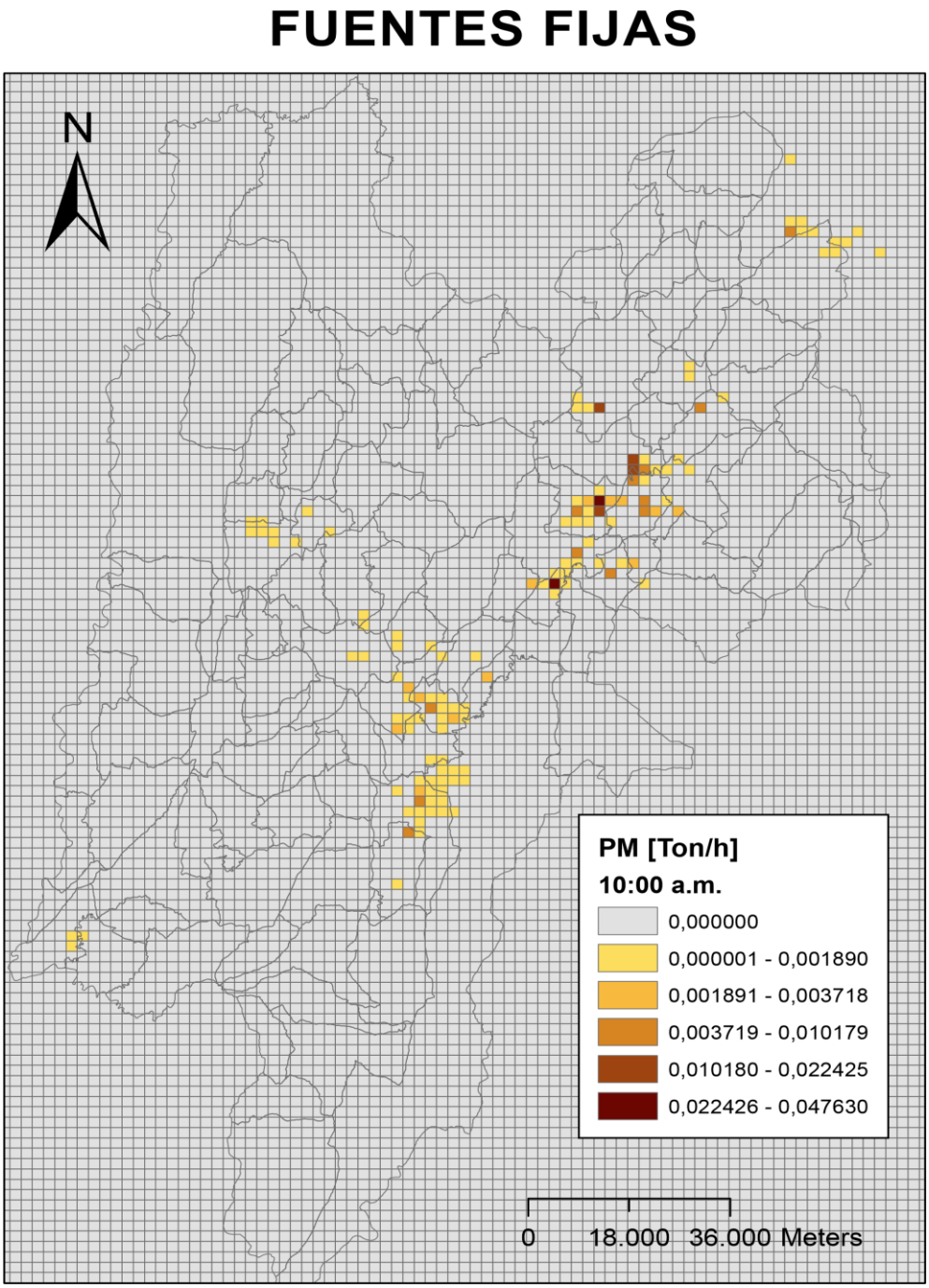
Figura 8. Emisiones de SO_2 para las 10.00h



Fuente: Elaboración propia.

Las emisiones de PM_{10} presentan su mayor emisión en los municipios de Cogua, Nemocón, Cajicá y con un menor aporte Soacha y Mosquera como se observa en la Figura 9.

Figura 9. Emisiones de PM_{10} para las 10.00h



Fuente: Elaboración propia.

3.3 RESULTADOS EMISIONES FUENTES MÓVILES

Las emisiones finales obtenidas por fuentes móviles se encuentran en la Tabla 16. Las mayores emisiones obtenidas son de monóxido de carbono, y las menores emisiones de óxidos de azufre.

Tabla 16. Emisiones Totales fuentes móviles

Emisión (ton/año)	PM_{10}	CO	NOx	SO_2	VOC
	3089	202077	30542	249	34197

Fuente: Elaboración propia con datos (Rojas (2015))

Las emisiones por categoría vehicular se observan en la Tabla 17, en donde se evidencia que las mayores emisiones corresponden a las generadas por los vehículos particulares para el CO, contribuyendo con el 47% de las emisiones por CO. Los vehículos particulares también generan las mayores emisiones de SO_2, contribuyendo con el 29% de las emisiones totales. Por otro lado, los camiones contribuyen con las mayores emisiones de PM_{10} y de NOx, con aportes de 43 y 48% respectivamente. Las mayores emisiones de VOC son generadas por las motos, que contribuyen con el 68% de las emisiones totales.

Los buses aportan a las emisiones de PM_{10}, con el 33% de las emisiones totales, los taxis generan las menores emisiones aportando el 20% de las emisiones de SO_2.

En la Gráfica 21 se observan las contribuciones porcentuales por contaminante de cada categoría vehicular.

Tabla 17. Emisiones por categoría vehicular

Categoría Vehicular	(ton/año)				
	PM_{10}	CO	NOx	SO_2	VOC
Camión	1330.31	5238.88	14797.06	69.59	967.21
Bus	1021.96	2508.20	7323.25	41.05	300.16
Vehículo Particular	37.63	94139.54	5629.28	71.71	7103.08
Taxi	23.36	35039.50	1833.04	49.17	2645.98
Moto	676.39	65150.47	959.70	17.13	23180.13

Fuente: Elaboración propia con datos (Rojas (2015))

Gráfica 21. Porcentaje de emisiones por categoría vehicular

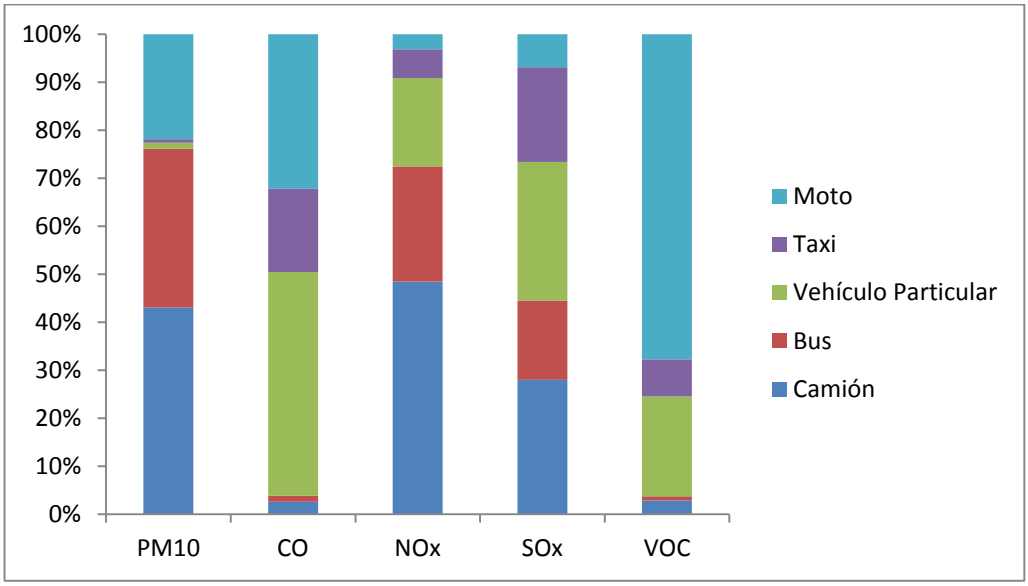


Tabla 18. Distribución temporal de las emisiones de fuentes móviles

Hora	ton/hora				
	PM_{10}	SO_2	CO	NOx	VOC
0	0.090	0.006	2.889	1.008	0.322
1	0.074	0.005	1.971	0.817	0.224
2	0.072	0.005	1.844	0.803	0.205
3	0.099	0.007	2.598	1.094	0.313
4	0.159	0.011	5.049	1.719	0.643
5	0.296	0.020	14.792	2.768	2.843
6	0.460	0.031	29.242	3.952	6.200
7	0.589	0.041	39.960	4.907	8.524
8	0.547	0.040	35.885	4.878	7.162
9	0.493	0.041	35.184	4.778	6.178
10	0.488	0.038	31.443	4.798	5.308
11	0.491	0.040	32.777	4.837	5.627
12	0.533	0.047	36.548	5.336	5.882
13	0.461	0.036	29.831	4.564	5.107
14	0.502	0.040	33.865	4.836	5.954
15	0.545	0.044	37.139	5.228	6.468
16	0.565	0.044	40.354	5.153	7.636

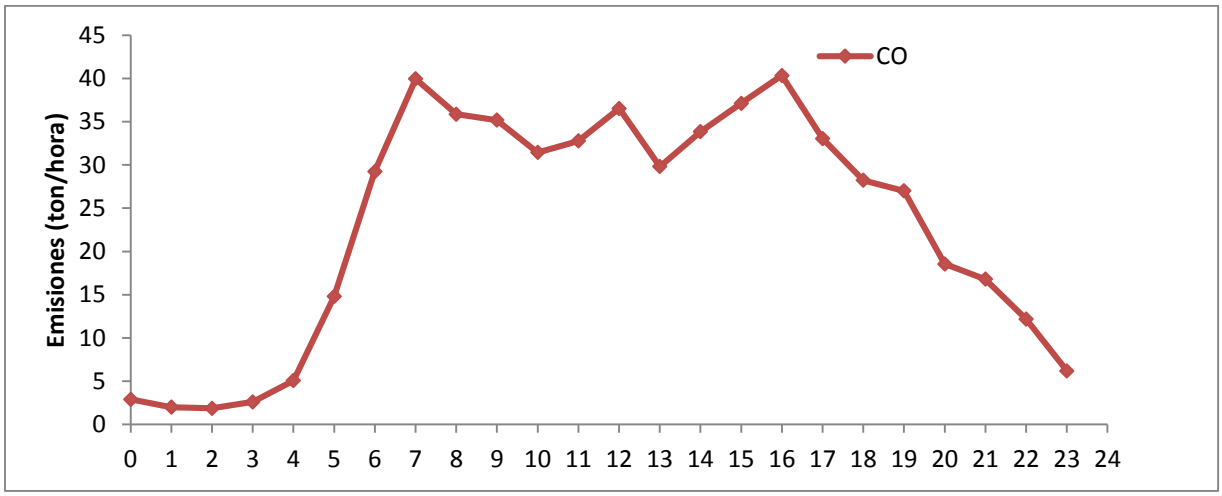
17	0.455	0.041	33.042	4.730	4.992
18	0.379	0.036	28.236	4.164	3.917
19	0.342	0.035	27.016	3.910	3.428
20	0.273	0.025	18.542	3.049	2.394
21	0.241	0.023	16.794	2.744	2.164
22	0.177	0.017	12.153	2.095	1.425
23	0.128	0.010	6.175	1.465	0.768

Fuente: Elaboración propia.

En las Gráfica 22 a la Gráfica 25 se presentan las emisiones de fuentes móviles con una resolución temporal de 1 h para CO, PM_{10}, NOx, SO_2 Y COV.

Las emisiones de monóxido de carbono tienen sus mayores valores a las 7 a.m. y a las 4 p.m. con 39.96 ton/h y 40.35 ton/h respectivamente.

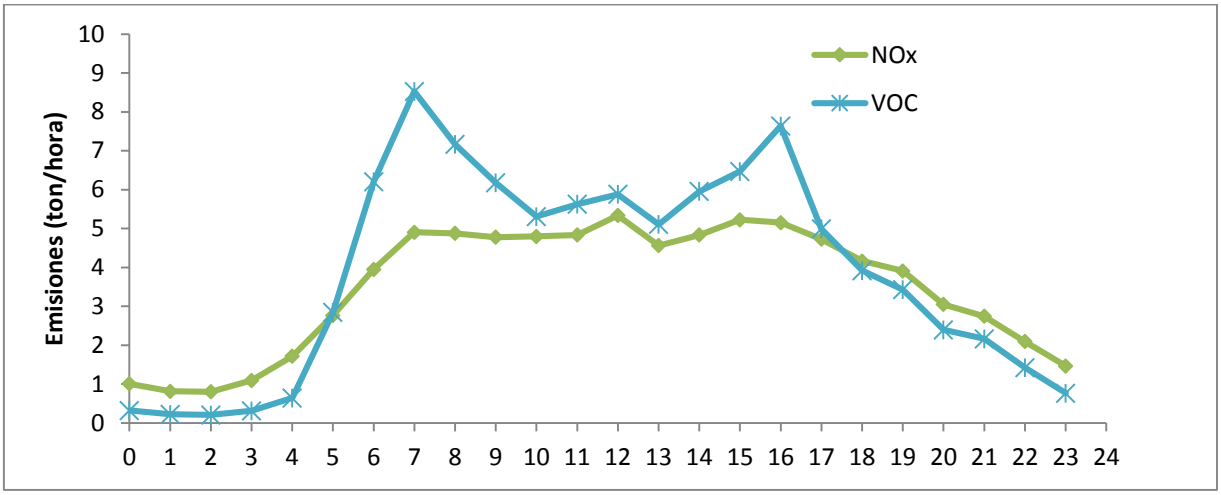
Gráfica 22. Distribución temporal de las emisiones de fuentes móviles -CO



Fuente: Elaboración propia.

Las emisiones de óxidos de nitrógeno tiene su mayor aporte a las 12m con 5.3 ton/h sin embargo no presentan gran variación en el periodo de las 7 a.m. y a las 4 p.m., teniendo un valor promedio de 4.93 ton/h. Por otro lado las mayores emisiones de VOC se presentan al igual que el CO de las 7 a.m. y a las 4 p.m. con 8.5 ton/h y 7.6 ton /h respectivamente.

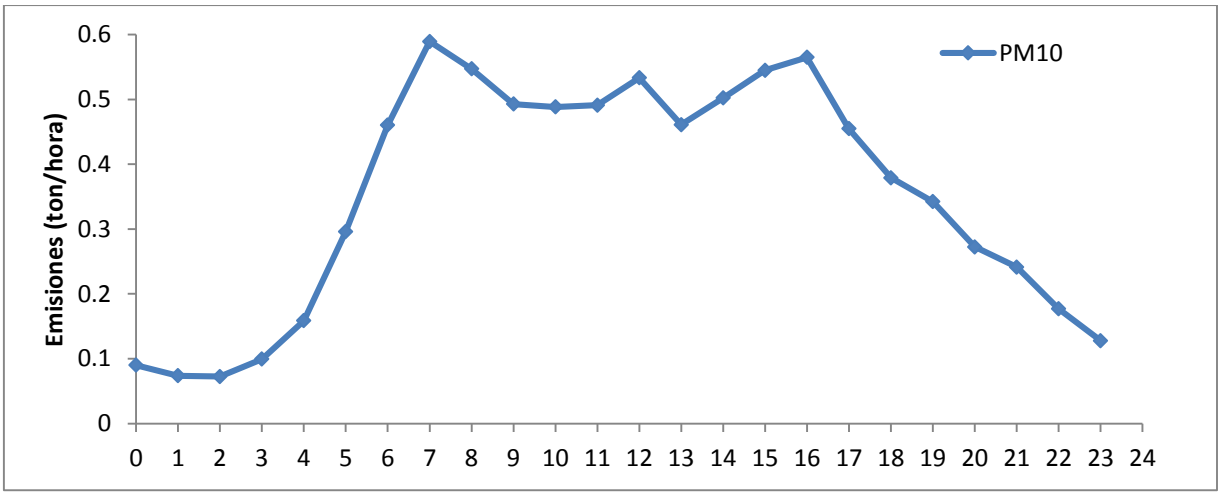
Gráfica 23. Distribución temporal de las emisiones de fuentes móviles –NOx-VOC



Fuente: Elaboración propia.

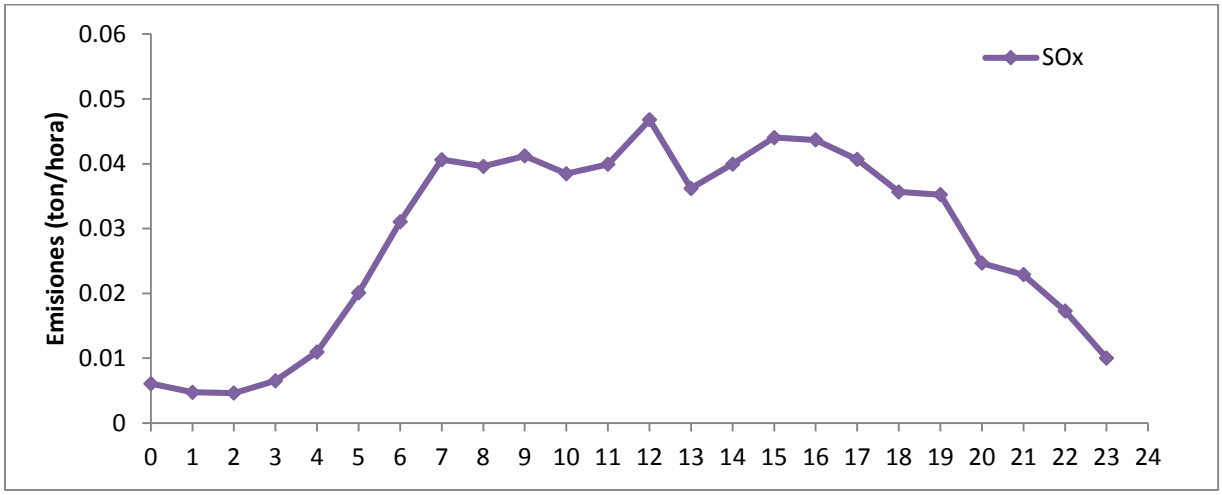
Para el material particulado PM_{10} se obtiene su mayor aporte a las emisiones de las 7 a.m. y a las 4 p.m. con 0.59 ton/h y 0.56 ton/h respectivamente, teniendo un leve incremento a medio día con 0.53 ton/h.

Gráfica 24. Distribución temporal de las emisiones de fuentes móviles –PM_{10}



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 25. Distribución temporal de las emisiones de fuentes móviles –SO_2



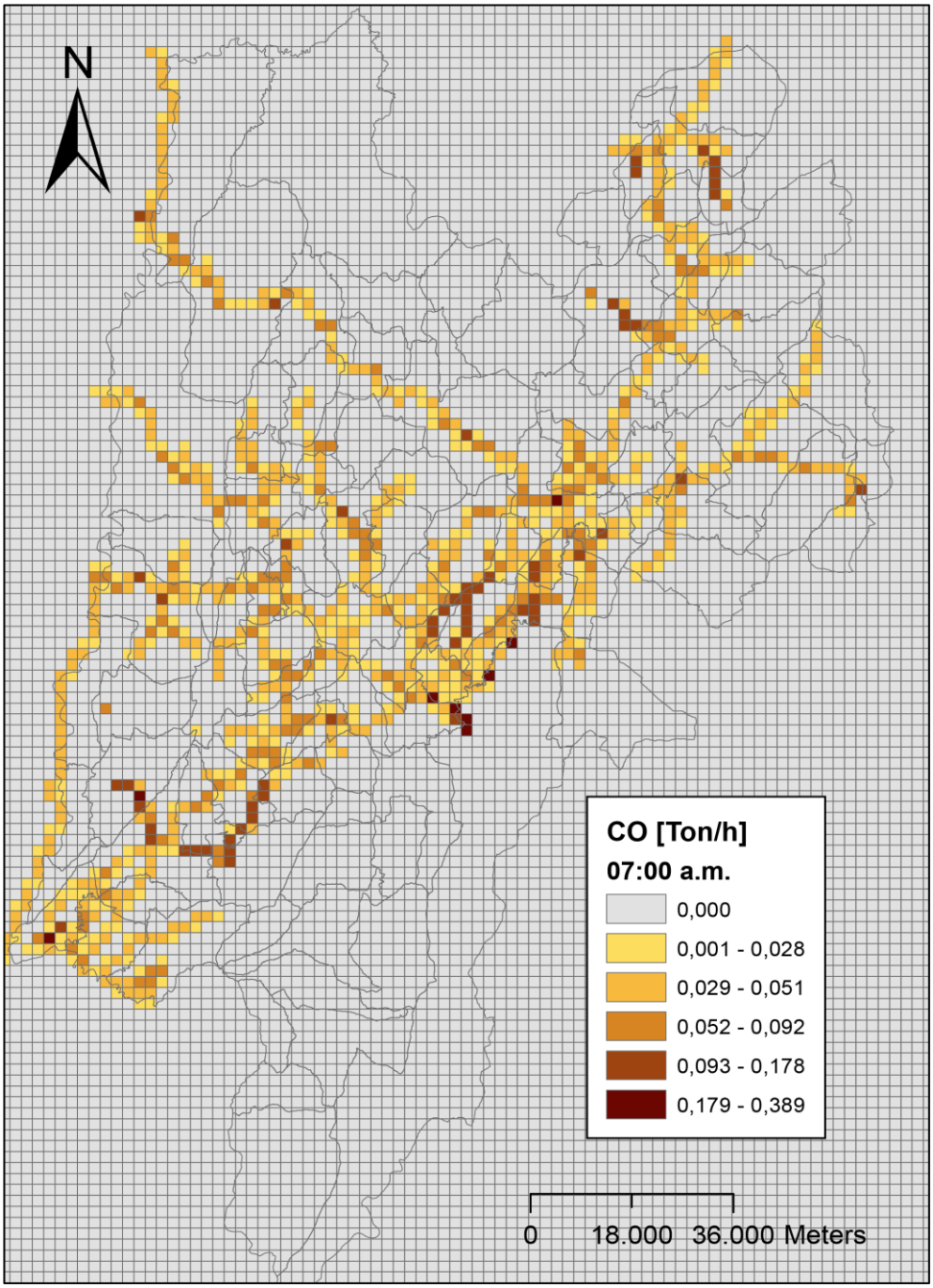
Fuente: Elaboración propia.

Los óxidos de azufre tienen su máxima emisión a medio día 0.04 ton/h. En la Figura 10 y

Figura 11 se presentan las emisiones de fuentes móviles para monóxido de carbono y material particulado PM_{10} para las 7 a.m.

Figura 10. Emisiones de CO para las 7.00h

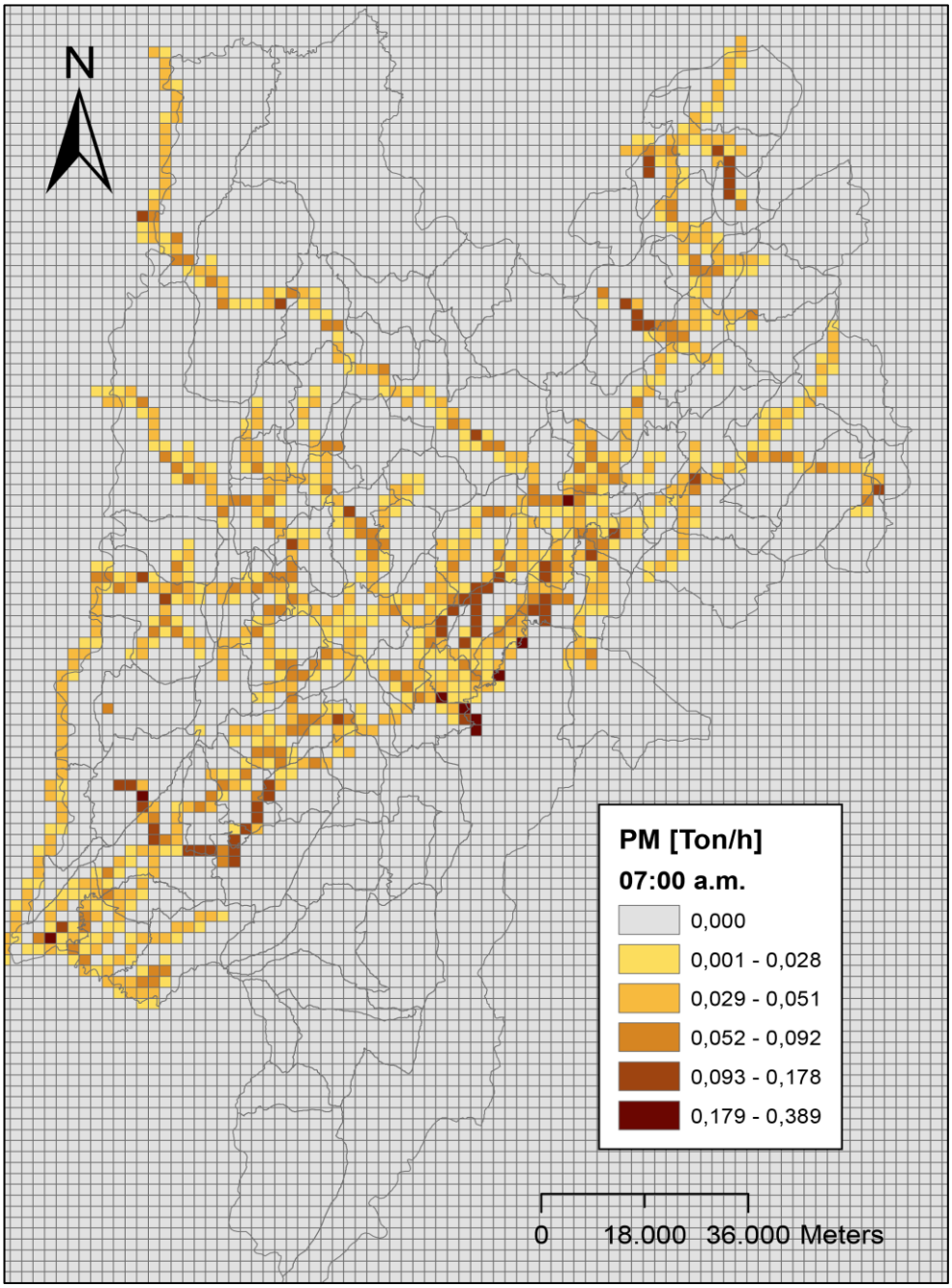
FUENTES MÓVILES



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11. Emisiones de PM_{10} para las 7.00h

FUENTES MÓVILES



Fuente: Elaboración propia.

El Pareto de las emisiones está dado por las vías intermunicipales debido a que estas tienen un mayor tráfico vehicular en comparación a las vías de los municipios, prevaleciendo en el aporte a Cundinamarca.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

La distribución espacial y temporal de los inventarios de emisiones de las fuentes fijas y móviles en la jurisdicción, se realizó para un dominio de 240 km x 170 km, con resolución de celdas de 2 km x 2 km; utilizando la base de datos IED, desarrollada por el Centro de Investigación Internacional de Sistemas Sostenibles (ISSRC), esta es la primera aproximación tiene una resolución espacial y temporal de la jurisdicción por lo cual los resultados obtenidos en este ejercicio se podrán emplear como datos de entrada a un modelo de calidad del aire para la jurisdicción.

Las fuentes fijas que operan dentro de la jurisdicción modelada aportan 5153.22 ton/año de SO_2, 2034.18 ton/año de CO, 2938.9 ton/año de NOx y 1604.4 ton/año de material partículado PM_{10}. Por su parte de las fuentes móviles se emiten anualmente 202 077 toneladas de CO, 30 542 toneladas de NOx, 249 toneladas de SO_2 3089 toneladas de PM_{10} y 34197 toneladas de VOC.

En las emisiones industriales el carbón genera las mayores emisiones de PM_{10}, SO_2, CO y NOx, con aportes del 95%, 83%, 82% y 55% respectivamente, equivalentes a 1524.6, 4319.07, 1678.9 y 1629 ton/año. El combustible que genera la menor contribución a las emisiones totales es el fuel oil, cuyo mayor aporte es de 0.43 % de NOx, correspondiente a 12.92 ton/año. El uso de biomasa también genera bajas emisiones de SO_2, del orden de 0.97 ton/año correspondiente al 0.01% de las emisiones totales de SO_2.

En calderas predomina el uso de gas natural, con un 35% de las industrias, le sigue el carbón con 32%, y ACPM con 19%. En los hornos se usa principalmente el carbón, con un 64%. Le sigue el gas natural con un 18%, y el ACPM con 8%.

La provincia de Sabana Centro genera las mayores emisiones de PM_{10} (1231.8 ton/año) y de CO (991.6 ton/año), con un aporte del 77% y 48% respectivamente. Además genera los mayores aportes a las emisiones de SO_2 y NOx, con un aporte de 2682.5 y 1047.9 ton/año respectivamente, que corresponden al 52% y al 36% de las emisiones totales por contaminante para la región; la principal actividad que aporta en la provincia de sabana centro es la fabricación de ladrillos y cal.

La industria de minerales la cual incluye industrias de minerales no metálicos, cementos entre los que sobresalen la fabricación de materiales para la construcción genera las mayores emisiones de los cuatro contaminantes analizados, cuyo mayor aporte es de 45% para SO_2 (2323.46 ton/año), seguido de 34.9% para NOx (1026.7 ton/año), 60.8% para PM_{10} (975.2 ton/año) y 39% para CO (793.85 ton/año).

Los vehículos particulares aportan la mayor participación en las emisiones de CO, contribuyendo con el 47%. Igualmente generan las mayores emisiones de SO_2, contribuyendo con el 29% de las emisiones totales. Por otro lado, los camiones contribuyen con las mayores emisiones de PM_{10} y de NOx, con aportes de 43 y 48% respectivamente. Las mayores emisiones de VOC son generadas por las motos, que contribuyen con el 68% de las emisiones totales. Los buses aportan a las emisiones de PM_{10}, con el 33% de las emisiones totales.

Las mayores emisiones de fuentes móviles se presentan en las vías intermunicipales y principalmente a las 7 a.m. y 4 p.m. para monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y material particulado. Por otro lado los óxidos de nitrógeno y de azufre presentan sus mayores aportes a las emisiones a medio día. Los resultados obtenidos en la distribución espacial de las emisiones generadas por fuentes fijas coinciden con los municipios de mayor industrializados de Cundinamarca.

Los sistemas de inventarios de emisiones como International Environmental Database –IED son una herramienta dinámica que permite a las diferentes agencias gubernamentales seguir una misma metodología en la estimación de inventarios de emisiones incluyendo todas las fuentes y sus propios factores de emisión de forma consistente, transparente y precisa. Además al poder visualizar los inventarios desagregados espacial y temporalmente vía internet estos podrán ser un insumo importante para ser utilizados en el diseño de sistemas de gestión de la calidad del aire incidiendo en el proceso de toma de decisiones.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda encaminar esfuerzos en futuros proyectos para obtener información de comportamiento de la actividad vehicular en vías terciarias (no pavimentadas) para así poder ampliar la desagregación de las emisiones en este tipo de vías esto sería un gran aporte para el departamento debido a que dentro de los antecedentes no se encuentran experiencias de desagregación de emisiones de fuentes móviles para Cundinamarca.

Los inventarios revisados de fuentes fijas no son consistentes entre sí, debido a que no se contemplan los mismos municipios, número de fuentes. Los tres inventarios se referencia la misma fuente de datos para los factores de emisión (AP-42 de la EPA); sin embargo, se presentan diferencias en los resultados y no se referencian las tablas específicas de las cuales se toma el respectivo el factor de emisión. Estos aspectos afectan la consistencia entre inventarios y, por lo tanto, su comparabilidad, de manera que no puede observarse una tendencia clara de aumento o reducción de emisiones con el tiempo. Por lo que se recomienda que para futuros ejercicios de estimación de inventarios de emisiones, se recomiendan las siguientes actividades:

- Generar y definir criterios de selección, categorización y priorización de las diferentes fuentes fijas y móviles a incluir dentro del desarrollo y/o actualización

de los inventarios de emisión, permitiendo establecer trazabilidad, comparabilidad y continuidad de la información en el tiempo, facilitando así, la visualización de las fuentes que aportan mayoritariamente a la generación de contaminantes.

- Generar y aplicar criterios de verificación y validación de las metodologías implementadas en el desarrollo de los inventarios de emisiones tanto para fuentes fijas como para fuentes móviles, ya que, teniendo el mismo principio teórico-práctico, los inventarios presentan diferencias importantes especialmente en la aplicación de la metodología en todas las etapas involucradas en la estimación de emisiones.

- Involucrar apropiadamente la información obtenida de los inventarios desarrollados previamente, con el propósito principal de integrarlos y aportar nueva información que permita su complementariedad y que se pueda ingresar a IED.

Es necesario parir del 100% de las fuentes industriales para poder datos de actividad para toda la jurisdicción y así poder tener las emisiones totales para la región para poder hacer un mejor seguimiento de las emisiones ya que por no contar con el 100% de las industrias se estaría subestimando las emisiones.

Se recomienda para próximos ejercicios incluir otros tipos de fuentes de emisión debido a que IED permite tener en cuenta todas las fuentes de emisión de la región.

REFERENCIAS

(ISSRC), I. S. (2015). *aqbook.* Obtenido de http://www.aqbook.org/read/?page=401

Afanador, E., Zapata, J. G., Núñez, J., Ramírez, R., Yepes, T., & Garzón, J. C. (2013). *Análisis de la situación energética.* Bogotá.

Air Quality Management District (AQMD). (2008). *Chapter 3: Development of the toxics emissions inventory. Mates III Final Report (September 2008).*

Alonso, M., Longo, K., Freitas, S., Mello de Fonseca, R., Merécal, V., Pirre, M., & Gallardo, L. (2010). *An urban emissons iventory for South America and its application in numerical modeling of atmospheric chemical composition at local and regional scales. Atmospheric Environment 44 (2010) 5072-5083. ELSEVIER.*

Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana. (2013). *Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2011. Informe Final Abril de 2013.* Medellín.

Bolivariana., Á. M.-U. (s.f.). *Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2011. Informe Final Abril de 2013. .* Medellín, Colombia.

Borge, R., Lumbreras, J., & Rodriguez, E. (2008). Development of a high-resolution emission inventory for Spain using the SMOKE modelling system: A case study for the years 2000 and 2010. *Environmental Modelling & Software, 23*, 1026-1044. ScienceDirect.

Dávila, P., Rojas, A., & Rojas, N. (2013). Estimación de emisiones provenientes de fuentes móviles en el tramo vial Bogotá-Facatativá (Cundinamarca). *Revista Épsilon*(21) (Julio - Diciembre 2013), 157-172 . ISSN 1692-1259.

Davis, N., He, K., Lents, J., Liu, H., Osses, M., Tolvett, S., & Walsh, M. (s.f.). *Estimating Emissions From Sources Of Air Pollution. Chapter 6. ICCT, Tsinghua University, ISSRC.* Obtenido de http://www.aqbook.org/read/?page=86&language=Sp

European Environment Agency (EEA). (2012). *European Union emission inventory report 1990–2010 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP).* EEA Technical report No 8/2012, Copenhagen.

FHWA, U. D. (2013). *Highway functional Classification Concepts, Criteria and Procedures.* Obtenido de

http://www.fhwa.dot.gov/planning/processes/statewide/related/highway_functional_classifications/fcauab.pdf

Gkatzoflias, D., Mellios, G., & Samaras, Z. (2013). Development of a web GIS application for emissions inventory spatial allocation based on open source software tools. *Computers & Geosciences 52 (2013)*, 21–33. Elsevier.

Gobernación de Cundinamarca. (Junio de 2015). *Estadisticas departamentales 2011-2013.* Obtenido de www.cundinamarca.gov.co: http://www.cundinamarca.gov.co/wps/wcm/connect/383099af-5266-406e-b1ce-7f1e19560c5a/Cap_09.pdf?MOD=AJPERES

Gobernación de Cundinamarca. (2009). *Plan Vial del departamento de Cundinamarca.* Obtenido de http://dirinfra.mintransporte.gov.co/PVR_DATA/DOCUMENTS/plan_cundinamarca.pdf

Guerrero, O. (2013). Desarrollo de una metodología para evaluar la cobertura espacial de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá. Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Magíster en Ingeniería Ambiental. *Grupo de Investigación en Calidad del Aire. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Univerisdad Nacional de Colombia.*

ICONTEC INTERNACIONAL. (2011). *Norma Técnica Colombiana NTC 4611- Información Geográfica: Metadato Geográfico. Segunda Actualización. Editada 2011-04-20. I.C.S.:35.240.700.* Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). (2005). *RESOLUCIÓN 068 DE 2005 (28/01/2005). Por la cual se adopta como único dátum oficial de Colombia el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia".*

International Sustainable Systems Research Center (ISSRC). (2013). *International Environmental Database Description (IED). La Habra, California 90631, USA.* Obtenido de http://www.issrc.org/

INVIAS., I. N. (2008). *Manual de diseño geométrico de carreteras. Capítulo 1: Aspectos Generales.*

ISSRC, F. D. (s.f.). *International Vehicle Emissions Model.* Obtenido de http://www.issrc.org/ive/

ISSRC., F. D. (s.f.). *International Vehicle Emissions Model.* Obtenido de http://www.issrc.org/ive/

Kuhlwein, J., Wickert, B., Trukenmuller, A., Theloke, J., & Friedrich, R. (2002). Emission – modelling in high spatial and temporal resolution and calculation of pollutant concentrations for comparisons with measured concentrations. *Atmospheric Environment 36 Supplement N°1 (2002)*, S7 - S18. Pergamon.

López, N., Montañéz, J., Ramírez, M., Romero, G., & & González, M. F. (2006). *Conceptos de Calidad de Información. Dimensiones de la calidad de la información en Sistemas de Información Gerencial. Consultado el 12 de enero de 2014*. Obtenido de http://www.oocities.org/es/johanmontanez/e3/Conceptos.html

Loriato, A., Albuquerque, T., Marinho, R., Santiago , A., Salvador, N., Nascimento, E., & Reis, N. (2013). Emissions Inventory for the Metropolitan Area of Vitoria, ES, Brazil using SMOKE System. *Community Modeling and Analysis System CMAS, 2013.*

Markakis, K. P. (2009). A Computational Approach Based on GIS Technology for the Development of an Anthropogenic Emission Inventory of Gaseous Pollutants in Greece. *Water Air Soil Pollut (2010) 207*, 157 - 180. Springer.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT). (2007). *Manual Guía para el Almacenamiento y Manejo de la Información de los Inventarios. Consultor: K2 Ingeniería Ltda. .* Bogotá, Colombia.

Ministerio de Transporte. (2012). *RUNT, Registro Único Nacional de Tránsito. Base de datos de Cundinamarca.*

Norma ISO 19115:2003. (s.f.). *Información Geográfica. Metadatos. Versión Traducida al español. Consultado el 10 de enero de*. Obtenido de http://www.idesf.santafe.gov.ar/idesf/documentos/ISOMetadatosDelWebCP-IDEA.pdf

Norma ISO 19138:2006 . (s.f.). *Información Geográfica. Medidas de calidad de los datos. Versión Traducida al español. Consultado el 10 de enero de 2014*. Obtenido de http://samoullier.com/pdf/ISO_19138.pdf

Organización Internacional De Normalización. . (s.f.). *Información Geográfica. Principios De Calidad. ISO 19113:2002. .*

Organización Internacional De Normalización. (s.f.). *Procedimientos Para La Evaluación De Calidad. Información Geográfica. ISO 19114:2003.*

Osses, M. (2013). *Field Testing Program for Lagos, Nigeria. FAO/ISSRC. .*

Peñaloza, N. (2010). *Distribución espacial y temporal del inventario de emisiones provenientes de las fuentes móviles y fijas de la ciudad de Bogotá.* Grupo de investigación en Calidad del Aire. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Pulido, A. (2012). *Inventario de emisiones de gases efecto invernadero para la región Cundinamarca - Bogotá.* Grupo de Investigación en Calidad del Aire. Facultad de Igerniería, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Pulido, A. (2012). *Inventario de emisiones de gases efecto invernadero para la región Cundinamarca – Bogotá. Grupo de Investigación en Calidad del Aire. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Universidad Nacional de Colombia.* Bogotá, Colombia.

Radian International. (2000). *Manuales del programa de inventarios de emisiones de México. VOLUMEN VIII - Desarrollo de modelos para inventarios. Final.* Sacramento, California.

Redman, T. C. (1996). *Data Quality for the Information Age. Artech House,Boston. CITADO EN:López, N; Montañez, J; Ramírez, m; Romero,G & González,M. F. (2006). Conceptos de Calidad de Información. Dimensiones de la calidad de la información en Sistemas de Información Gerencial*. Recuperado el 12 de enero de 2014, de http://www.oocities.org/es/johanmontanez/e3/Conceptos.html

Robra, J. (2010). *An emissions inventory of air pollutants for the city of Bogotá, Colombia. << Master Project 2010, Final Report>>.* Environmental Sciences and Engineering Program (SIE) School af Architecture, Civil an Environmental Engineering (ENAC) Swiss federal Institute of Technolody Lausanne (EPFL).

Saide, P., Zah, R., Osses, M., & Osse´ s de Eicker, M. (2009). Spatial disaggregation of traffic emission inventories in large cities using simplified top–down methods. *Atmospheric Environment , 43 (2009)*, 4914–4923. Science Direct.

Secretaría de Hacienda de Cundinamarca. (2015). *Marco Fiscal de Mediano Plazo, 2012-2021.* Obtenido de Gobernacion de Cundinamarca: http://www.cundinamarca.gov.co/wps/wcm/connect/93b13904-851d-4278-861e-9a1172597b1c/MARCO+FISCAL+DE+MEDIANO+PLAZO+-+2012+.pdf?MOD=A

Texas Transportation Institute Texas A&M University System . (1998). *Travel Time Data Collection Handbook. Office of Highway Information Management Federal Highway Administration U.S. Department of Transportation.* Obtenido de http://www.fhwa.dot.gov/

ANEXOS

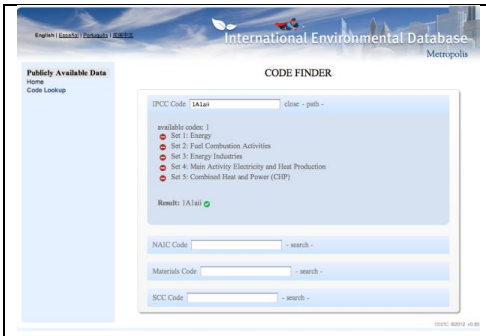
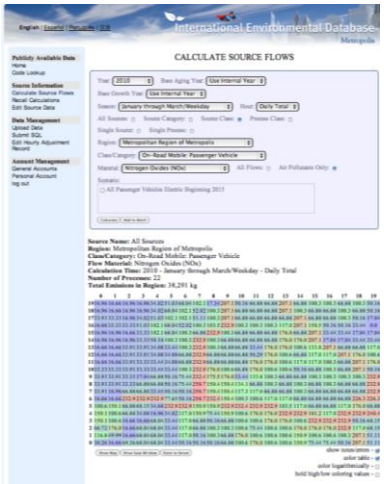
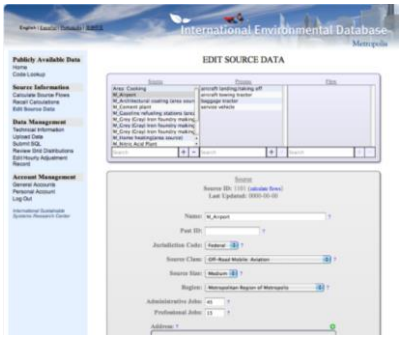
Anexo 1 Descripción de la plataforma IED.

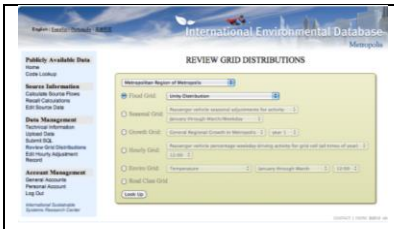
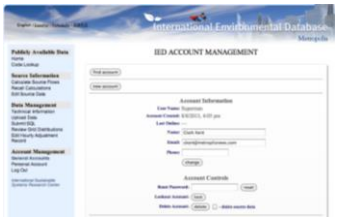
Anexo 2 Información de las tablas IED

INFORMACIÓN DE ENTRADA IED

Las tablas *SourceOverview, ProcessBase* y *ProcessFlow* representan el núcleo de IED.

Página de Inicio.	En la parte superior izquierda de la página, se encuentra el idioma para el funcionamiento de todas las interfaces (Chino, Inglés, Portugués y Español) El usuario inicia sesión en el sistema introduciendo su nombre de usuario y contraseña como registrado en el sistema.
Localizador de códigos.	La interfaz del buscador código está diseñado para ayudar a los usuarios a localizar IED a

	buscar los códigos de los factores de emisión para cada uno de los procesos, la base de datos cuenta con factores para diferentes procesos de diferentes entidades como el IPCC, EPA entre otras para así poder realizar diferentes tipos de análisis.
Calculo de flujos 	Esta es una de las páginas de la interfaz clave para el IED. Se utiliza para estimar los flujos de energía o de contaminantes una fuente o un número de fuentes. En la parte inferior se podrá visualizar los resultados de la desagregación espacial y temporal los cuales podrán ser exportados a .txt o Excel, además permite la visualización de la desagregación en el dominio en una página alterna.
Edición de la información de las fuentes 	La página proporciona opciones para añadir, eliminar y editar fuente de datos relacionados. Una fuente
Revisión de la distribución de las métricas	El propósito de esta página es revisar los datos que se almacena en las tablas de IED para el dominio escogido.

	
Administración de cuentas 	La página de administración de cuentas de la plataforma se utiliza para crear, editar y eliminar usuarios del IED. Sólo el Administrador de IED tendrá acceso a esta página.

Estas tablas contienen datos que representan todas las fuentes de emisión en la región de interés.

En el proceso estándar de construir un inventario de emisiones, las fuentes de emisión son clasificadas tanto como fuentes puntuales, fuentes área (o fuentes área estacionarias), fuente móvil en vía, fuente móvil fuera de vía, o fuente natural. Todos estos tipos de fuentes están incluidas en la tabla *SourceOverview*.

1. **Tabla SourceOverview**

Esta tabla contiene información básica para todas las fuentes de emisión en la región. Es la primera tabla que se debe llenar debido a que contiene información necesaria en las tablas siguientes. A continuación se lista la información consignada en cada columna de la tabla SourceOverview:

<u>SourceID</u>: Muestra el número de identificación de cada fuente. Las fuentes fijas de emisión consideradas en el presente trabajo poseen un *SourceID* desde *10001* hasta *10396*; y las móviles desde 1110 hasta 1133. Las fuentes fijas consideradas fueron 396 industrias presentes en la jurisdicción. En fuentes móviles 24 fuentes que representan las fuentes, las cuales se elaboraron teniendo en cuenta cinco categorías de vehículos (Vehículos particulares, buses, camiones, taxis y motos) de diferente tamaño (ligero, mediano y pesado) con diferente combustible (Gasolina corriente, diesel o gas natural).

<u>SourceName</u>: Muestra el nombre de la fuente. Para fuentes fijas, la base de información usada como información de entrada fue la obtenida al unir los inventarios de fuentes fijas existentes en la jurisdicción CAR (Ver Capitulo 2 – sección 2.2.1), la cual contiene 396 fuentes industriales; para fuentes móviles, se usó como base la información suministrada por el RUNT y los CDA (Ver capítulo 2 – sección 2.3).

JurisdictionCode: Indica la agencia que tiene jurisdicción primordial sobre la fuente de emisión. Se pueden incluir tantas jurisdicciones como sea necesario. Todas las fuentes de emisión consideradas en el presente proyecto se encuentran en jurisdicción municipal, código "*COUNTY*". Las diferentes jurisdicciones y sus respectivos códigos se encuentran listadas en la tabla *Jurisdictions* del IED.

SourceClassKey: Indica el tipo de fuente a la cual cada fuente pertenece. Esta tabla también incluye información sobre todas las clases de fuentes, y los significados de los códigos se pueden encontrar en la tabla *Sourceclassname* del IED. Los tipos de fuentes de emisión que se consideraron son:

- Para fuentes fijas.
    - 10000: Uso de tierra agrícola, forestal u otro.
    - 10001: Energía – Producción de electricidad.
    - 10002: Energía – Extracción de combustibles fósiles.
    - 10004: Procesos industriales - Cemento
    - 10005: Procesos industriales - Fabricación
    - 10006: Procesos industriales - Otros
    - 10007: Procesos industriales – Metales primarios
    - 10009: Otros
    - 10010: Residuos

- Para fuentes Móviles:
    - 5000: Móvil en ruta- vehículos de pasajeros
    - 5001: Móvil en ruta- Camiones Pesados
    - 5002: Móvil en ruta- Camiones Medianos
    - 5003: Móvil en ruta- Camiones Pequeños
    - 5004: Móvil en ruta- Bus regular
    - 5005: Móvil en ruta- Bus pequeño
    - 5006: Móvil en ruta- vehículo de dos ruedas
    - 5008: Móvil en ruta- Bus pesado

SizeClassCode: esta columna es usada para indicar el tamaño de la clase a la que una fuente puede pertenecer. Es relevante solo para fuentes puntuales. Las fuentes fijas puntuales consideradas se clasificaron como medianas "MED" y pequeñas "SML", de acuerdo a la tabla *Sizeclasstype*.

RegionAbbreviation: Esta columna es usada para indicar la región en la cual la fuente está localizada, esto permite incluir datos en más de una región en un país. Las regiones incluidas en el IED se encuentran en la tabla *Regionalgridinfo*. Todas las fuentes se encuentran localizadas en la región de jurisdicción de la CAR "*RegCar*".

SourceDescription: En esta columna se describe de manera breve la actividad productiva llevada a cabo por cada fuente. Para fuentes fijas se usó la clasificación CIIU (revisión 4)

para describir cada fuente de acuerdo al CIIU al que perteneciera, y para móviles se describió la categoría dentro de la que cada fuente se clasificó, la cual incluye: tipo de combustible, peso y tipo de vehículo.

InitialAddition: Es la fecha de cuando la fuente fue agregada a la base de datos del IED. Para todas las fuentes la fecha definida fue el 7 de Julio de 2014.

RequestForUpdate: La fecha para que la compañía o agencia actualice su información. Para todas las fuentes, esta fecha se estableció como el 08 de julio de 2015, un año después de la fecha de recopilación de la información.

Updated: Fecha en que esta información fue actualizada. Esta fecha corresponde al 07 de julio de 2014.

Status: Columna usada para determinar si los datos en una fila están completos. Hay tres opciones para esta columna: “C” indica que los datos están completos, “I” indica que los datos en la fila están incompletos, y “X” indica que los datos en la fila deben eliminarse. Todas las fuentes consideradas en este proyecto se clasifican en *C* o *I*.

2. Tabla ProcessBase

Cada tipo de fuente tiene subcategorías las cuales son referenciadas en el IED como procesos. Esta tabla contiene información con respecto a dichos procesos asociados con una fuente. Cada fila en la tabla ProcessBase debe tener el *SourceID* al que se refiere cada registro. La información requerida en cada columna de esta tabla se lista a continuación:

ProcessID: Es el número de identificación único para cada proceso.

- Para fuentes fijas: Se ubicó un nombre para cada fuente de emisión, es decir por cada equipo de combustión de la industria. Se tienen entonces números consecutivos del 100001 al 100523.

- Para fuentes móviles: En fuentes móviles se asignó un valor por categoría de vehículo y por año se consideraron modelos de 1981 a 2012.

Categoría	ProcessID
Class 1 Light-Duty Vehicles - Truck (Petrol /Gas/ Diesel)	11100-11195
Class 2 Medium-Duty Vehicles-Truck (Petrol/ Diesel)	11196-11259
Class 3 Heavy-Duty Vehicles-Truck (Petrol/ Diesel)	11260-11323
Class 4 Light-Duty Vehicles- Bus (Petrol /Gas/ Diesel)	11324-11419
Class 5 Medium-Duty Vehicles-Bus (Diesel)	11420-11451
Class 6 Heavy-Duty Vehicles-Bus (Diesel)	11452-11483
Class 7 Light-Duty Vehicles-Passenger Cars (Petrol/ Gas)	11484-11547
Class 8 Medium-Duty Vehicles-Passenger Cars (Petrol /Gas/ Diesel)	11548-11643

Class 9 Heavy-Duty Vehicles-Passenger Cars (Petrol)	11644-11675
Class 7 Light-Duty Vehicles-Taxi (Petrol/ Gas)	11676-11739
Class 8 Medium-Duty Vehicles-Taxi (Petrol/ Gas)	11740-11803
Class 10 Motorcycles (2 Cycles / 4 Cycles)	11804-11867

ProcessNameKey: Indica el proceso asociado al tipo de fuente al que pertenece. Estos códigos se encuentran descritos en la tabla *Processname* del IED.

- Para fuentes fijas:
    - 1214: Agrícola, forestal u otro.
    - 1215: Energía – Producción de electricidad.
    - 1216: Energía – Extracción de combustibles fósiles.
    - 1218: Industriales - Cemento
    - 1219: Industriales - Fabricación
    - 1220: Industriales - Otros
    - 1221: Industriales – Metales primarios
    - 1223: Otros
    - 1224: Residuos

- Para fuentes móviles:
    - 1112: Año modelo anterior a 1990, para SourceClassKey 5000
    - 1113: Año modelo entre 1990 y 1999, para SourceClassKey 5000.
    - 1114: Año modelo entre 2000 y 2009, para SourceClassKey 5000.
    - 1115: Año modelo entre 2010 y 2019, para SourceClassKey 5000.
    - 1123: Año modelo anterior a 1990, para SourceClassKey 5001.
    - 1124: Año modelo entre 1990 y 1999, para SourceClassKey 5001.
    - 1125: Año modelo entre 2000 y 2009, para SourceClassKey 5001.
    - 1126: Año modelo entre 2010 y 2019, para SourceClassKey 5001.
    - 1135: Año modelo anterior a 1990, para SourceClassKey 5002.
    - 1136: Año modelo entre 1990 y 1999, para SourceClassKey 5002.
    - 1137: Año modelo entre 2000 y 2009, para SourceClassKey 5002.
    - 1138: Año modelo entre 2010 y 2019, para SourceClassKey 5002.
    - 1147: Año modelo anterior a 1990, para SourceClassKey 5003.
    - 1148: Año modelo entre 1990 y 1999, para SourceClassKey 5003.
    - 1149: Año modelo entre 2000 y 2009, para SourceClassKey 5003.
    - 1150: Año modelo entre 2010 y 2019, para SourceClassKey 5003.
    - 1159: Año modelo anterior a 1990, para SourceClassKey 5004.
    - 1160: Año modelo entre 1990 y 1999, para SourceClassKey 5004.
    - 1161: Año modelo entre 2000 y 2009, para SourceClassKey 5004.
    - 1162: Año modelo entre 2010 y 2019, para SourceClassKey 5004.
    - 1171: Año modelo anterior a 1990, para SourceClassKey 5005.
    - 1172: Año modelo entre 1990 y 1999, para SourceClassKey 5005.

- 1173: Año modelo entre 2000 y 2009, para SourceClassKey 5005.
- 1174: Año modelo entre 2010 y 2019, para SourceClassKey 5005.
- 1183: Motocicletas de 4 tiempos, para SourceClassKey 5006.
- 1184: Motocicletas de 2 tiempos, para SourceClassKey 5006.
- 1228: Año modelo anterior a 1990, para SourceClassKey 5008.
- 1229: Año modelo entre 1990 y 1999, para SourceClassKey 5008.
- 1230: Año modelo entre 2000 y 2009, para SourceClassKey 5008.
- 1231: Año modelo entre 2010 y 2019, para SourceClassKey 5008.

ProcessName: Nombre del proceso. Para fuentes fijas corresponde al nombre del combustible usado en la combustión. Para fuentes móviles el nombre corresponde a la categoría, el peso, el combustible y el año del modelo del vehículo.

PastProcessID: Es el número de identificación previa del proceso, lo cual no aplica para el presente caso.

ProcessLatitude y ProcessLongitude: Indica las coordenadas de ubicación (latitud y longitud) del proceso, solo aplica para fuentes fijas. La información e ubicación de las fuentes industriales de emisión se obtuvo a partir de la unificación de inventarios previos realizados para la jurisdicción CAR (Ver capítulo 2, sección 2.2.1).

GrowthMetricPtr: Indica la tasa de crecimiento del proceso, la cual es independiente para cada tipo de fuente. La tabla *Growthmetric* del IED indica todas las opciones de tasas de crecimiento que se pueden usar.

- Para fuentes fijas:
    - 0: 0% por año (todos los años)
    - 1010: 1.0% por año (todos los años)
    - 1020: 2.0% por año (todos los años)
    - 1025: 2.5% por año (todos los años)
    - 1031: 3.0% por año (todos los años)
    - 1041: 4.0% por año (todos los años)
    - 1045: 4.5% por año (todos los años)
    - 1050: 5.0% por año (todos los años)
    - 1060: 6.0% por año (todos los años)
    - 1070: 7.0% por año (todos los años)
    - 1100: 10.0% por año (todos los años)
    - 2000: 2% de disminución por año (todos los años)
    - 2001: 3% de disminución por año (todos los años)
    - 2002: 4% de disminución por año (todos los años)
    - 2003: 5% de disminución por año (todos los años)

Nota: para fuentes fijas se determinó una tasa de crecimiento independiente para cada proceso productivo por CIIU, promediando las tasas de crecimiento anuales de los últimos años de cada sector reportadas por el DANE.

- Para fuentes móviles:
    - GrMetric02: corresponde a una distribución de la tasa de crecimiento para las celdas por las cuales pasan vías municipales e intermunicipales. La tasa de crecimiento escogida es del 4% anual.

Nota: Para todas las fuentes móviles se consideró el mismo comportamiento en la tasa de crecimiento, considerando el crecimiento económico de Cundinamarca proyectado para el 2011. (Secretaría de Hacienda de Cundinamarca, 2012)

Comments: Espacio reservado para consignar comentarios específicos sobre el proceso o la fuente.

Update: Fecha más reciente en que la información fue actualizada.

Status: Todas las fuentes consideradas se clasificaron en *C*.

3. Tabla ProcessFlow

Está diseñada para contener información relacionada con el flujo de entrada y salida de materiales y energía al proceso, incluyendo contaminación del aire, agua o vertederos. La tabla contiene o los factores de emisión para estimar el flujo o las tasas de flujo actual. Un flujo de proceso también tiene una fecha de inicio y fin asociada, que puede ser usada para indicar tasas de flujo futuras, una fecha de inicio para realizar los cálculos del factor de emisión de envejecimiento, y los ajustes estacionales y por hora.

ProcessFlowID: Número de identificación del flujo del proceso. Para fuentes fijas se tiene una serie consecutiva del 7001 al 9605. Para fuentes móviles es una serie consecutiva de números de 10000 a 14607.

ProcessID: Enlaza el flujo al proceso que está dejando o al que está entrando.

ProcessReceiver: Indica de donde viene el flujo o hacia dónde va.

Para fuentes fijas: todos los contaminantes se definió el código "*1*" que indica que el flujo está saliendo del proceso a la atmósfera, y para todos los combustibles "*101*" que indica que el flujo está en el proceso desde el exterior de la instalación.

Para fuentes móviles: Se consideraron dos categorías: “1” que indica que el flujo está saliendo del proceso a la atmósfera, y “9” que indica que el flujo es un producto completo que está saliendo fuera del exhosto de los vehículos.

MaterialCode: Este código indica el tipo de material que genera la emisión y al compuesto que está fluyendo (el contaminante).

Los códigos usados para el material que genera la emisión en cada tipo de fuente se encuentran en la Tabla:

Tabla 1. MaterialCode por material

FUENTES FIJAS	
ISCFF0000000086	Carbón Bituminoso/Sub-bituminoso
ISCFF0000000166	Crudo Rubiales
ISCFF0000000195	Fuel Oil
ISCFF0000000196	Diesel
ISCFF0000000343	Keroseno
ISCFF0000000366	Gas Licuado de Petróleo (GLP)
ISCFF0000000415	Gas Natural
ISCFF0000000505	Gas Propano
ISCFF0000000531	Aceite Residual
ISCFF0000000639	Biomasa
FUENTES MÓVILES	
ISCFF0000000348	Kilómetros recorridos
CONTAMINANTES	
PM10	ISCPM10030152
SO_2	ISCSulfu030155
NOx	ISCNitro030149
CO	ISCCarbo030148
VOC evap (Solo para móviles)	ISCEVOC030156

SCCx Code: Este código indica el factor de emisión que corresponde a este proceso y material.

KeyFlow: Es un código usado para indicar el flujo por el cual debe ser multiplicado el factor de emisión, para hallar la emisión de cada contaminante. Tanto para fuentes fijas y móviles se usó el código del *ProcessFlowID* que correspondía a cada uno de los flujos de cada subproceso.

EstimationApproach: Esta columna está disponible para comentarios sobre el cálculo del flujo del proceso, en caso de que se necesita hacer aclaraciones. No fue necesario su uso en el presente trabajo.

Flow: Indica la tasa actual de flujo. Las celdas con (-1) indican que se usará un Factor de emisión y un *KeyFlow* para calcular la tasa de emisión. Para fuentes fijas corresponde al consumo de combustible por unidad de tiempo y para fuentes móviles corresponde a los kilómetros totales recorridos por unidad de tiempo para cada categoría.

UnitKeyUpper: Unidad del numerador en que los valores del flujo serán reportados.

Para fuentes fijas: toneladas "*t*".

Para fuentes Móviles: "*km".*

UnitKeyLower: Unidad del denominador en que los valores del flujo serán reportados.

Para fuentes fijas y móviles: año "*yr*".

GenActivityAdj: Representa un ajuste al valor de flujo (columna "Flow"), que puede ser necesario para corregir los datos en general. Para todas las fuentes estudiadas en el presente proyecto este valor correspondía a "*1*", ya que los valores ingresados no necesitaban ajuste.

FlowBasis: Esta columna indica el periodo de tiempo base del flujo consignado en la columna "Flow". Para todas las fuentes el periodo de tiempo en que los valores se encuentran es anual "*YR0000*".

FixedGridColumn: Representa un valor usado para distribuir las emisiones sobre la región de interés.

Las fuentes fijas no necesitan ser distribuidas, por lo que en tal caso se les asignó un valor de *"-1".*

Para fuentes móviles se asignaron cinco métricas, una para cada tipo de vehículo. Éstas métricas se encuentran definidas en la tabla *Fixedgriddistribution* del IED, la cual asigna un valor a cada celda de la grilla para distribuir las emisiones sobre la región de interés. Las métricas usadas fueron:

- FxMetric03: Vehículos Particulares
- FxMetric04: Camión
- FxMetric05: Bus
- FxMetric14: Taxi
- FxMetric15: Moto

SeasonalGridPtr: Es un indicador para obtener un ajuste de las emisiones en cada una de las estaciones del año.

En el caso de fuentes fijas puntuales donde las variaciones de la emisión son las mismas para cada celda de la grilla, esta columna corresponde a un entero que es usado en el ajuste

de temporada, para realizar 8 ajustes con el fin de corregir los datos de flujo para cada una de las temporadas. En el presente trabajo se asignó "*1*" que indica que una operación constante todo el tiempo.

Para fuentes móviles, se asignaron cinco métricas, una para cada tipo de vehículo. Cada métrica se encuentra definida en la tabla *Seasonalgriddistribution* del IED. En las métricas se usó un mismo valor para todas las estaciones, mediante el valor "1", que indica una operación constante a lo largo del año.

- SnMetric01: Ajuste estacional para Vehículos Particulares
- SnMetric02: Ajuste estacional para Camión
- SnMetric03: Ajuste estacional para Bus
- SnMetric07: Ajuste estacional para Taxi
- SnMetric08: Ajuste estacional para Moto

Las siguientes son columnas usadas para realizar ajustes horarios. Cada temporada puede tener ajuste horarios diferentes, por lo cual las columnas están separadas por temporada (las cuales se denotan como A, B, C y D) y por fin de semana (2) o entre semana (1). Las descripciones de los códigos usados en esas columnas se encuentran en las tablas *HourlyAdjustments* o *HourlyGridDistribution* del IED. A continuación se describe cada una de estas columnas:

Para fuentes fijas:

- HourlyGridSeason (A1, B1, C1, D1) Ptr: esta columna corresponde a un entero que es usado en el ajuste entre semana para cada temporada (A, B, C, D, E), para cada una de las 24 horas del día. Se definió una operación estándar de 8am a 5pm, y una actividad nocturna a la mitad de la capacidad (código"*1014*").
- HourlyGridSeason (A2, B2, C2, D2) Ptr: esta columna corresponde a un entero que es usado en el ajuste en fin de semana para cada temporada (A, B, C, D, E), para cada una de las 24 horas del día. Se definió un horario de operación de 6am a 3pm (código"*1010*").

Para fuentes móviles:

- HourlyGridSeason (A1, A2, B1, B2, C1, C2, D1, D2) Ptr: Se asumió un comportamiento igual tanto en fin de semana como en día hábil. Sin embargo, cada categoría vehicular tiene su propia distribución horaria, dependiendo del tipo de vía, para cada celda de la grilla. Las métricas usadas (que se encuentran definidas en la tabla *Hourlyadjustments*) fueron las siguientes:

- HrMetric10: Porcentaje de Actividad Vehicular para Vehículos Particulares
- HrMetric11: Porcentaje de Actividad Vehicular para Camión
- HrMetric12: Porcentaje de Actividad Vehicular para Bus

- HrMetric13: Porcentaje de Actividad Vehicular para Taxi
- HrMetric14: Porcentaje de Actividad Vehicular para Moto

FlowStartYear: Es un año que indica cuando inicia el flujo de proceso. Para todas las fuentes fijas se determinó como año de inicio el 2012, y para todas las móviles 2008, años desde los cuales se desea conocer la emisión.

FlowEndsYear: Es un año que indica cuando finaliza el flujo de proceso. Para todas las fuentes fijas se determinó como año de finalización el 2020, y para móviles 2030, años hasta los cual se desea conocer la emisión.

ReliabilityCode: Indica que tan confiable es la información para este flujo. Para todas las fuentes fijas se definió una clasificación de "*3*" que indica una confiabilidad por debajo del promedio, y para todas las fuentes móviles una clasificación de "2" que indica una confiabilidad promedio.

Comment: Espacio para realizar un comentario específico en cada fila, si es necesario.

Updated: Fecha más reciente en que el flujo del proceso fue ajustado. Para los dos tipos de fuentes la fecha es el 07 de Julio de 2014.

Scenario: Indica cuando se incluyen escenarios en la base de datos, esto con el fin de representar futuras opciones de control. Para este trabajo solo se estudió el caso base, lo cual se indica con un "*0*"en todas las filas.

ReplacedFlow: Es usado en caso de que se tengan en cuenta escenarios, e indica el flujo que el escenario está reemplazando.

Status: Todas las fuentes consideradas se clasificaron en *C*.

Anexo 3 Fracciones del número de vehículos por hora, por categoría vehicular y tipo de vía.

Hora	Vía Intermunicipal					Vía Municipal				
	Vehículo Particular	Buses	Camiones	Taxi	Moto	Vehículo Particular	Buses	Camiones	Taxi	Moto
0	0.0104	0.0163	0.0193	0.0051	0.0024	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.0069	0.0121	0.0165	0.0021	0.0016	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0065	0.0117	0.0164	0.0015	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0072	0.0140	0.0223	0.0013	0.0017	0.0005	0.0012	0.0027	0.0037	0.0016
4	0.0119	0.0219	0.0315	0.0015	0.0034	0.0052	0.0082	0.0101	0.0104	0.0056
5	0.0239	0.0350	0.0399	0.0375	0.0406	0.0181	0.0292	0.0286	0.0215	0.0205
6	0.0470	0.0561	0.0505	0.1273	0.1036	0.0263	0.0380	0.0320	0.0242	0.0349
7	0.0578	0.0621	0.0542	0.0393	0.1400	0.0501	0.0706	0.0475	0.0513	0.0542
8	0.0536	0.0568	0.0544	0.0564	0.0977	0.0625	0.0613	0.0900	0.0518	0.0685
9	0.0541	0.0519	0.0529	0.0722	0.0667	0.0706	0.0581	0.0773	0.0757	0.0711
10	0.0581	0.0489	0.0540	0.0408	0.0542	0.0717	0.0752	0.0669	0.0490	0.0605
11	0.0555	0.0500	0.0571	0.0590	0.0571	0.0641	0.0612	0.0708	0.0636	0.0673
12	0.0544	0.0519	0.0580	0.0655	0.0568	0.0737	0.0878	0.0692	0.1040	0.0659
13	0.0562	0.0519	0.0547	0.0232	0.0518	0.0613	0.0519	0.0697	0.0450	0.0604
14	0.0589	0.0544	0.0551	0.1320	0.0686	0.0616	0.0664	0.0593	0.0534	0.0612
15	0.0607	0.0582	0.0552	0.1965	0.0736	0.0795	0.0813	0.0738	0.0624	0.0669
16	0.0651	0.0595	0.0540	0.0556	0.0977	0.0747	0.0737	0.0679	0.0628	0.0761
17	0.0648	0.0595	0.0491	0.0097	0.0235	0.0683	0.0653	0.0531	0.0719	0.0894
18	0.0610	0.0524	0.0454	0.0095	0.0123	0.0559	0.0477	0.0470	0.0621	0.0706
19	0.0551	0.0460	0.0402	0.0107	0.0121	0.0597	0.0512	0.0425	0.0778	0.0500
20	0.0459	0.0411	0.0354	0.0106	0.0104	0.0361	0.0342	0.0274	0.0327	0.0324
21	0.0365	0.0347	0.0326	0.0134	0.0096	0.0356	0.0240	0.0392	0.0411	0.0288
22	0.0291	0.0291	0.0273	0.0179	0.0078	0.0186	0.0120	0.0204	0.0308	0.0117
23	0.0193	0.0246	0.0240	0.0114	0.0055	0.0060	0.0015	0.0048	0.0049	0.0022

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4 Registro de número de vehículos por año.

AÑO	AUTOMOVIL	BUS	CAMION	MOTOCICLETA	TAXIS
1981	12369	169	1511	1436	605
1982	14474	154	738	2416	696
1983	5394	140	351	2242	318
1984	4694	137	333	1580	264
1985	6332	84	252	927	298
1986	4154	134	290	906	216
1987	5407	102	440	1331	286
1988	7373	178	799	2309	418
1989	7534	206	727	2504	431
1990	6823	240	537	2773	409
1991	5476	333	373	2455	340
1992	6120	589	614	3528	426
1993	8641	1175	1938	5910	693
1994	10037	1180	2678	10536	956
1995	20977	737	3163	13469	1499
1996	11904	558	1844	13427	1083
1997	11791	537	1415	12010	1006
1998	20138	1232	1730	12165	1377
1999	10288	524	691	6529	704
2000	9234	658	460	4062	563
2001	6479	783	308	3956	450
2002	4754	962	598	3382	379
2003	3447	1171	844	5033	410
2004	2984	1210	1279	7347	501
2005	3215	1374	1291	14265	787
2006	4046	1561	3493	17007	1019
2007	7192	1915	9582	23359	1642
2008	9562	2107	6279	31151	1917
2009	7604	1466	3578	23954	1428
2010	5566	926	2093	22668	1219
2011	10806	1916	5129	21762	1546
2012	15370	3269	11756	23695	2110

Anexo 5 Grupos y actividades industriales.

Grupo Industrial	Actividad Industrial CIIU- 3AC
Alimentos	Actividades posteriores a la cosecha
	Comercio al por mayor de materias primas agropecuarias; animales vivos
	Comercio al por mayor de productos alimenticios
	Cultivo de cereales (excepto arroz), legumbres y semillas oleaginosas
	Descafeinado, tostión y molienda del café
	Destilación, rectificación y mezcla de bebidas alcohólicas
	Elaboración de aceites y grasas de origen vegetal y animal
	Elaboración de bebidas no alcohólicas, producción de aguas minerales y otras aguas embotelladas
	Elaboración de macarrones, fideos, alcuzcuz y productos farináceos similares
	Elaboración de panela
	Elaboración de productos de molinería
	Elaboración de productos lácteos
	Producción de malta, elaboración de cervezas y otras bebidas malteadas
	Procesamiento y conservación de frutas, legumbres, hortalizas y tubérculos
	Procesamiento y conservación de carne y productos cárnicos
Industria de la madera, carbón y petróleo	Aserrado, acepillado e impregnación de la madera
	Extracción de hulla (carbón de piedra)
	Extracción de madera
	La extracción de asfalto natural, rocas asfálticas y bitumen natural sólido.
	Fabricación de hojas de madera para enchapado; fabricación de tableros contrachapados, tableros laminados, tableros de partículas y otros tableros y paneles -
	Fabricación de otros artículos de papel y cartón
	Fabricación de papel y cartón ondulado (corrugado); fabricación de envases, empaques y de embalajes de papel y cartón
	Fabricación de productos de hornos de Carbón
	Fabricación de productos de la refinación del petróleo
Industria química	Comercio al por mayor de productos químicos básicos, cauchos y plásticos en formas primarias y productos químicos de uso agropecuario
	Fabricación de abonos y compuestos inorgánicos nitrogenados
	Fabricación de artículos de plástico n.c.p.
	Fabricación de formas básicas de caucho y otros productos de caucho, n.c.p.
	Fabricación de otros productos químicos n.c.p.

Grupo Industrial	Actividad Industrial CIIU- 3AC
	Fabricación de otros productos químicos n.c.p. La fabricación de fósforo
	Fabricación de otros productos químicos n.c.p. La fabricación de pegamento industrial
	Fabricación de plaguicidas y otros productos químicos de uso agropecuario
	Fabricación de sustancias y productos químicos básicos
Industria mineral	Extracción de halita (sal)
	Extracción de piedra, arena, arcillas comunes, yeso y anhidrita-Fabricación de materiales de arcilla para la construcción
	Fabricación de cemento, cal y yeso
	Fabricación de materiales de arcilla para la construcción
	Fabricación de materiales de arcilla para la construcción Fabricación de otros productos minerales no metálicos n.c.p.
	Fabricación de otros productos de cerámica y porcelana
	Fabricación de otros productos minerales no metálicos n.c.p.
	Fabricación de productos refractarios
	Fabricación de vidrio y productos de vidrio
Industria metalúrgica	Fabricación de otros productos elaborados de metal n.c.p.
	Fabricación de partes, piezas (autopartes) y accesorios (lujos) para vehículos automotores
	Fabricación de productos metálicos para uso estructural
	Forja, prensado, estampado y laminado de metal; pulvimetalurgia
	Fundición de hierro y de acero
	Fundición de metales no ferrosos
	Industrias básicas de hierro y de acero
	Industrias básicas de otros metales no ferrosos
	Tratamiento y revestimiento de metales; mecanizado
Otras industrias	Actividades de hospitales y clínicas, con internación
	Actividades de saneamiento ambiental y otros servicios de gestión de desechos
	Actividades veterinarias
	Construcción de obras de ingeniería civil
	Construcción de proyectos de servicio público
	Elaboración de alimentos preparados para animales
	Fabricación de computadoras y de equipo periférico
	Generación de energía eléctrica
	Otras industrias manufactureras n.c.p.
	Pompas fúnebres y actividades relacionadas. La prestación de servicios de sepultura y cremación.
	Preparación e hilatura de fibras textiles

Grupo Industrial	Actividad Industrial CIIU- 3AC
	Tratamiento y disposición de desechos no peligrosos
	Tratamiento y disposición de desechos peligrosos