



Universidad
Pontificia
Bolivariana



CONVENIO DE ASOCIACIÓN NO. CA 335 DE
2016

ACTUALIZACIÓN INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DEL VALLE DE ABURRÁ -AÑO 2015-

INFORME FINAL

MARZO DE 2017

**CONVENIO DE ASOCIACIÓN No.335 DE 2016
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE – SIGAIRE**

UN PROYECTO DE:

ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ
Eugenio Prieto Soto
Director

María del Pilar Restrepo Mesa
Subdirectora Ambiental

EJECUTA:

Universidad Pontificia Bolivariana
Grupo de Investigaciones Ambientales

María Victoria Toro Gómez I.Q. MSc. PhD.
Eliana Molina Vásquez I.S. MSc.
Juan Camilo Roldán Vargas I.Q. Esp.
María Isabel González Ospino I.Q. Esp.
María Luisa Jaramillo Jaramillo I.Ag. Esp.
Óscar Fabián Arcos Jiménez I.Q. Esp.
Alexis Orrego Villegas I. de S
Sebastián Ruiz Gómez I.Q.

Asesor Internacional.
Marcelo Fernández Gómez I.I.

SUPERVISIÓN

Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Ana Zuleima Orrego Guarín. I.Q Esp.
Profesional Universitaria

Zoraida Piedrahita Calle. Adm. Esp.
Contratista de Apoyo a la Supervisión.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	7
1 INVENTARIO FUENTES MÓVILES.....	8
1.1 METODOLOGÍA	9
1.2 DATOS DE ENTRADA.....	13
1.2.1 Existencias y ventas de vehículos.....	13
1.2.2 Perfil de antigüedad de los vehículos existentes (Stock vintage profile).....	16
1.2.3 Kilometraje.....	18
1.2.4 Rendimiento de combustible	19
1.2.5 Factores de emisión.....	19
1.3 RESULTADOS	24
1.3.1 Demanda energética del parque automotor.....	24
1.3.2 Composición del parque automotor del Valle de Aburrá.....	26
1.3.3 Emisiones de contaminantes criterio.....	27
1.3.4 Emisiones de gases de efecto invernadero.....	31
2 INVENTARIO FUENTES FIJAS.....	33
2.1 METODOLOGÍA	33
2.2 RESULTADOS	38
2.2.1 Demanda energética.....	42
2.2.2 Emisión de contaminantes criterio.....	46
2.2.3 Emisiones de gases de efecto invernadero.....	49
2.2.4 Emisiones de contaminantes peligrosos.....	51
2.2.5 Análisis fuentes fijas por monitoreo isocinético	54
3 INVENTARIO FUENTES DE ÁREA	60
3.1.1 Metodología para la estimación de emisiones.....	61
3.1.2 Datos de entrada.....	62
3.1.3 Resultados.....	63
4 INVENTARIO DE EMISIONES DEL VALLE DE ABURRÁ.....	65
4.1 DEMANDA ENERGÉTICA	65
4.2 EMISIÓN DE CONTAMINANTES CRITERIO.....	66
4.3 EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.....	67
5 CONCLUSIONES.....	69

6 REFERENCIAS..... 72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Distribución del parque automotor en el modelo LEAP.....	9
Tabla 1.2. Existencias y ventas de vehículos registrados en el Valle de Aburrá para el año 2015	14
Tabla 1.3. Distribución porcentual del parque automotor por categoría vehicular, cilindraje y tipo de combustible para el año 2015.....	14
Tabla 1.4. Condiciones para los factores de emisión base.....	20
Tabla 1.5. Factores de corrección disponibles para los factores de emisión base.....	21
Tabla 1.6. Calendario de introducción de tecnologías vehiculares y contenido de azufre en el combustible en Colombia.....	22
Tabla 1.7. Factores de emisión de CO ₂ y SO ₂	23
Tabla 1.8. Demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá por categoría vehicular, año 2015.....	25
Tabla 1.9. Emisión de contaminantes criterio por categoría vehicular (Ton), año 2015.....	28
Tabla 1.10. Emisión de contaminantes criterio por tipo de combustible (Ton), año 2015.....	29
Tabla 1.11. Potenciales de Calentamiento Global.....	31
Tabla 1.12. Emisión de gases de efecto invernadero por categoría vehicular (Ton), año 2015	31
Tabla 2.1. Actividades productivas susceptibles de realizar descargas atmosféricas en el Valle de Aburrá.....	35
Tabla 2.2. Procesos o equipos generadores de emisiones en el Valle de Aburrá.....	36
Tabla 2.3. Poderes caloríficos de los combustibles usados por fuentes fijas en el Valle de Aburrá	38
Tabla 2.4. Equipos de Combustión por municipio y su combustible.....	41
Tabla 2.5. Demanda energética de las fuentes industriales del Valle de Aburrá, año 2016.....	43
Tabla 2.6 Demanda energética por sector productivo y tipo de combustible, año 2016.....	44
Tabla 2.7. Emisiones de contaminantes criterio por actividad productiva (Ton), año 2016.....	46
Tabla 2.8. Emisión de contaminantes criterio en el sector textil (Ton), año 2016.....	48
Tabla 2.9. Emisiones de contaminantes criterio por municipio (Ton), año 2016.....	48
Tabla 2.10. Emisiones de gases de efecto invernadero por actividad productiva (Ton), año 2016	50
Tabla 2.11. Emisiones de gases de efecto invernadero por municipio (Ton), año 2016.....	51
Tabla 2.12. Emisión de contaminantes peligrosos por sector productivo en el Vale de Aburrá (Ton), año 2016.....	52

Tabla 2.13. Emisión de contaminantes peligrosos por municipio en el Valle de Aburrá (Ton), año 2016.....	53
Tabla 2.14. Emisiones de los principales contaminantes medidos por actividad productiva (Ton), año 2016.....	57
Tabla 2.15. Emisión de principales contaminantes medidos en el sector textil (Ton), año 2016	58
Tabla 2.16. Emisiones de los principales contaminantes medidos por municipio (Ton), año 2016	59
Tabla 3.1. Factores de emisión de VOC para estaciones de servicio de combustible	62
Tabla 3.2. Consumo de gasolina en el Valle de Aburrá en el año 2015	62
Tabla 3.3. Consumo de diésel en el Valle de Aburrá en el año 2015	63
Tabla 3.4. Emisiones estimadas de VOC provenientes de la gasolina, año 2015 (ton/año).....	63
Tabla 3.5. Emisiones estimadas de VOC provenientes del diésel, año 2015 (ton/año)	64
Tabla 4.1. Demanda energética por tipo de fuente.....	65
Tabla 4.2. Emisiones totales de contaminantes criterio por tipo de fuente (Ton/año)	66
Tabla 4.3. Emisiones totales per cápita de contaminantes criterio (Ton/año)	67
Tabla 4.4. Emisiones totales de gases de efecto invernadero por tipo de fuente (Ton/año).....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Árbol de categorías vehiculares utilizado en el modelo LEAP	10
Figura 1.2. Perfil de antigüedad de la categoría <i>tractocamiones</i>	17
Figura 1.3. Perfil de antigüedad de la categoría <i>volquetas</i>	17
Figura 1.4. Kilometraje promedio anual recorrido por los vehículos en el Valle de Aburrá.....	19
Figura 1.5. Balance energético real y estimado, año 2015	24
Figura 1.6. Demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá por categoría vehicular, año 2015.....	26
Figura 1.7. Composición del parque automotor del Valle de Aburrá, año 2015.....	27
Figura 1.8. Distribución de emisiones de contaminantes criterio por categoría vehicular, año 2015.....	29
Figura 1.9. Distribución de emisiones por tipo de combustible (Ton), año 2015.....	30
Figura 1.10. Distribución de emisiones de gases de efecto invernadero por categoría vehicular, año 2015.....	32
Figura 2.1. Actividades desarrolladas para la elaboración del inventario de fuentes fijas.....	34
Figura 2.2. Empresas y fuentes de emisión fijas por municipio, año 2016.....	39
Figura 2.3. Empresas y fuentes de emisión fijas por actividad productiva, año 2016.....	40
Figura 2.4. Distribución de equipos por número de fuentes en el Valle de Aburrá	42
Figura 2.5. Distribución energética (TJ) de las fuentes fijas del Valle de Aburrá.....	43
Figura 2.6. Distribución energética según el sector productivo, año 2016	44
Figura 2.7. Distribución energética por actividad productiva y tipo de combustible, año 2016	45
Figura 2.8. Distribución de emisiones de contaminantes criterio de acuerdo a la actividad productiva, año 2016	47
Figura 2.9. Distribución de emisiones de contaminantes criterio por municipio, año 2016	49
Figura 2.10. Distribución de emisiones de gases de efecto invernadero de acuerdo a la actividad productiva, año 2016	50
Figura 2.11. Distribución de emisiones de gases de efecto invernadero por municipio, año 2016	51
Figura 2.12. Distribución de emisiones de contaminantes peligrosos de acuerdo a la actividad productiva, año 2016	53

Figura 2.13. Distribución de emisiones de contaminantes peligrosos por municipio, año 2016	54
Figura 2.14. Empresas y fuentes de emisión fijas medidas por municipio, año 2016	55
Figura 2.15. Empresas y fuentes de emisión fijas medidas por actividad productiva, año 2016	56
Figura 2.16. Distribución de emisiones de contaminantes criterio de acuerdo a la actividad productiva, año 2016	57
Figura 2.17. Distribución de emisiones de contaminantes criterio por municipio, año 2016...	59
Figura 3.1. Métodos para la recarga de tanques de almacenamiento de combustible	61
Figura 4.1. Distribución de emisiones de contaminantes criterio por tipo de fuente.....	66
Figura 4.2. Distribución de gases de efecto invernadero por tipo de fuente	68

INTRODUCCIÓN

El Convenio de Asociación No 335 de 2016 entre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Universidad Pontificia Bolivariana, tiene como objeto “Aunar esfuerzos técnicos, económicos y financieros para la implementación del plan operacional para enfrentar episodios críticos de contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá y realizar simulaciones especiales para la toma de decisiones como autoridad ambiental y de movilidad”.

En este informe se presentan los resultados de la actualización del inventario de emisiones de fuentes móviles al año 2015. Ésta consistió en una reclasificación del parque automotor de la región, separando la categoría *camiones* para crear dos nuevas categorías llamadas: *tractocamiones* y *volquetas*. Esto se realizó mediante el uso del modelo LEAP, estimando las emisiones de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero; además se calculó la demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá.

Adicionalmente, se actualizó el inventario de emisiones de fuentes de área y fuentes fijas del Valle de Aburrá. Esto último se realizó mediante la revisión de informes técnicos en el Sistema de Información Metropolitano del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

1 INVENTARIO FUENTES MÓVILES

La siguiente información es tomada de Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana (2015).

Los vehículos automotores contribuyen significativamente a la contaminación atmosférica, al cambio climático y a incrementar los problemas de salud pública; por esta razón las agencias de control de la contaminación se valen de inventarios de emisiones para formular los planes que vayan en pro de la calidad del aire (Kota, Zhang, Chen, Schade, & Ying, 2014).

Existen diferentes metodologías para la elaboración de un inventario de emisiones de fuentes móviles y su aplicación dependerá de consideraciones como la disponibilidad de datos, las características del parque automotor, el tamaño de la región objeto de estudio, entre otras (Reynolds & Broderick, 2000). El modelo LEAP permite el desarrollo de estudios de planeamiento energético integral y de mitigación de gases de efecto invernadero y otros contaminantes del aire (Sadri, Ardehali, & Amirnekoeei, 2014); ha sido utilizado por organizaciones en más de 150 países, entre ellos Colombia, donde universidades y entidades como la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) lo han empleado en diferentes proyectos. No obstante, fue en el Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2011, donde por primera vez se usó este modelo en Colombia para el análisis del transporte (Área Metropolitana del Valle de Aburrá-Universidad Pontificia Bolivariana, 2013), siendo nuevamente empleado en la actualización realizada para el año base 2013 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana, 2015).

En esta oportunidad se presenta la actualización del inventario de emisiones de fuentes móviles al año 2015, además, siguiendo las sugerencias del gremio de transporte de carga, se ha realizado un ajuste, separando las categorías *Tractocamiones* y *Volquetas*, las cuales se encontraban incluidas en la categoría *Camiones*. El cálculo de las emisiones, así como la demanda energética del parque automotor de la región se realizó utilizando el Sistema de Planteamiento de Alternativas Energéticas a Largo Plazo (LEAP, por sus siglas en inglés).

Adicionalmente, se actualizaron algunos factores de emisión de la categoría de *motocicletas* de 4 tiempos, los cuales fueron facilitados por una de las empresas ensambladoras de este tipo de vehículos que opera en la región. Esto con el fin de que los resultados obtenidos con el modelo LEAP se ajusten en mayor medida a la realidad que se presenta en el Valle de Aburrá.

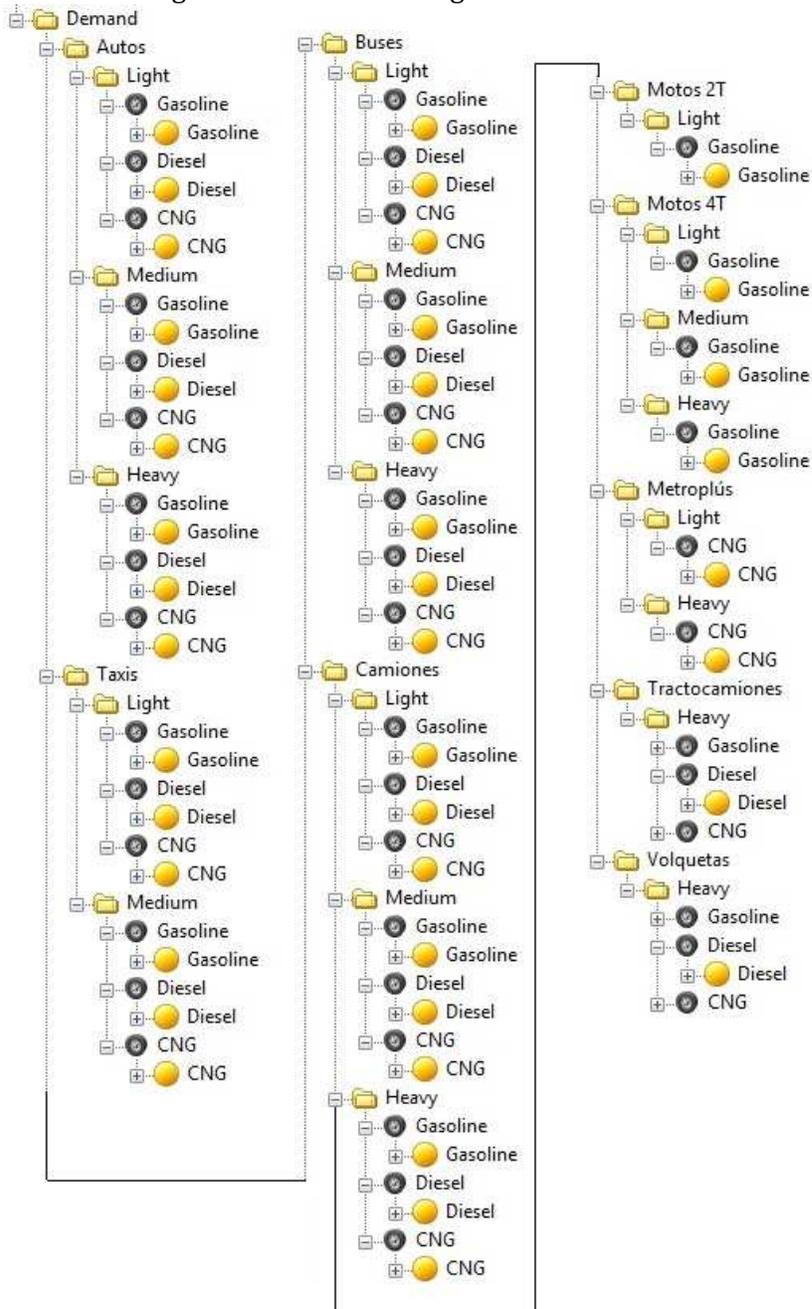
1.1 METODOLOGÍA

El modelo LEAP requiere que los datos del parque automotor sean distribuidos en tres (3) niveles a saber: sector, sub-sector y uso final. Igualmente es necesario ingresar datos para al menos un año base y asociar las variables “intensidad energética” y “factor de emisión” a cada componente del último nivel (uso final). La Tabla 1.1 presenta la distribución realizada en LEAP del parque automotor del Valle de Aburrá y en la Figura 1.1 se muestra la estructura de árbol del modelo.

Tabla 1.1. Distribución del parque automotor en el modelo LEAP

Sector	Sub-sector	Uso final	Variables
Tipo de vehículo -Autos -Taxis -Buses -Camiones -Motos 2T -Motos 4T -Metroplús -Tractocamiones -Volquetas	Tamaño -Livianos -Medianos -Pesados	Tecnología de conversión de energía: -Motor a gasolina -Motor a diésel -Motor a gas natural vehicular (GNV)	-Intensidad energética o rendimiento del combustible (MJ/100 km) -Factores de emisión (g/km o kg/T)

Figura 1.1. Árbol de categorías vehiculares utilizado en el modelo LEAP



Ahora se retoma la información presentada por Área Metropolitana del Valle de Aburrá-Universidad Pontificia Bolivariana (2013), en donde se describen las variables de entrada al modelo LEAP:

a) Existencias (Stock) y Ventas (Sales)

Cuando se llevan a cabo Análisis de Transporte o Análisis de Existencias en el modelo LEAP, es necesario especificar información acerca de las existencias (*stock*) y ventas (*sales*) de vehículos. Esta información es útil cuando se quiere modelizar el costo de una nueva tecnología o en situaciones en que se quiere simular cómo una nueva eficiencia energética, rendimiento de combustible o estándar de emisión se trasladará a una mejora gradual en el parque automotor.

De este modo, para el escenario base se especifican las existencias de vehículos y un perfil de ciclo de vida describiendo la distribución etaria de los mismos, junto con las ventas de vehículos en dicho año base.

b) Kilometraje (Mileage)

El kilometraje se define como la distancia anual recorrida por un vehículo. El modelo permite seleccionar entre varias unidades de longitud estándar y especificar un perfil de ciclo de vida describiendo como cambia el kilometraje cuando el vehículo envejece, sin embargo, si no se tiene información, se asume que el kilometraje permanece constante en el tiempo.

Cuando se introduce la información sobre el kilometraje, es importante especificar los valores históricos, para que el modelo calcule adecuadamente el valor promedio para las existencias en el año base, pues si se introduce un solo valor el modelo asume que este se aplica a todos los vehículos vendidos en los años previos.

c) Rendimiento de combustible (Fuel economy)

El rendimiento de combustible se define como el consumo de energía por unidad de distancia recorrida por el vehículo (o su inverso, por ejemplo, kilómetros/galón). En el escenario base se puede seleccionar varias unidades estándar que incluyen millas/galón, litros/kilómetro, MJ/km, entre otras.

Adicionalmente se puede especificar un perfil de ciclo de vida que describa cómo el rendimiento de combustible empeora a medida que el vehículo envejece. Aquí se debe tener cuidado, pues en el caso de un rendimiento en unidades de distancia/volumen de combustible, el perfil de ciclo de vida debe ser constante o disminuir, y en el caso de datos especificados en unidades de volumen de combustible/distancia, el perfil debe ser constante o aumentar. En caso de no tener información sobre como el rendimiento de combustible varía con el tiempo, el perfil de ciclo de vida se deja como un valor constante por defecto.

d) Factores de emisión (Emission factor)

Las cargas ambientales originadas por el consumo de combustible del parque automotor se especifican como un efecto (emisión de un contaminante) por unidad de energía consumida o por unidad de distancia recorrida. Durante el cálculo, el software multiplica la carga ambiental por la cantidad total de energía consumida o el kilometraje total recorrido por todos los vehículos.

En cuanto al modelo de cálculo utilizado por el modelo LEAP para la estimación de emisiones de contaminantes y la demanda de energía, a continuación se describen las principales ecuaciones utilizadas (Heaps, 2012).

e) Rotación de las existencias de vehículos

Ecuación 1.1
$$Stock_{t,y,v} = Sales_{t,v} \times Survival_{t,y-v}$$

Donde:

t es el tipo de vehículo.

v es el modelo del vehículo.

y es el año calendario.

$Sales$ es el número de vehículos que entran al parque automotor en un año en particular, puede calcularse con información sobre las ventas históricas.

$Stock$ es el número de vehículos existentes en un año en particular.

$Survival$ es la fracción de vehículos que sobreviven después de un determinado número de años.

f) Rendimiento del combustible

Ecuación 1.2
$$FuelEconomy_{t,y,v} = FuelEconomy_{t,y} \times FeDegradation_{t,y-v}$$

Donde:

$FuelEconomy$ es el combustible utilizado por unidad de distancia recorrida por el vehículo.

$FeDegradation$ es un factor que representa el cambio en el rendimiento de combustible a medida que el vehículo envejece. Es igual a 1 cuando $y=v$.

g) Kilometraje

Ecuación 1.3 $Mileage_{t,y,v} = Mileage_{t,y} \times MiDegradation_{t,y-v}$

Donde:

Mileage es la distancia anual recorrida por el vehículo.

MiDegradation es un factor que representa el cambio en el kilometraje a medida que el vehículo envejece. Es igual a 1 cuando $y=v$.

h) Consumo de energía

Ecuación 1.4 $EnergyConsumption_{t,y,v} = Stock_{t,y,v} \times Mileage_{t,y,v} \times FuelEconomy_{t,y,v}$

i) Emisión de contaminantes basada en la distancia (e.g. contaminantes criterio)

Ecuación 1.5 $Emission_{t,y,v,p} = Stock_{t,y,v} \times Mileage_{t,y,v} \times EmissionFactor_{t,v,p} \times EmDegradation_{t,y-v,p}$

Donde:

p es cualquier contaminante criterio.

EmissionFactor es la emisión de contaminante p (e.g. gramos/kilómetro) de un vehículo nuevo de modelo v .

EmDegradation es un factor que representa el cambio en el factor de emisión del contaminante p a medida que el vehículo envejece. Es igual a 1 cuando $y=v$.

j) Emisión de contaminantes basada en la energía (e.g. CO₂ y otros gases de efecto invernadero)

Ecuación 1.6 $Emission_{t,y,v,p} = EnergyConsumption_{t,y,v} \times EmissionFactor_{t,v,p} \times EmDegradation_{t,y-v,p}$

1.2 DATOS DE ENTRADA

1.2.1 Existencias y ventas de vehículos

La Tabla 1.2 presenta el número de vehículos registrados en la región divididos en existencias (stock) y ventas (sales). Los datos fueron proporcionados por las Secretarías de Transporte y Tránsito de los municipios que conforman el Valle de Aburrá y se tomaron en cuenta

únicamente los vehículos activos, perteneciendo a la categoría “stock” los vehículos de modelo anterior a 2015 y a la categoría “sales” los vehículos de modelo 2015.

Tabla 1.2. Existencias y ventas de vehículos registrados en el Valle de Aburrá para el año 2015

Categoría vehicular	Existencias	Ventas	Total
Automóviles	469.455	32.439	501.894
Taxis	44.606	5.256	49.862
Buses	18.909	1.033	19.942
Camiones	26.215	1.920	28.135
Motocicletas 2 Tiempos	19.765	0	674.128
Motocicletas 4 Tiempos	576.238	78.125	
Metroplús	318	76	394
Tractocamiones	6.767	811	7.578
Volquetas	3.812	339	4.151
TOTAL	1.166.085	119.999	1.286.084

Fuente: Secretarías de Tránsito y Transporte y Movilidad AMVA

Debido a que los datos fueron recolectados en el año 2014, la cantidad de vehículos modelo 2015 registrados en las secretarías no era suficiente para reflejar realmente las ventas de vehículos en el año base considerado. Por lo tanto, se realizó una estimación a partir de las ventas en los inventarios anteriores y así se proyectó un número más ajustado a la realidad para el año 2015.

La distinción entre motocicletas de 2 y 4 tiempos y otra que se explicará más adelante, se realizó gracias a los registros de los Centros de Diagnóstico Automotor (CDAs) proporcionados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

El modelo LEAP requiere no solo la cantidad de vehículos por categoría, sino también una discriminación por rango de cilindraje y tipo de combustible (ver Figura 1.1). Para la distribución por tipo de combustible se utilizaron los datos de los CDAs ubicados en el Valle de Aburrá, analizando registros de 31 establecimientos para el año 2013, los cuales representan más de 324.000 vehículos, es decir, aproximadamente un 30% del total del parque automotor de ese año, lo que se constituye en una muestra representativa. La Tabla 1.3 muestra la distribución porcentual vehicular, discriminada por rango de cilindraje y tipo de combustible.

Tabla 1.3. Distribución porcentual del parque automotor por categoría vehicular, cilindraje y tipo de combustible para el año 2015

	EXISTENCIAS	VENTAS
AUTOS	40.3%	27.0%
----- Livianos (cc ≤ 1500)	46.0%	36.0%
Gasolina	71,6%	75.0%
Diésel	26.7%	0,0%

GNV	1.7%	25.0%
Medianos (1500 < cc ≤ 3000)	48.0%	62.0%
Gasolina	65.1%	75.0%
Diésel	28.7%	25.0%
GNV	6.2%	0,0%
Pesados (cc > 3000)	6.0%	2.0%
Gasolina	65.1%	65.1%
Diésel	20.1%	20.1%
GNV	14.8%	14.8%
TAXIS	3.8%	4.4%
Livianos (cc ≤ 1500)	69.0%	61.0%
Gasolina	48.5%	33.0%
Diésel	31.4%	33.0%
GNV	20.1%	34.0%
Medianos (1500 < cc ≤ 3000)	31.0%	39.0%
Gasolina	53.3%	53.3%
Diésel	19.1%	19.1%
GNV	27.6%	27.6%
BUSES	1.6%	0.9%
Livianos (cc ≤ 3000)	36.0%	8.0%
Gasolina	31.4%	31.5%
Diésel	55.7%	56.1%
GNV	12.9%	12.4%
Medianos (3000 < cc ≤ 6000)	57.0%	89.0%
Gasolina	3.0%	0.0%
Diésel	84.1%	100.0%
GNV	12.9%	0,0%
Pesados (cc > 6000)	7.0%	3.0%
Gasolina	2.7%	4.8%
Diésel	83.3%	24.2%
GNV	14.0%	71.0%

	EXISTENCIAS	VENTAS
CAMIONES	2.2%	1.6%
Livianos (cc ≤ 3000)	25.0%	12.0%
Gasolina	8.1%	8.1%
Diésel	83.8%	83.8%
GNV	8.1%	8.1%
Medianos (3000 < cc ≤ 6000)	54.0%	51.0%
Gasolina	4.9%	4.9%
Diésel	86.0%	86.0%
GNV	9.1%	9.1%
Pesados (cc > 6000)	21.0%	37.0%

Gasolina	2.6%	2.6%
Diésel	89.5%	89.5%
GNV	7.9%	7.9%
MOTOS 2T	1.7%	-
Livianos (cc ≤ 100)	<i>100,0%</i>	-
Gasolina	100,0%	-
MOTOS 4T	49.4%	65.1%
Livianos (cc ≤ 100)	<i>31.0%</i>	<i>14.0%</i>
Gasolina	100,0%	100,0%
Medianos (100 < cc ≤ 300)	<i>66.0%</i>	<i>85,0%</i>
Gasolina	100,0%	100,0%
Pesados (cc > 300)	<i>3.0%</i>	<i>1.0%</i>
Gasolina	100,0%	100,0%
METROPLÚS	0.03%	0.06%
Livianos (cc ≤ 3000)	<i>79.0%</i>	<i>87.0%</i>
GNV	100,0%	100,0%
Pesados (cc > 6000)	<i>21.0%</i>	<i>13.0%</i>
GNV	100,0%	100,0%
TRACTOCAMIONES	0.6%	0.7%
Pesados (cc > 6000)	<i>100,0%</i>	-
Diésel	100,0%	-
VOLQUETAS	0.3%	0.30%
Pesados (cc > 6000)	<i>100,0%</i>	-
Diésel	100,0%	-

Fuente: Subdirección de Movilidad AMVA, Secretarías de Transporte y Tránsito y CDAs Valle de Aburrá

En las columnas Existencias y Ventas de la Tabla 1.3 los números en negrita suman 100% (corresponde a las categorías *autos, taxis, buses, camiones, motos 2T, motos 4T, Metroplús, tractocamiones y volquetas*); los números en cursiva suman 100% dentro de cada categoría vehicular (corresponde a las subcategorías livianos, medianos, pesados) y los números en tipografía normal suman 100% dentro de cada subcategoría (corresponde a las tecnologías a gasolina, diésel y gas natural vehicular-GNV).

1.2.2 Perfil de antigüedad de los vehículos existentes (*Stock vintage profile*)

El perfil de antigüedad de los vehículos existentes es un perfil de ciclo de vida que describe la distribución etaria del parque automotor. En este caso se presentan los perfiles de las categorías *tractocamiones y volquetas*, que fueron las que se adicionaron en esta actualización del inventario. En el Anexo A se presentan los perfiles para las demás categorías vehiculares contempladas.

Estos perfiles se construyen a partir de los datos proporcionados por las Secretarías de Transportes y Tránsito de los diferentes municipios y los datos de los Centros de Diagnóstico Automotor.

Figura 1.2. Perfil de antigüedad de la categoría *tractocamiones*

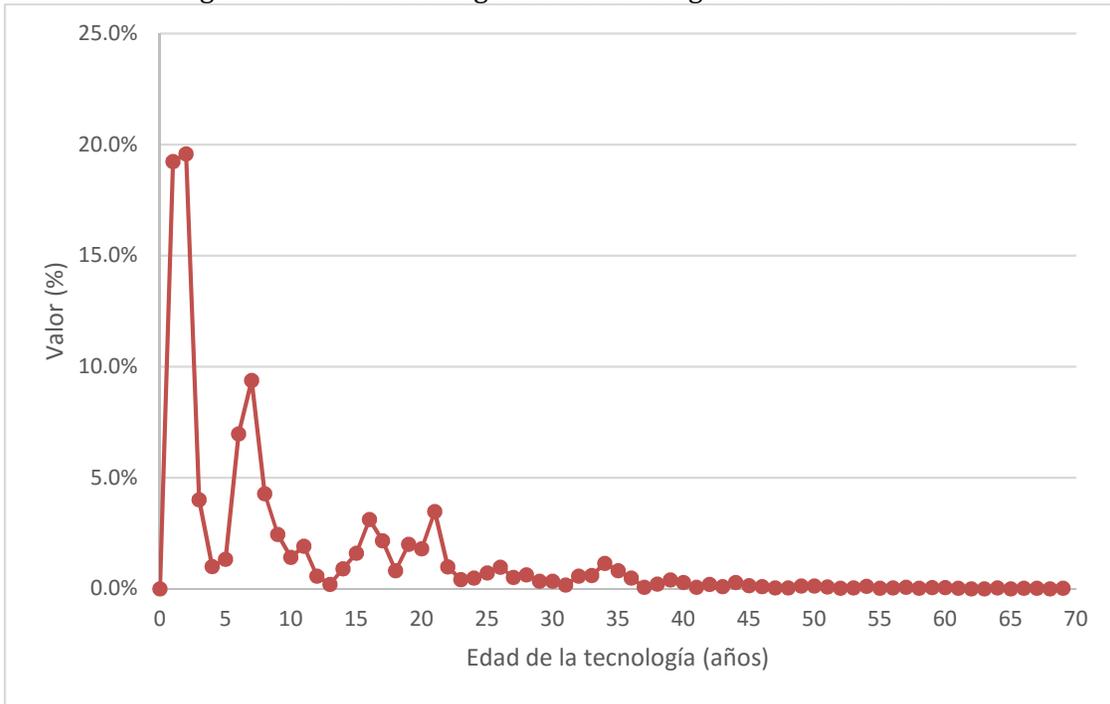


Figura 1.3. Perfil de antigüedad de la categoría *volquetas*



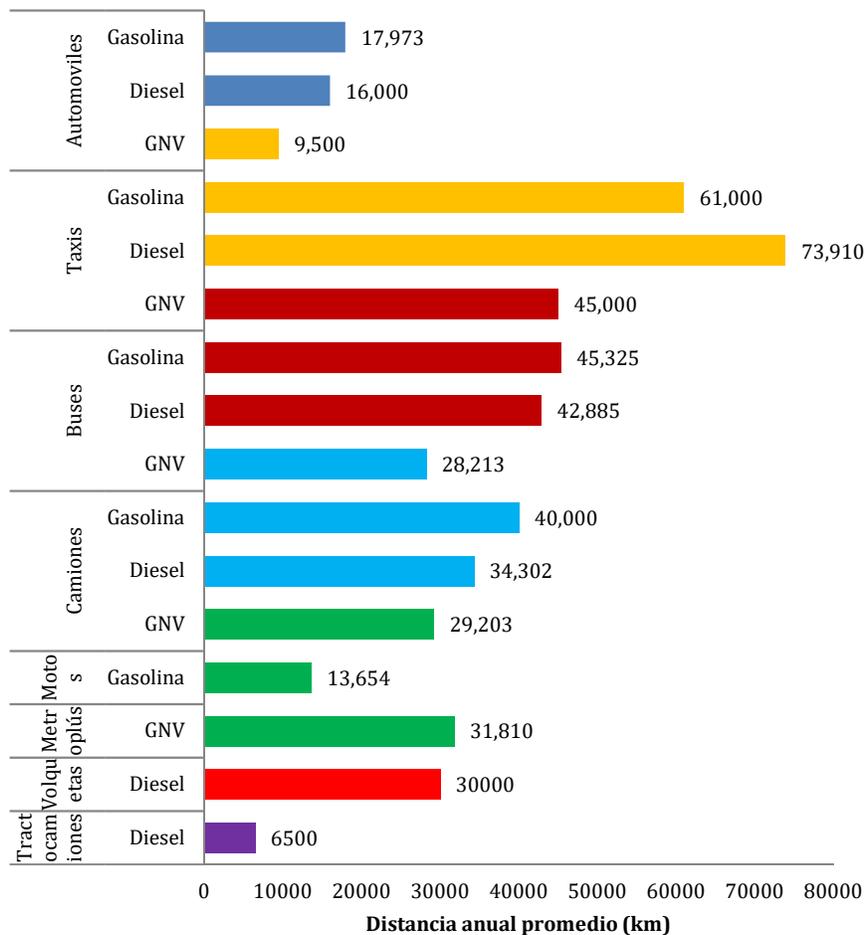
1.2.3 Kilometraje

La distancia anual recorrida por vehículo (también conocido como VKT, *Vehicle Kilometer Travelled*) fue estimada a partir de diferentes fuentes. En el caso de autos y motocicletas, se obtuvo datos de concesionarios del Valle de Aburrá; además, se contó con la colaboración de una empresa ensambladora de motos de la región, la cual aportó información relevante en este aspecto. En el caso del sistema Metroplús se obtuvo información de movilidad del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y, para la categoría de tractocamiones los datos se estimaron a partir de información suministrada por el gremio de transporte de carga. En este caso, se asume que, de la distancia total recorrida por un tractocamión en un año, apenas una pequeña fracción se realiza dentro del Valle de Aburrá.

Para las demás categorías se mantuvo los datos del Inventario 2011 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana, 2013), los cuales se obtuvieron a través de las ventas de vehículos en páginas web.

Es importante anotar que solo se requiere una estimación inicial del kilometraje (VKT_0), pues esta variable se ajusta junto con el rendimiento del combustible hasta cerrar el balance energético, es decir, hasta que la demanda total de energía estimada en el modelo LEAP sea igual a la demanda de energía calculada a partir de los consumos de gasolina, diésel y gas natural vehicular en el Valle de Aburrá. Así, al ajustar el balance energético se estimaron las distancias anuales promedio recorridas en el primer año de vida, cuyos valores se presentan en la Figura 1.4 y fueron calculados como promedios ponderados de acuerdo a la categoría vehicular y al tipo de combustible.

Figura 1.4. Kilometraje promedio anual recorrido por los vehículos en el Valle de Aburrá



1.2.4 Rendimiento de combustible

Al igual que en el Inventario 2011 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana, 2013), la información relacionada con el rendimiento de combustible fue obtenida del modelo International Vehicle Emissions, IVE, el cual fue desarrollado por el International Sustainable Systems Research Center (Davis, Lents, Osses, Nikkila, & Bart, 2005). Además, para la categoría *motocicletas* se obtuvo información por parte de una empresa ensambladora de este tipo de vehículos asentada en la región.

1.2.5 Factores de emisión

Retomando la información de Área Metropolitana del Valle de Aburrá-Universidad Pontificia Bolivariana (2013), se tiene que un factor de emisión vehicular se define como la relación entre una cantidad emitida de determinado contaminante por longitud y usualmente es expresado

en gramos/kilómetro. Los factores de emisión utilizados en este inventario son los del modelo International Vehicle Emissions, IVE (Davis, Lents, Osses, Nikkila, & Bart, 2005), el cual posee factores de emisión para aproximadamente 450 tecnologías vehiculares clasificadas de acuerdo al tipo de vehículo (p. ej. auto, bus/camión, motores pequeños), tipo de combustible (p. ej. gasolina, diésel, gas natural), peso (liviano, mediano, pesado), tipo de dispositivo para la mezcla aire/combustible (p. ej. carburador, inyección directa, inyección de combustible multipunto), control de emisiones por el tubo de escape (p. ej. catalizador, 3-vías/EGR–*exhaust gas recirculation*, Euro II) y tipo de control de las emisiones evaporativas (PCV, *positive crankcase ventilation*). Además, para cada una de las tecnologías hay un factor de emisión de acuerdo a la edad del vehículo, que se da en términos del kilometraje, así: <79.000 km, 80.000-161.000 km y >161.000 km.

De esta manera, para estimar las emisiones vehiculares con los factores de emisión IVE se aplica un factor de emisión base (B) con una serie de factores de corrección (K) para estimar la cantidad de contaminante (Q) de una variedad de tipos de vehículo, con Q en unidades de masa sobre tiempo o distancia:

Ecuación 1.7
$$Q_{[T]} = B_{[T]} \times K_{(1)[T]} \times K_{(2)[T]} \times \dots \times K_{(X)[T]}$$

Los factores de corrección para los factores de emisión pueden ser clasificados en varias categorías, de acuerdo a las variables locales y la calidad del combustible. Dichos factores fueron desarrollados usando datos de modelos de emisiones vehiculares existentes y se calcularon como la relación entre las emisiones del parámetro modelado indicado y la emisión base para cada tecnología. En la Tabla 1.4 se presentan las condiciones a las que están dados los factores de emisión base (BER, *Base Emission Rate*) y en la Tabla 1.5 los factores de corrección disponibles.

Tabla 1.4. Condiciones para los factores de emisión base

VARIABLES LOCALES	VARIABLES DE CALIDAD DEL COMBUSTIBLE
-Temperatura ambiente = 25°C -Humedad del ambiente = 50% -Altura = 950 msnm -Programas de inspección y mantenimiento (I/M) = no	-Gasolina = moderada/premezclada, motor de 2 tiempos -Azufre en la gasolina = moderado, 300 ppm -Plomo en la gasolina = no -Benceno en la gasolina = moderado, 1,5% -Gasolina oxigenada = 10% -Diésel = moderado -Azufre en el diésel= moderado, 50 ppm

Fuente: Attachment A, Development of the Base Emission Rates for Use in the IVE Model.

Tabla 1.5. Factores de corrección disponibles para los factores de emisión base

Variables locales	Variables de calidad del combustible
Temperatura ambiente	Gasolina
Humedad del ambiente	Azufre en la gasolina
Altura	Benceno en la gasolina
Programas de inspección y mantenimiento (I/M)	Gasolina oxigenada
	Diesel
	Azufre en el diesel

Fuente: Attachment B, Development of the Correction Factors for Use in the IVE Model.

Por otra parte, es necesario especificar un calendario de introducción de tecnologías vehiculares con el fin de seleccionar adecuadamente los factores de emisión base y los factores de corrección. Dicho calendario se presenta en la Tabla 1.6, el cual fue construido para el inventario 2011 con información de campo y del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, además se asume que si el combustible no cumple con los requerimientos de plomo y azufre de las tecnologías Euro, éstas no son introducidas al país.

Se debe tener en cuenta que, por ejemplo, este calendario tenía proyecciones acerca del contenido de azufre en la gasolina que a 2015 no se han alcanzado, por lo que en este caso se sigue utilizando un combustible de 300 ppm de azufre.

Tabla 1.6. Calendario de introducción de tecnologías vehiculares y contenido de azufre en el combustible en Colombia

Tipo de combustible y tecnología vehicular		1990 y antes	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
		Gasolina	Control de emisiones por el tubo de escape	Ninguno						Catalizador de 2 ó 3 vías												Euro II		Euro III				Euro IV														
Dispositivo para la mezcla aire/combustible	Carburador		SPFI				MPFI																																			
S (ppm) - Colombia	1000												300		150				50																							
S (ppm) - Bogotá	1000												300		150				50																							
S (ppm) - Medellín	1000												300		150				50																							
Diesel	Control de emisiones por el tubo de escape	Pre Euro												Euro II*		Euro IV				Euro V																						
	Dispositivo para la mezcla aire/combustible	Inyección en pre-cámara						Inyección directa																																		
	S (ppm) - Colombia	4500												4000	3000	2500	500		50				10																			
	S (ppm) - Bogotá	4500												1200	500	50												10														
S (ppm) - Medellín	4500												4000	3000	2500	500	50				10																					

SPFI: Inyección de combustible monopunto (*Single Point Fuel Injection*). MPFI: Inyección de combustible multipunto (*Multi Point Fuel Injection*).

*Euro IV en Sistemas Integrados de Transporte Masivo desde enero de 2010 en Bogotá, y en Sistemas de Transporte Público de Pasajeros desde julio de 2010 en Bogotá y desde enero de 2011 en Medellín.

Entonces, los factores de emisión base en este estudio son seleccionados acorde con las tecnologías vehiculares disponibles y corregidos de acuerdo a las condiciones del Valle de Aburrá, que son: humedad del 68%, altura de 1.538 msnm, contenido de azufre en la gasolina de 300 ppm, contenido de azufre en el diésel de 50 ppm (ECOPETROL, 2013) y contenido de etanol en la gasolina de 10% V/V (aunque el diésel también se encuentra mezclado con aceite de palma (10% V/V), no se hace corrección de los correspondientes factores de emisión debido a que el modelo IVE no dispone de factores de corrección para este tipo de mezcla). De esta manera, del modelo IVE se obtienen los factores de emisión para los contaminantes VOC, CO, NO_x, PM, NH₃, N₂O y CH₄. Es importante resaltar que las emisiones de partículas por los tubos de escape vehiculares se ubican principalmente en el rango de tamaño del PM_{2.5}, por lo tanto, todos los factores de emisión de PM corresponden a PM_{2.5} (European Environment Agency, 2017).

En cuanto a los factores de emisión de CO₂ y SO₂, estos se calculan por balance de masa asumiendo que todo el carbono y el azufre en el combustible se convierten en CO₂ y SO₂, suposición válida, pues, aunque se generan otros contaminantes derivados del carbono y el azufre, las cantidades son mínimas si se comparan con el CO₂ y SO₂ producido. En la Tabla 1.7 se presentan los respectivos factores de emisión calculados, en unidades de kilogramo/Terajoule.

En el Anexo B se reportan los factores de emisión para las categorías vehiculares contempladas en el presente inventario.

Tabla 1.7. Factores de emisión de CO₂ y SO₂

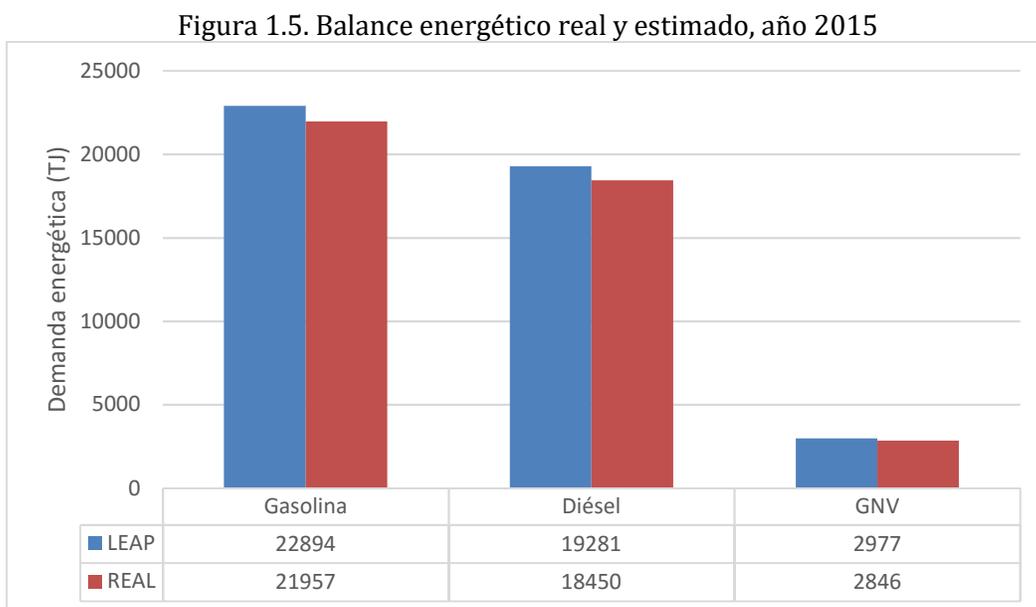
Combustible	PCI (MJ/kg) ¹	Contenido de C (%) ¹	Contenido de S (ppm) ²	Factor de emisión (kg/TJ)	
				CO ₂	SO ₂
Gasolina	45.02	86.5	300	70,450.4	13.33
Diésel	43.98	86.4	50	72,034.0	2.27
Gas natural vehicular	47.12	73.0	0.1	56,804.4	0.0042

¹ Unidad de Planeación Minero Energética. ² Ecopetrol.

1.3 RESULTADOS

1.3.1 Demanda energética del parque automotor

Una vez se ingresaron las variables de entrada al modelo LEAP, se ajustó el balance energético estimado y el real, lo cual se consiguió con una diferencia menor al 5%. La demanda de gasolina y diésel se obtuvo para el año 2015 por parte de la Unidad de Planeación Minero Energética y la demanda de Gas Natural Vehicular (GNV) para el mismo año se obtuvo de Empresas Públicas de Medellín. La Figura 1.5 muestra estos resultados.



Como se mencionó, se ajustó el kilometraje de los vehículos con el fin de cerrar el balance energético. Este ajuste del balance energético estimado al real asegura que las variables ingresadas al modelo como la eficiencia de combustible y el mismo kilometraje se asemejen al máximo a los datos reales, con lo cual disminuye también la incertidumbre de los resultados de emisiones, calculados con base en las variables anteriormente nombradas.

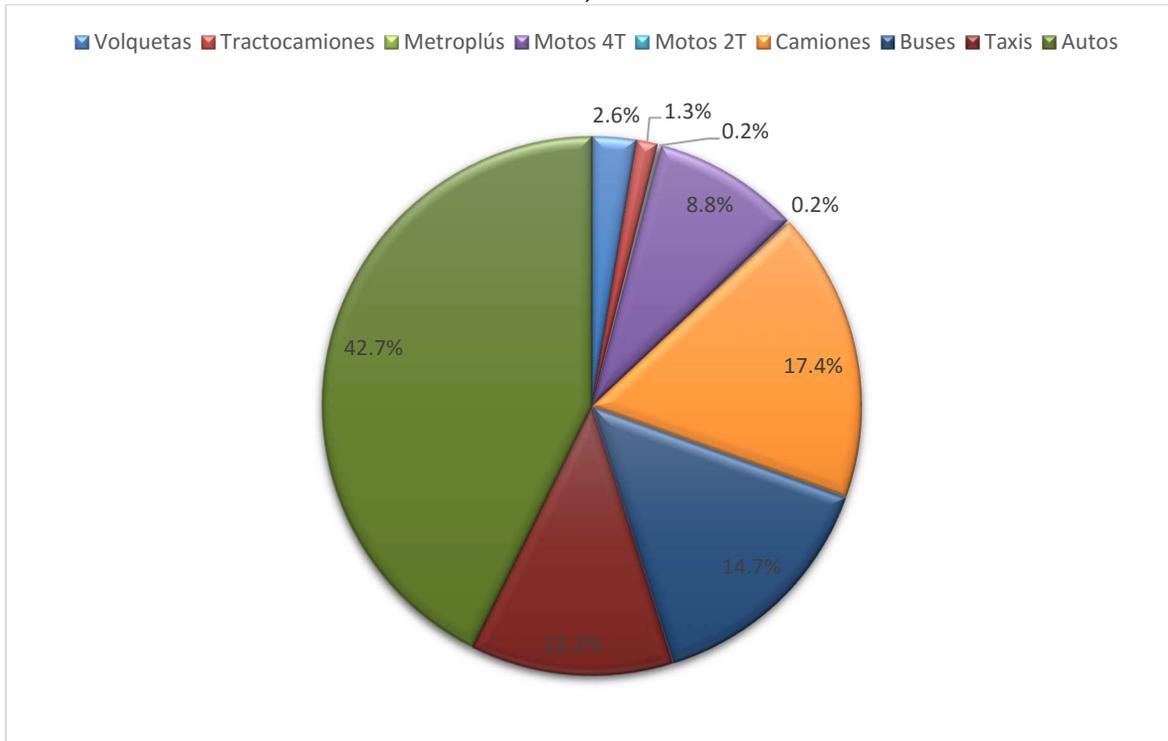
En ese orden de ideas, se procede a analizar la demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá discriminada por categoría vehicular (ver Tabla 1.8 y Figura 1.6). De acuerdo a los resultados del modelo LEAP, son los automóviles la categoría que lidera la demanda ya que, aunque no es la categoría que más recorre kilómetros anualmente según la Figura 1.4, ésta representa una gran parte del parque automotor en el Valle de Aburrá como puede evidenciar

en la Tabla 1.3. Luego de la categoría automóviles, las categorías que le siguen liderando la demanda energética son los camiones y los buses.

Tabla 1.8. Demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá por categoría vehicular, año 2015

Categoría	Combustible	Demanda Energética (TJ/año)	SubTotal (TJ/año)
Volquetas	Gasolina	-	1.192
	Diésel	1.192	
	GNV	-	
Tractocamiones	Gasolina	-	572
	Diésel	572	
	GNV	-	
Camiones	Gasolina	366	7.858
	Diésel	7.075	
	GNV	417	
Metroplús	Gasolina	-	96
	Diésel	-	
	GNV	96	
Buses	Gasolina	884	6.620
	Diésel	5.267	
	GNV	470	
Taxis	Gasolina	3.109	5.499
	Diésel	1.406	
	GNV	984	
Autos	Gasolina	14.490	19.269
	Diésel	3.768	
	GNV	1.011	
Motos 4T	Gasolina	3.971	3.971
	Diésel	-	
	GNV	-	
Motos 2T	Gasolina	74	74
	Diésel	-	
	GNV	-	
Total (TJ/año)			45.152

Figura 1.6. Demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá por categoría vehicular, año 2015

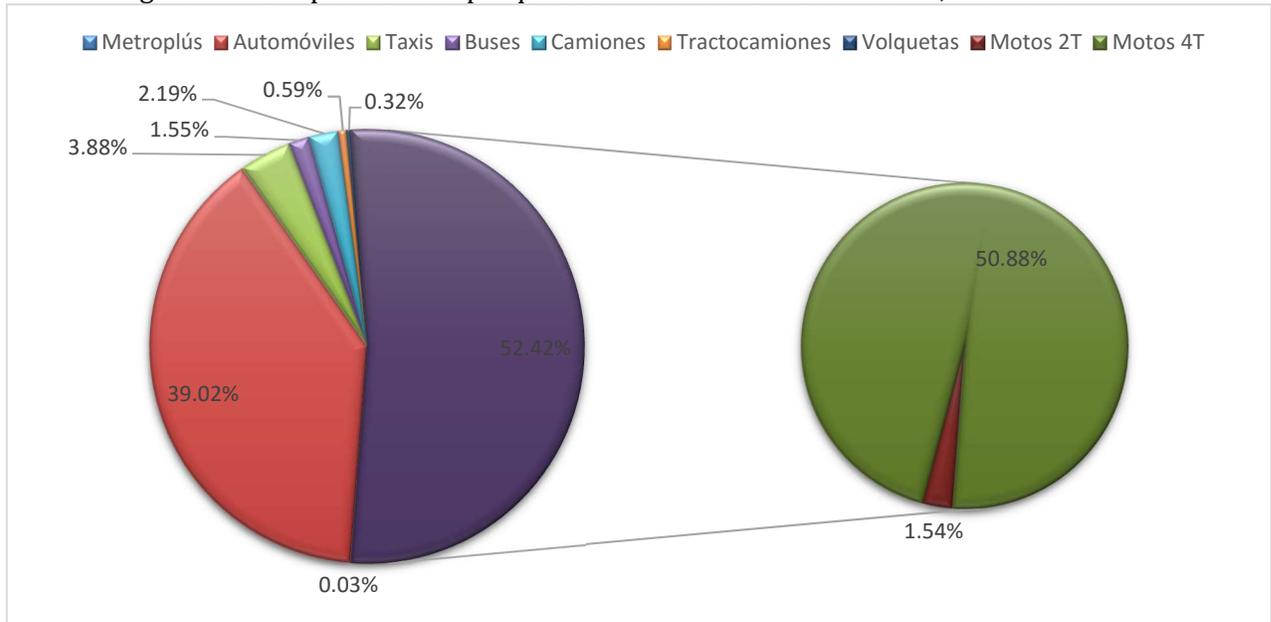


1.3.2 Composición del parque automotor del Valle de Aburrá

De acuerdo con los datos proporcionados por las Secretarías de Tránsito y Transporte de los diferentes municipios del Valle de Aburrá, el parque automotor estaba conformado en este año base por 1.286.084 vehículos, de los cuales la mayoría son *motocicletas* (ver Figura 1.7), seguida por la categoría *automóviles*.

Las categorías *tractocamiones* y *volquetas*, introducidas en la presente actualización del inventario de emisiones, corresponden al 0.6% y 0.3% del parque automotor respectivamente.

Figura 1.7. Composición del parque automotor del Valle de Aburrá, año 2015



1.3.3 Emisiones de contaminantes criterio

La Tabla 1.9 y la Figura 1.8 presentan las emisiones de contaminantes criterio discriminadas por categoría vehicular. Se observa que los camiones son los mayores emisores de NO_x y PM_{2.5}, aportando el 33% y 38% del total de emisiones de estos contaminantes respectivamente. Se destaca también el aporte que realizan las volquetas a este último contaminante.

A su vez, las emisiones de VOC son dominadas por las motocicletas 4 tiempos con el 38%, mientras que los automóviles son los mayores aportantes de CO (junto con los camiones) y SO_x (contribuyen con el 35% y 58% respectivamente), debido a su número y a que la mayoría utilizan gasolina como combustible, la cual tiene un porcentaje más elevado de azufre que el diésel.

Se destaca también la contribución de los automóviles y buses a las emisiones de NO_x; así como las emisiones de SO_x provenientes de las motocicletas 4T y taxis. Igualmente se resalta la participación de los automóviles y los camiones en las emisiones de VOC.

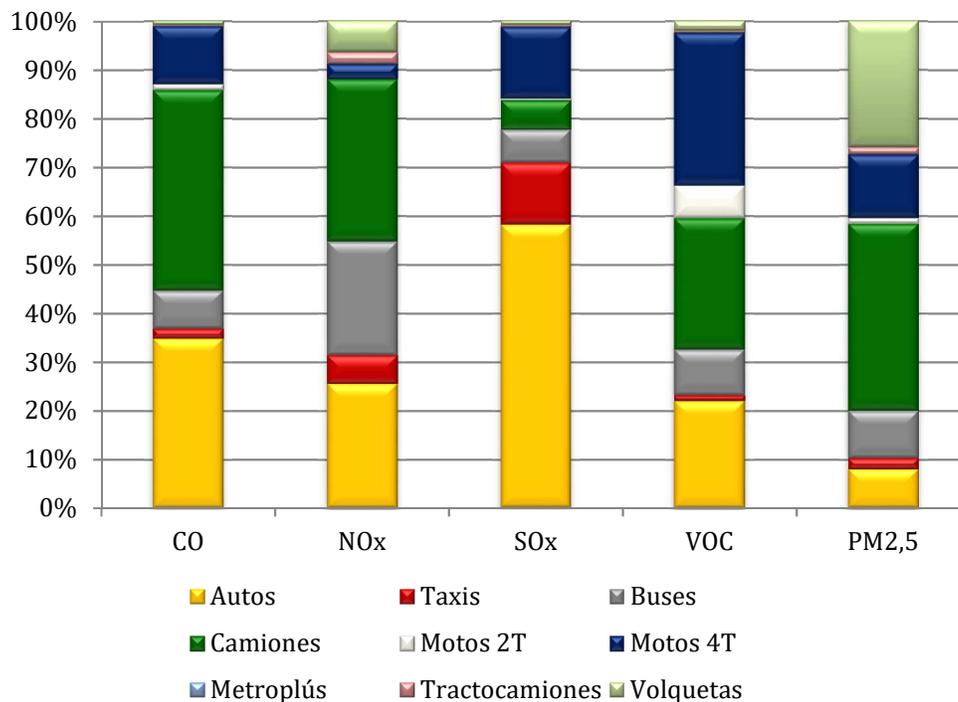
Lo que más se resalta en este punto es que los camiones, siendo una de las categorías con menor cantidad de vehículos, es la que mayor aporte hace a las emisiones. Esto se debe principalmente a la edad del parque automotor, puesto que existen vehículos con más años de antigüedad que

el promedio de las demás categorías, influyendo en la escogencia del factor de emisión y por tanto en el cálculo de las emisiones.

Tabla 1.9. Emisión de contaminantes criterio por categoría vehicular (Ton), año 2015

Categoría		CO	NOX	SOX	VOC	PM2.5
Autos	Ligeros	18.373	1.281	77	1.241	49
	Medianos	25.464	2.038	108	1.123	66
	Pesados	6.933	336	14	172	7
Taxis	Ligeros	1.606	549	28	91	27
	Medianos	1.234	286	15	38	6
Buses	Ligeros	6.525	797	12	542	32
	Medianos	3.613	2.098	10	410	90
	Pesados	1.308	435	1	131	24
Camiones	Ligeros	15.033	689	4	770	104
	Medianos	41.430	2.695	11	1.973	357
	Pesados	3.353	1.389	6	359	118
Metroplús	Ligeros	32	1	0	0	0
	Pesados	26	1	0	0	0
Tractocamiones	Pesados	301	337	1	55	22
Volquetas	Pesados	1.181	925	3	226	391
Motos 2T	Ligeros	1.782	2	1	772	17
Motos 4T	Ligeros	8.499	233	19	1.829	117
	Medianos	8.000	177	30	1.594	68
	Pesados	860	24	2	185	12
Total		145.552	14.293	342	11.510	1.508

Figura 1.8. Distribución de emisiones de contaminantes criterio por categoría vehicular, año 2015

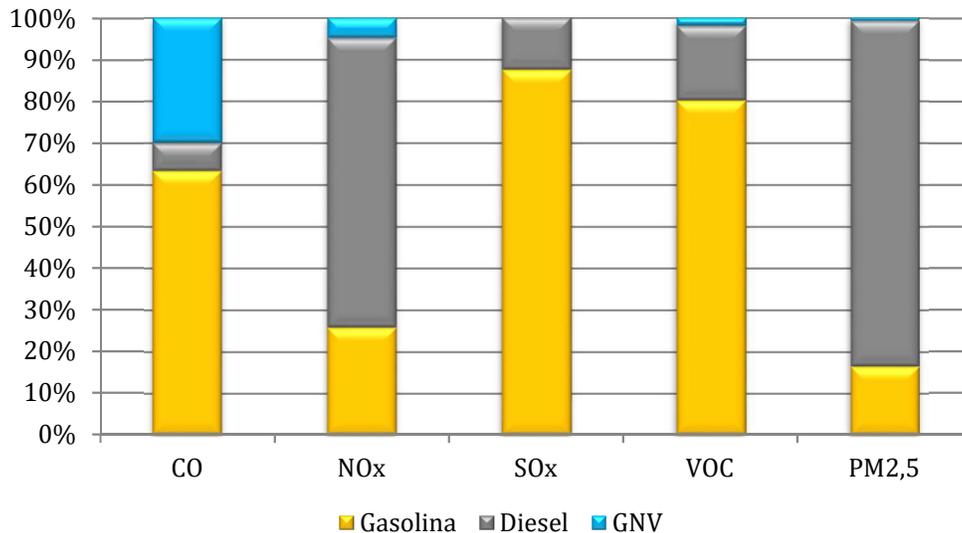


Las emisiones por tipo de combustible se presentan en la Tabla 1.10 y la Figura 1.9. Se observa que la gasolina es el principal responsable por las emisiones de CO, SOx y VOC, con el 63%, 87% y 80% respectivamente. El diésel es el principal aportante de NOx y PM2.5 con el 69% y el 83% de las emisiones de estos contaminantes. El GNV por su parte hace una contribución importante a las emisiones de CO con el 30%.

Tabla 1.10. Emisión de contaminantes criterio por tipo de combustible (Ton), año 2015

Combustible	CO	NOx	SOx	VOC	PM2,5
Gasolina	92.099	3.686	299	9.223	248
Diésel	9.764	9.910	43	2.059	1.248
GNV	43.689	697	0	227	11
Total	145.552	14.293	342	11.510	1.508

Figura 1.9. Distribución de emisiones por tipo de combustible (Ton), año 2015



Las características particulares de los motores de ciclo otto (gasolina) y de los motores de ciclo diésel hacen que los primeros presenten una eficiencia menor respecto a los segundos (Bergthorson, 2015). Esto redundo en una combustión menos completa y de ahí que las emisiones de CO sean superiores en la gasolina, pues los motores diésel consiguen transformar mejor el carbono del combustible en CO₂. Esto también se debe a que en los motores a gasolina la combustión se realiza por medio de una chispa generada por una bujía, lo cual hace que la eficiencia de la combustión dependa de la sincronización de los tiempos del motor y del octanaje del combustible, el cual, si no es el adecuado, causará una ignición fuera de tiempo, yendo en detrimento del objetivo de conseguir una combustión lo más cercana posible a la ideal.

De igual forma, las mayores emisiones de VOC por parte de la gasolina, se deben a que ésta está compuesta por elementos más volátiles que el diésel y a que además le son adicionados otros compuestos para mejorar su octanaje y así evitar los problemas mencionados antes. Por otra parte, la gasolina que se consume en el Valle de Aburrá tiene un máximo de 300 ppm de azufre, frente al diésel que cuenta con menos de 50 ppm; esto explica que las emisiones de SOx sean también dominadas por la gasolina.

Ahora bien, pese a que los motores diésel tienen mayor eficiencia que los motores a gasolina, presentan zonas más ricas en combustible que otras, como consecuencia de que no hay una mezcla previa de éste con el aire. De esta forma, hay zonas con combustible que no alcanza a quemarse completamente y ello conduce a la formación de material particulado, así mismo hay

zonas de altas temperaturas en donde el nitrógeno del aire se oxida y se generan elevadas concentraciones de NO_x (Bergthorson, 2015),

Finalmente, el hecho de que el GNV sea responsable por el 30% de las emisiones de CO se debe a que muchos de los vehículos que funcionan con este combustible, lo hacen también con gasolina; es decir, sus motores no fueron diseñados para trabajar con gas, lo cual conduce también a una combustión incompleta.

1.3.4 Emisiones de gases de efecto invernadero

Se analizaron las emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, así como de CO₂ equivalente utilizando los potenciales de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) presentados por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) en el 4° Reporte de Evaluación (Government of Canada, 2013). En la Tabla 1.11 se muestran los GWP usados.

Tabla 1.11. Potenciales de Calentamiento Global

Gas de efecto invernadero	GWP en 100 años
Dióxido de carbono	1
Metano	25
Óxido nitroso	298

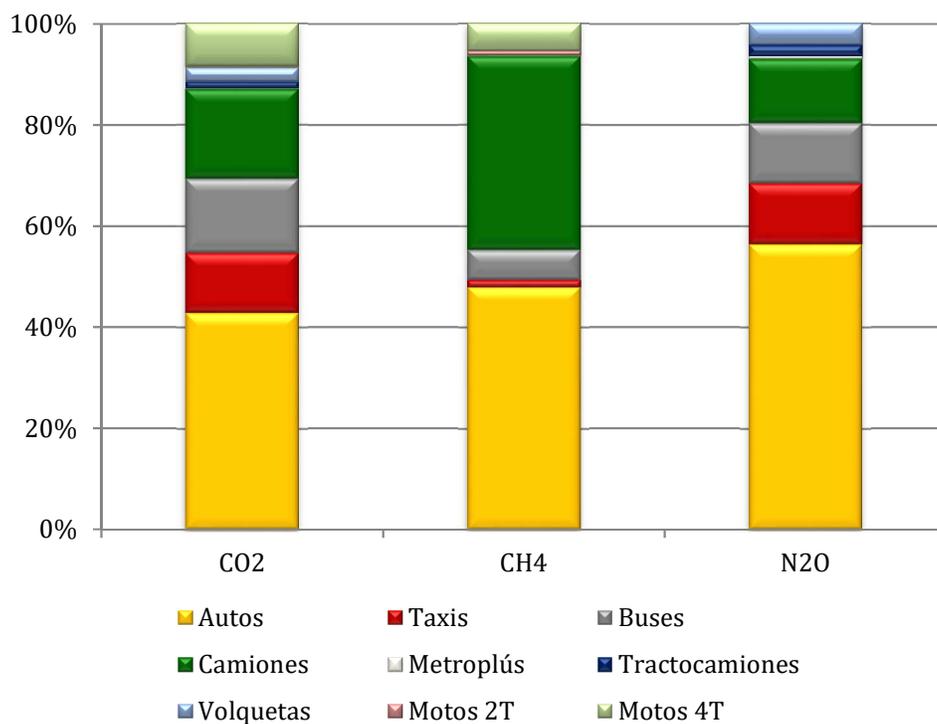
En la Tabla 1.12 y la Figura 1.10 se presentan las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de las fuentes móviles en el Valle de Aburrá. En éstas se observa que son los autos la categoría responsable por la mayoría de las emisiones de estos gases; no obstante, se resalta la contribución de la categoría camiones a las emisiones de metano (CH₄).

Tabla 1.12. Emisión de gases de efecto invernadero por categoría vehicular (Ton), año 2015

Categoría	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Autos	1.330.251	5.148	48

Taxis	367.436	150	10
Buses	457.124	641	10
Camiones	548.273	4.107	11
Metroplús	5.469	10	0
Tractocamiones	40.942	0	2
Volquetas	84.807	0	4
Motos 2T	5.218	101	0
Motos 4T	267.635	589	0
Total	3.107.155	10.747	85
CO2-eq	3.401.090		

Figura 1.10. Distribución de emisiones de gases de efecto invernadero por categoría vehicular, año 2015



2 INVENTARIO FUENTES FIJAS

En el marco del presente convenio se realizó la actualización del inventario de emisiones de fuentes fijas (modelo IEFI) para el año 2016. Ésta se desarrolló a través de la consulta de informes técnicos en el Sistema de Información Metropolitano.

A continuación, se explica la metodología para la estimación de las emisiones provenientes de fuentes fijas para el Valle de Aburrá, la cual se toma de Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana (2015).

2.1 METODOLOGÍA

La metodología para la estimación de emisiones provenientes de fuentes fijas es la que se ha venido trabajando hasta el momento en las más recientes actualizaciones del Inventario de Emisiones del Valle de Aburrá. A continuación, se explica el proceso mediante el cual se calculan dichas emisiones.

Las emisiones se calculan a través de factores de emisión, específicamente los de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos reportados en el AP-42 Compilation of Air Pollution Emission Factor **Fuente especificada no válida..** Para algunas actividades industriales también se utilizan los FE de la Agencia Ambiental Europea (EEA, por sus siglas en inglés) en conjunto con el Programa cooperativo para el monitoreo y la evaluación de contaminantes del aire de largo alcance de transmisión (EMEP, por sus siglas en inglés).

La ecuación general para la estimación de emisiones es:

$$\text{Ecuación 2.1} \quad E = A \times FE \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right)$$

Donde:

E es la emisión.

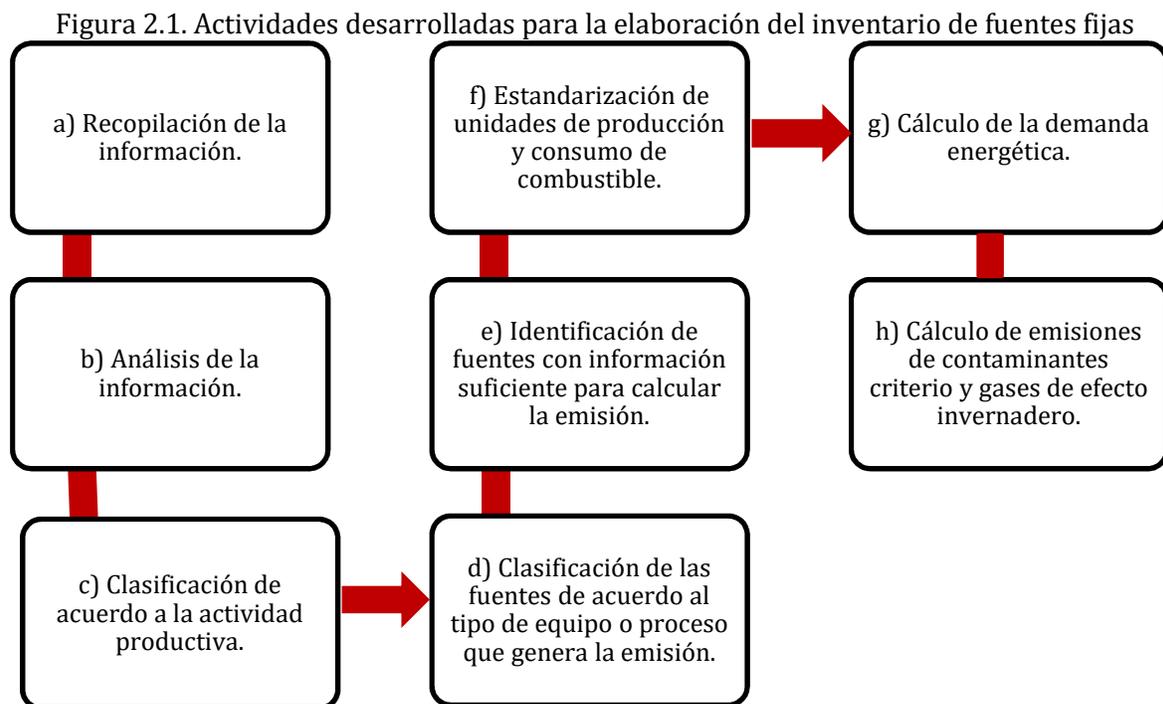
A es el nivel de actividad.

FE es el factor de emisión.

ER es la eficiencia del equipo de control de emisiones, %.

Cuando una fuente no cuenta con información suficiente para calcular sus emisiones mediante FE, se realiza la estimación a partir de los muestreos directos en las fuentes fijas. Las emisiones se calculan entonces con la concentración de contaminantes medida en el muestreo y para ello es necesario conocer el caudal en la chimenea, la temperatura y presión ambiental, y el porcentaje de oxígeno en los gases de combustión. Así es posible llevar la concentración del contaminante que se encuentra en unidades de mg/m³ en condiciones de referencia a flujo en unidades de kg/h.

En la Figura 2.1 se presenta el esquema que resume las actividades llevadas a cabo para la elaboración del inventario de fuentes fijas.



Fuente: Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2011.

a) Recopilación de la información

La actualización del inventario de emisiones de fuentes fijas se hace partiendo de la base de datos creada con la información suministrada por el grupo de Control y Vigilancia de la Subdirección Ambiental del Área Metropolitana del Valle de Aburrá; que se ha ido ampliando y completando a través de diferentes convenios. En ésta se cuenta con datos de las diferentes empresas como el nombre de las mismas, su ubicación, la descripción de la fuente fija, el tipo de combustible utilizado y su consumo, entre otros.

b) Análisis de la información

La información suministrada por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá es analizada con el fin de identificar qué empresas existentes hicieron cambios en el uso y/o consumo de combustible, retiraron fuentes de operación o ingresaron nuevas fuentes emisión; además se identifican las empresas que aún no se encuentran registradas en el inventario de emisiones.

De esta forma, a partir de la revisión de informes técnicos en el Sistema de Información Metropolitano, se actualizó la información de 1448 fuentes, pertenecientes a 432 empresas en el Inventario de Emisiones de Fuentes Industriales (IEFI).

c) Clasificación de acuerdo a la actividad productiva

El siguiente paso es clasificar las empresas de acuerdo a la actividad productiva y para ello se definen los doce sectores que se presentan en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Actividades productivas susceptibles de realizar descargas atmosféricas en el Valle de Aburrá

Actividad productiva	Descripción
BAT	Bebidas, Alimentos y Tabaco (incluido alimentos para animales).
TXT	Textil y de Confección. Procesamiento y producción de textiles. Incluye procesos de teñido.
CVL	Cerámicos y Vítreos; ladrilleras, alfareras, tejares e industrias de cerámica.
PAP	Papel, Cartón, Pulpa e Impresión.
PCE	Plásticos, Cauchos y Empaques; incluidas reencauchadoras, fabricación y procesamiento de llantas.
MMC	Metalmecánico; fundición y manejo de metales, hierro, metales no ferrosos, producción de maquinaria eléctrica y no eléctrica.
QMC	Química; producción de compuestos químicos, producción de jabones y detergentes, pinturas y resinas.
CUR	Cueros; curtimbres y calzado.
ASF	Derivados del petróleo; producción y procesamiento asfaltos y emulsiones asfálticas, explotación y tratamiento de triturados.
TER	Terciario; incluye empresas del sector terciario, comercial y de servicios que por su actividad posean calderas u hornos eléctricos, por ejemplo, hoteles, hospitales, cementerios, lavanderías y otros.
MAD	Aserriós, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera.
OTR	Otras Industrias. En este sector se agrupan las industrias que no se pueden clasificar en ninguna de las categorías anteriores.

d) Clasificación de las fuentes de acuerdo al tipo de equipo o proceso que genera la emisión

Ahora se procede a clasificar las fuentes de acuerdo al tipo de equipo o proceso que genera la emisión.

Tabla 2.2. Procesos o equipos generadores de emisiones en el Valle de Aburrá

Tipo de fuente	Descripción
Caldera (CAL)	Equipo de combustión externa que genera vapor a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase.
Horno (HOR)	Un horno es un dispositivo que genera calor y que lo mantiene dentro de un compartimento cerrado.
Cabina (CAB)	Cuarto aislado para realizar diferentes actividades generadoras de emisiones contaminantes, por ejemplo cabinas de pintura, cabinas de pulido, etc.
Sistemas de captación (CAP)	Sistemas colectores de polvo y otros contaminantes generados en diferentes áreas de trabajo.
Procesos de transferencia de masa (TMA)	Procesos para promover el contacto entre las fases y el desarrollo de la superficie interfacial a través de la cual se produce la transferencia de materia.
Procesos de impresión (IMP)	Procesos para la producción de textos e imágenes sobre una superficie.
Sistemas de extracción (EXT)	Sistema para la evacuación de gases y partículas contaminantes.
Procesos de trituración y/o molienda (TYM)	Dispositivo para la reducción de tamaño de rocas, minerales y otros materiales.
Quemador (QUE)	Dispositivo para quemar combustible líquido, gaseoso o ambos (excepcionalmente también sólido) y producir calor generalmente mediante una llama.
Otros (OTR)	Equipos o dispositivos que no se pueden clasificar en ninguna de las categorías anteriores.

e) Identificación de fuentes con información suficiente para calcular la emisión

Después de clasificar las empresas de acuerdo a la actividad productiva y las fuentes según el equipo o proceso que genera la emisión, se procede a identificar las fuentes con información suficiente para calcular la emisión con factores de emisión o a través de la concentración medida por muestreo directo.

f) Estandarización de unidades de producción y consumo

Cuando se tienen identificadas las fuentes con suficiente información para calcular sus emisiones con factores de emisión, se procede a estandarizar las unidades de producción y/o consumo de combustible de acuerdo al nivel de actividad del factor de emisión. Por ejemplo, el nivel de actividad para la combustión de carbón es el consumo de carbón en mega-gramos (Mg), para la combustión de gas natural es el consumo de gas en metros cúbicos (m³) y para la

combustión de biomasa es la energía disponible en ella, en giga-joules (GJ); el nivel de actividad para la fabricación de pan es la producción de pan en mega-gramos (Mg) y para la impresión de superficies es la cantidad de tinta utilizada en kilogramos (kg).

En cuando a la unidad temporal, las emisiones son calculadas en base horaria para el modelo de dispersión químico CAM_x y en base anual para el inventario de emisiones. Así, la producción y el consumo de combustible se estandarizan de acuerdo al nivel de actividad y se calculan en base horaria, y más adelante las emisiones horarias son llevadas a base anual. Para ello se tiene información sobre los periodos de operación de la fuente de forma diaria (horas/día), semanal (días/semana) y anual (meses/año); cuando esta información no está disponible para algunas fuentes, se asigna el valor promedio de otras fuentes similares que pertenezcan al mismo sector y utilicen el mismo combustible.

La estandarización de unidades se hace con el fin de facilitar los cálculos posteriores y además permite la identificación de valores ilógicos de producción y consumo de combustible.

g) Cálculo de la demanda energética

La demanda de energía de las fuentes fijas del Valle de Aburrá se calcula como el producto del consumo de combustible por el correspondiente poder calorífico inferior (PCI). En la Tabla 2.3 se presentan los poderes caloríficos utilizados en este estudio.

Tabla 2.3. Poderes caloríficos de los combustibles usados por fuentes fijas en el Valle de Aburrá

Combustible		PCI	Unidad
Carbón	Carbón	22,6	MJ/kg
	Carbón coque	28,5	MJ/kg
Fuel oil No 2	Diesel o ACPM	37.166,4	MJ/1000 L
Fuel oil No 6		42.502,2	MJ/1000 L
Aceite recuperado		36.204,3	MJ/1000 L
Gas natural		35,4	MJ/m ³
GLP		25,641.7	MJ/m ³
Biomasa	Madera	19,0	MJ/kg
	Cáscara de coco	16,7	MJ/kg
	Fique	16,7	MJ/kg
	Borra de café	24,9	MJ/kg

Fuentes: www.ecopetrol.com.co, www.cadascu.wordpress.com, www.carbocoque.com, www.cenicafe.org, www.si3ea.gov.co.

h) Cálculo de emisiones de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero

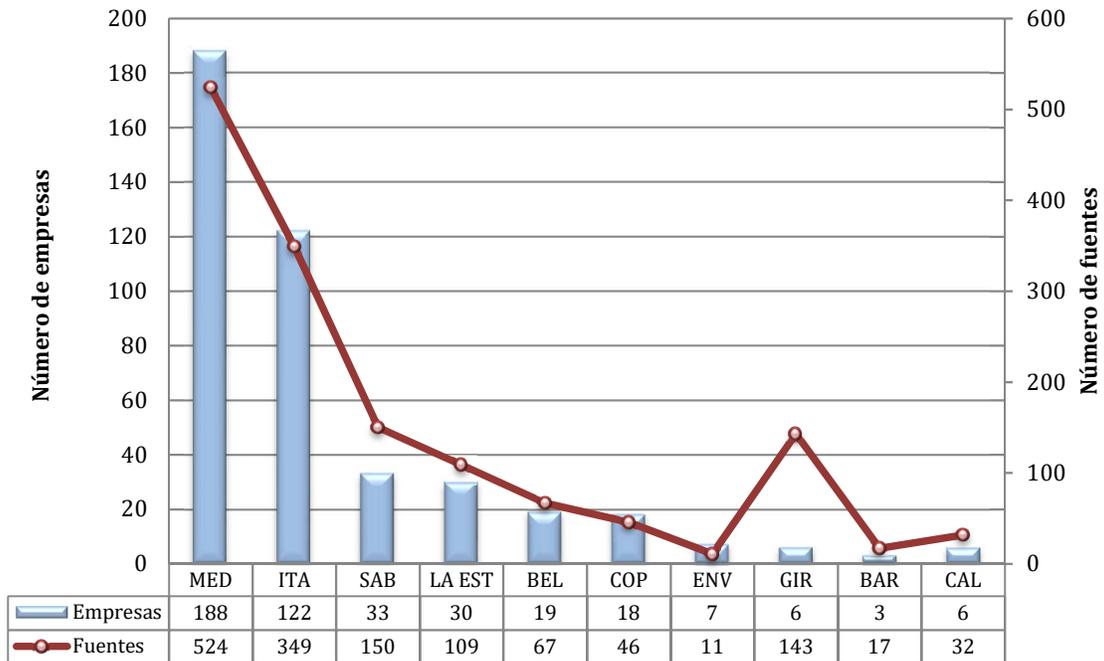
Finalmente, se procede a calcular las emisiones de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero haciendo uso de la Ecuación 2.1 y de los factores de emisión que se presentan en el Anexo C.

2.2 RESULTADOS

En la presente actualización del inventario de emisiones de fuentes fijas se tiene que en el Valle de Aburrá existen 432 empresas emisoras de contaminantes atmosféricos, las cuales cuentan con 1448 fuentes. La Figura 2.2 muestra la distribución de empresas y fuentes de emisión de acuerdo a su ubicación en el Valle de Aburrá. Se observa que en Medellín e Itagüí se encuentra el 72% de las empresas y el 60% de las fuentes. Las demás empresas y fuentes se distribuyen en los ocho municipios restantes, destacándose que las 6 empresas de Girardota poseen 143 fuentes.

En el Anexo D, se encuentra un análisis de éstos resultados presentando el Top 10 de las empresas más contaminantes en cuanto a material particulado por muestreo isocinético y número de empresas y fuentes que emiten MP por encima de 30, 50, 80 y 100 µg/m³.

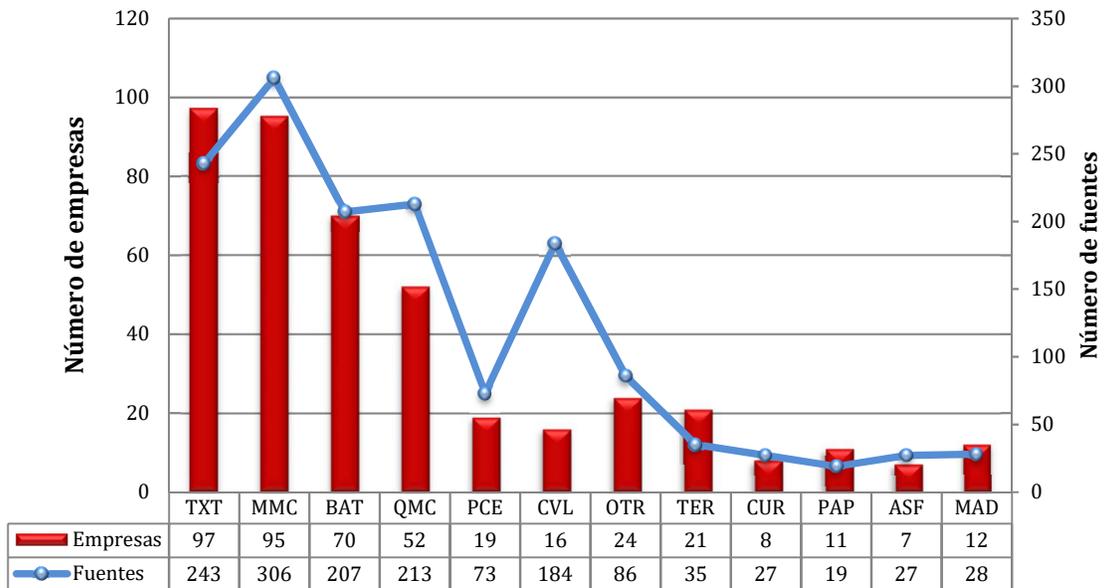
Figura 2.2. Empresas y fuentes de emisión fijas por municipio, año 2016



MED: Medellín; ITA: Itagüí; SAB: Sabaneta; LA EST: La Estrella; BEL: Bello; COP: Copacabana; ENV: Envigado; GIR: Girardota; BAR: Barbosa; CAL: Caldas.

En la Figura 2.3 se presenta la distribución de empresas y fuentes por actividad productiva. Son los sectores Textil, Metalmeccánico, Bebidas, alimentos y tabaco y el sector Químico las actividades productivas que agrupan a la mayoría de empresas y fuentes de emisión. Estos sectores cuentan respectivamente con el 22%, 22%, 16% y 12% de las empresas y con el 17%, 21%, 14% y 15% de las fuentes.

Figura 2.3. Empresas y fuentes de emisión fijas por actividad productiva, año 2016



TXT: textil y confección; MMC: metalmecánico; BAT: bebidas, alimentos y tabaco; QMC: químico; PCE: plásticos, cauchos y empaques; CVL: cerámicos y vítreos; OTR: otras industrias; TER: terciario; CUR: cueros; PAP: papel, cartón, pulpa e impresión; ASF: derivados del petróleo; MAD: aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera.

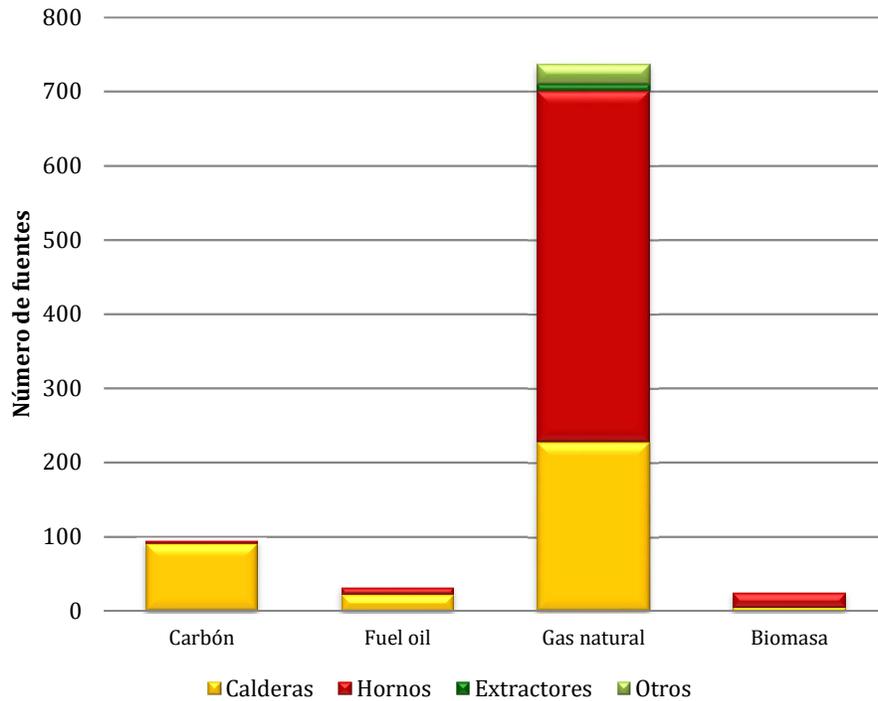
En la Tabla 2.4, se evidencia los principales equipos de combustión utilizados en el sector de la industria por municipio con su respectivo combustible.

Tabla 2.4. Equipos de Combustión por municipio y su combustible

Municipio	Equipo	Carbón	Fuel oil	Gas natural	Biomasa
Barbosa	Calderas	2	0	5	1
	Hornos	0	0	1	0
	Extractores	0	0	0	0
	Otros	0	0	0	0
Bello	Calderas	5	0	17	0
	Hornos	0	0	21	2
	Extractores	0	0	1	0
	Otros	0	0	1	0
Caldas	Calderas	4	0	0	0
	Hornos	1	0	15	3
	Extractores	0	0	0	0
	Otros	0	0	0	0
Copacabana	Calderas	5	0	2	0
	Hornos	1	0	12	1
	Extractores	0	0	1	0
	Otros	0	0	0	0
Envigado	Calderas	4	1	3	0
	Hornos	0	0	2	1
	Extractores	0	0	0	0
	Otros	0	0	0	0
Girardota	Calderas	5	0	3	0
	Hornos	0	0	32	0
	Extractores	0	0	0	0
	Otros	0	0	0	0
Itagüí	Calderas	24	10	53	2
	Hornos	0	2	123	6
	Extractores	0	0	0	0
	Otros	0	0	8	0
La Estrella	Calderas	4	1	10	0
	Hornos	0	0	51	5
	Extractores	0	0	3	0
	Otros	0	0	4	0
Medellín	Calderas	33	5	112	2
	Hornos	2	7	157	1
	Extractores	0	0	0	0
	Otros	0	0	12	0
Sabaneta	Calderas	4	5	23	0
	Hornos	0	0	59	0
	Extractores	0	0	4	0
	Otros	0	0	2	0
Totales	Calderas	90	22	228	5
	Hornos	4	9	473	19
	Extractores	0	0	9	0
	Otros	0	0	27	0

En la Figura 2.4, se presenta la distribución gráfica del número de fuentes por equipo donde se observa que la predominancia de las calderas con respecto a los combustibles carbón y fuel oil mientras que para los combustibles gas natural y biomasa predominan los hornos.

Figura 2.4. Distribución de equipos por número de fuentes en el Valle de Aburrá



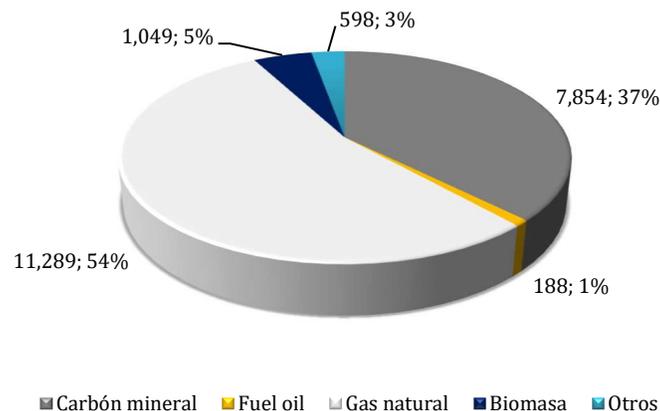
2.2.1 Demanda energética

A partir de los datos de consumo de combustible de las empresas ubicadas en el Valle de Aburrá se calculó la demanda energética en la región. Los resultados presentados en la Tabla 2.5 muestran que el gas natural es el combustible más utilizado, seguido por el carbón mineral y la biomasa. Igualmente, en la Figura 2.5 se observa que el 54% de la energía consumida es aportada por el gas natural, mientras que el 37% corresponde al carbón mineral y el 5% a la biomasa.

Tabla 2.5. Demanda energética de las fuentes industriales del Valle de Aburrá, año 2016

Combustible		Consumo	Unidades	TJ/año
Carbón	Carbón mineral	348.149	Mg/año	7.854
	Carbón coque	115	Mg/año	3
Fuel oil No 2	ACPM	3.830	1000 L/año	142
Fuel oil No 6	Combustóleo	1.067	1000 L/año	45
	Aceite recuperado	14.852	1000 L/año	538
Gas natural		318.906.363	m ³ /año	11.289
GLP		2.236	1000 L/año	57
Biomasa	Madera	35.378	Mg/año	672
	Cáscara de coco	469	Mg/año	8
	Fique	844	Mg/año	14
	Borra de café	14.254	Mg/año	355
Total				20.979

Figura 2.5. Distribución energética (TJ) de las fuentes fijas del Valle de Aburrá

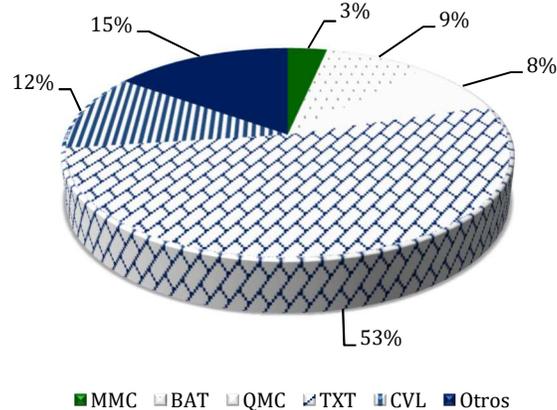


Si se realiza una distribución de la demanda energética por sector productivo se obtiene que es la industria textil la mayor consumidora de energía en el Valle de Aburrá con el 53% de la demanda. Los sectores PCE, TER, CUR, OTR, PAP, ASF y MAD fueron agrupados en la Tabla 2.6 y Figura 2.6 con el nombre de “Otros” y son estas industrias las que en conjunto demandan el 15% de la energía. Por su parte, el sector de Cerámicos y vítreos tiene el 12% de la demanda y el de Bebidas, alimentos y tabaco el 9%. Finalmente, el sector Químico y el Metalmeccánico consumen el 8% y 3% respectivamente.

Tabla 2.6 Demanda energética por sector productivo y tipo de combustible, año 2016

Sector	Demanda energética (TJ/año)			
	Carbón Mineral	Fuel Oil	Gas Natural	Biomasa
Otros	689	45	1.714	648
QMC	523	41	1.086	0
MMC	119	1	568	0
BAT	303	2	1.143	363
CVL	24	86	2.266	39
TXT	6.195	13	4.512	0
Total	7.854	188	11.289	1.049

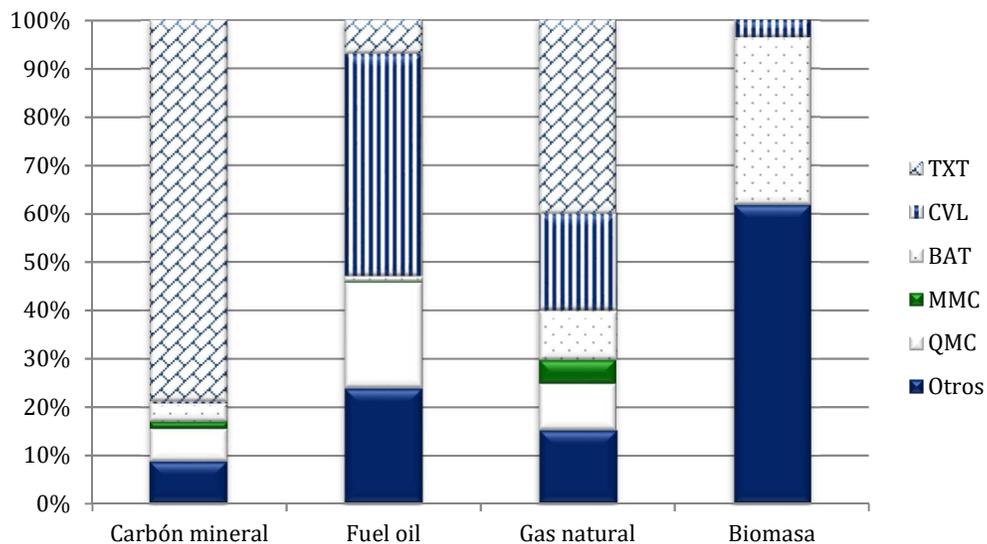
Figura 2.6. Distribución energética según el sector productivo, año 2016



TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; BAT: bebidas, alimentos y tabaco; MMC: metalmecánico; QMC: químico; Otros: plásticos, cauchos y empaques; cueros; papel, cartón, pulpa e impresión; derivados del petróleo; aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera; terciario; otras industrias.

En la Figura 2.7 se presenta la demanda energética, a partir de la Tabla 2.6, esta vez desagregada no solo por sector productivo, sino también por tipo de combustible. Se observa que la industria textil consume más del 78% del carbón mineral y aproximadamente el 40% del gas natural. En el caso del Fuel Oil, más del 45% de la energía aportada por este combustible es consumida por la industria cerámica y vítrea. Finalmente, los sectores agrupados bajo el nombre de “otros” son los que demandan su energía principalmente de la biomasa.

Figura 2.7. Distribución energética por actividad productiva y tipo de combustible, año 2016



TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; BAT: bebidas, alimentos y tabaco; MMC: metalmecánico; QMC: químico; Otros: plásticos, cauchos y empaques; cueros; papel, cartón, pulpa e impresión; derivados del petróleo; aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera; terciario; otras industrias.

2.2.2 Emisión de contaminantes criterio

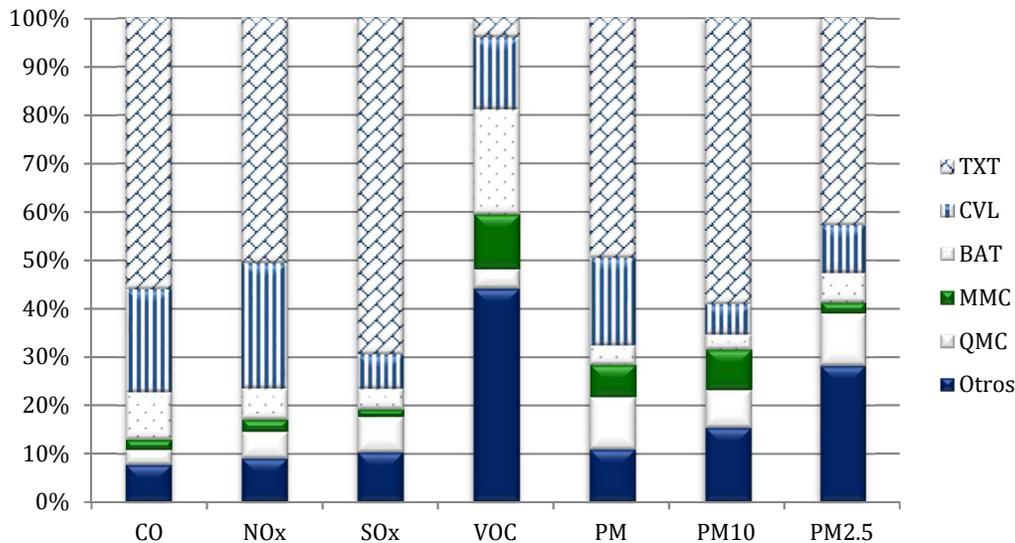
Los contaminantes criterio considerados en este inventario para los establecimientos industriales del Valle de Aburrá son: monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, compuestos orgánicos volátiles, material particulado grueso (PM), material particulado menor de 10 μm (PM10) y material particulado menor de 2.5 μm (PM2.5). La Tabla 2.7 y la Figura 2.8 presentan los resultados de las emisiones de estos contaminantes y su clasificación por actividad productiva.

Tabla 2.7. Emisiones de contaminantes criterio por actividad productiva (Ton), año 2016

Sector	CO	NOx	SOx	VOC	PM	PM10	PM2.5
BAT	315	193	133	383	95	36	21
TXT	1.797	1.505	2.190	71	1.183	688	147
CVL	686	773	224	264	435	73	34
PAP	67	102	149	3	92	60	25
PCE	7	8	1	455	3	1	1
MMC	69	74	51	200	161	99	8
QMC	100	164	230	70	259	91	37
CUR	66	69	145	161	89	56	19
ASF	21	30	25	1	2	2	1
TER	11	13	1	0	0	0	0
MAD	72	27	3	9	67	60	51
OTR	3	21	0	149	7	0	0
Total	3.214	2.979	3.152	1.766	2.393	1.166	344

BAT: bebidas, alimentos y tabaco; TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; PAP: papel, cartón, pulpa e impresión; PCE: plásticos, cauchos y empaques; MMC: metalmecánico; QMC: químico; CUR: cueros; ASF: derivados del petróleo; TER: terciario; MAD: aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera; OTR: otras industrias.

Figura 2.8. Distribución de emisiones de contaminantes criterio de acuerdo a la actividad productiva, año 2016



TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; BAT: bebidas, alimentos y tabaco; MMC: metalmecánico; QMC: químico; Otros: plásticos, cauchos y empaques; cueros; papel, cartón, pulpa e impresión; derivados del petróleo; aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera; terciario; otras industrias.

A partir de los resultados de emisiones obtenidos para las diferentes actividades industriales que tienen lugar en el Valle de Aburrá, se concluye que es el sector Textil el que aporta la mayor cantidad de todos los contaminantes criterio, excepto los VOC, que son principalmente emitidos por el sector de Plásticos, cauchos y empaques.

En ese orden de ideas, el sector Textil aporta aproximadamente el 50% de las emisiones de CO y NOx; cerca del 70% de las emisiones de SOx y aproximadamente el 50%, 60% y el 45% de las emisiones de PM, PM10 y PM2.5 respectivamente.

En cuanto a las emisiones de PM2.5, el cual es un contaminante de interés en la región, se observa en la Tabla 2.7 que el sector maderero es el segundo aportante de éste, haciendo que sea de interés a la hora de elaborar políticas tendientes a mitigar este tipo de emisiones. Máxime cuando es un sector al que pertenecen apenas el 2% de las fuentes y el 3% de las empresas.

Debido a que se identificó un sector en particular como el responsable por la mayoría de las emisiones de contaminantes criterio, se lo analizará más a fondo:

El sector textil cuenta con 243 fuentes, pertenecientes a 97 empresas; lo cual corresponde al 17% de las fuentes y el 22% de las empresas. En cuanto al tipo de equipos se tiene que en este sector el 50% son calderas y el 45% hornos.

El 69% de los equipos del sector textil utiliza el gas natural como combustible, mientras el 24% utiliza carbón. Sin embargo, como se observa en la Tabla 2.8, más del 90% de las emisiones en este sector provienen de fuentes que utilizan carbón.

Tabla 2.8. Emisión de contaminantes criterio en el sector textil (Ton), año 2016

Sector, combustible	CO	NOx	SOx	VOC	PM	PM10	PM2,5
Sector textil, Carbón	1.650,2	1.315,6	2.174,0	61,3	1.181,6	687,2	146,9
Sector textil, total	1.797,3	1.505,4	2.189,8	71,0	1.182,9	687,6	147,2

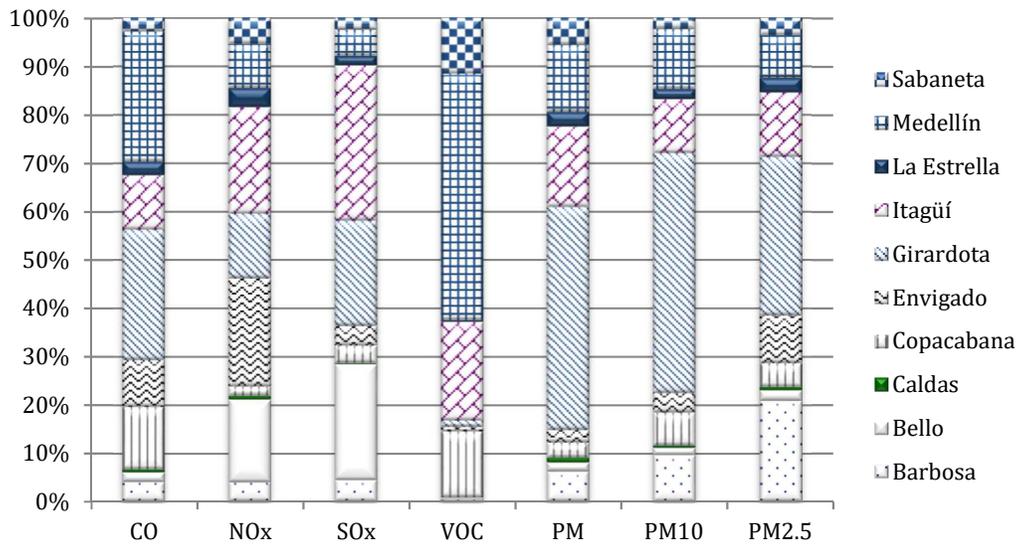
Así, se tiene que al ejercer control y vigilancia sobre las fuentes que utilizan carbón en el sector textil, se haría gestión sobre un importante porcentaje de las emisiones de contaminantes criterio provenientes de fuentes fijas.

Ahora, al distribuir las emisiones por municipio (Tabla 2.9 y Figura 2.9) se tiene que la ciudad de Medellín realiza los mayores aportes de VOC, mientras que Itagüí lo hace con los SOx. Es importante también el papel de Envigado en las emisiones de NOx y el de Girardota en las de material particulado y CO.

Tabla 2.9. Emisiones de contaminantes criterio por municipio (Ton), año 2016

Municipio	CO	NOx	SOx	VOC	PM	PM10	PM2.5
Barbosa	130	119	142	7	150	113	72
Bello	65	511	755	6	44	17	8
Caldas	18	21	6	1	23	5	2
Copacabana	415	57	111	241	74	79	17
Envigado	310	662	127	17	62	47	34
Girardota	869	402	690	24	1.104	578	113
Itagüí	360	655	1.011	361	397	130	46
La Estrella	90	119	62	5	72	25	10
Medellín	863	271	171	901	334	145	30
Sabaneta	93	162	78	203	133	27	13
Total	3.215	2.980	3.153	1.766	2.393	1.165	345

Figura 2.9. Distribución de emisiones de contaminantes criterio por municipio, año 2016



2.2.3 Emisiones de gases de efecto invernadero

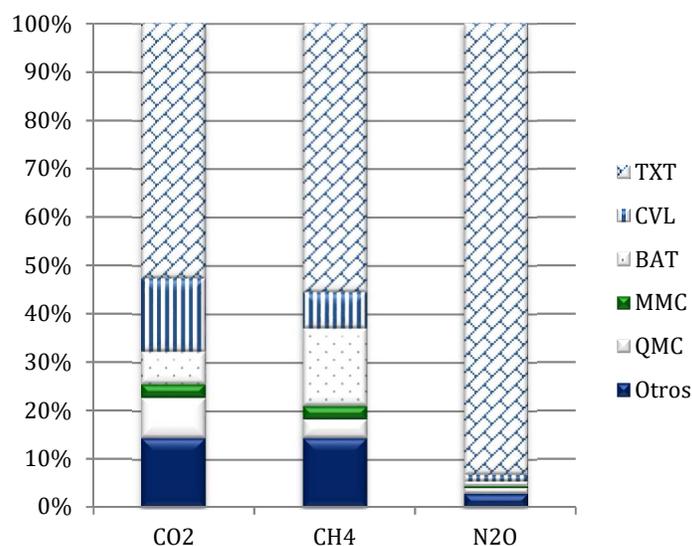
Las industrias del Valle de Aburrá emitieron en 2016 aproximadamente 1.12 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO_2), 48 toneladas de metano (CH_4) y 137 toneladas de óxido nítrico (N_2O) lo cual corresponde a 1.167.409 toneladas de CO_2 equivalente (ver Tabla 2.10). En la Figura 2.10 se presenta la distribución de estas emisiones por sector productivo; en ella se observa que al igual que en el caso de los contaminantes criterio, es la industria textil la que mayor aporte realiza de gases de efecto invernadero.

Tabla 2.10. Emisiones de gases de efecto invernadero por actividad productiva (Ton), año 2016

Sector	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
BAT	75.295	7,61	1,25
TXT	591.386	26,38	127,79
CVL	171.409	3,61	1,96
PAP	61.968	1,28	1,04
PCE	5.047	0,12	0,09
MMC	31.764	1,34	0,55
QMC	93.703	1,85	1,58
CUR	23.093	1,96	0,34
ASF	31.320	0,66	0,55
TER	10.728	0,21	0,20
MAD	24.173	2,52	1,57
OTR	5.459	0,11	0,24
Total	1.125.345	47,65	137,16
CO ₂ -eq	1.167.409		

BAT: bebidas, alimentos y tabaco; TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; PAP: papel, cartón, pulpa e impresión; PCE: plásticos, cauchos y empaques; MMC: metalmecánico; QMC: químico; CUR: cueros; ASF: derivados del petróleo; TER: terciario; MAD: aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera; OTR: otras industrias.

Figura 2.10. Distribución de emisiones de gases de efecto invernadero de acuerdo a la actividad productiva, año 2016



TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; BAT: bebidas, alimentos y tabaco; MMC: metalmecánico; QMC: químico; Otros: plásticos, cauchos y empaques; cueros; papel, cartón, pulpa e impresión; derivados del petróleo; aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera; terciario; otras industrias.

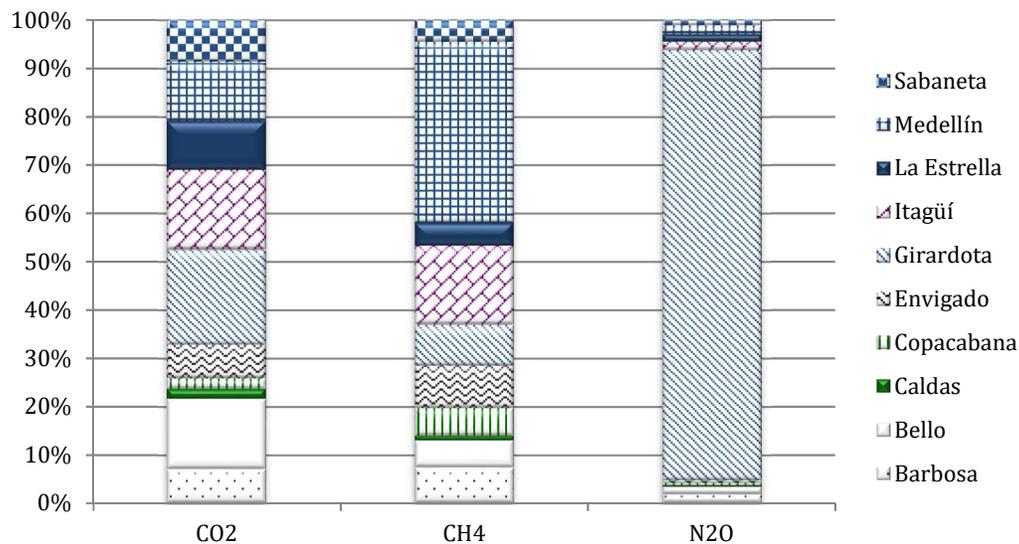
La Tabla 2.11 y la Figura 2.11 presentan la distribución por municipio de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de los establecimientos industriales en el Valle de Aburrá.

Se evidencia que la ciudad de Medellín aporta la mayor cantidad de metano; mientras que en Girardota se generan las mayores cantidades de óxido nitroso. Por su parte, las emisiones de dióxido de carbono se distribuyen principalmente entre Girardota, Medellín e Itagüí.

Tabla 2.11. Emisiones de gases de efecto invernadero por municipio (Ton), año 2016

Municipio	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Barbosa	79.358	4	2
Bello	164.010	3	2
Caldas	22.764	0	0
Copacabana	24.577	3	1
Envigado	80.472	4	1
Girardota	219.040	4	122
Itagüí	185.603	8	2
La Estrella	114.364	2	2
Medellín	137.977	18	3
Sabaneta	97.179	2	2
Total	1.125.344	48	137

Figura 2.11. Distribución de emisiones de gases de efecto invernadero por municipio, año 2016



2.2.4 Emisiones de contaminantes peligrosos

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, los contaminantes peligrosos del aire son aquellos de los cuales se sabe o se sospecha que causan cáncer u otras

afectaciones a la salud, como problemas reproductivos o defectos de nacimiento; así como efectos ambientales adversos (United States Environmental Protection Agency, 2015).

El inventario de emisiones que la Universidad Pontificia Bolivariana ha venido desarrollando a través de diferentes convenios con el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, cuenta con un total de 170 especies además de los contaminantes criterio, entre las que se incluyen este tipo de contaminantes peligrosos.

A continuación, en la Tabla 2.12 y la Tabla 2.13 se presentan los resultados para 10 de los contaminantes peligrosos del aire. La totalidad de las especies que forman el inventario de emisiones de fuentes fijas se presenta en el Anexo C.

Tabla 2.12. Emisión de contaminantes peligrosos por sector productivo en el Vale de Aburrá (Ton), año 2016

Sector	PAH	Hexano	Benceno	Arsénico	Cadmio	Cromo	Plomo	Manganeso	Mercurio	Niquel
BAT	0.000	0.8	0.017	0.065	0.005	0.139	0.057	0.131	0.002	0.098
TXT	0.003	3.2	0.182	1.173	0.081	2.570	0.957	2.388	0.027	1.724
CVL	0.000	1.3	0.002	0.002	0.001	0.007	0.003	0.001	0.000	0.002
PAP	0.000	0.6	0.011	0.060	0.005	0.186	0.075	0.000	0.000	0.001
PCE	0.000	0.1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001
MMC	0.000	0.4	0.004	0.020	0.004	0.061	0.246	0.000	0.000	0.000
QMC	0.000	0.9	0.016	0.091	0.008	0.283	0.114	0.000	0.000	0.002
CUR	0.000	0.0	0.010	0.046	0.004	0.144	0.058	0.000	0.000	0.000
ASF	0.000	0.4	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.008
TER	0.000	0.2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MAD	0.000	0.0	0.501	0.003	0.000	0.003	0.006	0.191	0.000	0.004
OTR	0.000	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	0.004	7.880	0.749	1.460	0.109	3.394	1.517	2.715	0.030	1.841

BAT: bebidas, alimentos y tabaco; TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; PAP: papel, cartón, pulpa e impresión; PCE: plásticos, cauchos y empaques; MMC: metalmecánico; QMC: químico; CUR: cueros; ASF: derivados del petróleo; TER: terciario; MAD: aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera; OTR: otras industrias.

Tabla 2.13. Emisión de contaminantes peligrosos por municipio en el Valle de Aburrá (Ton), año 2016

Municipio	PAH	Hexano	Benceno	Arsénico	Cadmio	Cromo	Plomo	Manganeso	Mercurio	Niquel
Barbosa	0.000	0.6	0.488	0.058	0.005	0.177	0.076	0.182	0.000	0.004
Bello	0.001	0.8	0.055	0.504	0.033	1.040	0.374	1.180	0.012	0.854
Caldas	0.000	0.3	0.012	0.000	0.000	0.001	0.000	0.015	0.000	0.006
Copacabana	0.000	0.1	0.007	0.040	0.003	0.126	0.051	0.003	0.000	0.001
Envigado	0.000	0.5	0.006	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.000	0.001
Girardota	0.001	0.6	0.071	0.165	0.014	0.479	0.204	0.017	0.003	0.010
Itagüí	0.001	0.6	0.075	0.608	0.042	1.314	0.678	1.302	0.013	0.943
La Estrella	0.000	1.6	0.012	0.024	0.003	0.076	0.050	0.003	0.000	0.002
Medellín	0.000	1.6	0.017	0.038	0.005	0.111	0.055	0.010	0.001	0.018
Sabaneta	0.000	1.1	0.006	0.022	0.002	0.069	0.028	0.000	0.000	0.001
Total	0.004	7.880	0.749	1.460	0.109	3.394	1.517	2.715	0.030	1.841

Como se observa en la Figura 2.12, la mayor cantidad de contaminantes peligrosos es emitida por el sector textil, con excepción del benceno que es en su mayoría responsabilidad del sector maderero (ver Tabla 2.12). De igual forma, en la Figura 2.13 se evidencia que los municipios donde se emite la mayoría de estos contaminantes son Bello e Itagüí, con excepción de Barbosa que es donde se presentan las mayores emisiones de benceno y Medellín, donde se emite el 21% del hexano en el Valle de Aburrá.

Figura 2.12. Distribución de emisiones de contaminantes peligrosos de acuerdo a la actividad productiva, año 2016

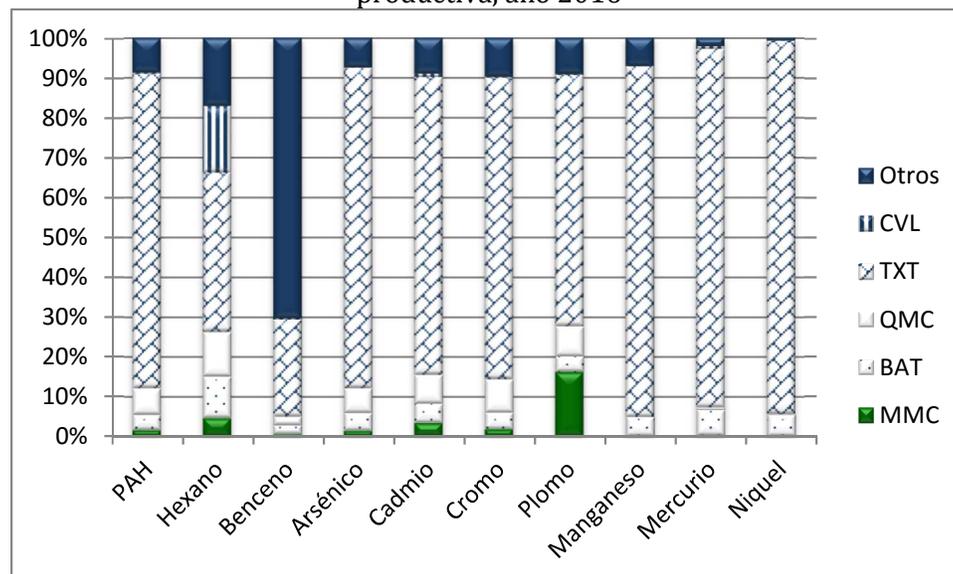
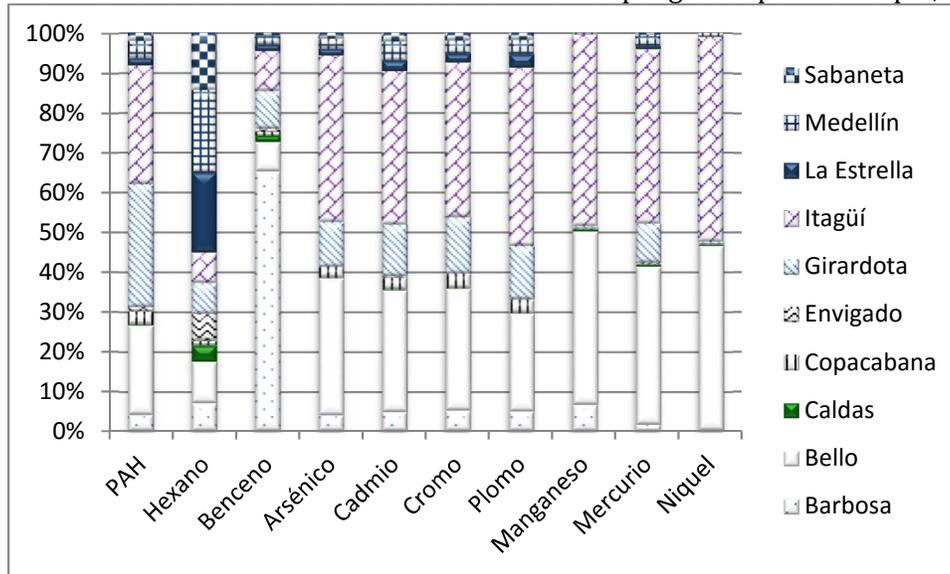


Figura 2.13. Distribución de emisiones de contaminantes peligrosos por municipio, año 2016

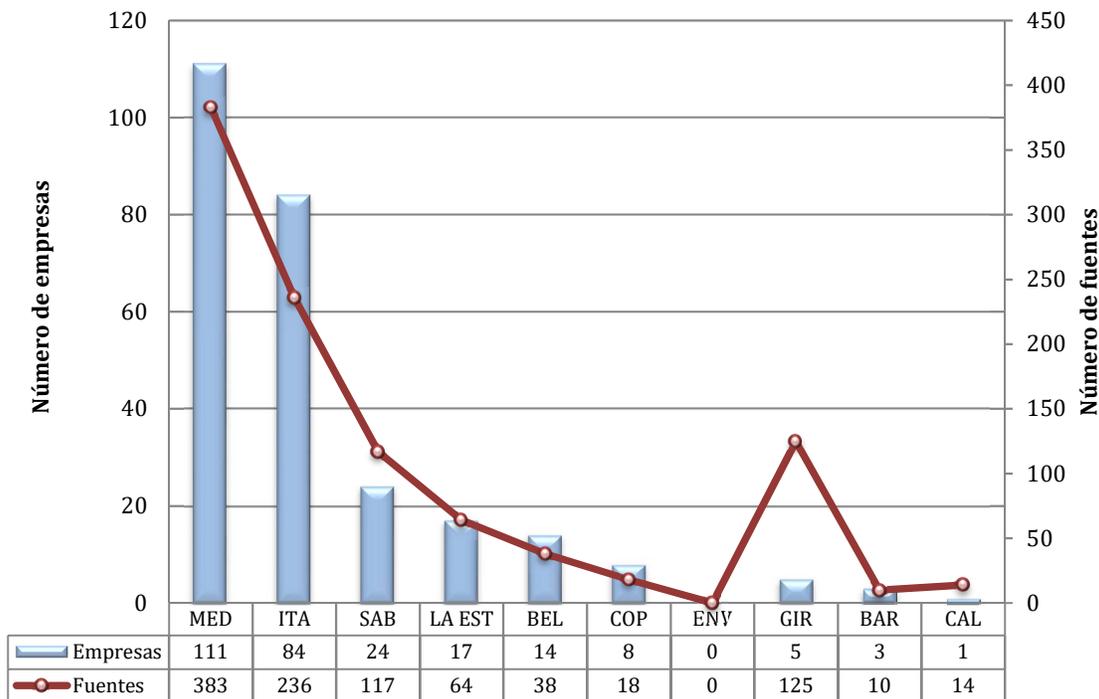


2.2.5 Análisis fuentes fijas por monitoreo isocinético

A continuación, se realiza una separación de los resultados del inventario de emisiones de fuentes fijas (modelo IEFI) analizando únicamente las fuentes medidas a partir de muestreos isocinéticos para el cálculo y posterior análisis de la emisión de los diferentes contaminantes atmosféricos.

A partir de la actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas año 2016, se tienen 267 empresas las cuales fueron medidas con muestreos isocinéticos. La Figura 2.14 muestra la distribución de empresas y fuentes de emisión medidas de acuerdo a su ubicación en el Valle de Aburrá en donde se observa que en Medellín e Itagüí se encuentra el 73% de las empresas y el 62% de las fuentes. Las demás empresas y fuentes se distribuyen en los ocho municipios restantes, destacándose las 5 empresas de Girardota medidas las cuales poseen 143 fuentes.

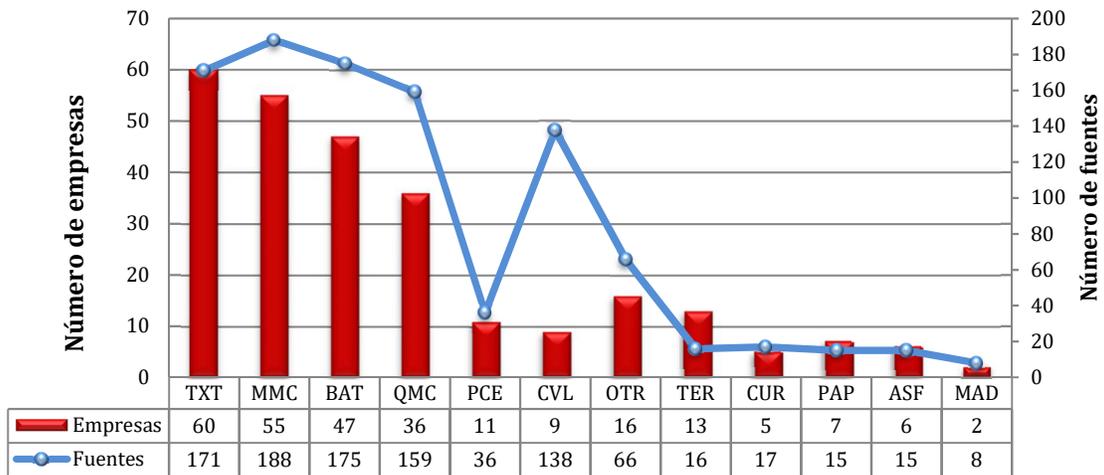
Figura 2.14. Empresas y fuentes de emisión fijas medidas por municipio, año 2016



MED: Medellín; ITA: Itagüí; SAB: Sabaneta; LA EST: La Estrella; BEL: Bello; COP: Copacabana; ENV: Envigado; GIR: Girardota; BAR: Barbosa; CAL: Caldas.

En la Figura 2.15 se presenta la distribución de empresas y fuentes por actividad productiva. Son los sectores Textil, Metalmeccánico, Bebidas, alimentos y tabaco y el sector Químico las actividades productivas que agrupan a la mayoría de empresas y fuentes de emisión. Estos sectores cuentan respectivamente con el 22%, 21%, 18% y 13% de las empresas y con el 17%, 19%, 17% y 16% de las fuentes.

Figura 2.15. Empresas y fuentes de emisión fijas medidas por actividad productiva, año 2016



TXT: textil y confección; MMC: metalmecánico; BAT: bebidas, alimentos y tabaco; QMC: químico; PCE: plásticos, cauchos y empaques; CVL: cerámicos y vítreos; OTR: otras industrias; TER: terciario; CUR: cueros; PAP: papel, cartón, pulpa e impresión; ASF: derivados del petróleo; MAD: aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera.

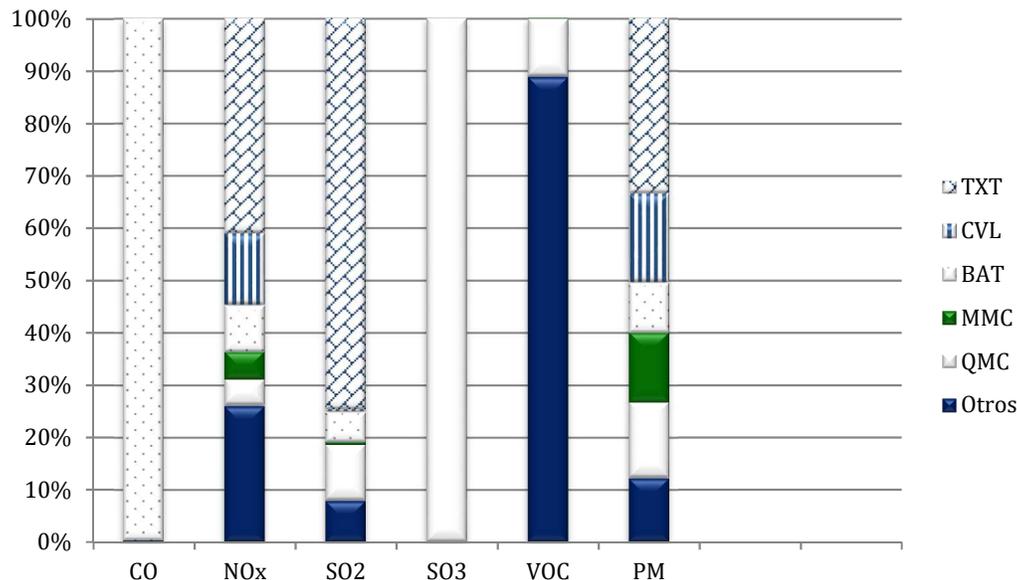
En la Tabla 2.14 y la Figura 2.16 se presentan los resultados de las emisiones de los principales contaminantes medidos y su clasificación por actividad productiva.

Tabla 2.14. Emisiones de los principales contaminantes medidos por actividad productiva (Ton), año 2016

Sector	CO	NO _x	SO ₂	VOC	PM
BAT	231.15	187.10	269.87	0	104.69
TXT	0	864.55	3543	0	367.13
CVL	0	287.20	13.69	0	185.08
PAP	0	465.23	319.95	0	91.84
PCE	0	24.58	0.15	903.69	1.55
MMC	0	114.20	34.43	1.67	147.81
QMC	0	104.40	507.04	150.35	158.36
CUR	0	15.73	43.05	155.97	4.51
ASF	0	8.60	3.79	0	16.70
TER	0.72	16.41	4.56	0	8.79
MAD	0	1.41	0	4.42	3.20
OTR	0	17.33	1.57	152.51	7.00
Total	231.87	2106.73	4741	1368.62	1096.66

BAT: bebidas, alimentos y tabaco; TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; PAP: papel, cartón, pulpa e impresión; PCE: plásticos, cauchos y empaques; MMC: metalmecánico; QMC: químico; CUR: cueros; ASF: derivados del petróleo; TER: terciario; MAD: aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera; OTR: otras industrias.

Figura 2.16. Distribución de emisiones de contaminantes criterio de acuerdo a la actividad productiva, año 2016



TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; BAT: bebidas, alimentos y tabaco; MMC: metalmecánico; QMC: químico; Otros: plásticos, cauchos y empaques; cueros; papel, cartón, pulpa e impresión; derivados del petróleo; aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera; terciario; otras industrias.

A partir de los resultados de emisiones obtenidos para las diferentes actividades industriales que tienen lugar en el Valle de Aburrá, se concluye que es el sector Textil, donde la mitad de los equipos de combustión son calderas y de éstas, el 49% son utilizadas a carbón, el que aporta la mayor cantidad de la mayoría de los contaminantes medidos, excepto el CO y VOC, que son principalmente emitidos por el sector de bebidas, alimentos y tabaco y el sector Plásticos, cauchos y empaques, respectivamente.

En ese orden de ideas, el sector Textil aporta aproximadamente el 41% de las emisiones de NOx y 90% de SO₂ y aproximadamente el 33% de las emisiones de PM.

Es así como el sector responsable por la mayoría de las emisiones de los principales contaminantes medidos, es el sector textil el cual cuenta con 171 fuentes medidas, pertenecientes a 60 empresas; lo cual corresponde al 17% del total las fuentes y el 22% de las empresas medidas con muestreos isocinéticos.

En cuanto al tipo de equipos se tiene que en este sector el 48% son calderas al igual que hornos. Además, el 71% de los equipos de este sector utiliza el gas natural como combustible, mientras que el 25% utiliza carbón. Sin embargo, como se observa en la Tabla 2.15, más del 90% de las emisiones en este sector provienen de fuentes que utilizan carbón.

Tabla 2.15. Emisión de principales contaminantes medidos en el sector textil (Ton), año 2016

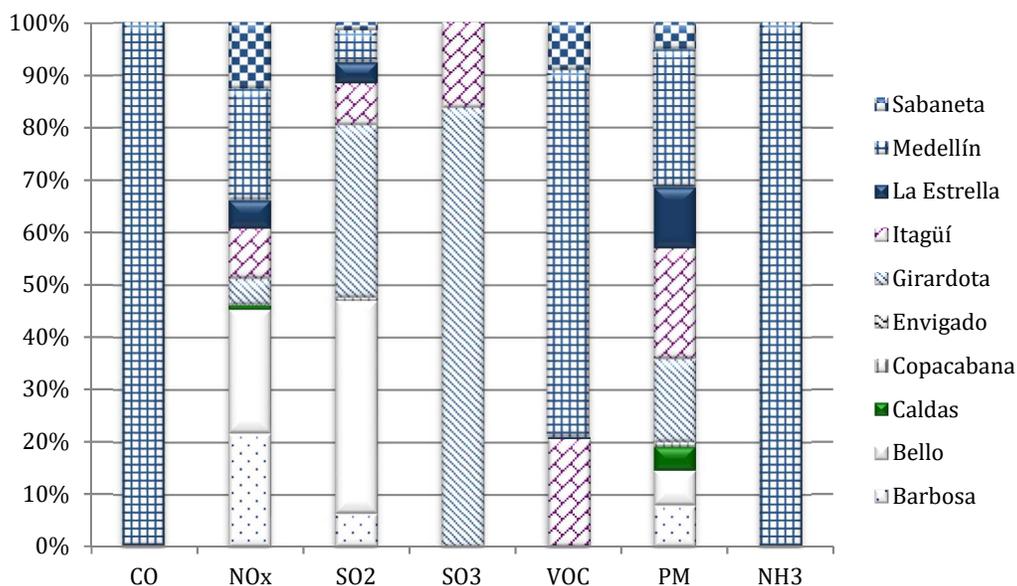
Sector, Combustible	NOx	SO ₂	PM
Sector Textil, Carbón	683.64	10781.36	312.46
Sector Textil, Total	864.55	10786.77	367.13

Ahora, al distribuir las emisiones medidas por municipio (Tabla 2.16 y Figura 2.17) se tiene que la ciudad de Medellín realiza los mayores aportes de CO, VOC y PM, mientras que Bello lo hace con los NOx y La Estrella con los SO₂.

Tabla 2.16. Emisiones de los principales contaminantes medidos por municipio (Ton), año 2016

Municipio	CO	NOx	SO ₂	VOC	PM
Barbosa	0	455.03	300.07	0	87.05
Bello	0	498.14	1924.60	0	71.96
Caldas	0	17.15	0	0	50.73
Copacabana	0	4.38	33.11	0.41	10.53
Envigado	0	0.00	0	0	0
Girardota	0	102.58	1553.00	0	172.66
Itagüí	0.60	202.48	376.84	280.12	231.56
La Estrella	0	113.45	7437.11	5.21	128.08
Medellín	231.27	446.53	287.15	957.37	287.77
Sabaneta	0	267.25	73.00	125.51	56.33
Total	231.88	2106.98	11984.88	1368.62	1096.66

Figura 2.17. Distribución de emisiones de contaminantes criterio por municipio, año 2016



3 INVENTARIO FUENTES DE ÁREA

ESTACIONES DE SERVICIO DE COMBUSTIBLE

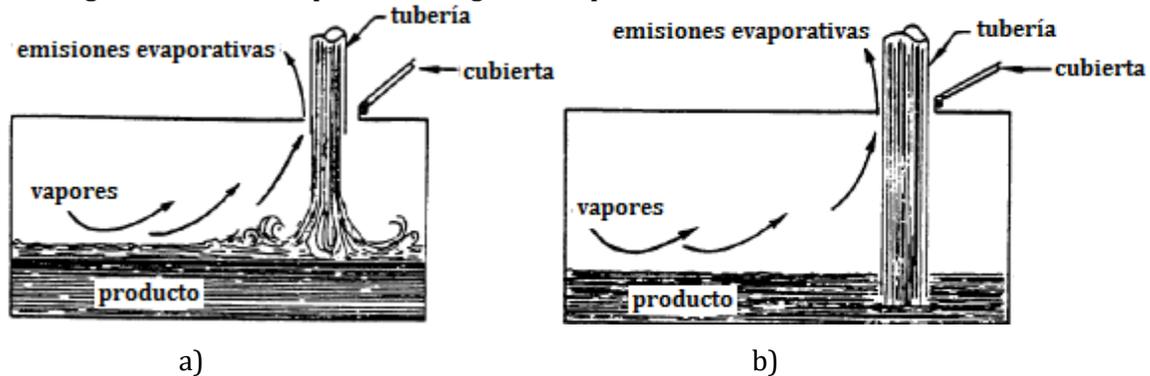
Tal y como se hizo en la actualización más reciente del inventario de emisiones, se consideran a las estaciones de servicio de combustible como fuentes de área. Las emisiones que se generan en éstas se producen durante la descarga del combustible desde los carro-tanques que lo transportan a los tanques de almacenamiento subterráneos; por la expansión y compresión del líquido debido a los cambios de temperatura y presión durante el día y, durante el abastecimiento de los vehículos. De acuerdo a la información de Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana (2014), respecto a las emisiones en este tipo de fuentes:

Para la recarga de un tanque de almacenamiento se introduce una tubería desde el carro-tanque y se procede con la descarga del combustible, la cual puede hacerse de dos formas (US EPA, 2008):

- 1) dejando la tubería sobre la superficie del líquido para que el combustible caiga por gravedad tal como se observa en la Figura 3.1-a. Este método aumenta la turbulencia del fluido, lo que facilita la transferencia de masa de la fase líquida a la fase vapor;
- 2) disponiendo la tubería por debajo de la superficie del líquido como se muestra en la Figura 3.1-b, este método produce menos pérdidas de vapor ya que no se producen salpicaduras del combustible.

Durante la recarga del tanque subterráneo los vapores son desplazados, si estos se liberan a la atmósfera la emisión es incontrolada; si el vapor es retenido y retornado al tanque, las emisiones se reducen en un 95 %. Esto se logra instalando una línea de retorno de vapor desde el tanque subterráneo hasta el carro-tanque.

Figura 3.1. Métodos para la recarga de tanques de almacenamiento de combustible



Fuente: US EPA, 2008

Durante la recarga de los vehículos las emisiones de combustible escapan directamente a la atmósfera, además se producen derrames cuando se sobrecarga el tanque de combustible y ocurren goteos de las pistolas del dispensador.

3.1.1 Metodología para la estimación de emisiones

De acuerdo con Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana (2014), una técnica para estimar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles es aplicando la Ecuación 3.1; que relaciona las cantidades de los diferentes tipos de combustible vendidos en la región, su composición, prácticas de manejo y los tipos de control de emisiones empleados (US EPA, 2008).

Usando una estimación de las ventas de combustible y el factor de emisión apropiado, la emisión de VOC puede calcularse a través de la siguiente ecuación:

$$E_i = E_{Fi} \times V_i \times 10^{-6} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

Donde,

E_i = Emisión anual de VOC debida al manejo del combustible, kg/año

E_{Fi} = Factor de emisión del combustible i , mg/L

V_i = Ventas anuales del combustible, L/año

Los factores de emisión de VOC provenientes de la distribución de gasolina y diésel se presentan en la Tabla 3.1 (US EPA, 2008).

Tabla 3.1. Factores de emisión de VOC para estaciones de servicio de combustible

Fuente de emisión	Factor de emisión (mg/L)
<i>Gasolina</i>	
Llenado del tanque subterráneo	
Tubería sumergida	880
Tubería no sumergida	1380
Tubería sumergida y con control de emisiones	40
Contracción y expansión de los gases en el tanque subterráneo	120
Llenado de vehículos	
Emisión sin control	1320
Emisión controlada	132
Derrames	80
<i>Diésel</i>	
Incluye el llenado de tanques subterráneos, el llenado de los vehículos y la contracción y expansión de vapores en el tanque subterráneo.	176

Fuente: US EPA, 2008

Los factores de emisión utilizados en este inventario son los resaltados en negrita; en el caso de la gasolina se asume que el llenado del tanque subterráneo se hace con la tubería no sumergida y que el llenado del vehículo se hace sin control de emisiones. Así, para la gasolina y el diésel se tienen factores de emisión global de 2900 mg VOC/L y 176 mg/L respectivamente.

3.1.2 Datos de entrada

A través de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) se obtuvo la información concerniente a los consumos de combustible (gasolina y diésel) para los 10 municipios del Valle de Aburrá en el año 2015. En la Tabla 3.2 y la Tabla 3.3 se muestran los datos consolidados para el año base.

Tabla 3.2. Consumo de gasolina en el Valle de Aburrá en el año 2015

Municipio	Consumo (gal)
Medellín	112,042,287
Barbosa	720,722
Bello	15,740,715
Caldas	2,149,019
Copacabana	3,252,592
Envigado	15,337,436
Girardota	2,351,295
Itagüí	13,533,804
La Estrella	1,993,416
Sabaneta	8,171,544
Total	175,292,830

Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética

Tabla 3.3. Consumo de diésel en el Valle de Aburrá en el año 2015

Municipio	Consumo (gal)
Medellín	61,580,069
Barbosa	1,061,455
Bello	12,399,670
Caldas	6,146,047
Copacabana	4,642,813
Envigado	5,523,091
Girardota	13,367,040
Itagüí	14,730,644
La Estrella	2,392,869
Sabaneta	9,291,290
Total	131,134,988

Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética

Se observa que el municipio con mayor consumo tanto de gasolina como de diésel es Medellín. Por su parte, Bello, Envigado e Itagüí son los municipios que después de la capital de Antioquia presentan el mayor consumo de gasolina.

Finalmente, en el caso del diésel fue en los municipios de Itagüí, Girardota y Bello donde, después de Medellín, se consumió la mayor cantidad del combustible.

3.1.3 Resultados

Con las cifras de consumo de combustible y los factores de emisión mencionados anteriormente, se calcularon las emisiones de VOC provenientes de las estaciones de servicio de combustible ubicadas en los diferentes municipios del Valle de Aburrá. En la Tabla 3.4 y la Tabla 3.5 se reportan los resultados para este contaminante.

Tabla 3.4. Emisiones estimadas de VOC provenientes de la gasolina, año 2015 (ton/año)

Municipio	Emisión
Medellín	1.230
Barbosa	8
Bello	173
Caldas	24
Copacabana	36
Envigado	168
Girardota	26
Itagüí	149
La Estrella	22
Sabaneta	90
Total	1.926

Tabla 3.5. Emisiones estimadas de VOC provenientes del diésel, año 2015 (ton/año)

Municipio	Emisión
Medellín	41
Barbosa	1
Bello	8
Caldas	4
Copacabana	3
Envigado	4
Girardota	9
Itagüí	10
La Estrella	2
Sabaneta	6
Total	88

Se observa que, para el caso de la gasolina, el municipio que presenta las mayores emisiones de VOC es Medellín, seguido por Bello y Envigado. Por su parte, las emisiones provenientes del combustible diésel son dominadas también por Medellín, seguido por Itagüí y Bello. Estos resultados están relacionados con los consumos de combustible en los diferentes municipios.

4 INVENTARIO DE EMISIONES DEL VALLE DE ABURRÁ

En este capítulo se presenta la demanda energética y las emisiones de contaminantes criterio estimadas para fuentes móviles y fuentes fijas.

4.1 DEMANDA ENERGÉTICA

La cantidad de energía consumida por las fuentes fijas y móviles en el Valle de Aburrá para el presente inventario se presenta en la Tabla 4.1. Se observa que la mayor demanda de energía la tiene el parque automotor con cerca de un 68% del total de energía consumida por ambos tipos de fuentes.

Tabla 4.1. Demanda energética por tipo de fuente

	Combustible		Energía (TJ/año)
Fuentes Móviles	Gasolina		21.957
	Diesel		18.450
	GNV		2.846
	Subtotal		43.253
Fuentes Fijas	Carbón	Carbón mineral	7.854
		Carbón coque	3
	Fuel oil No 2	ACPM	142
	Fuel oil No 6	Combustóleo	45
		Aceite recuperado	538
	Gas natural		11.289
	GLP		57
	Biomasa	Madera	672
		Cáscara de coco	8
		Fique	14
Borra de café		355	
Subtotal		20.977	
Total			64.230

4.2 EMISIÓN DE CONTAMINANTES CRITERIO

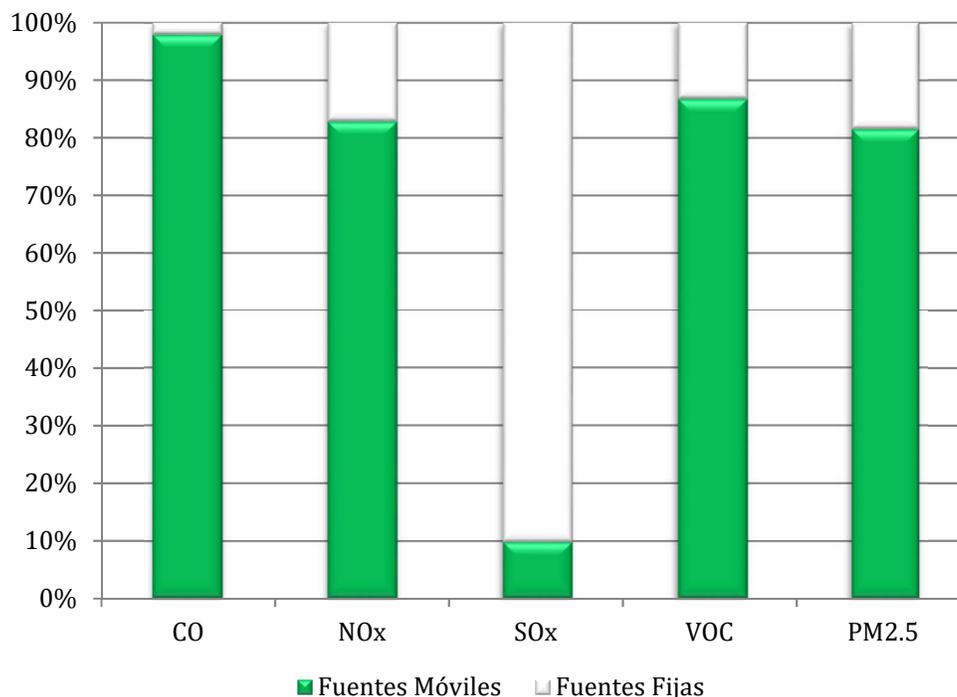
En la Tabla 4.2 se muestra las emisiones de contaminantes criterio estimada para los dos tipos de fuentes ya mencionados descritos en la Tabla 1.9 y Tabla 2.7, así como el total para cada uno de éstos contaminantes.

Tabla 4.2. Emisiones totales de contaminantes criterio por tipo de fuente (Ton/año)

Fuente	CO	NO _x	SO _x	VOC	PM _{2.5}
Fuentes Móviles	145.552	14.293	342	11.510	1.508
Fuentes Fijas	3.214	2.979	3.152	1.766	344
Total	148.766	17.272	3.494	13.276	1.852

En la Figura 4.1 se observa que las fuentes móviles generan más del 81% de las emisiones de todos los contaminantes, excepto del SO_x, cuyas emisiones son producidas en un 90% por las fuentes fijas.

Figura 4.1. Distribución de emisiones de contaminantes criterio por tipo de fuente



En la Tabla 4.3, se realiza una comparación con el total de las emisiones per cápita del inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá con su homólogo proveniente de las fuentes

móviles y fuentes fijas derivadas de la industria de la región metropolitana de Santiago de Chile año 2012 (Ministerio del Medio Ambiente de Chile, 2014).

Tabla 4.3. Emisiones totales per cápita de contaminantes criterio (Ton/año)

Región	CO	NOx	SOx	VOC	PM2.5
Valle de Aburrá	0,039	0,005	0,001	0,003	0,0005
Santiago de Chile	0,0181	0,0068	0,0003	0,000003	0,0005

En la tabla anterior, se observa que el Valle de Aburrá tiene valores más altos en la mayoría de los contaminantes críticos por persona que en Santiago de Chile debido a una serie de características y mejoras tecnológicas que Chile ha venido implementando como, por ejemplo, la calidad del combustible donde Chile cuenta un Diesel de 15 ppm y una gasolina de 50 ppm a diferencia de Colombia con un Diesel de 50 ppm y una gasolina de 300 ppm; la tecnología del parque automotor de Chile que casi en su totalidad es Euro 4 y 5 con un sistema de combustión más eficiente y menos contaminante y adicionalmente se tiene un programa de recambio periódico de los convertidores catalíticos que en Colombia actualmente no se ejecuta; A su vez, Chile cuenta con un sistema de recuperación de vapores en las estaciones de servicio de combustible que Colombia no tiene.]

4.3 EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

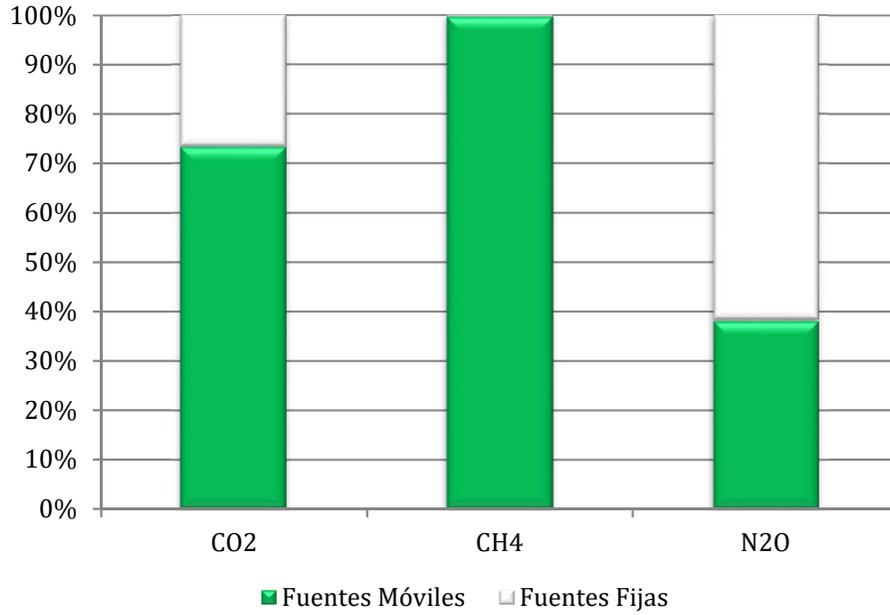
En la Tabla 4.4 se consignan los valores totales de emisiones de gases de efecto invernadero para fuentes móviles y fijas descritos en la Tabla 1.12 y Tabla 2.10, así como el total de toneladas de CO₂ equivalente.

Tabla 4.4. Emisiones totales de gases de efecto invernadero por tipo de fuente (Ton/año)

Fuente	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Fuentes Móviles	3.107.155	10.747	85
Fuentes Fijas	1.125.345	48	137
Total	4.232.500	10.795	222
CO ₂ -eq	4.568.531		

En la Figura 4.2 se observa que las fuentes móviles generan más del 72% de las emisiones de todos los contaminantes, excepto del N₂O, cuyas emisiones son producidas en un 62% aproximadamente por las fuentes fijas.

Figura 4.2. Distribución de gases de efecto invernadero por tipo de fuente



5 CONCLUSIONES

FUENTES MÓVILES

De acuerdo a los registros de las Secretarías de Tránsito y Transporte del Valle de Aburrá, en el año 2015 el parque automotor de la región lo conformaban aproximadamente 1.286.000 vehículos, de los cuales el 52% son motocicletas de 2 y 4 tiempos y el 39% automóviles, siendo las categorías principales en cuanto a cantidad de vehículos.

La demanda energética y las emisiones de contaminantes criterio, así como de gases de efecto invernadero generadas por el parque automotor del Valle de Aburrá en el año 2013, se realizó mediante el empleo del modelo LEAP. A éste se ingresó la información detallada de la composición del parque automotor, la cual se obtuvo no solo de las Secretarías de Tránsito y Transporte, sino también de los Centros de Diagnóstico Automotor de la región (CDAs) y el AMVA. Se ampliaron las categorías vehiculares del inventario anterior (2013) adicionando las siguientes: Camiones y Volquetas.

La Unidad de Planeación Minero Energética y Empresas Públicas de Medellín proporcionaron los datos relacionados con el consumo de los combustibles diésel, gasolina y gas natural vehicular en los municipios del Valle de Aburrá, a partir de los cuales se calculó la demanda energética del parque automotor de la región. Adicionalmente, el modelo LEAP entregó los resultados de dicha demanda con una diferencia inferior al 5% respecto de la demanda calculada con los datos entregados por dichas entidades.

En cuanto a las emisiones de contaminantes criterio se obtuvo un total de 167.860 Ton/año de CO, 15.910 Ton/año de NO_x, 349 Ton/año de SO_x, 14.249 Ton/año de VOC y 1.572 Ton/año de PM_{2.5}. De estos, es la categoría camiones la responsable por la mayoría de emisiones de CO, NO_x y PM_{2.5}; mientras que la mayor parte de las emisiones de VOC y SO_x son aportadas por las motocicletas de 4 tiempos y los automóviles respectivamente. Se debe tener en cuenta también al aporte de las volquetas a las emisiones de PM_{2.5}.

Los resultados de emisiones por tipo de combustible mostraron que el GNV y la gasolina emiten la mayor parte del CO, este último combustible es también responsable por la mayoría de las emisiones de SO_x y VOC y tiene una contribución importante en las emisiones de NO_x y PM_{2.5}, las cuales son principalmente generadas por el diésel.

Finalmente se encontró un total de 3.170.906 Ton/año de CO₂, 10.850 Ton/año de CH₄ y 76 Ton/año de N₂O. La mayor parte de estos gases de efecto invernadero es producida por los autos y camiones.

A partir del presente estudio se concluye que el crecimiento del parque automotor, en particular del número de motocicletas, supone un reto en la gestión de la calidad del aire, puesto que más del 80% de las emisiones de contaminantes criterio en el Valle de Aburrá provienen de las fuentes móviles (excepto el SO_x). Es importante también tener en cuenta que los camiones y volquetas, a pesar de que su número es reducido respecto a las demás categorías, son los responsables por la mayoría de las emisiones de estos contaminantes. La antigüedad del parque es un punto a tener en cuenta a la hora de ejercer control y vigilancia.

FUENTES FIJAS

Se estimaron las emisiones atmosféricas provenientes de las industrias asentadas en el Valle de Aburrá a través de factores de emisión y las concentraciones de contaminantes medidas en muestreos directos. Para el año 2016 se identificaron en total 1448 fuentes pertenecientes a 432 empresas.

En cuanto a las emisiones de contaminantes criterio se obtuvo que al año 2016 las empresas del Valle de Aburrá emitieron 3.215 toneladas de CO, 2.980 toneladas de NO_x, 3.153 toneladas de SO_x, 1.766 toneladas de VOC, 2.393 toneladas de PM, 1.165 toneladas de PM₁₀ y 345 toneladas de PM_{2.5}. Se encontró que es el sector Textil el responsable por cerca del 50% del CO y NO_x; así como del 70% del SO_x, el 50% del PM, el 60% del PM₁₀ y el 42% del PM_{2.5}. El sector de Bebidas, alimentos y tabaco, junto con el de Cerámicos y vítreos son responsables la mayoría de las emisiones de VOC.

Por otra parte, en 2016 se emitieron 1.125.344 toneladas de dióxido de carbono, 48 toneladas de metano y 137 toneladas de óxido nitroso. Se encontró que es también el sector Textil el mayor aportante de estos gases de efecto invernadero.

Los resultados aquí expuestos, producto de la actualización del inventario de emisiones le permiten a la autoridad ambiental realizar el diagnóstico y tomar las medidas necesarias para la gestión de la calidad del aire en la región. Se concluye que la atención se debería centrar en el sector Textil que es el mayor aportante a las emisiones tanto de contaminantes criterio, como de gases de efecto invernadero. Igualmente, es importante el aporte de los sectores de Bebidas,

alimentos y tabaco y de Cerámicos y vítreos a las emisiones de VOC y el sector maderero a las emisiones de PM2.5. Se debe seguir incentivando el empleo de combustibles limpios como el gas natural, pero vigilando los procesos industriales para que haya un aprovechamiento eficiente de la energía, lo cual disminuye las emisiones y favorece además la economía de las industrias.

Igualmente, se debe seguir trabajando en equipo desde la autoridad ambiental, la industria, la academia y la ciudadanía en general, puesto que la calidad del aire es responsabilidad de todos y así mismo sus beneficios.

FUENTES DE ÁREA

Estaciones de servicio de combustible: se utilizaron los factores de emisión de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos para calcular las emisiones de VOC de este tipo de fuentes, encontrando que durante el año 2015 se emitieron 2.011 toneladas de este contaminante (1.924 toneladas provenientes de la gasolina y 87 toneladas del diésel). La mayor parte de estas emisiones se registraron en la ciudad de Medellín, donde se presentó el más alto consumo de estos combustibles.

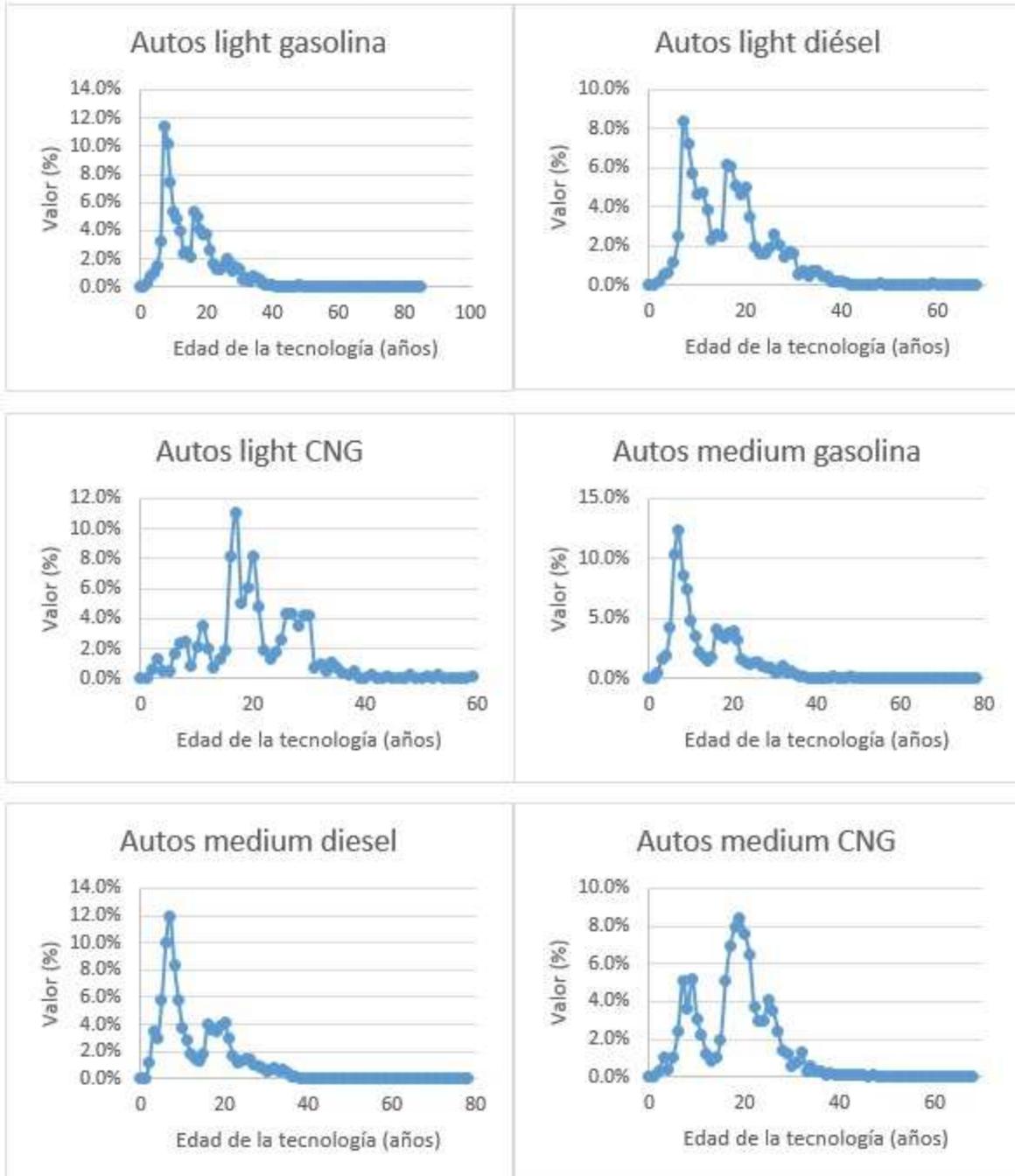
6 REFERENCIAS

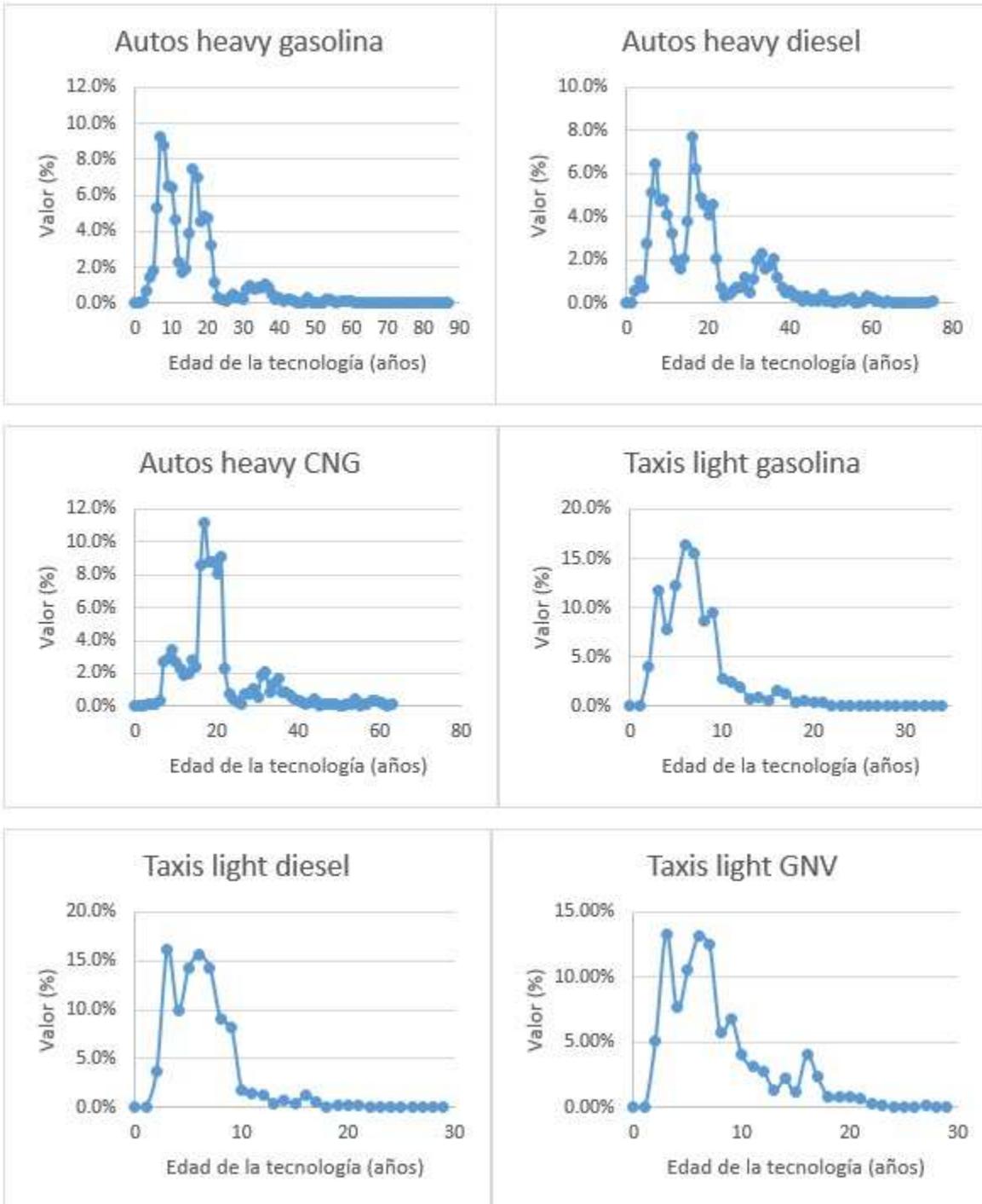
- AMVA. (2011). Acuerdo Metropolitano No 8 25 de marzo de 2011. Medellín.
- AMVA-CEAM-UPB. (2010). *Optimización de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire en el Valle de Aburrá*. Medellín.
- AMVA-UNAL. (2011). *Procedimiento para la Validación y Verificación de Datos de Calidad del Aire*. Medellín.
- AMVA-UPB. (2010). *Administración del Sistema de Información Metropolitano de la Calidad del Aire, SIMECA. Contrato No 399 de 2010*. Medellín.
- AMVA-UPB. (2010). *Lineamientos Técnicos para el Plan de Descontaminación del Aire en la Región Metropolitana del Valle de Aburrá. Convenio 543 de 2008. Acta ejecutoria 3*. Medellín.
- AMVA-UPB. (2011). *Optimización del Inventario de Emisiones Atmosféricas*. Medellín.
- AMVA-UPB. (2014). *Actualización del inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá. Convenio 256 de 2013*. Medellín.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana. (2015). *Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2013*. Medellín.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana. (2013). *Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2011. Convenio 243 de 2012*. Medellín.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá-Universidad Pontificia Bolivariana. (2013). *Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2011*. Medellín.
- Bergthorson, J. T. (2015). A review of the combustion and emissions properties of advanced transportation biofuels and their impact on existing and future engines. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1393-1417.

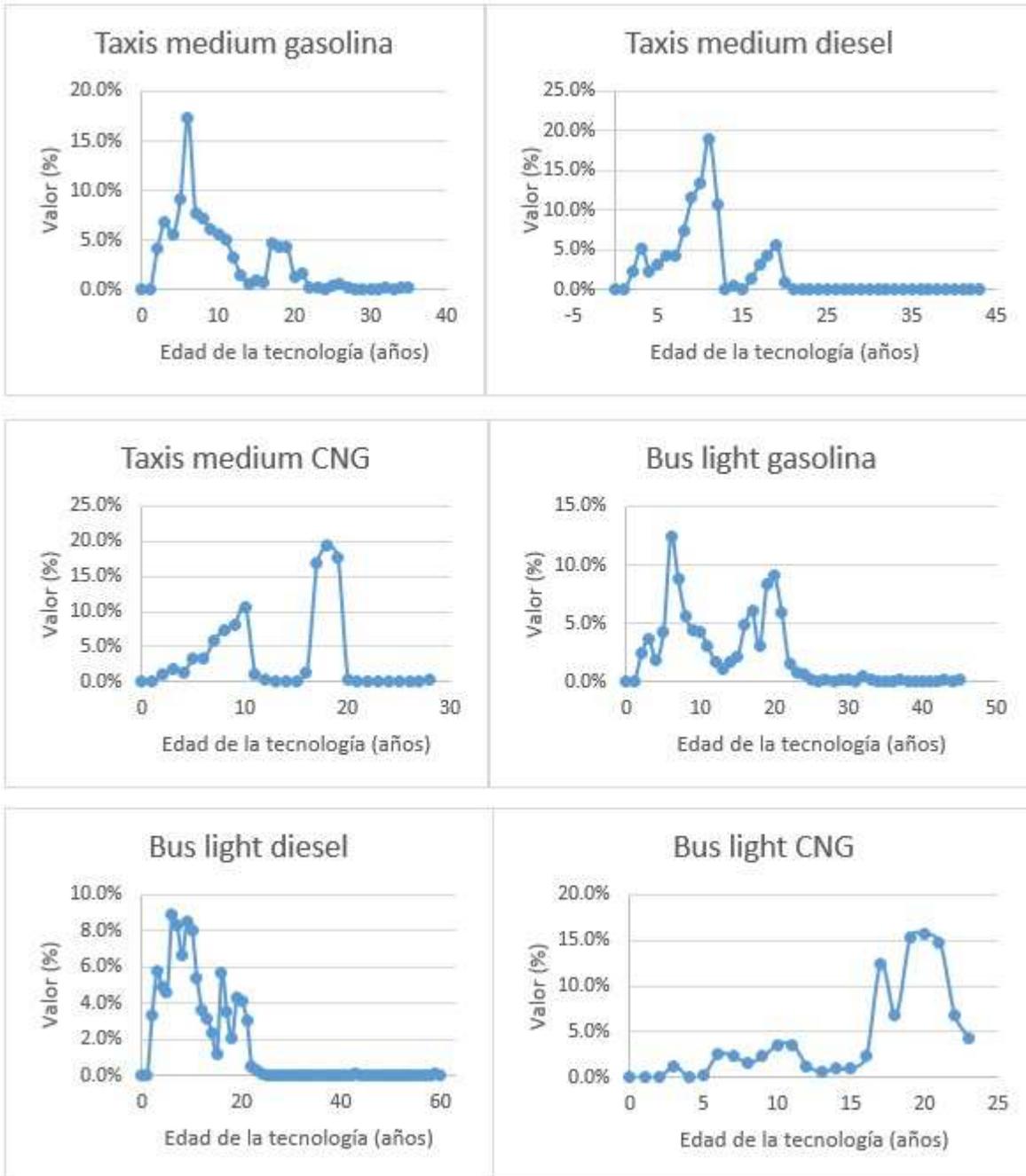
- Davis, N., Lents, J., Osses, M., Nikkila, N., & Bart, M. (2005). Development and application of an international vehicle emissions model. *Transportation Research Board 81st Annual Meeting*. Washington, D.C.
- ECOPETROL. (2013). *Calidad del Diesel*. Colombia.
- European Environment Agency. (27 de 06 de 2017). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook - Update Dec. 2016*. Obtenido de <https://www.eea.europa.eu/themes/air/emep-eea-air-pollutant-emission-inventory-guidebook/emep>
- Government of Canada. (29 de 10 de 2013). *Environment Canada*. Recuperado el 10 de 12 de 2014, de <https://www.ec.gc.ca/ges-ghg/default.asp?lang=En&n=CAD07259-1>
- Heaps, C. (2012). *Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) system. [Software version 2012.0017]*. Somerville, MA, USA: Stockholm Environment Institute.
- IDEAM. (2005). *Protocolo para la Vigilancia y Seguimiento del Módulo Aire del Sistema de Información Ambiental*. Bogotá.
- IDEAM. (2010). *Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire*. Bogotá.
- Kota, S., Zhang, H., Chen, G., Schade, G., & Ying, Q. (2014). Evaluation of on-road vehicle CO and NOx National Emission Inventories using an urban-scale source-oriented air quality model. *Atmospheric Environment*, 99-108.
- MAVDT. (2010). Resolución 610 de 2010. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá.
- Ministerio del Medio Ambiente de Chile. (22 de 04 de 2014). *Actualización y Sistematización del Inventario de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos en la Región Metropolitana*. Recuperado el 29 de 06 de 2017, de Santiago Respira: http://santiagorespira.gob.cl/pdf/Actualizacion_y_sistematizacion_del_inventario_de_emisiones_de_contaminantes_atmosfericos_en_la_Region_Metropolitana_Inf-1.pdf
- OMS. (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*.

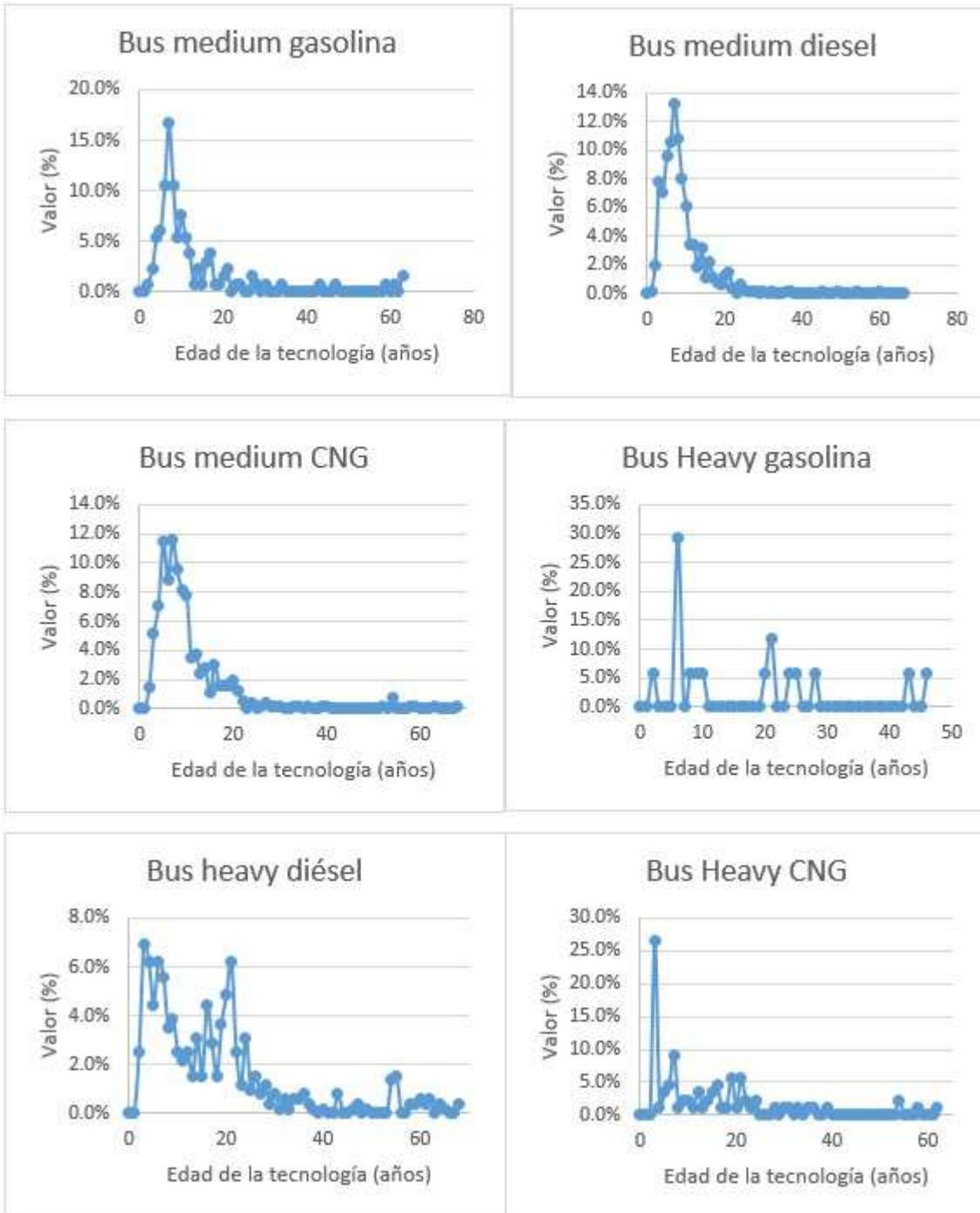
- Reynolds, A., & Broderick, B. (2000). Development of an emissions inventory model for mobile sources. *Transportation Research Part D*, 77-101.
- Sadri, A., Ardehali, M., & Amirnekooei, K. (2014). General procedure for long-term energy-environmental planning for transportation sector of developing countries with limited data based on LEAP (long-range energy alternative planning) and EnergyPLAN. *Energy*, 831-843.
- SEMARNAT. (2013). Información general de las emisiones por gas, fuente y sumideros, y tendencias. En S. d. Naturales, *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 1990-2010* (págs. 39-74). Ciudad de México. Obtenido de http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/inf_inegei_public_2010.pdf
- SNI Chile. (28 de 06 de 2017). *Sistema Nacional de Inventarios de Gases de Efecto Invernadero*. Obtenido de <http://www.snichile.cl/consulta>
- United States Environmental Protection Agency. (17 de 12 de 2015). *What are Hazardous Air Pollutants?* Obtenido de <http://www.epa.gov/haps/what-are-hazardous-air-pollutants>
- Universidad Pontificia Bolivariana - Área Metropolitana del Valle de Aburrá. (2014). *Actualización del inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá*. Medellín.
- US EPA. (2008). *Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors*. Transportation and marketing of petroleum liquids.

Anexo A. Perfiles de antigüedad de las tecnologías vehiculares del Valle de Aburrá

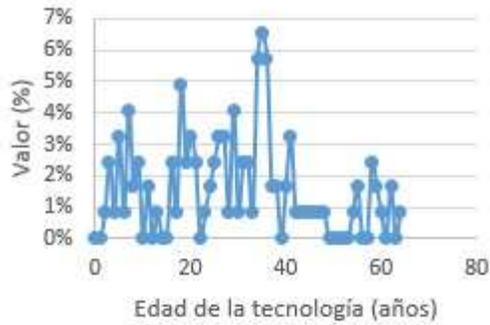




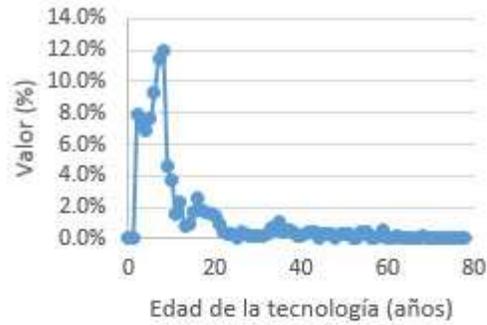




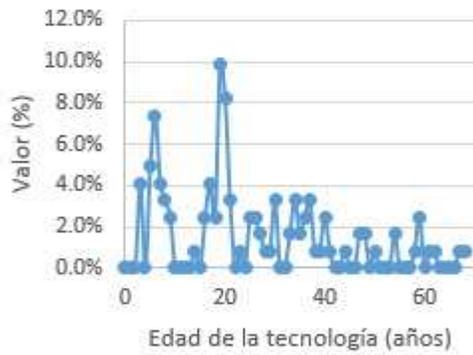
Camiones light gasolina



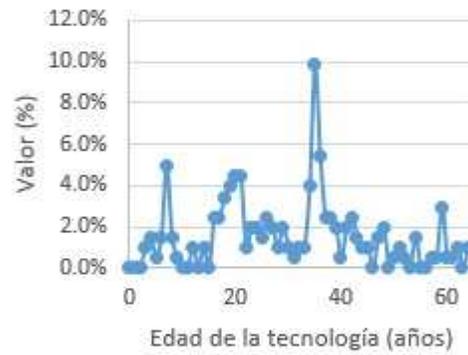
Camiones light diesel



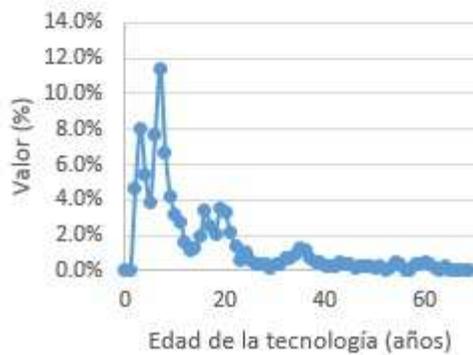
Camiones light CNG



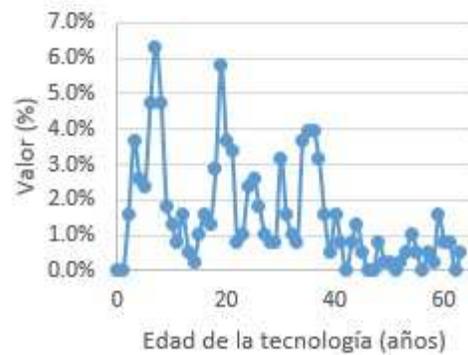
Camiones medium gasolina

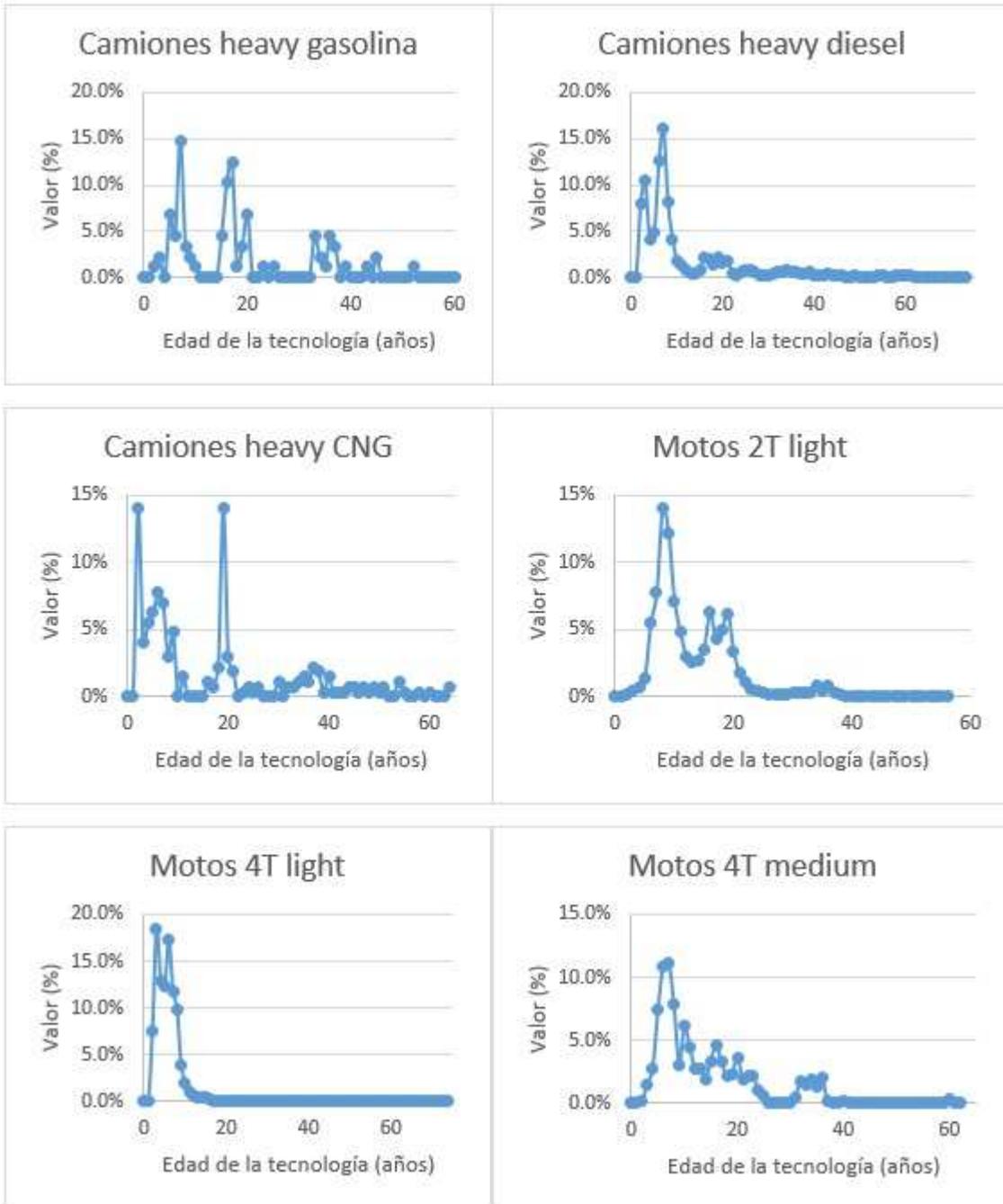


Camiones medium diésel



Camiones medium CNG





Anexo B. Factores de Emisión del modelo IVE corregido de acuerdo a las condiciones del Valle de Aburrá

DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS - VALLE DE ABURRÁ								FACTORES DE EMISION CORREGIDOS						
								g/km						
Description	Fuel	Weight	Air/Fuel Control	Exhaust	Evaporative	Age	Index	VOC	CO	NO _x	PM	NH ₃	N ₂ O	CH ₄
Auto, Taxi: Liviano, Gasolina														
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Carburetor	None	PCV	<79K km	0	3,440	35,185	1,411	0,003	0,028	0,000	0,544
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Single-Pt FI	2-Way	PCV	<79K km	63	0,264	1,691	1,413	0,003	0,064	0,005	0,054
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	<79K km	117	0,065	1,120	0,264	0,003	0,064	0,005	0,013
Auto/Sml Truck	Petrol	Light	Multi-Pt FI	EuroII	PCV/Tank	<79K km	180	0,088	0,565	0,159	0,003	0,055	0,005	0,017
Auto, Taxi: Mediano, Gasolina														
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Carburetor	None	PCV	<79K km	3	3,440	35,444	1,411	0,003	0,028	0,001	0,544
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Single-Pt FI	2-Way	PCV	<79K km	66	0,264	6,387	1,413	0,003	0,064	0,015	0,054
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	<79K km	120	0,072	1,120	0,530	0,003	0,064	0,015	0,014
Auto/Sml Truck	Petrol	Medium	Multi-Pt FI	EuroII	PCV/Tank	<79K km	183	0,098	0,565	0,319	0,003	0,055	0,015	0,019
Auto, Taxi: Pesado, Gasolina														
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Carburetor	None	PCV	<79K km	6	5,044	39,387	2,452	0,003	0,028	0,002	0,797
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Single-Pt FI	2-Way	PCV	<79K km	69	0,388	6,387	2,456	0,003	0,064	0,026	0,080
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Multi-Pt FI	3-Way	PCV	<79K km	123	0,088	1,368	0,648	0,003	0,064	0,026	0,017
Auto/Sml Truck	Petrol	Heavy	Multi-Pt FI	EuroII	PCV/Tank	<79K km	186	0,120	0,690	0,390	0,003	0,055	0,026	0,023
Bus, Camión: Liviano, Gasolina														
Truck/Bus	Petrol	Light	Carburetor	None	PCV	<79K km	828	5,594	56,738	3,243	0,033	0,028	0,001	0,664
Truck/Bus	Petrol	Light	FI	3-Way	PCV	<79K km	900	0,274	5,748	0,219	0,033	0,028	0,014	0,054
Truck/Bus	Petrol	Light	FI	EuroII	PCV	<79K km	927	3,290	5,748	3,093	0,020	0,028	0,014	0,664
Bus, Camión: Mediano, Gasolina														
Truck/Bus	Petrol	Medium	Carburetor	None	PCV	<79K km	831	7,556	76,663	4,357	0,032	0,028	0,003	0,897
Truck/Bus	Petrol	Medium	FI	3-Way	PCV	<79K km	903	0,318	6,673	0,254	0,032	0,028	0,045	0,062
Truck/Bus	Petrol	Medium	FI	EuroII	PCV	<79K km	930	4,444	6,673	4,157	0,020	0,028	0,045	0,897

DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS - VALLE DE ABURRÁ								FACTORES DE EMISION CORREGIDOS						
								g/km						
Description	Fuel	Weight	Air/Fuel Control	Exhaust	Evaporative	Age	Index	VOC	CO	NO _x	PM	NH ₃	N ₂ O	CH ₄
Bus, Camión: Pesado, Gasolina														

Truck/Bus	Petrol	Heavy	Carburetor	None	PCV	<79K km	834	9,088	92,309	5,173	0,032	0,028	0,005	1,079
Truck/Bus	Petrol	Heavy	FI	3-Way	PCV	<79K km	906	0,375	7,878	0,300	0,032	0,028	0,077	0,074
Truck/Bus	Petrol	Heavy	FI	EuroII	PCV	<79K km	933	5,344	8,878	4,934	0,020	0,028	0,077	1,079
Moto 2T: Liviana, Gasolina														
Sml Engine	Petrol	Lt	2-Cycle	None	None	0-25K	1170	7,998	17,991	0,023	0,180	0,100	0,000	1,047
Moto 4T: Liviana, Gasolina														
Sml Engine	Petrol	Lt	4-Cycle, Carb	None	None	0-25K	1206	1,987	9,799	0,143	0,070	0,039	0,000	0,260
Sml Engine	Petrol	Lt	4-Cycle, Carb	High Tech	None	0-25K	1224	0,764	3,505	0,102	0,050	0,028	0,000	0,100
Moto 4T: Mediana, Gasolina														
Sml Engine	Petrol	Med	4-Cycle, Carb	None	None	0-25K	1209	2,483	12,249	0,179	0,088	0,049	0,000	0,325
Sml Engine	Petrol	Med	4-Cycle, Carb	Catalyst	None	0-25K	1236	0,716	2,874	0,064	0,025	0,014	0,000	0,094
Sml Engine	Petrol	Med	4-Cycle, FI	Catalyst	PCV	0-25K	1245	0,463*	1,529*	0,086*	0,013	0,007	0,000	0,094
Moto 4T: Pesada, Gasolina														
Sml Engine	Petrol	Hvy	4-Cycle, Carb	High Tech	None	0-25K	1230	1,910	8,763	0,255	0,125	0,069	0,000	0,250
Auto, Taxi: Liviano, Diesel														
Auto/Sml Truck	Diesel	Light	Pre-Chamber Inject.	None	None	<79K km	738	0,864	1,892	0,976	0,060	0,004	0,000	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Light	Pre-Chamber Inject.	Improved	None	<79K km	747	0,258	0,590	0,879	0,060	0,004	0,000	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Light	Direct Injection	EGR+Improv	None	<79K km	756	0,206	0,472	0,703	0,060	0,004	0,000	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Light	FI	EuroII	None	<79K km	792	0,042	0,435	0,733	0,052	0,005	0,000	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Light	FI	EuroIV	None	<79K km	810	0,043	0,471	0,539	0,062	0,005	0,005	0,000
Auto, Taxi: Mediano, Diesel														
Auto/Sml Truck	Diesel	Medium	Pre-Chamber Inject.	None	None	<79K km	741	0,864	1,892	0,976	0,060	0,004	0,001	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Medium	Pre-Chamber Inject.	Improved	None	<79K km	750	0,275	0,633	0,794	0,060	0,004	0,001	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Medium	Direct Injection	EGR+Improv	None	<79K km	759	0,220	0,507	0,635	0,060	0,004	0,001	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Medium	FI	EuroII	None	<79K km	795	0,042	0,435	0,733	0,052	0,005	0,001	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Medium	FI	EuroIV	None	<79K km	813	0,043	0,471	0,539	0,062	0,005	0,015	0,000
DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS - VALLE DE ABURRÁ								FACTORES DE EMISION CORREGIDOS						
								g/km						
Description	Fuel	Weight	Air/Fuel Control	Exhaust	Evaporative	Age	Index	VOC	CO	NO_x	PM	NH₃	N₂O	CH₄
Auto, Taxi: Pesado, Diesel														
Auto/Sml Truck	Diesel	Heavy	Pre-Chamber Inject.	None	None	<79K km	744	0,864	1,892	0,976	0,061	0,004	0,002	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Heavy	Pre-Chamber Inject.	Improved	None	<79K km	753	0,275	0,633	0,794	0,061	0,004	0,002	0,000

Auto/Sml Truck	Diesel	Heavy	Direct Injection	EGR+Improv	None	<79K km	762	0,220	0,507	0,635	0,061	0,004	0,002	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Heavy	FI	EuroII	None	<79K km	798	0,042	0,435	0,733	0,054	0,005	0,002	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Heavy	FI	EuroIV	None	<79K km	816	0,043	0,471	0,539	0,064	0,005	0,026	0,000
Bus, Camión: Liviano, Diesel														
Truck/Bus	Diesel	Light	Pre-Chamber Inject.	None	None	<79K km	1071	1,893	10,972	7,827	0,100	0,017	0,001	0,000
Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	Improved	None	<79K km	1080	0,451	1,340	5,723	0,080	0,017	0,001	0,000
Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	EGR+Improv	None	<79K km	1089	0,378	1,340	1,873	0,080	0,017	0,001	0,000
Truck/Bus	Diesel	Light	FI	EuroII	None	<79K km	1125	0,387	1,427	3,434	0,065	0,013	0,001	0,000
Truck/Bus	Diesel	Light	FI	EuroIV	None	<79K km	1143	0,018	0,136	1,624	0,014	0,013	0,014	0,000
Bus, Camión: Mediano, Diesel														
Truck/Bus	Diesel	Medium	Pre-Chamber Inject.	None	None	<79K km	1074	2,793	16,160	11,509	0,120	0,017	0,003	0,000
Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	Improved	None	<79K km	1083	0,684	2,899	10,474	0,096	0,017	0,003	0,000
Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	EGR+Improv	None	<79K km	1092	0,709	2,899	3,341	0,096	0,017	0,003	0,000
Truck/Bus	Diesel	Medium	FI	EuroII	None	<79K km	1128	0,571	2,101	5,050	0,077	0,013	0,003	0,000
Truck/Bus	Diesel	Medium	FI	EuroIV	None	<79K km	1146	0,027	0,201	2,388	0,017	0,013	0,045	0,000
Bus, Camión: Pesado, Diesel														
Truck/Bus	Diesel	Heavy	Pre-Chamber Inject.	None	None	<79K km	1077	4,304	24,999	17,908	0,144	0,017	0,005	0,000
Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	Improved	None	<79K km	1086	0,905	4,851	16,920	0,115	0,017	0,005	0,000
Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	EGR+Improv	None	<79K km	1095	0,793	4,851	5,244	0,115	0,017	0,005	0,000
Truck/Bus	Diesel	Heavy	FI	EuroII	None	<79K km	1131	0,879	3,251	7,858	0,093	0,013	0,005	0,000
Truck/Bus	Diesel	Heavy	FI	EuroIV	None	<79K km	1149	0,041	0,311	3,716	0,020	0,013	0,077	0,000
DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS - VALLE DE ABURRÁ								FACTORES DE EMISION CORREGIDOS						
								g/km						
Description	Fuel	Weight	Air/Fuel Control	Exhaust	Evaporative	Age	Index	VOC	CO	NO_x	PM	NH₃	N₂O	CH₄
Auto, Taxi: Liviano, GNV														
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Light	Carb/Mixer	None	PCV	<79K km	216	0,216	37,997	1,411	0,002	0,028	0,000	7,066
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Light	Carb/Mixer	3-Way	PCV	<79K km	243	0,008	3,667	0,639	0,002	0,064	0,005	0,299
Auto, Taxi: Mediano, GNV														
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Medium	Carb/Mixer	None	PCV	<79K km	219	0,216	38,277	1,411	0,002	0,028	0,001	7,066
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Medium	Carb/Mixer	3-Way	PCV	<79K km	246	0,027	12,271	1,595	0,002	0,064	0,015	0,964
Auto, Taxi: Pesado, GNV														
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Heavy	Carb/Mixer	None	PCV	<79K km	222	0,317	42,535	2,452	0,002	0,028	0,002	10,359

Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Heavy	Carb/Mixer	3-Way	PCV	<79K km	249	0,032	14,998	1,949	0,002	0,064	0,026	1,178
Bus, Camión: Liviano, GNV														
Truck/Bus	Natural Gas	Light	Carb/Mixer	None	PCV	<79K km	963	0,351	117,017	2,594	0,002	0,028	0,001	8,638
Truck/Bus	Natural Gas	Light	FI	3-Way/EGR	PCV	<79K km	990	0,016	4,023	0,149	0,002	0,028	0,014	0,698
Bus, Camión: Mediano, GNV														
Truck/Bus	Natural Gas	Medium	Carb/Mixer	None	PCV	<79K km	966	0,474	158,111	3,486	0,002	0,028	0,003	11,667
Truck/Bus	Natural Gas	Medium	FI	3-Way/EGR	PCV	<79K km	993	0,019	4,671	0,173	0,002	0,028	0,045	0,810
Bus, Camión: Pesado, GNV														
Truck/Bus	Natural Gas	Heavy	FI	3-Way/EGR	PCV	<79K km	996	0,023	5,515	0,204	0,002	0,028	0,077	0,956

*Factores de emisión proporcionados por empresa ensambladora de la región.

VOC: compuestos orgánicos volátiles

CO: monóxido de carbono

NO_x: óxidos de nitrógeno

PM: material particulado menor de 2,5 µm.

NH₃: amoníaco

N₂O: óxido nitroso

CH₄: metano

Factores de emisión por desgaste de frenos y neumáticos y por el desgaste de la superficie de la carretera

		Road Vehicle tyre and brake wear	Road surface wear	Total
Pollutant	Vehicle type	Value (g/km)		
TSP	Two-wheelers	0,0083	0,006	0,0143
PM10	Two-wheelers	0,0064	0,003	0,0094
PM2,5	Two-wheelers	0,0034	0,0016	0,005
TSP	Passenger car	0,0182	0,015	0,0332
PM10	Passenger car	0,0138	0,0075	0,0213
PM2,5	Passenger car	0,0074	0,0041	0,0115
TSP	Light duty trucks	0,0286	0,015	0,0436
PM10	Light duty trucks	0,0216	0,0075	0,0291
PM2,5	Light duty trucks	0,0117	0,0041	0,0158
TSP	Heavy duty trucks	0,0777	0,076	0,1537
PM10	Heavy duty trucks	0,059	0,038	0,097
PM2,5	Heavy duty trucks	0,0316	0,0205	0,0521

Fuente: EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook – 2009

Table 3-1. Tier 1 emission factors for source category 1.A.3.b.vi, road vehicle tyre and brake wear combined.

Table 3-2 Tier 1 emission factors for source category 1.A.3.b.vii, road surface wear.

Anexo C. IEFI_2016 (digital)

Anexo D. Análisis Resultados Inventario Fuentes Fijas, año 2016

	Top 10 empresas más contaminantes	Fuente	Emisión MP (kg/h)	Concentración MP (mg/m ³)	Norma MP (mg/m ³)	Cumplimiento
1	ASFALTADORA COLOMBIA S.A.S	Horno Secador	11.20	450	150	NO CUMPLE
2	INDUSTRIAS DE COBRE Y ALUMINIO S.A. "INCOAL S.A."	Hornos (Inducción eléctrica 1 y 2, De llama 1 y 2)	9.57	327.6	150	NO CUMPLE
3	COLOMBIANA KIMBERLY COLPAPEL S.A	Secador de Papel	8.46	42.1	250	CUMPLE
4	COLCERÁMICA S.A. Planta Girardota	Atomizador	6.53	129.41	150	CUMPLE
5	ANDES CAST METALS FOUNDRY LTDA	Horno de fundición (Ducto común a 4 equipos)	5.55	43.33	150	CUMPLE
6	FABRICATO S.A	Central térmica - Calderas Rilely Stoker	4.37	25.44	250	CUMPLE
7	P & G	Torre Detergentes	4.18	48.92	150	CUMPLE
8	INDUSTRIAS EL TORO INTERNACIONAL LTDA	Caldera	4.01	439.815	200	NO CUMPLE
9	CERVECERIA UNION S.A.	Chimenea filtro de mangas Calderas 1, 3 y 4	3.89	73.18	200	CUMPLE
10	CALORCOL S.A.S	Horno cubilote	3.87	647.32	150	NO CUMPLE

A continuación, se muestra el número de empresas y fuentes que emiten MP por encima de 30, 50, 80 y 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Mayor a 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Empresas	106
	Fuentes	199
Mayor a 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Empresas	90
	Fuentes	155
Mayor a 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Empresas	79
	Fuentes	125
Mayor a 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Empresas	74
	Fuentes	112