

**Un proyecto de:**



**Inventario de Emisiones  
Atmosféricas del Valle de  
Aburrá, año base 2013**

**Convenio de  
Asociación No. CA 315  
de 2014  
Subdirección  
Ambiental**



Informe final  
Diciembre de 2015

---

**Convenio de Asociación No. CA 315 de 2014  
AUNAR ESFUERZOS TÉCNICOS, ECONÓMICOS Y FINANCIEROS PARA OPERAR EL  
MODELO DE SIMULACIÓN DE CALIDAD DEL AIRE, PARA FORTALECER LAS FUNCIONES  
DE AUTORIDAD AMBIENTAL Y DE MOVILIDAD.**

UN PROYECTO DE:

ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ  
Hernán Darío Elejalde López  
Director

Ana Milena Joya Camacho  
Subdirector Ambiental

EJECUTA:

Universidad Pontificia Bolivariana  
Grupo de Investigaciones Ambientales

María Victoria Toro Gómez I.Q. MSc. PhD.  
Eliana Molina Vásquez I.S. MSc.  
Diana Marcela Quiceno Rendón I.Q. Esp.  
Frank Edilson Ospina Giraldo I.Q. Esp.  
Luis Fernando Acevedo Cardona C.S. Esp.  
María Luisa Jaramillo Jaramillo I.Ag. Esp.  
Oscar Fabián Arcos Jiménez. I.Q. Esp.  
Alexis Orrego Villegas I.E.  
Diana Cristina Arteaga Rojas I.Q

INTERVENTORÍA

Ana Zuleima Orrego Guarín. I.Q. Esp.  
Profesional Universitaria  
Área Metropolitana del Valle de Aburrá

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	9
1 OBJETIVOS .....	10
1.1 OBJETIVO GENERAL .....	10
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	10
2 ANTECEDENTES.....	11
3 FUENTES MÓVILES .....	14
3.1 METODOLOGÍA .....	14
3.2 DATOS DE ENTRADA .....	20
3.3 RESULTADOS .....	31
4 FUENTES DE ÁREA.....	55
4.1 ESTACIONES DE SERVICIO DE COMBUSTIBLE .....	55
4.2 RELLENO SANITARIO.....	63
4.3 EMISIONES EVAPORATIVAS DE PROCESOS INDUSTRIALES.....	71
4.4 RESULTADOS DE EMISIONES DE FUENTES DE ÁREA.....	79
5 FUENTES FIJAS.....	81
5.1 METODOLOGÍA .....	81
5.2 RESULTADOS .....	86
6 INVENTARIO DE EMISIONES DEL VALLE DE ABURRÁ .....	100
6.1 DEMANDA ENERGÉTICA .....	100
6.2 EMISIÓN DE CONTAMINANTES CRITERIO .....	100
7 CONCLUSIONES .....	102
8 Referencias.....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Árbol de categorías vehiculares utilizado en el modelo LEAP .....	16
Figura 3.2. Perfiles de antigüedad.....	24
Figura 3.3. Kilometraje promedio anual recorrido por los vehículos en el Valle de Aburrá.....	26
Figura 3.4. Balance energético real y estimado, año 2013 .....	32
Figura 3.5. Demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá por categoría vehicular, año 2013.....	33
Figura 3.6. Demanda energética por categoría vehicular, tamaño y combustible, año 2013 ....	35
Figura 3.7. Composición del parque automotor del Valle de Aburrá, año 2013.....	36
Figura 3.8. Vehículos registrados en el Valle de Aburrá por municipio, año 2013 .....	37
Figura 3.9. Distribución de emisiones de contaminantes criterio por categoría vehicular, año 2013.....	39
Figura 3.10. Distribución de emisiones por tipo de combustible (Ton), año 2013.....	40
Figura 3.11. Distribución de la categoría autos, año 2013 .....	41
Figura 3.12. Distribución de emisiones en la categoría autos, año 2013 .....	43
Figura 3.13. Distribución de taxis, año 2013.....	44
Figura 3.14. Distribución emisiones categoría taxis, año 2013.....	45
Figura 3.15. Distribución de buses, año 2013.....	46
Figura 3.16. Distribución emisiones categoría buses, año 2013.....	47
Figura 3.17. Distribución de camiones, año 2013 .....	48
Figura 3.18. Distribución emisiones categoría camiones, año 2013 .....	49
Figura 3.19. Distribución de las emisiones en la categoría motos, año 2013 .....	50
Figura 3.20. Distribución emisiones motos 4 tiempos, año 2013.....	51
Figura 3.21. Distribución de emisiones de GEI por tipo de combustible, año 2013 .....	53
Figura 3.22. Distribución de emisiones de GEI por categoría vehicular, año 2013.....	54
Figura 4.1. Métodos para la recarga de tanques de almacenamiento de combustible .....	56
Figura 4.2. Consumo de gasolina en el Valle de Aburrá en el año 2013.....	59
Figura 4.3. Consumo de diésel en el Valle de Aburrá en el año 2013.....	59
Figura 4.4. Consumo histórico de gasolina en el Valle de Aburrá (galones) .....	60
Figura 4.5. Consumo histórico de diésel en el Valle de Aburrá (galones) .....	60

Figura 4.6. Distribución de emisiones de VOC provenientes de la gasolina por municipio, año 2013.....	62
Figura 4.7. Distribución de emisiones de VOC provenientes del diésel por municipio, año 2013 .....	62
Figura 4.8. Ubicación Relleno Sanitario La Pradera .....	65
Figura 4.9. Relleno Sanitario La Pradera.....	65
Figura 4.10. Composición de los residuos dispuestos en La Pradera en 2012.....	66
Figura 4.11. Emisión de CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> y NMOC desde la apertura del relleno sanitario La Pradera	71
Figura 4.12. Distribución de emisiones de VOC causadas por emisiones evaporativas industriales.....	79
Figura 4.13. Distribución de emisiones de VOC por fuente de área, año 2013 .....	80
Figura 5.1. Actividades desarrolladas para la elaboración del inventario de fuentes fijas.....	82
Figura 5.2. Empresas y fuentes de emisión fijas por municipio, año 2014.....	87
Figura 5.3. Empresas y fuentes de emisión fijas por actividad productiva, año 2014.....	88
Figura 5.4. Distribución de la demanda energética (TJ) de las fuentes fijas del Valle de Aburrá, año 2014.....	89
Figura 5.5. Demanda energética según el sector productivo, año 2014 .....	90
Figura 5.6. Distribución de la demanda energética por actividad productiva y tipo de combustible, año 2014 .....	91
Figura 5.7. Distribución de emisiones de contaminantes criterio de acuerdo a la actividad productiva, año 2014 .....	92
Figura 5.8. Distribución de emisiones de contaminantes criterio por municipio, año 2014 .....	94
Figura 5.9. Distribución de emisiones de gases de efecto invernadero de acuerdo a la actividad productiva, año 2014 .....	95
Figura 5.10. Distribución de emisiones de gases de efecto invernadero por municipio, año 2014.....	96
Figura 5.11. Distribución de emisiones de gases de efecto invernadero de acuerdo al tipo de combustible, año 2014 .....	97
Figura 5.12. Distribución de emisiones de contaminantes peligrosos de acuerdo a la actividad productiva, año 2014 .....	99
Figura 5.13. Distribución de emisiones de contaminantes peligrosos por municipio, año 2014 .....	99



Figura 6.1. Distribución de emisiones de contaminantes criterio de acuerdo al tipo de fuente  
..... 101

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Distribución del parque automotor en el modelo LEAP.....	15
Tabla 3.2. Existencias y ventas de vehículos registrados en el Valle de Aburrá para el año 2013 .....	20
Tabla 3.3. Distribución porcentual del parque automotor por categoría vehicular, cilindraje y tipo de combustible para el año 2013.....	21
Tabla 3.4. Condiciones para los factores de emisión base.....	28
Tabla 3.5. Factores de corrección disponibles para los factores de emisión base.....	29
Tabla 3.6. Calendario de introducción de tecnologías vehiculares y contenido de azufre en el combustible en Colombia.....	30
Tabla 3.7. Factores de emisión de CO <sub>2</sub> y SO <sub>2</sub> .....	31
Tabla 3.8. Demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá por categoría vehicular, año 2013 (TJ).....	33
Tabla 3.9. Emisión de contaminantes criterio por categoría vehicular (Ton), año 2013.....	38
Tabla 3.10. Emisión de contaminantes criterio por tipo de combustible (Ton), año 2013.....	39
Tabla 3.11. Emisión de contaminantes criterio en la categoría autos (Ton), año 2013.....	42
Tabla 3.12. Emisión contaminantes criterio categoría taxis (Ton), año 2013.....	44
Tabla 3.13. Emisión contaminantes criterio categoría buses (Ton), año 2013.....	46
Tabla 3.14. Emisión contaminantes criterio categoría camiones (Ton), año 2013.....	48
Tabla 3.15. Distribución motos, año 2013.....	50
Tabla 3.16. Emisiones motos (Ton), año 2013.....	51
Tabla 3.17. Potenciales de Calentamiento Global.....	52
Tabla 3.18. Emisiones de GEI producidas por las fuentes móviles en el Valle de Aburrá (Ton), año 2013.....	52
Tabla 3.19. Emisiones de GEI por categoría vehicular (Ton), año 2013.....	53
Tabla 4.1. Factores de emisión de VOC para estaciones de servicio de combustible.....	57
Tabla 4.2. Consumo de gasolina en el Valle de Aburrá en el año 2013.....	57
Tabla 4.3. Consumo de diésel en el Valle de Aburrá en el año 2013.....	58
Tabla 4.4. Emisiones de VOC provenientes de la gasolina, año 2013 (ton/año).....	61
Tabla 4.5. Emisiones de VOC provenientes del diésel, año 2013 (ton/año).....	61

Tabla 4.6. Cantidad de residuos dispuestos en La Pradera .....	66
Tabla 4.7. Parámetros de entrada para el modelo LandGEM - Vaso La Carrilera .....	68
Tabla 4.8. Parámetros de entrada para el modelo LandGEM - Vaso La Música .....	68
Tabla 4.9. Contaminantes emitidos por la disposición de residuos en el relleno sanitario La Pradera, 2013 .....	69
Tabla 4.10. Emisión de HAP/VOCs en el relleno sanitario La Pradera (ton), 2013.....	69
Tabla 4.11. Emisiones de VOC de la industria de bebidas destiladas, año 2013 .....	72
Tabla 4.12. Emisiones de VOC provenientes del tostado de café, año 2013 .....	73
Tabla 4.13. Factores de emisión para el proceso de producción de pintura y barnices .....	74
Tabla 4.14. Emisiones de VOC por la fabricación de pintura y barnices en el Valle de Aburrá en 2013.....	74
Tabla 4.15. Emisiones de VOCs de la industria cervecera, año 2013 .....	75
Tabla 4.16. Factores de emisión y resultados para la producción de fibras sintéticas en el Valle de Aburrá, año 2013 .....	75
Tabla 4.17. Factores de emisión y resultados para la fabricación de papas fritas y pasabocas, año 2013.....	76
Tabla 4.18. Factores de emisión para el recubrimiento de rollos metálicos y latas .....	77
Tabla 4.19. Emisión de VOC por el recubrimiento de rollos metálicos y latas, año 2013.....	77
Tabla 4.20. Empresas seleccionadas para la estimación de las emisiones evaporativas.....	77
Tabla 4.21. Emisiones evaporativas industriales, año 2013.....	77
Tabla 4.22. Emisiones fuentes de área, año 2013 .....	79
Tabla 5.1. Actividades productivas susceptibles de realizar descargas atmosféricas en el Valle de Aburrá .....	83
Tabla 5.2. Procesos o equipos generadores de emisiones en el Valle de Aburrá.....	84
Tabla 5.3. Poderes caloríficos de los combustibles usados por fuentes fijas en el Valle de Aburrá.....	86
Tabla 5.4. Demanda energética de las fuentes industriales del Valle de Aburrá, año 2014 .....	89
Tabla 5.5. Emisiones de contaminantes criterio por actividad productiva (Ton), año 2014.....	91
Tabla 5.6. Emisión de contaminantes criterio en el sector textil (Ton), año 2014.....	93
Tabla 5.7. Emisiones de contaminantes criterio por municipio (Ton), año 2014.....	93
Tabla 5.8. Emisiones de gases de efecto invernadero por actividad productiva (Ton), año 2014 .....	94



Tabla 5.9. Emisiones de gases de efecto invernadero por municipio (Ton), año 2014 .....	96
Tabla 5.10. Emisiones de gases de efecto invernadero por tipo de combustible (Ton), año 2014 .....	97
Tabla 5.11. Emisión de contaminantes peligrosos por sector productivo en el Vale de Aburrá (Ton), año 2014 .....	98
Tabla 5.12. Emisión de contaminantes peligrosos por municipio en el Valle de Aburrá (Ton), año 2014 .....	98
Tabla 6.1. Demanda de energía de acuerdo al tipo de fuente (TJ) .....	100
Tabla 6.2. Emisión de contaminantes criterio de acuerdo al tipo de fuente (Ton/año) .....	101

## INTRODUCCIÓN

El Convenio de Asociación No 315 de 2014 entre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Universidad Pontificia Bolivariana, tiene como objeto “aunar esfuerzos técnicos, económicos y financieros para operar el modelo de simulación de calidad del aire para fortalecer las funciones de la autoridad ambiental y de movilidad. Para cumplir con este fin, uno de los objetivos específicos es “actualizar el modelo de emisiones atmosféricas con año base 2013 para fuentes fijas, fuentes de área y fuentes móviles utilizando los modelos LEAP y MODEAM.

En este informe se presentan los resultados del inventario de emisiones correspondientes a fuentes móviles, fuentes fijas y fuentes de área. Para esta última categoría se calcularon emisiones evaporativas industriales de Compuestos Orgánicos Volátiles, así como aquellas generadas por las estaciones de servicio de combustible y el relleno sanitario La Pradera. Dichas emisiones se estimaron mediante factores de emisión de la US EPA y en el caso particular del relleno sanitario se utilizó el modelo LandGEM v3.02, desarrollado por esta misma organización.

Los resultados de fuentes fijas que se presentan fueron obtenidos utilizando el modelo IEFI, después de realizar una actualización de la información. Las emisiones se estimaron a partir de factores de emisión de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, por sus siglas en inglés) y resultados de muestreos directos.

En el caso de las fuentes móviles, mediante el uso del modelo LEAP se estimaron las emisiones de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero; adicionalmente se calculó la demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá.



## 1 OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVO GENERAL

Aunar esfuerzos técnicos, económicos y financieros para operar el modelo de simulación de calidad del aire para fortalecer las funciones de la autoridad ambiental y de movilidad.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar el parque automotor del Valle de Aburrá, actualizando las categorías con la inclusión de buses articulados.
- Utilizar el modelo energético LEAP para estimar la demanda de energía del parque automotor del Valle de Aburrá en el año 2013.
- Calcular mediante el modelo LEAP la emisión de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero del parque automotor del Valle de Aburrá en el año 2013.
- Actualizar la información sobre las industrias asentadas en el Valle de Aburrá de acuerdo a la actividad productiva, tipo de fuentes que generan la emisión y combustible utilizado.
- Establecer la demanda energética de la industria del Valle de Aburrá en el año 2013.
- Cuantificar las emisiones de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero generadas por las fuentes industriales y de área en el Valle de Aburrá.
- Estimar las emisiones provenientes del relleno sanitario La Pradera.
- Calcular las emisiones del sector de la construcción en el Valle de Aburrá mediante el uso de factores de emisión.

## 2 ANTECEDENTES

De acuerdo a la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, un inventario de emisiones es “una base de datos que lista, por fuente, la cantidad de contaminantes del aire descargados en la atmósfera de una comunidad durante un período de tiempo dado” (United States Environmental Protection Agency, 2011). Los inventarios permiten estimar las emisiones de contaminantes actuales e identificar las principales fuentes en una región determinada, así como proyectar las emisiones futuras. De esta forma es posible fijar límites, tomar medidas de prevención y crear estrategias de reducción de emisiones.

En vista de la importancia que tienen estos inventarios para la gestión de la calidad del aire, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá ha venido desarrollando desde el año 1996, junto con instituciones de educación superior de la región, el inventario de emisiones atmosféricas para el Valle de Aburrá. Desde entonces, el inventario se ha actualizado a través de diferentes convenios.

En el caso de las fuentes móviles, a través del Convenio de Asociación No. 543 de 2008 entre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Universidad Pontificia Bolivariana se realizó la Optimización del Inventario de Emisiones Atmosféricas, en el cual se actualizó y amplió los aforos de flujo vehicular, además se incluyeron las emisiones de material particulado con diámetro inferior a 10  $\mu\text{m}$  provenientes del desgaste de frenos y neumáticos de los vehículos.

Las emisiones se estimaron utilizando factores de emisión y los modelos MODEAM V.2 y ETROME. Cabe recordar que el Modelo de Inventario de Emisiones MODEAM es una aplicación desarrollada en lenguaje de programación orientado a objetos PHP que interactúa con una base de datos MySQL, en la cual se almacena la información del inventario para generar mapas de emisión y reportes en formato gráfico.

Por su parte, el modelo de Emisión de Tráfico Rodado para Medellín (ETROME), consiste de una serie de subrutinas FORTRAN que calculan las emisiones relativas a diferentes categorías vehiculares y su aporte a la emisión total en un dominio dado. Este modelo toma en cuenta la red vial de tránsito, la distribución del parque automotor, la intensidad de tráfico por hora, ecuaciones de balance de flujo en los nodos, longitud de las vías, velocidad promedio y los

factores de emisión tomados del modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE, por sus siglas en inglés) (Área Metropolitana del Valle de Aburrá-Universidad Pontificia Bolivariana, 2010).

Así, para el año base 2009 los automóviles y camperos representaban el 55% del parque automotor, mientras que las motocicletas contribuían con el 39%. En cuanto a la distribución por municipios, se tenía que la mayoría de los vehículos estaban registrados en las ciudades de Envigado y Medellín y que el municipio con menor número de vehículos registrados era La Estrella.

El Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2011, se elaboró a través del Convenio 243 de 2012, entre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la Universidad Nacional de Colombia sede Medellín, el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y la Universidad Pontificia Bolivariana. A diferencia del inventario 2009, en donde se utilizó el modelo ETROME, esta vez se empleó el modelo energético LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning System) (Heaps, 2012) para calcular las emisiones y la demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá.

Entre 2009 y 2011 el número de motocicletas pasó de aproximadamente 250000 a más de 350000, mientras que los vehículos livianos (autos, taxis, camperos, etc) pasaron de aproximadamente 352000 a 397000. El evidente crecimiento en el número de motocicletas sería producto de la economía en combustible que éstas representan, así como de medidas como el “pico y placa” y los problemas de tráfico propios de la región.

En cuanto a las emisiones de contaminantes criterio, se tenía que para 2011 los camiones eran los principales emisores de Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC, por sus siglas en inglés), material particulado con diámetro menor a 2.5 micrómetros (PM2.5) y óxidos de nitrógeno (NOx); mientras los autos eran la categoría que dominaba las emisiones de monóxido de carbono (CO) y óxidos de azufre (SOx). De acuerdo al tipo de combustible, el diésel era el mayor aportante de NOx y PM2.5, situación que también ocurría en 2009; con la diferencia que en el anterior inventario el diésel también dominaba las emisiones de SOx, las cuales en 2011 pasaron a ser dominadas por la gasolina. La razón de este cambio es la mejora en la calidad del diésel, el cual en 2009 contenía una mayor concentración de azufre que en 2011.

Adicionalmente, en el desarrollo del Inventario de Emisiones Atmosféricas de 2011 se calcularon las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), provenientes de las fuentes móviles en el Valle de Aburrá.

Las emisiones de fuentes fijas se han actualizado partiendo de la base de datos de industrias que el Grupo de Investigaciones Ambientales de la UPB ha ido desarrollando a través de diferentes convenios. Así, para el año 2009 eran los sectores textil y de cerámicos los que mayor aporte realizaban a las emisiones de contaminantes criterio. Siendo además el municipio de Itagüí, el lugar donde mayores emisiones de  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{PM}_{10}$  se generaban.

En el inventario de emisiones de fuentes fijas año base 2011 estos resultados no variaron mucho, pues los sectores textil y cerámicos continuaron aportando la mayor cantidad de contaminantes criterio; sin embargo apareció el sector de bebidas, alimentos y tabaco como el mayor responsable por las emisiones de VOC.

Durante la optimización del inventario de emisiones realizada a través del Convenio de Asociación No. 543 de 2008, se estimaron las emisiones provenientes de las siguientes fuentes de área: Emisiones evaporativas en procesos industriales, estaciones de servicio y tanques de almacenamiento de combustible, el relleno sanitario Curva de Rodas y la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Fernando.

### 3 FUENTES MÓVILES

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).

En el presente inventario, el cálculo de las emisiones provenientes de fuentes móviles, 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). Se incluyó una nueva categoría correspondiente al sistema Metroplús y se ha replanteado la fuente de información acerca del kilometraje de los vehículos, buscando que este dato sea más ajustado a la realidad.

#### 3.1 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 3.1 presenta la distribución realizada en LEAP del parque automotor del Valle de Aburrá y en la Figura 3.1 se muestra la estructura de

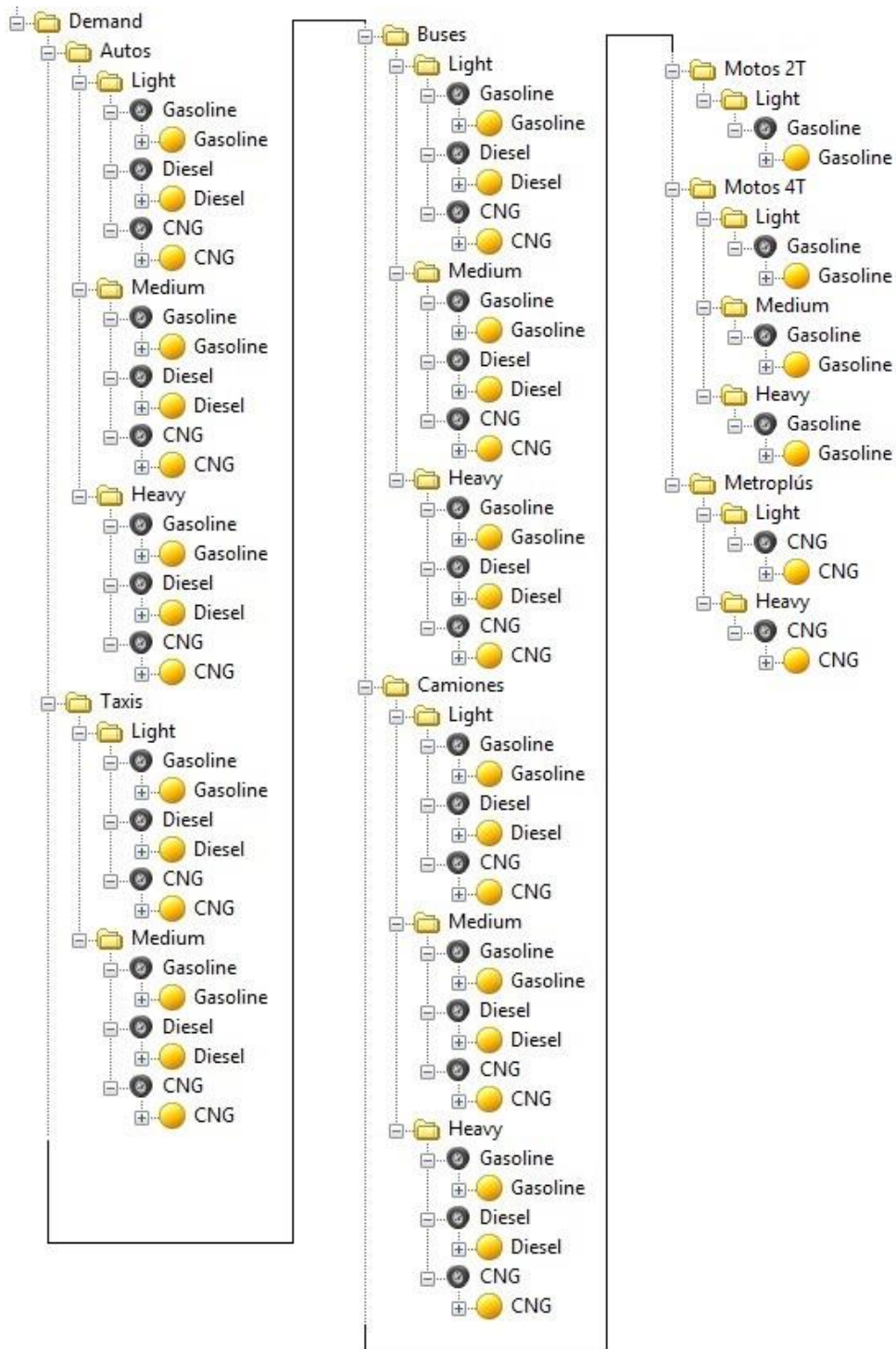
árbol del modelo. Cabe mencionar que la nueva categoría Metroplús cuenta con 2 subcategorías a saber: Livianos y Pesados. A la primera pertenecen los buses Alimentadores, mientras que en la segunda se agruparon los Articulados y Padrones.

Tabla 3.1. Distribución del parque automotor en el modelo LEAP

<b>Sector</b>	<b>Sub-sector</b>	<b>Uso final</b>	<b>Variables</b>
Tipo de vehículo -Autos -Taxis -Buses -Camiones -Motos 2T -Motos 4T -Metroplús	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/TJ)



Figura 3.1. 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 3.1 
$$Stock_{t,y,v} = Sales_{t,v} \times Survival_{t,y-v}$$

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

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

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

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

Ecuación 3.5  $Emission_{t,y,v,p} = Stock_{t,y,v} \times Mileage_{t,y,v} \times EmissionFactor_{t,v,p} \times EmDegradation_{t,y-v,p}$

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. CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero)**

$$\text{Ecuación 3.6 } \text{Emission}_{t,y,v,p} = \text{EnergyConsumption}_{t,y,v} \times \text{EmissionFactor}_{t,v,p} \times \text{EmDegradation}_{t,y-v,p}$$

### 3.2 DATOS DE ENTRADA

#### 3.2.1 Existencias y ventas de vehículos

La Tabla 3.2 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 2013 y a la categoría “sales” los vehículos de modelo 2013.

Los datos correspondientes al Sistema Metroplús fueron facilitados por la Subdirección de Movilidad del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Estos se discriminan de la siguiente manera: los 20 vehículos en “stock” son buses Articulados de modelo 2011; los 49 vehículos en “sales” corresponden a 47 Padrones y 2 Alimentadores de modelo 2013.

Tabla 3.2. Existencias y ventas de vehículos registrados en el Valle de Aburrá para el año 2013

Categoría vehicular	Existencias	Ventas	Total
Automóviles	410,544	31,205	441,749
Taxis	37,044	4,148	41,192
Buses	17,370	845	18,215
Camiones	32,880	3,680	36,560
Motocicletas 2 Tiempos	68,809	0	517,755
Motocicletas 4 Tiempos	380,926	68,020	
Metroplús	20	49	69
TOTAL	947,593	107,947	1'055,540

Fuente: Secretarías de Tránsito y Transporte y Movilidad AMVA

En el Anexo A se presenta la base de datos del parque automotor registrado en el Valle de Aburrá, distribuido por *clase, cilindraje, modelo, servicio, estado y municipio*. 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 3.1). 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 324000 vehículos, es decir, aproximadamente un 30% del total del parque automotor, lo que se constituye en una muestra representativa. En el Anexo B se presenta la base de datos de los Centros de Diagnóstico Automotor con los vehículos distribuidos por *tipo de vehículo, cilindraje, modelo y tipo de combustible*.

La Tabla 3.3 muestra la distribución porcentual del parque automotor, discriminada por rango de cilindraje y tipo de combustible.

Tabla 3.3. Distribución porcentual del parque automotor por categoría vehicular, cilindraje y tipo de combustible para el año 2013

	EXISTENCIAS	VENTAS
<b>AUTOS</b>	<b>43.3%</b>	<b>28.9%</b>
<u>Livianos (cc ≤ 1500)</u>	<u>48.0%</u>	<u>28.0%</u>
Gasolina	71,6%	75,0%
Diésel	26,7%	0,0%
GNV	1,7%	25,0%
<u>Medianos (1500 &lt; cc ≤ 3000)</u>	<u>46,0%</u>	<u>68,0%</u>
Gasolina	65,1%	75,0%
Diésel	28,7%	25,0%
GNV	6,2%	0,0%
<u>Pesados (cc &gt; 3000)</u>	<u>6,0%</u>	<u>4,0%</u>
Gasolina	65,1%	65,1%
Diésel	20,1%	20,1%
GNV	14,8%	14,8%

Tabla 3.3 Continuación

	<b>EXISTENCIAS</b>	<b>VENTAS</b>
<b>TAXIS</b>	<b>3.9%</b>	<b>3.8%</b>
Livianos (cc ≤ 1500)	69.0%	69.0%
Gasolina	48.5%	33.0%
Diésel	31.4%	33.0%
GNV	20.1%	34.0%
Medianos (1500 < cc ≤ 3000)	31.0%	31.0%
Gasolina	53.3%	53.3%
Diésel	19.1%	19.1%
GNV	27.6%	27.6%
<b>BUSES</b>	<b>1.8%</b>	<b>0.8%</b>
Livianos (cc ≤ 3000)	36.0%	40.0%
Gasolina	31.4%	31.5%
Diésel	55.7%	56.1%
GNV	12.9%	12.4%
Medianos (3000 < cc ≤ 6000)	57.0%	54.0%
Gasolina	3.0%	0.0%
Diésel	84.1%	100.0%
GNV	12.9%	0.0%
Pesados (cc > 6000)	7.0%	6.0%
Gasolina	2.7%	4.8%
Diésel	83.3%	24.2%
GNV	14.0%	71.0%
<b>CAMIONES</b>	<b>3.5%</b>	<b>3.4%</b>
Livianos (cc ≤ 3000)	24.0%	8.0%
Gasolina	8.1%	8.1%
Diésel	83.8%	83.8%
GNV	8.1%	8.1%
Medianos (3000 < cc ≤ 6000)	42.0%	29.0%
Gasolina	4.9%	4.9%
Diésel	86.0%	86.0%
GNV	9.1%	9.1%
Pesados (cc > 6000)	34.0%	63.0%
Gasolina	2.6%	2.6%
Diésel	89.5%	89.5%
GNV	7.9%	7.9%
<b>MOTOS 2T</b>	<b>7.3%</b>	-
Livianos (cc ≤ 100)	100.0%	-
Gasolina	100.0%	-
<b>MOTOS 4T</b>	<b>40.2%</b>	<b>63.0%</b>
Livianos (cc ≤ 100)	35.0%	24.0%
Gasolina	100.0%	100.0%
Medianos (100 < cc ≤ 300)	62.0%	75.0%
Gasolina	100.0%	100.0%
Pesados (cc > 300)	3.0%	1.0%
Gasolina	100.0%	100.0%

Tabla 3.3 Continuación

<b>METROPLÚS</b>	<b>0.0%</b>	<b>0.0%</b>
Livianos (cc ≤ 3000)	<i>0.0%</i>	<i>4.0%</i>
GNV	100,0%	100,0%
Pesados (cc > 6000)	<i>100.0%</i>	<i>96.0%</i>
GNV	100,0%	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 3.3 los números en negrita suman 100% (corresponde a las categorías autos, taxis, buses, camiones, motos 2T, motos 4T y Metroplús); 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).

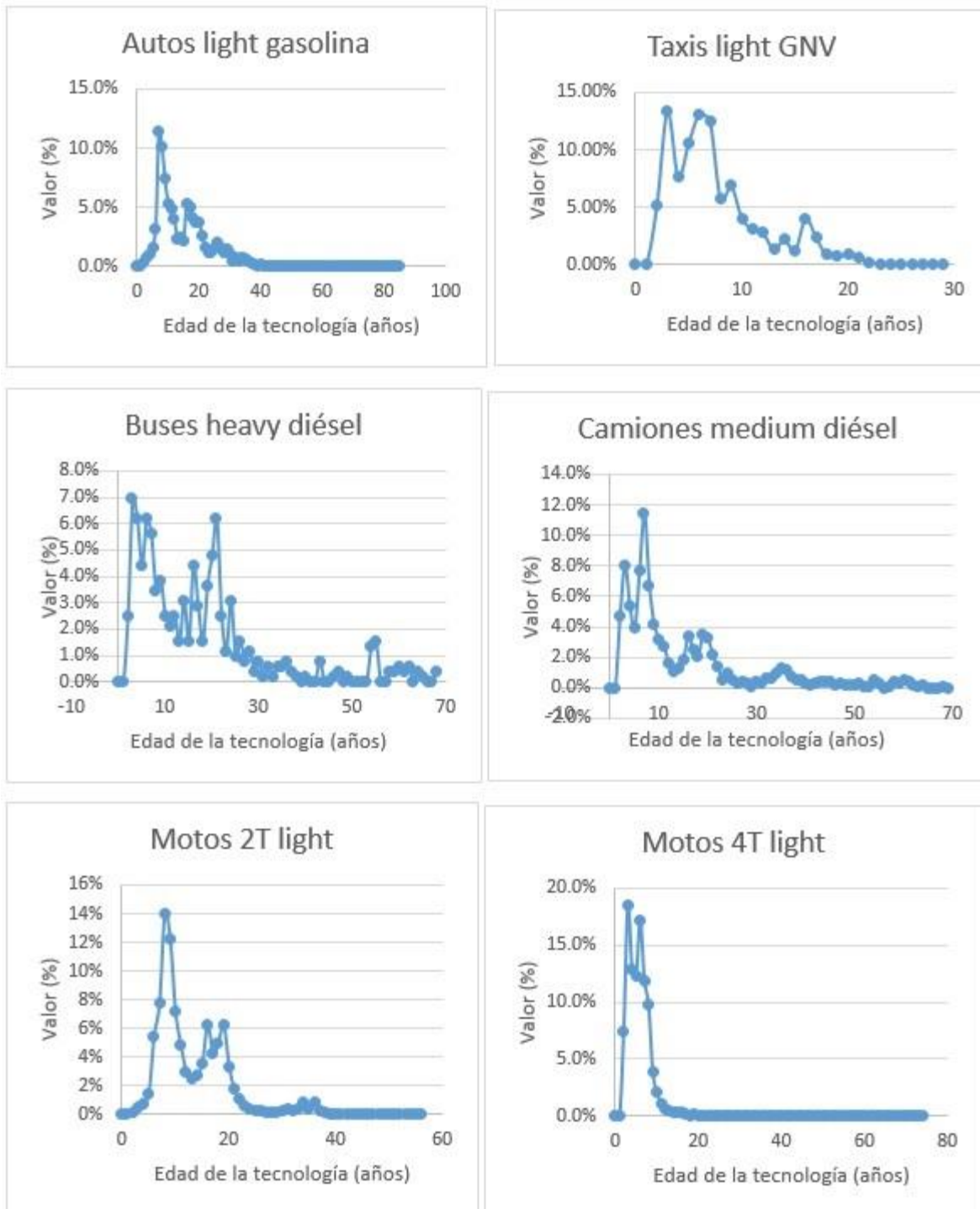
### 3.2.2 Perfil de antigüedad de los vehículos existentes (*Stock vintage profile*)

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 ampliaron a 39 los perfiles de antigüedad respecto con el inventario año base 2011, con el fin de describir la flota con mayor exactitud, incluyendo las categorías Metroplús, Taxis light diésel, Buses heavy GNV y Camiones heavy GNV. En la Figura 3.2 se presentan algunos de los perfiles de antigüedad y en el Anexo C se encuentra la totalidad de los mismos.

A partir de los datos proporcionados por las Secretarías de Transportes y Tránsito de los diferentes municipios y de los Centros de Diagnóstico Automotor, en los cuales se especifica el modelo de los vehículos, se construyeron estos perfiles de antigüedad.



Figura 3.2. Perfiles de antigüedad





### 3.2.3 Perfil de supervivencia de los vehículos nuevos

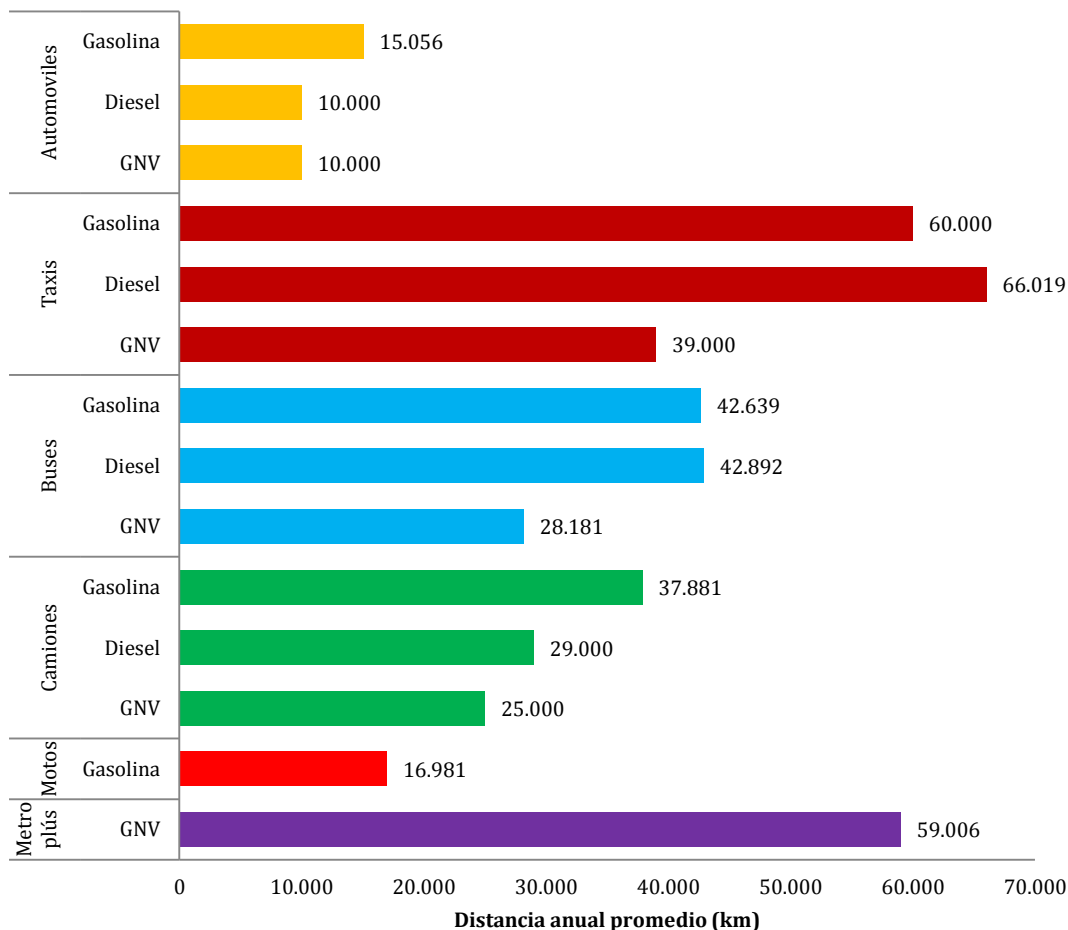
El perfil de supervivencia de los vehículos nuevos es un perfil de ciclo de vida que hace referencia a la fracción de estos vehículos que sobrevivirán después un determinado número de años. Es necesario establecer este perfil cuando se hacen proyecciones del parque automotor, con el fin de definir qué vehículos irán saliendo de la flota a medida que pasan los años. Sin embargo, en el caso del análisis de un año específico no es necesario establecer la supervivencia, pues a través de las existencias (*stock*), el perfil de existencias (*stock vintage profile*) y las ventas (*sales*) queda claramente definida la composición del parque para el año en particular.

### 3.2.4 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; en el caso de los articulados se obtuvo información de movilidad del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y 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  $VKT_0$ , 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 3.3 y fueron calculados como promedios ponderados de acuerdo a la categoría vehicular y al tipo de combustible.

Figura 3.3. Kilometraje promedio anual recorrido por los vehículos en el Valle de Aburrá



En la gráfica anterior se observa que son los vehículos de transporte individual y público los que recorren una mayor distancia anualmente, siendo los taxis y los buses de metroplús los vehículos que encabezan la lista, seguidos por los buses y camiones. Las motocicletas por su parte son los vehículos particulares más utilizados y, finalmente los automóviles son los vehículos que menos kilómetros recorren anualmente, con un promedio de 11685 km dependiendo del tipo de combustible.

### 3.2.5 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 consumo 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). Este modelo calcula la emisión de dióxido de carbono a partir del consumo de combustible, pues considera que el carbono presente en el combustible se convierte en CO<sub>2</sub> a excepción de una fracción que se convierte en monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles y material particulado, tal y como lo expresa la siguiente ecuación:

Ecuación 3.7

$$CO_2 = \left\{ \left[ \frac{1}{FuelEconomy \times 1,6} \times 3,785 \times 740 \times 0,82 \right] - CO \times \frac{12}{28} - VOC \times \frac{12}{14} - 0,9 \times PM \right\} \times \frac{44}{12}$$

Donde:

CO<sub>2</sub>, CO, VOC y PM son los factores de emisión en g/km.

*FuelEconomy* es el rendimiento del combustible en millas/galón de gasolina equivalente (galón de gasolina equivalente hace referencia a la cantidad de combustible alternativo necesario para igualar un galón de gasolina líquida).

Así, al despejar la variable *FuelEconomy* en la Ecuación 3.7 es posible conocer el rendimiento teórico del combustible de las diferentes tecnologías vehiculares pues se tienen los factores de emisión de CO<sub>2</sub>, CO, VOC y PM para cada una de las respectivas categorías. Finalmente, los valores calculados son introducidos en el modelo LEAP con el fin de estimar la demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá.

### 3.2.6 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 (ver Ecuación 3.8):

Ecuación 3.8 
$$Q_{[T]} = B_{[T]} \times K_{(1)[T]} \times K_{(2)[T]} \times \dots \times K_{(X)[T]}$$

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 3.4 se presentan las condiciones a las que están dados los factores de emisión base (BER, *Base Emission Rate*) y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** los factores de corrección disponibles.

Tabla 3.4. 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 = 0% -Diesel = moderado -Azufre en el diesel= moderado, 500 ppm

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

Tabla 3.5. 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	Plomo en la gasolina
Programas de inspección y mantenimiento (I/M)	Benceno en la gasolina
	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 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y 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.



Tabla 3.6. 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<sub>x</sub>, PM, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>, cuyos respectivos valores se presentan en el Anexo D. Es importante resaltar que las emisiones de partículas por los tubos de escape vehiculares se ubican principalmente en el rango de tamaño del PM<sub>2.5</sub>, por lo tanto todos los factores de emisión de PM corresponden a PM<sub>2.5</sub>.

En cuanto a los factores de emisión de CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, estos se calculan por balance de masa asumiendo que todo el carbono y el azufre en el combustible se convierten en CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>, suposición válida, pues aunque se generan otros contaminantes derivados del carbono y el azufre, las cantidades son mínimas si se comparan con el CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub> producido. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan los respectivos factores de emisión calculados, en unidades de kilogramo/Terajoule.

Tabla 3.7. Factores de emisión de CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>

Combustible	PCI (MJ/kg) <sup>1</sup>	Contenido de C (%) <sup>1</sup>	Contenido de S (ppm) <sup>2</sup>	Factor de emisión (kg/TJ)	
				CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
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	23	56,804.4	1.15

<sup>1</sup> Unidad de Planeación Minero Energética. <sup>2</sup> Ecopetrol.

### 3.3 RESULTADOS

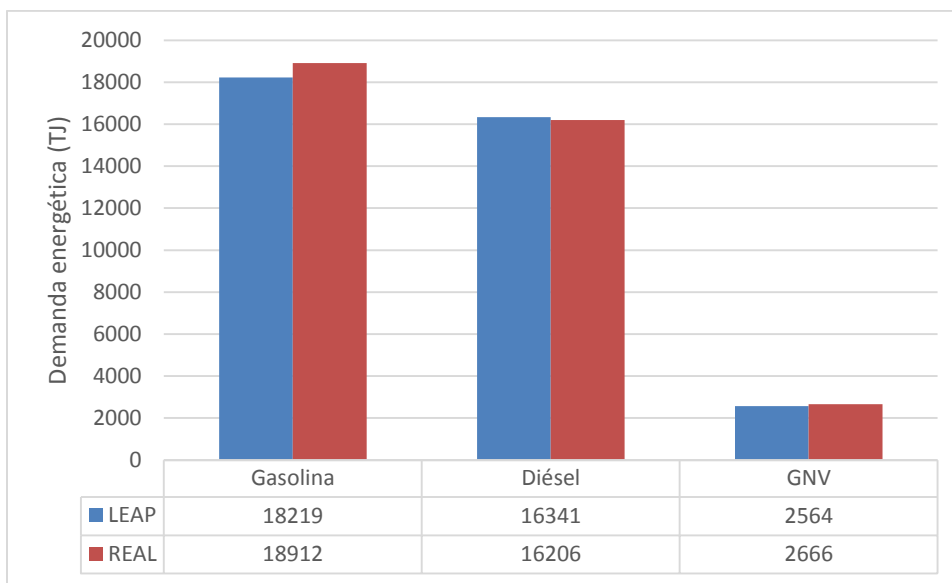
#### 3.3.1 Demanda energética del parque automotor

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 2013 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 3.4 muestra estos resultados.

Figura 3.4. Balance energético real y estimado, año 2013



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.

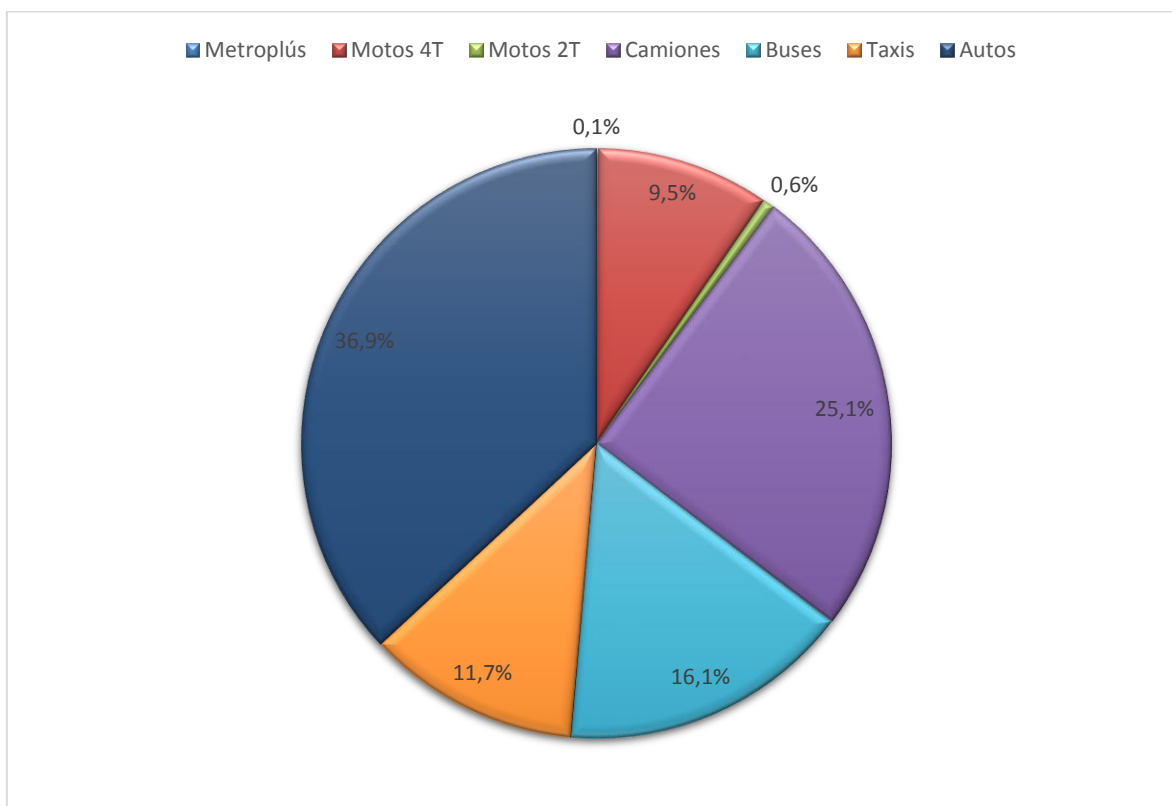
En ese orden de ideas se procede a analizar la demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá discriminada por categoría vehicular (ver Tabla 3.8 y Figura 3.5). De acuerdo a los resultados del modelo LEAP, son los automóviles la categoría que lidera la demanda, seguido por los camiones y los buses. Un aspecto para resaltar es que las motocicletas pasaron de una participación del 6% en 2011 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana, 2013), al 10% en 2013. Esto se explica por el incremento en el número de motocicletas que existió en estos dos años, pasando de 353867 en 2011 a 517755 en 2013, de acuerdo a los datos de las Secretarías de Transporte y Tránsito.

Finalmente, se observa una participación inferior al 1% para los vehículos del sistema Metroplús, lo cual se debe a que su número es mucho menor comparado con las demás categorías.

Tabla 3.8. Demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá por categoría vehicular, año 2013 (TJ)

Combustible	Metroplús	Motos 4T	Motos 2T	Camiones	Buses	Taxis	Autos	Total
Gasolina	0.0	3,520	236	442	791	2,503	10,727	18,219
Diésel	0.0	0	0	8,393	4,740	1,134	2,075	16,341
GNV	38.3	0	0	480	441	698	906	2,564
<b>Total</b>	<b>38.3</b>	<b>3,520</b>	<b>236</b>	<b>9,315</b>	<b>5,973</b>	<b>4,335</b>	<b>13,707</b>	<b>37,125</b>

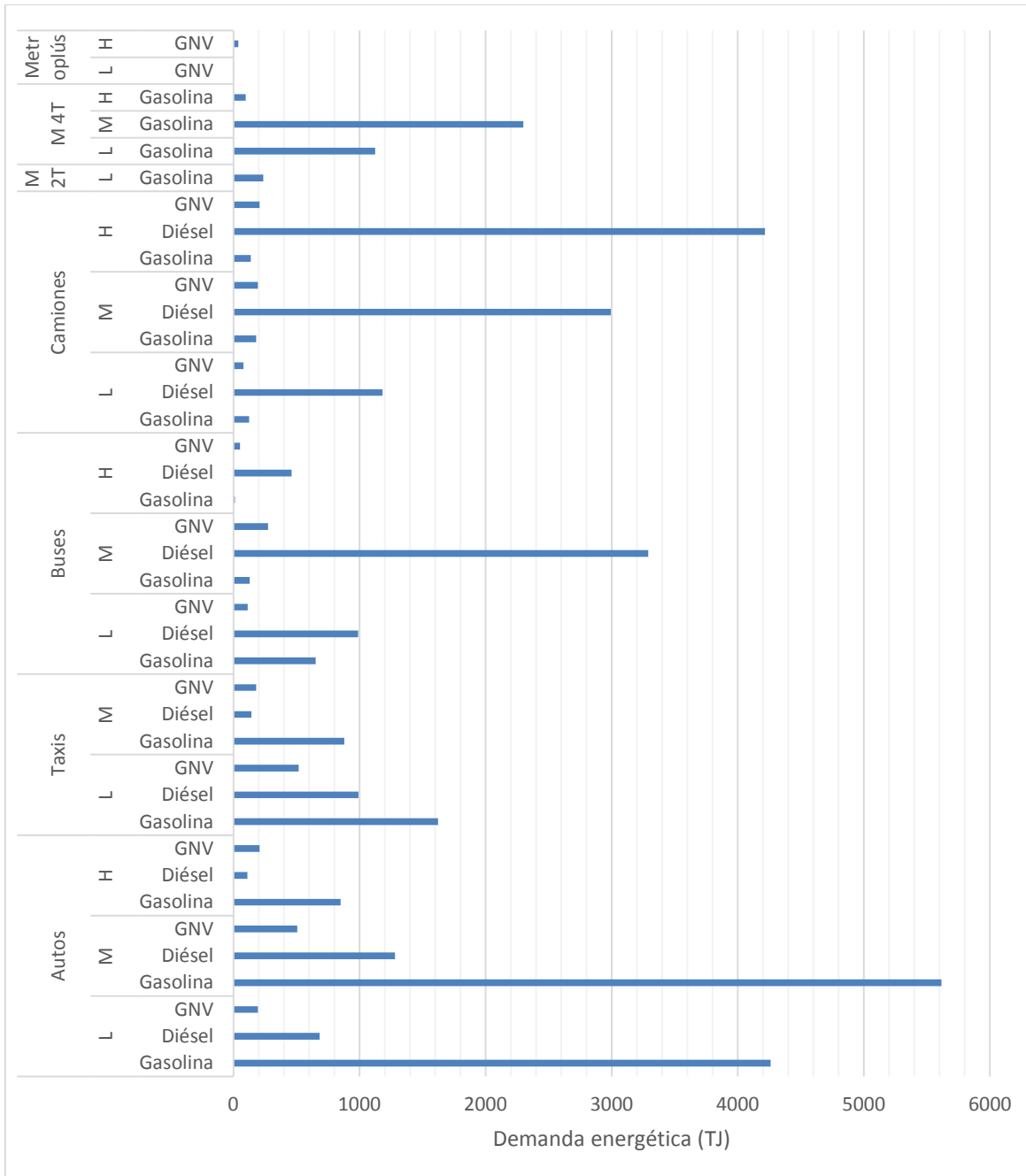
Figura 3.5. Demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá por categoría vehicular, año 2013



La Figura 3.6 presenta la demanda energética del parque automotor de la región desagregada de acuerdo a la categoría vehicular, el tamaño del vehículo y el tipo de combustible utilizado.

Al discriminar de esta forma las diferentes categorías se aprecia que son los automóviles livianos y medianos a gasolina los que mayor energía consumieron en el año 2013, seguido por los camiones pesados y medianos y los buses medianos diésel. Se observa también una importante participación de las motocicletas de 4 tiempos medianas y los taxis livianos a gasolina.

Figura 3.6. Demanda energética por categoría vehicular, tamaño y combustible, año 2013

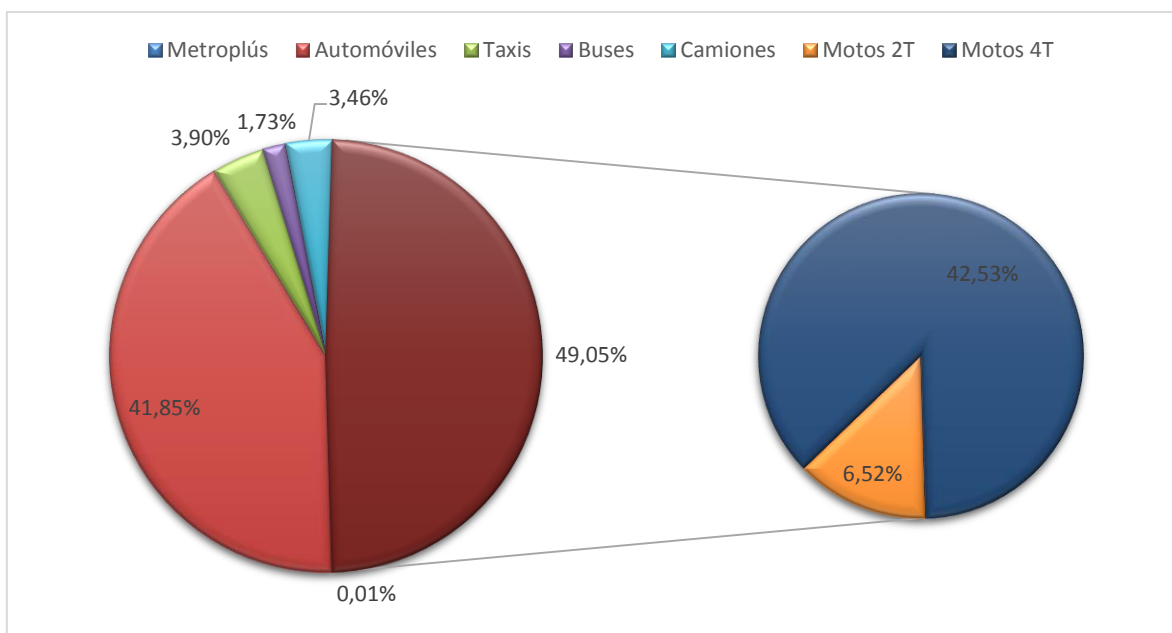


\* L: Light – M: Medium – H: Heavy – M2T: Moto 2 tiempos – M4T: Moto 4 tiempos

### 3.3.2 Composición del parque automotor del Valle de Aburrá

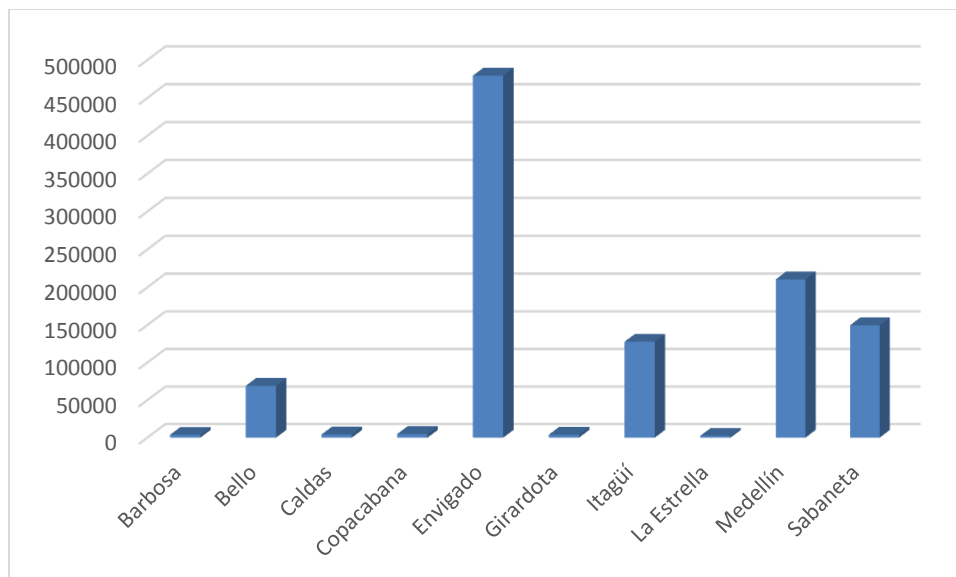
De acuerdo con los datos proporcionados por las Secretarías de Tránsito y Transporte de los diferentes municipios del Valle de Aburrá, para el año 2013 el parque automotor estaba conformado por un 1'055,540 vehículos, de los cuales la mayoría son motocicletas (ver Figura 3.7), que pasaron del 44% en 2011 al 49% en 2013, superando incluso a los automóviles que pasaron del 44% al 42% en el mismo período de tiempo. El resto del parque automotor se mantiene con proporciones similares al anterior inventario, con los taxis y los camiones que representan el 4% del parque cada uno y finalmente los buses y los vehículos del sistema Metroplús.

Figura 3.7. Composición del parque automotor del Valle de Aburrá, año 2013



Ahora, al observar la Figura 3.8 se aprecia que es Envigado el municipio que cuenta con mayor número de vehículos registrados, alcanzando casi los 480000; este hecho es destacable puesto que es en Medellín donde se concentra la mayoría de la población del Valle de Aburrá y sin embargo este municipio está en segundo lugar en cuanto a la cantidad de vehículos, alcanzando aproximadamente los 210500. Por su parte, es el municipio de La Estrella el que menor número de vehículos registra.

Figura 3.8. Vehículos registrados en el Valle de Aburrá por municipio, año 2013



### 3.3.3 Emisiones de contaminantes criterio

La Tabla 3.9 y la Figura 3.9 representan las emisiones de contaminantes criterio discriminadas por categoría vehicular. Se observa que los camiones son los mayores emisores de CO, NO<sub>x</sub> y PM<sub>2.5</sub>, aportando el 40%, 44% y 53% del total de emisiones de estos contaminantes respectivamente. A su vez, las emisiones de VOC son dominadas por las motocicletas 4 tiempos con el 32%, mientras que los automóviles son los mayores aportantes de SO<sub>x</sub> (contribuyen con el 53%), 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 a las emisiones de CO y NO<sub>x</sub> (32% y 22% respectivamente); así como las emisiones de SO<sub>x</sub> provenientes de las motocicletas 4T y taxis (17% y 13% respectivamente). Igualmente se resalta la participación de los camiones y las motocicletas 2T en las emisiones de VOC (24% y 18% respectivamente), considerable, puesto que estas dos categorías representan solo el 10% del parque automotor.

Finalmente, cabe mencionar también la contribución de las motocicletas 4T al material particulado, que con un 22% ocupan el segundo lugar entre las categorías vehiculares para este contaminante.

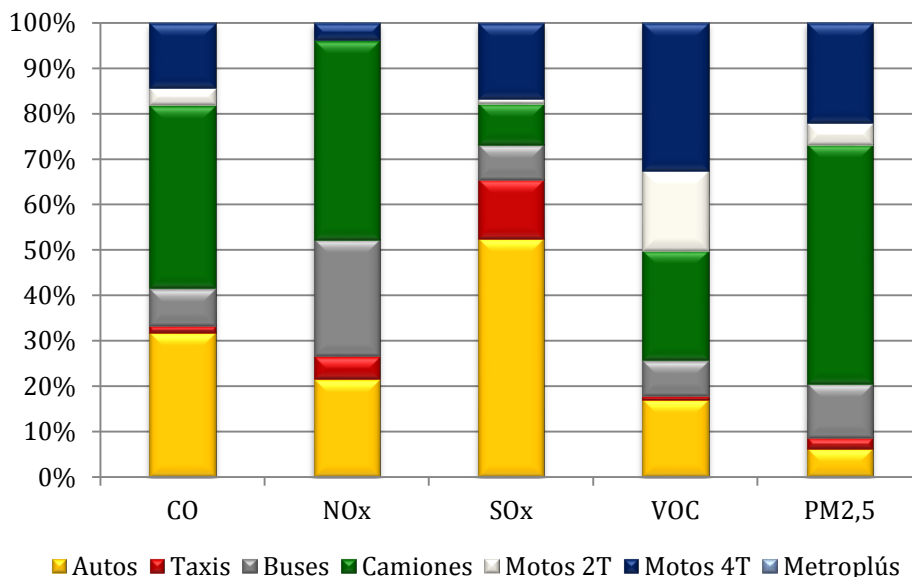
Lo que más se resalta en este punto es que los camiones, siendo una de las categorías con menor cantidad de vehículos, es la que mayor aporte hace a las emisiones. Esto se debe principalmente a la edad del parque automotor, puesto que existen vehículos con más años de antigüedad que el promedio de las demás categorías, influyendo en la escogencia del factor de emisión y por tanto en el cálculo de las emisiones.

Por otra parte, los camiones dominan las emisiones de NO<sub>x</sub> y PM<sub>2.5</sub>, lo cual es consecuencia del combustible diésel utilizado por estos vehículos; no obstante, también se encontraron camiones que utilizan gasolina y gas natural y, como se observa en el Anexo C, son los que presentan mayor edad. De esta forma se explica que sean también los camiones los que generan la mayor cantidad de CO.

Tabla 3.9. Emisión de contaminantes criterio por categoría vehicular (Ton), año 2013

<b>Categoría</b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>VOC</b>	<b>PM<sub>2.5</sub></b>
Autos	48,201	2,913	149	2,381	73
Taxis	2,210	678	37	117	28
Buses	12,461	3,453	22	1,102	137
Camiones	60,914	5,908	26	3,382	611
Metroplús	22	1	0	0	0
Motos 2T	5,672	7	3	2,457	55
Motos 4T	21,636	503	47	4,539	255
Total	151,117	13,462	283	13,978	1,159

Figura 3.9. Distribución de emisiones de contaminantes criterio por categoría vehicular, año 2013



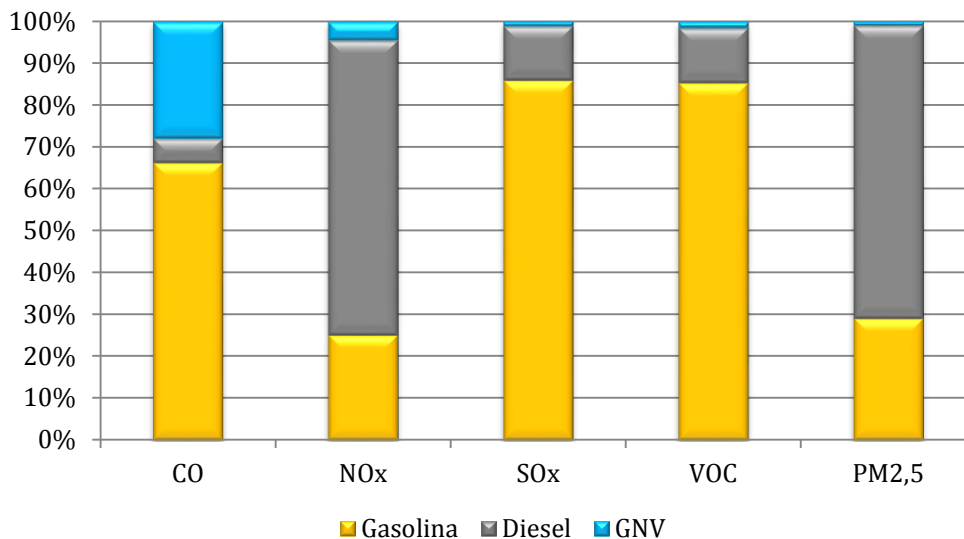
Las emisiones por tipo de combustible se presentan en la Tabla 3.10 y la Figura 3.10. Se observa que la gasolina es el principal responsable por las emisiones de CO, SOx y VOC, con el 66%, 86% y 85% respectivamente. El diésel es el principal aportante de NOx y PM2,5 con el 70% de las emisiones de estos contaminantes. El GNV por su parte hace una contribución importante a las emisiones de CO con el 28%.

Tabla 3.10. Emisión de contaminantes criterio por tipo de combustible (Ton), año 2013

Combustible	CO	NOx	SOx	VOC	PM2,5
Gasolina	100,140	3,401	243	11,914	339
Diesel	8,988	9,464	37	1,842	809
GNV	41,989	597	3	222	11
Total	151,117	13,462	283	13,978	1,159



Figura 3.10. Distribución de emisiones por tipo de combustible (Ton), año 2013



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 redundaría 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 CO<sub>2</sub>. 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<sub>x</sub>,

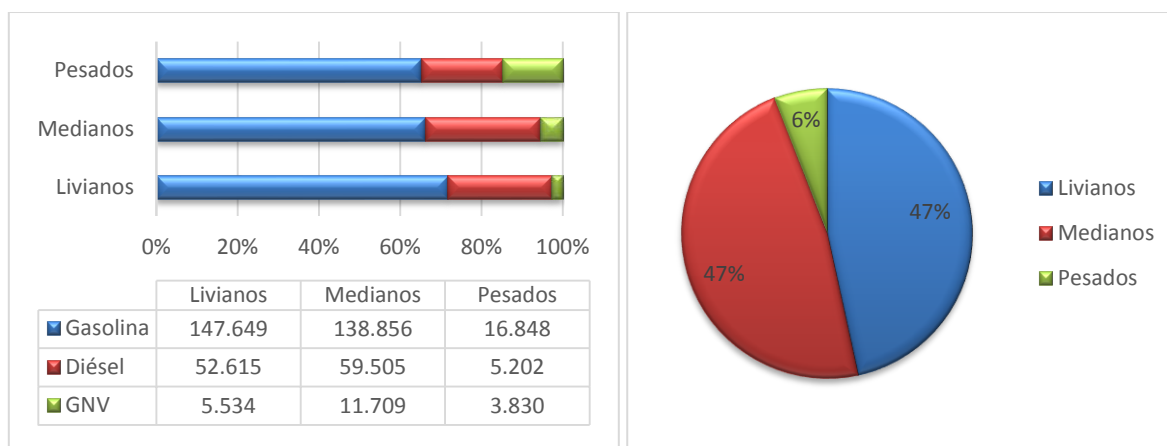
Finalmente, el hecho de que el GNV sea responsable por el 26% de las emisiones de CO se debe a que muchos de los vehículos que funcionan con este combustible, lo hacen también con gasolina; es decir, sus motores no fueron diseñados para trabajar con gas, lo cual conduce también a una combustión incompleta.

### 3.3.3.1 Autos

En el Valle de Aburrá se encuentran alrededor de 441700 automóviles, lo cual representa un crecimiento de aproximadamente el 29% respecto al año 2011. La Figura 3.11 muestra que las subcategorías livianos (cilindraje menor a 1.5 L) y medianos (entre 1.5 L y 3.0 L de cilindraje) representan casi la totalidad de los automóviles (94%), mientras que el 6% son autos pesados (motor con cilindraje superior a 3.0 L).

Se aprecia también que la mayoría de los automóviles en las tres subcategorías funcionan con gasolina, mientras que un porcentaje menor al 40% de éstos lo hace con diésel o GNV.

Figura 3.11. Distribución de la categoría autos, año 2013



En cuanto a las emisiones de contaminantes criterio se observa en la Se destaca también la participación del GNV en las emisiones de CO, observándose que a medida que aumenta el cilindraje del automóvil, dichas emisiones se incrementan, a tal punto que en los vehículos

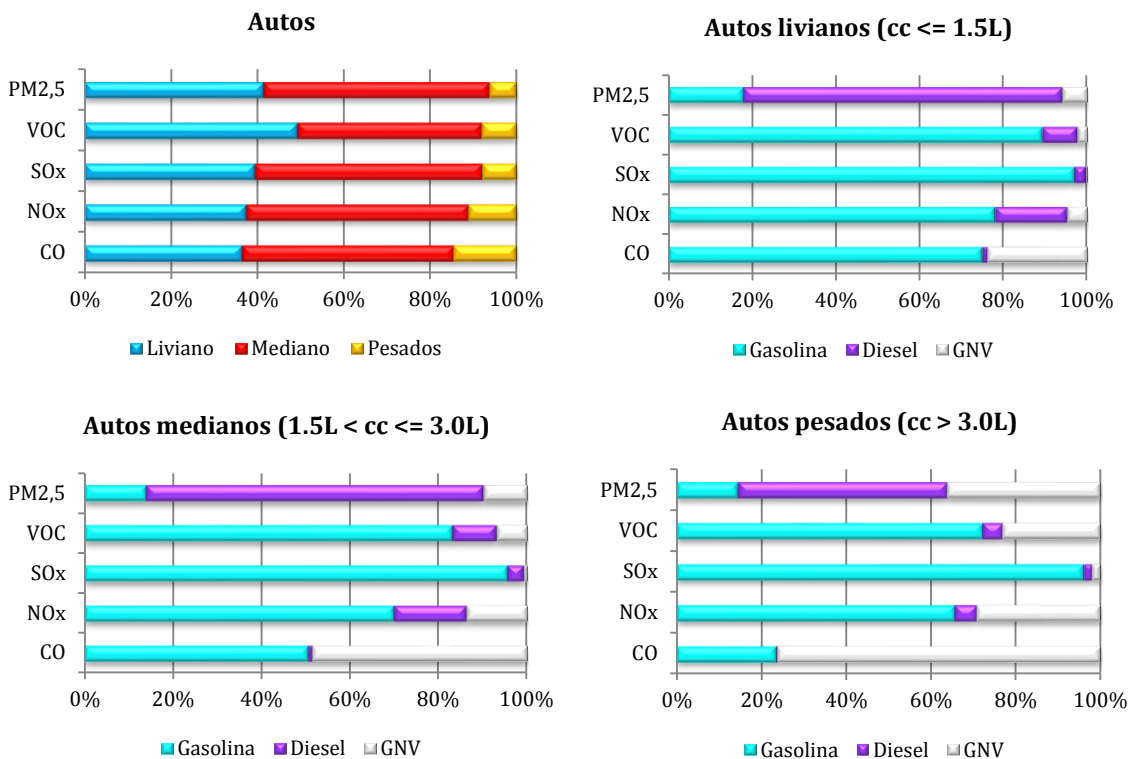
pesados de esta categoría, más del 70% de las emisiones de este contaminante las aporta el GNV.

Tabla 3.11 y la Figura 3.12 que son en su mayoría generadas por los autos livianos y medianos. Dentro de cada subcategoría el combustible responsable por la mayor parte de las emisiones de contaminantes es la gasolina, con excepción del PM2.5 que es emitido principalmente por el diésel. Se destaca también la participación del GNV en las emisiones de CO, observándose que a medida que aumenta el cilindraje del automóvil, dichas emisiones se incrementan, a tal punto que en los vehículos pesados de esta categoría, más del 70% de las emisiones de este contaminante las aporta el GNV.

Tabla 3.11. Emisión de contaminantes criterio en la categoría autos (Ton), año 2013

<b>Categoría</b>	<b>Cilindraje</b>	<b>Combustible</b>	<b>CO</b>	<b>NOx</b>	<b>SOx</b>	<b>VOC</b>	<b>PM2.5</b>
Autos	Liviano	Gasolina	13,160	849	57	1,044	5
		Diesel	213	187	2	97	23
		GNV	4,182	53	0	28	2
	Mediano	Gasolina	11,929	1,045	75	846	5
		Diesel	254	248	3	102	29
		GNV	11,444	206	1	71	4
	Pesado	Gasolina	1,650	212	11	138	1
		Diesel	21	17	0	9	2
		GNV	5,348	95	0	45	2
Total			48,201	2,913	149	2,381	73

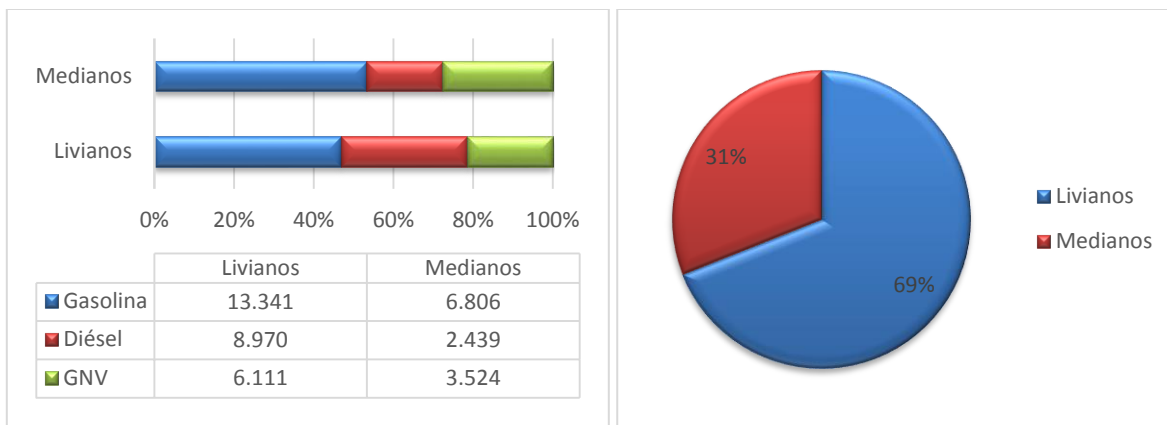
Figura 3.12. Distribución de emisiones en la categoría autos, año 2013



### 3.3.3.2 Taxis

Para el año 2013, en los diez municipios que conforman el Valle de Aburrá se encontraban registrados 41192 taxis, lo que supone una reducción respecto al inventario anterior, pues en 2011 la cifra de este tipo de vehículos era cercana a los 46000. En la Figura 3.13 se ve que la mayoría (69%) de los vehículos pertenecientes a esta categoría son livianos, es decir, con un cilindraje igual o menor a 1500 cc; mientras el resto son medianos (cilindraje entre 1500 cc y 3000 cc). Se observa también que casi la mitad de los taxis en las dos subcategorías, utilizan gasolina como combustible, el resto usa diésel o GNV.

Figura 3.13. Distribución de taxis, año 2013

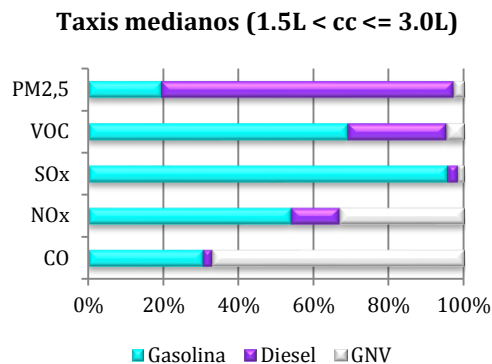
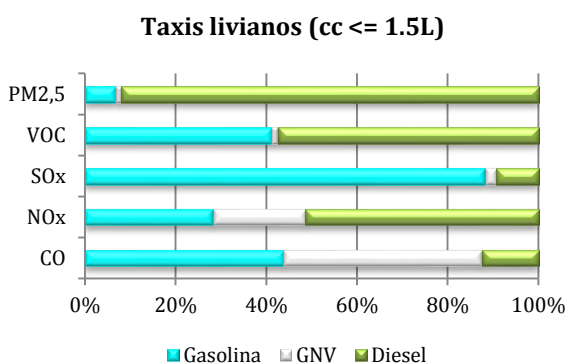
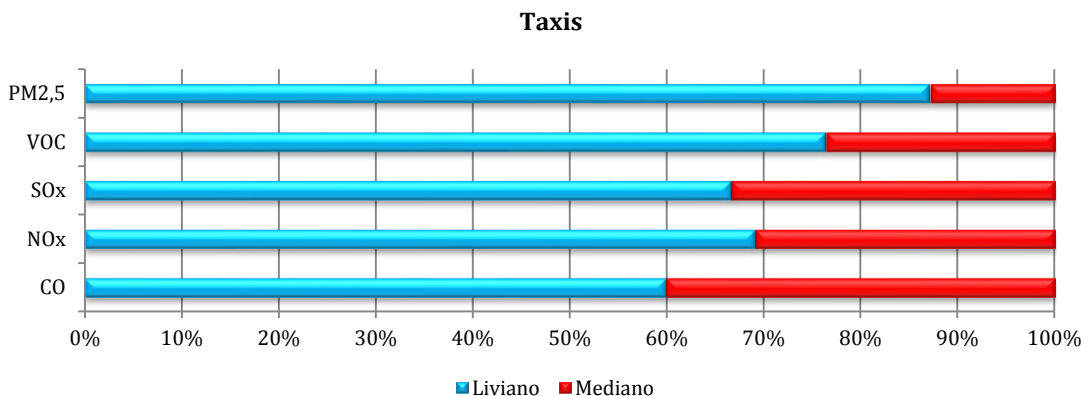


Con respecto a las emisiones de contaminantes criterio, la Tabla 3.12 y la Figura 3.14 muestran que son los taxis livianos los que aportan la mayor cantidad de cada uno de los contaminantes analizados. Por su parte, en los taxis livianos el combustible diésel lidera las emisiones de PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>x</sub> y VOC, mientras la gasolina lo hace en SO<sub>x</sub> y comparte con el GNV la mayor parte de las emisiones de CO. En los taxis medianos ocurre algo diferente, pues es la gasolina la que genera la mayoría de las emisiones de todos los contaminantes, excepto el PM<sub>2,5</sub> que es emitido en mayor cantidad por el diésel y el CO que es en mayor medida responsabilidad del GNV, el cual tiene una contribución importante también en las emisiones de NO<sub>x</sub>.

Tabla 3.12. Emisión contaminantes criterio categoría taxis (Ton), año 2013

Categoría	Cilindraje	Combustible	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	VOC	PM <sub>2.5</sub>
Taxis	Liviano	Gasolina	581	133	22	37	2
		Diésel	165	240	2	51	22
		GNV	580	95	1	1	0
	Mediano	Gasolina	270	113	12	19	1
		Diésel	22	27	0	7	3
		GNV	592	69	0	1	0
Total			2,210	678	37	117	28

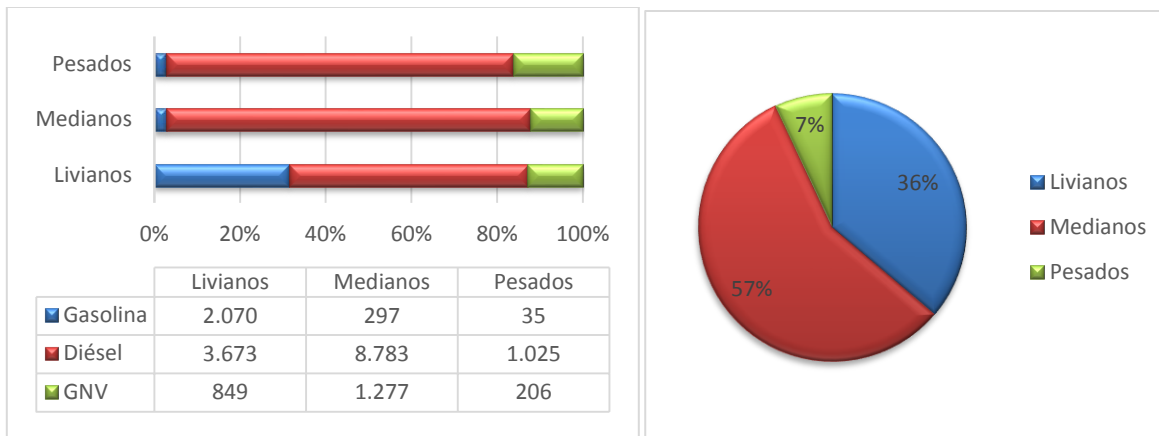
Figura 3.14. Distribución emisiones categoría taxis, año 2013



### 3.3.3.3 Buses

De acuerdo con los datos de las Secretarías de Tránsito y Transporte de los municipios del Valle de Aburrá, en 2013 existían en la región 18215 buses, aproximadamente 1000 vehículos más que en 2011. De estos, la mayoría son medianos (cilindraje entre 3000 cc y 6000 cc), el 36% son livianos (cilindraje igual o menor a 3000 cc) y solo el 7% son pesados (cilindraje superior a 6000 cc). La Figura 3.15 muestra también que en las tres subcategorías el combustible predominante es el diésel, teniendo la gasolina una participación mínima (por debajo del 5%), excepto en los buses livianos, donde su porcentaje es cercano al 30%, superando al GNV, que en las tres subcategorías se encuentra alrededor del 14%.

Figura 3.15. Distribución de buses, año 2013



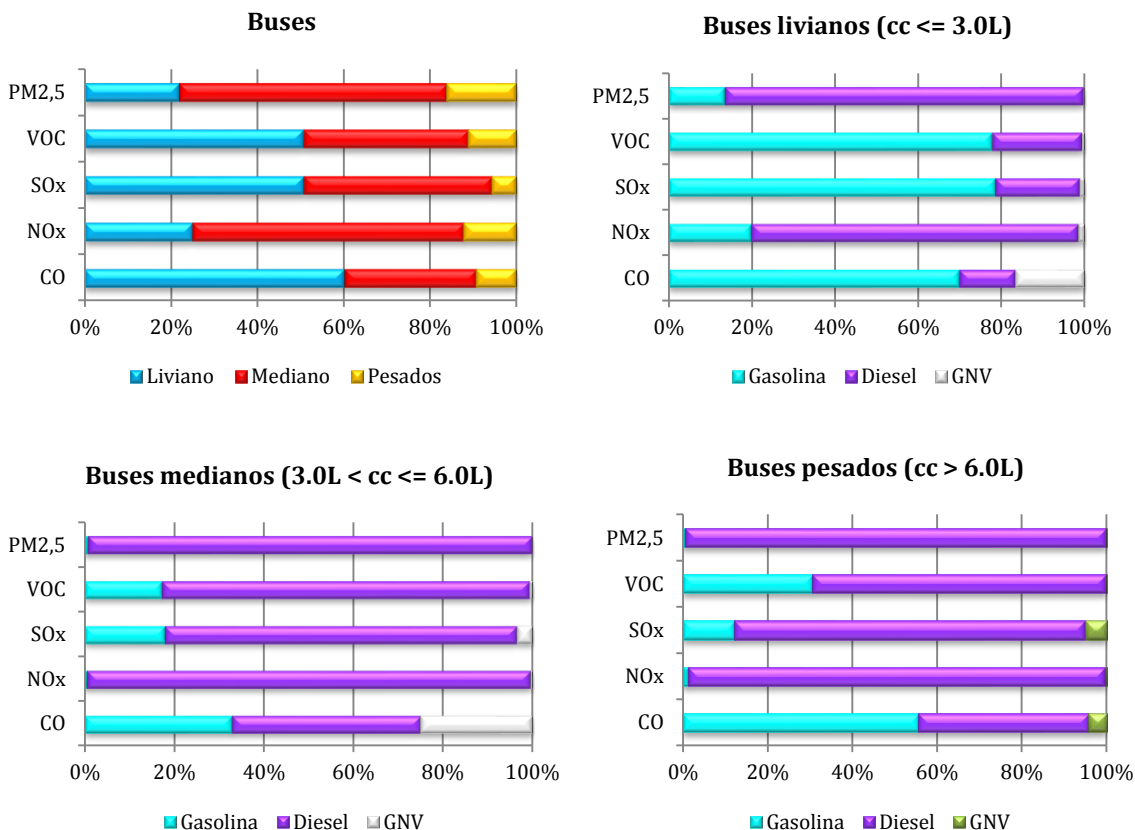
En esta categoría las emisiones de PM<sub>2.5</sub> y NO<sub>x</sub> son en su mayoría generadas por los buses medianos, mientras que los demás contaminantes son principalmente emitidos por los buses livianos. Dentro de la subcategoría de buses livianos la mayoría de las emisiones de PM<sub>2.5</sub> y NO<sub>x</sub> pertenecen al combustible diésel, mientras la mayor parte de las emisiones de los demás contaminantes criterio son de la gasolina (ver Tabla 3.13 y Figura 3.16).

En los buses medianos y pesados el combustible diésel es el responsable de la mayor parte de las emisiones de todos los contaminantes, excepto el CO, que para los buses pesados es emitido principalmente por la gasolina. Este combustible tiene también una contribución importante en las emisiones de VOC y SO<sub>x</sub>. Por su parte, el GNV también aporta a las emisiones de CO en la subcategoría de buses medianos.

Tabla 3.13. Emisión contaminantes criterio categoría buses (Ton), año 2013

Categoría	Cilindraje	Combustible	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	VOC	PM <sub>2,5</sub>
Buses	Liviano	Gasolina	5,228	172	9	434	4
		Diesel	1,009	677	2	120	26
		GNV	1,244	13	0	4	0
	Mediano	Gasolina	1,250	14	2	73	1
		Diesel	1,607	2,144	7	345	84
		GNV	954	11	0	3	0
	Pesado	Gasolina	651	6	0	38	0
		Diesel	468	415	1	85	22
		GNV	49	1	0	0	0
Total			12,461	3,453	22	1,102	137

Figura 3.16. Distribución emisiones categoría buses, año 2013

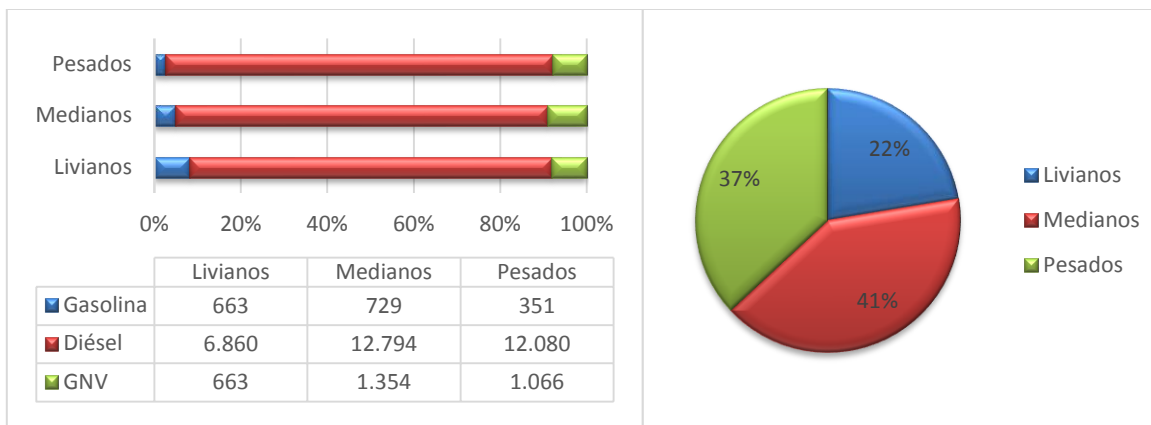


### 3.3.3.4 Camiones

Los camiones activos en el Valle de Aburrá en 2013 fueron 36560, frente a los cerca de 30000 del año 2011. El 41% de estos camiones son medianos, el 37% pesados y el 22% livianos (la división de estas subcategorías se realiza bajo los mismos criterios de la categoría buses). En la Figura 3.17 se observa que tanto los camiones livianos, como los medianos y pesados utilizan en más del 90% de los casos, combustible diésel.



Figura 3.17. Distribución de camiones, año 2013



La mayoría de las emisiones de contaminantes criterio provienen de los camiones medianos y pesados y aproximadamente el 20% de estas emisiones son generadas por los camiones livianos. Para las subcategorías livianos y medianos, las emisiones de PM<sub>2.5</sub>, SO<sub>x</sub> y NO<sub>x</sub> son en su mayoría responsabilidad del combustible diésel, mientras que los VOC y el CO provienen principalmente de la gasolina. Finalmente, el GNV aporta cerca del 30% del CO en estas subcategorías (ver Tabla 3.14 y Figura 3.18).

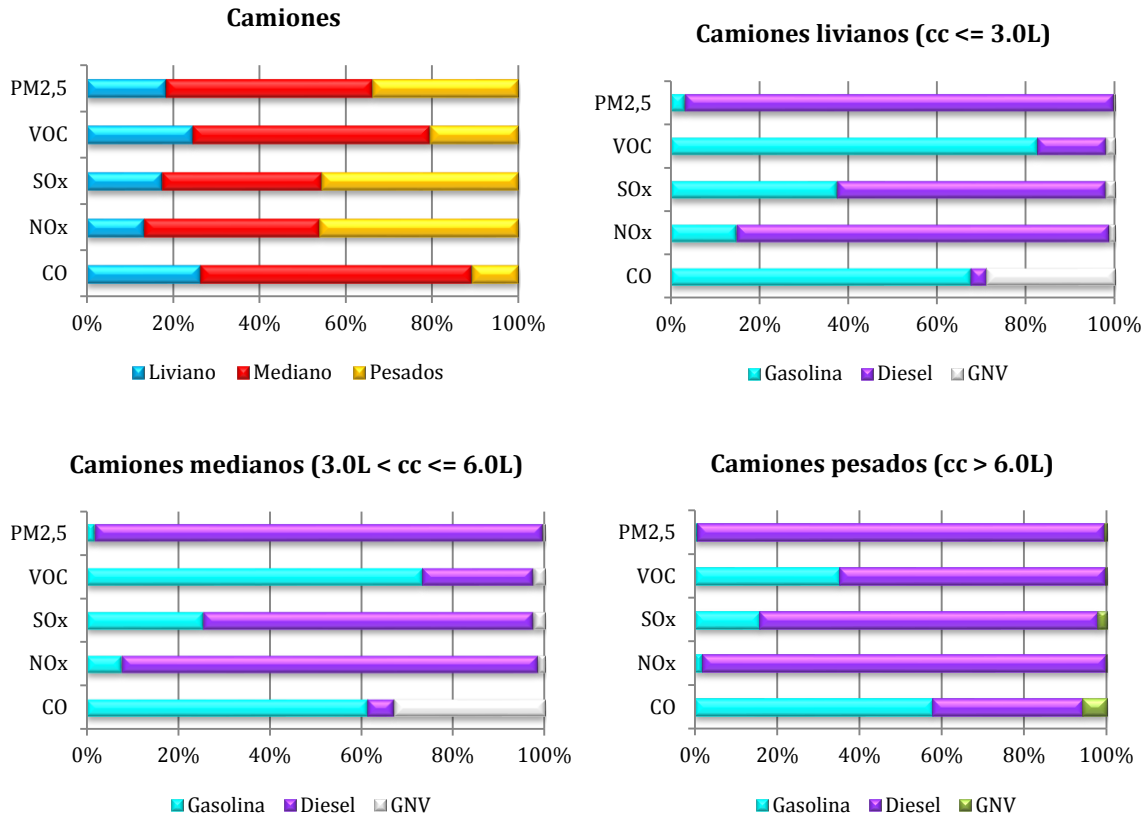
Para los camiones pesados, el diésel emite la mayor parte de todos los contaminantes criterio, excepto el CO, que proviene principalmente de la gasolina. Este combustible realiza además un aporte significativo a las emisiones de VOC y SO<sub>x</sub> en esta subcategoría.

Tabla 3.14. Emisión contaminantes criterio categoría camiones (Ton), año 2013

Categoría	Cilindraje	Combustible	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	VOC	PM <sub>2.5</sub>
Camiones	Liviano	Gasolina	10,805	116	2	683	4
		Diésel	577	656	3	128	108
		GNV	4,623	11	0	18	0
	Mediano	Gasolina	23,471	184	2	1,360	5
		Diésel	2,219	2,176	7	447	285
		GNV	12,568	36	0	47	1
	Pesado	Gasolina	3,837	47	2	246	1
		Diésel	2,431	2,676	10	450	205
		GNV	382	5	0	2	1
Total			60,914	5,908	26	3,382	611



Figura 3.18. Distribución emisiones categoría camiones, año 2013



### 3.3.3.5 Motos

Las motocicletas son la categoría que cuenta con mayor número de vehículos. Más de 517000 motos se encuentran registradas en los diez municipios del Valle de aburrá, de las cuales el 13% tienen un motor de 2 tiempos y el 87% restante son de 4 tiempos. De estas últimas, el 33% son livianas, el 64% son medianas y el resto son pesadas (ver

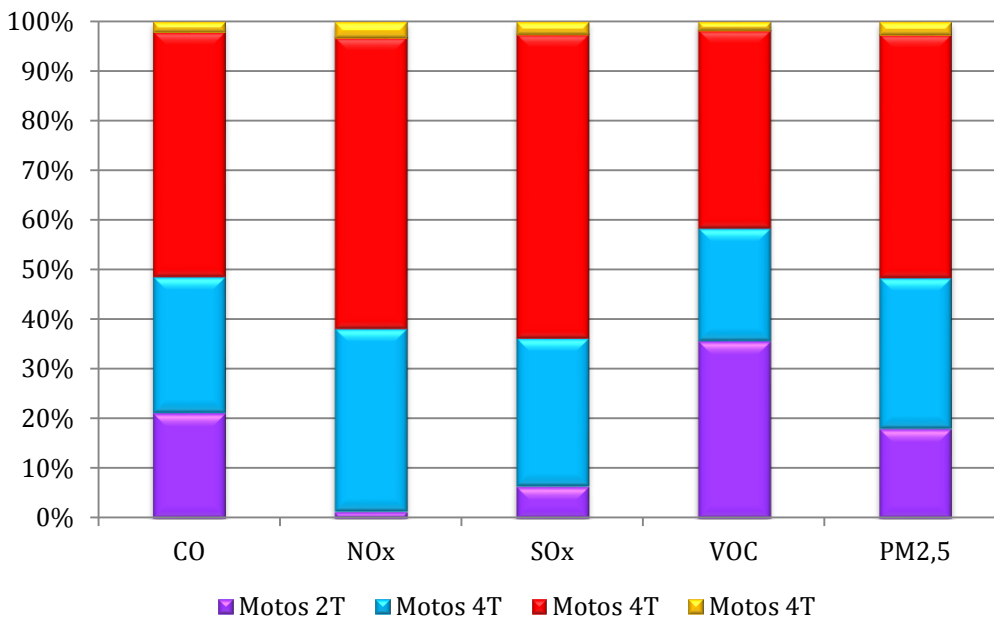
Tabla 3.15).

Tabla 3.15. Distribución motos, año 2013

Categoría	Cilindraje	Número	Porcentaje	
MOTOS 2T	Liviana cc < 300	68809	13%	-
MOTOS 4T	Liviana cc < 100	149649	87%	33%
	Mediana 100 < cc < 300	287189		64%
	Pesada cc > 300	12108		3%
TOTAL		517755	100%	100%

Como se observa en la Tabla 3.9 y la Figura 3.19 las motos de 4 tiempos generan la mayoría de las emisiones de todos los contaminantes criterio, sin embargo, las motos de 2 tiempos tienen una participación significativa en las emisiones de VOC, CO y PM<sub>2.5</sub>. Esto es relevante debido a que el número de motocicletas 2 tiempos es significativamente menor respecto al de motocicletas 4 tiempos.

Figura 3.19. Distribución de las emisiones en la categoría motos, año 2013

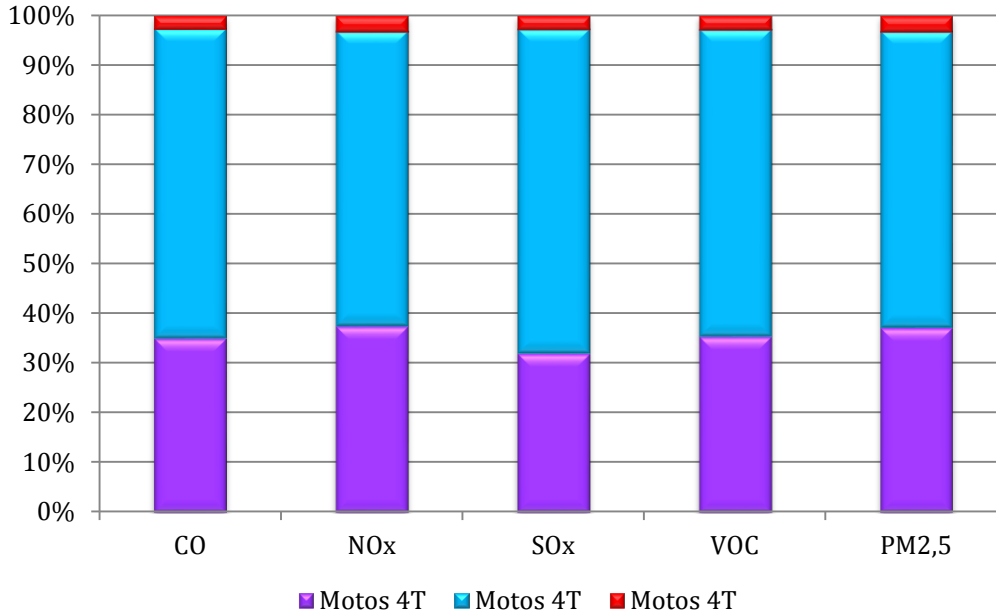


La Tabla 3.16 y la Figura 3.20 muestran que dentro de las motos de 4T, las medianas emiten la mayor cantidad de contaminantes. Esto se debe a la mayor cantidad de vehículos pertenecientes a esta subcategoría.

Tabla 3.16. Emisiones motos (Ton), año 2013

Categoría	Cilindraje	Combustible	CO	NOx	SOx	VOC	PM2.5
Motos 2T	Livianas	Gasolina	5,672	7	3	2,457	55
Motos 4T	Livianas	Gasolina	7,565	188	15	1,606	95
	Medianas	Gasolina	13,487	298	31	2,808	152
	Pesadas	Gasolina	583	16	1	126	8
Total			27,308	535	3,432	7,607	310

Figura 3.20. Distribución emisiones motos 4 tiempos, año 2013



### 3.3.3.6 Metroplús

Como se presentó previamente en la Tabla 3.9, debido a que el número de vehículos del sistema Metroplús analizados en este inventario es considerablemente menor al de las demás categorías, sus emisiones son igualmente bajas. Por esta razón no se hará un análisis más profundo de esta categoría vehicular, aparte del ya realizado anteriormente.

### 3.3.4 Emisiones de gases de efecto invernadero

La estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se realizó también a través del modelo LEAP. Se analizaron las emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nítrico, así como de CO<sub>2</sub> 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 3.17 se muestran los GWP usados.

Tabla 3.17. Potenciales de Calentamiento Global

Gas de efecto invernadero	GWP en 100 años
Dióxido de carbono	1

Metano	25
Óxido nitroso	298

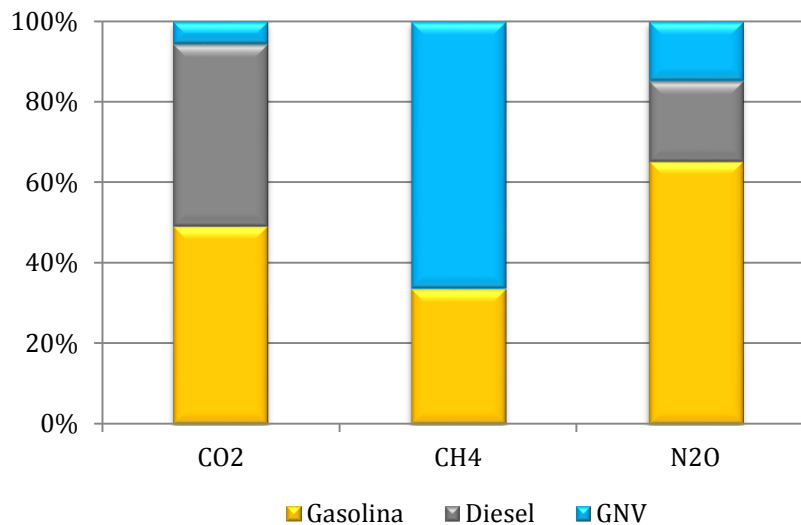
En la Tabla 3.18 se presentan los resultados de las emisiones de GEI generadas por el parque automotor del Valle de Aburrá, discriminadas por tipo de combustible, así como la cantidad de CO<sub>2</sub> equivalente. Se encontró que la gasolina aporta más del 60% del N<sub>2</sub>O, mientras que el diésel y el GNV son responsables por el resto de las emisiones de este contaminante (ver Figura 3.21).

Igualmente, se observa que el GNV emite el 66% del metano en el Valle de Aburrá y el 34% restante es emitido por la gasolina. Por su parte, el diésel aporta el 45% del CO<sub>2</sub>, frente al 49% que emite la gasolina.

Tabla 3.18. Emisiones de GEI producidas por las fuentes móviles en el Valle de Aburrá (Ton),  
año 2013

<b>metric tonnes</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>N<sub>2</sub>O</b>
Gasolina	1,283,553	3,434	41
Diesel	1,177,141	0	13
GNV	145,638	6,743	9
Total	2,606,333	10,176	63
CO <sub>2</sub> -eq	2'879,603		

Figura 3.21. Distribución de emisiones de GEI por tipo de combustible, año 2013

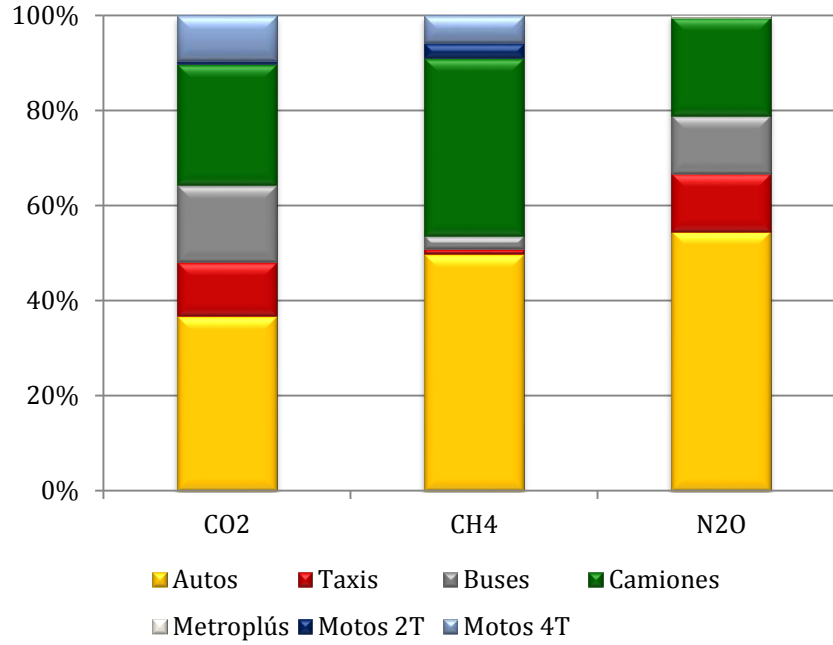


Ahora bien, al analizar las emisiones de estos tres gases teniendo en cuenta la categoría vehicular, se tiene que son los autos y los camiones las categorías que emiten la mayor cantidad de todos los contaminantes. Resalta también el aporte de los buses y taxis a las emisiones de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O y de las motos 4 tiempos a las emisiones de CO<sub>2</sub> Y CH<sub>4</sub> (Ver Tabla 3.19 y Figura 3.22).

Tabla 3.19. Emisiones de GEI por categoría vehicular (Ton), año 2013

Categoría	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Autos	956,606	5,070	35
Taxis	297,650	106	8
Buses	422,270	284	8
Camiones	663,006	3,797	13
Metroplús	2,174	4	0
Motos 2T	16,609	322	0
Motos 4T	248,019	594	0
Total	2,606,333	10,176	63

Figura 3.22. Distribución de emisiones de GEI por categoría vehicular, año 2013





## 4 FUENTES DE ÁREA

### 4.1 ESTACIONES DE SERVICIO DE COMBUSTIBLE

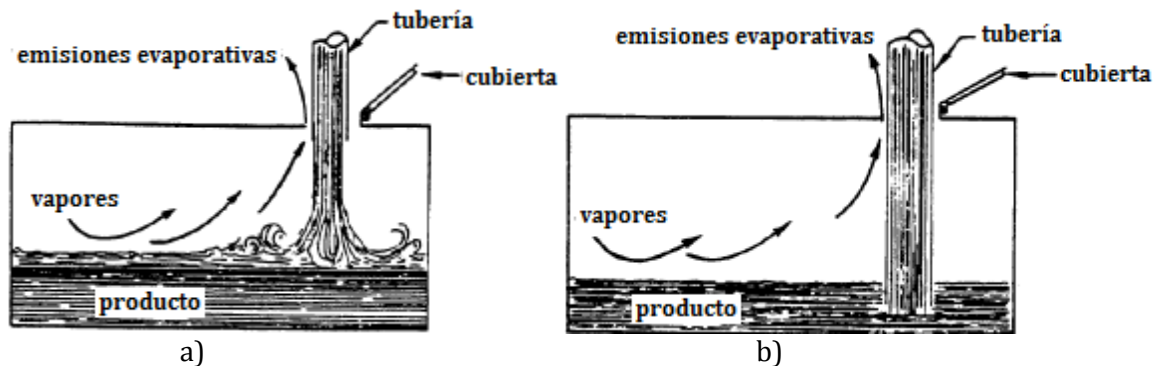
Tal y como se hizo en la actualización más reciente del inventario de emisiones, se consideran a las estaciones de servicio de combustible como fuentes de área. Las emisiones que se generan en éstas se producen durante la descarga del combustible desde los carro-tanques que lo transportan a los tanques 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 4.1-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 4.1-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 4.1. 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.

#### 4.1.1 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 4.1; 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:

$$E_i = E_{Fi} \times V_i \times 10^{-6} \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

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 4.1 (US EPA, 2008).

Tabla 4.1. Factores de emisión de VOC para estaciones de servicio de combustible

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

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.

#### 4.1.2 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 2013. En la Tabla 4.2, la Tabla 4.3, la Figura 4.2 y la Figura 4.3 se muestran los datos consolidados para el año base.

Tabla 4.2. Consumo de gasolina en el Valle de Aburrá en el año 2013

Municipio	Consumo (gal)
Medellín	99,348,776
Barbosa	595,790
Bello	13,627,272
Caldas	1,904,402
Copacabana	2,006,538
Envigado	13,654,390
Girardota	1,426,786
Itagüí	11,579,433
La Estrella	1,227,567

Sabaneta	5,615,978
Total	150,986,932

Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética

Tabla 4.3. Consumo de diésel en el Valle de Aburrá en el año 2013

<b>Municipio</b>	<b>Consumo (gal)</b>
Medellín	56,243,128
Barbosa	1,505,270
Bello	11,611,448
Caldas	6,059,580
Copacabana	3,535,894
Envigado	4,650,562
Girardota	7,306,318
Itagüí	13,997,237
La Estrella	2,310,585
Sabaneta	7,967,301
Total	115,187,323

Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética

Se observa que el municipio con mayor consumo tanto de gasolina como de diésel es Medellín, municipio en donde se consume el 66% y el 49% de estos combustibles respectivamente. Por su parte, Envigado, Bello e Itagüí son los municipios que después de la capital de Antioquia presentan el mayor consumo de gasolina con el 9%, 9% y 7.7% respectivamente. Finalmente, en el caso del diésel fue en los municipios de Itagüí, Bello y Sabaneta donde, después de Medellín, se consumió la mayor cantidad del combustible con el 12% ,10% y 7% del total respectivamente.

Figura 4.2. Consumo de gasolina en el Valle de Aburrá en el año 2013

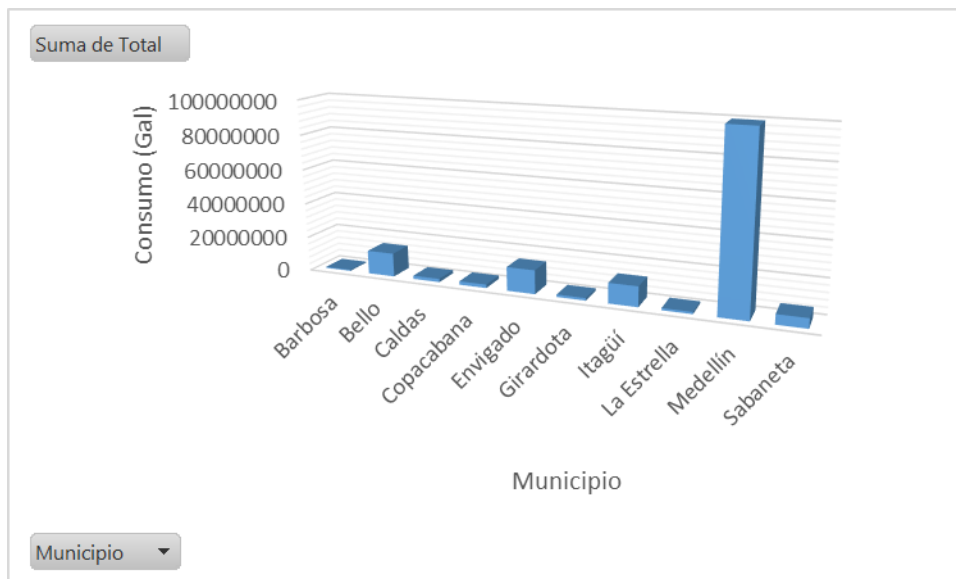
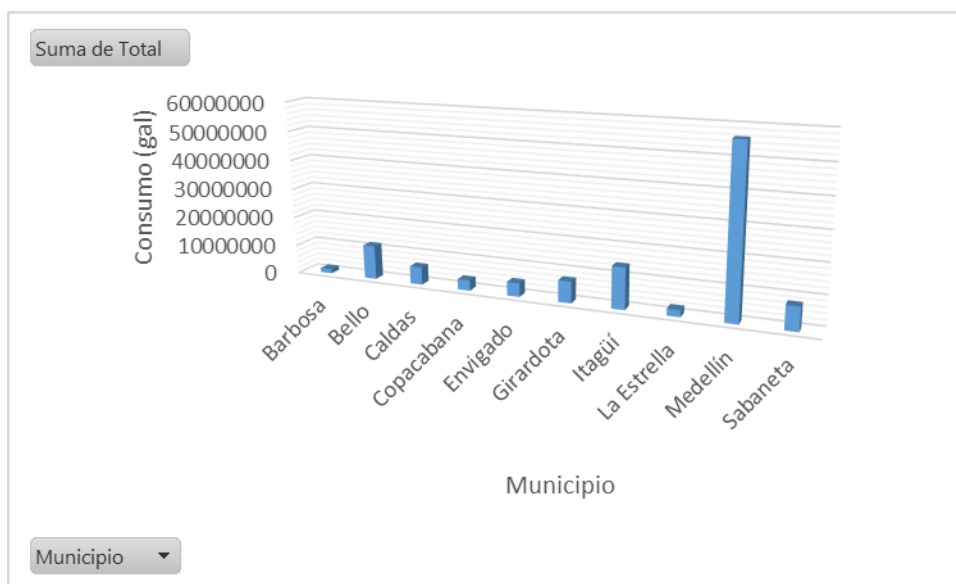


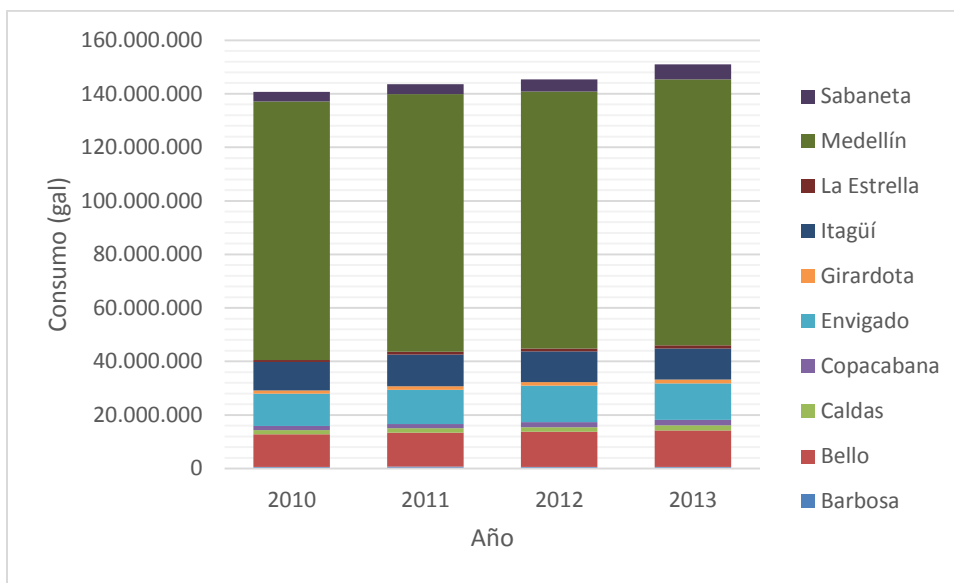
Figura 4.3. Consumo de diésel en el Valle de Aburrá en el año 2013



A continuación, la Figura 4.4 y la Figura 4.5 presentan la evolución del consumo de estos dos combustibles en los últimos años, la información histórica para el diésel se tomó de Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana (2014) y para la gasolina se solicitó a la UPME los datos requeridos. Se observa un crecimiento en el consumo

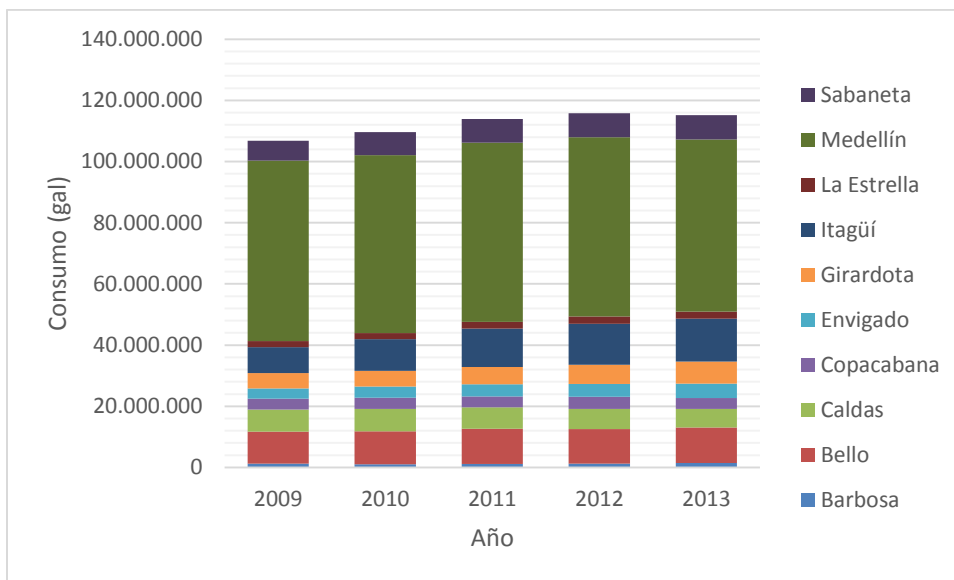
de gasolina respecto a los años inmediatamente anteriores, mientras que para el caso del diésel se evidencia una tendencia estable.

Figura 4.4. Consumo histórico de gasolina en el Valle de Aburrá (galones)



Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética

Figura 4.5. Consumo histórico de diésel en el Valle de Aburrá (galones)



Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética

### 4.1.3 Resultados

Con las cifras de consumo de combustible y los factores de emisión mencionados anteriormente, se 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 4.4 y la Tabla 4.5 se reportan los resultados para este contaminante.

Tabla 4.4. Emisiones de VOC provenientes de la gasolina, año 2013 (ton/año)

Municipio	Emisión
Medellín	1,092
Barbosa	7
Bello	150
Caldas	21
Copacabana	22
Envigado	150
Girardota	16
Itagüí	127
La Estrella	13
Sabaneta	62
Total	1,659

Tabla 4.5. Emisiones de VOC provenientes del diésel, año 2013 (ton/año)

Municipio	Emisión
Medellín	38
Barbosa	1
Bello	8
Caldas	4
Copacabana	2
Envigado	3
Girardota	5
Itagüí	9
La Estrella	2
Sabaneta	5
Total	77

En la Figura 4.6 y la Figura 4.7 se muestra la distribución de estas emisiones para los diferentes municipios del Valle de Aburrá.

Figura 4.6. Distribución de emisiones de VOC provenientes de la gasolina por municipio, año 2013

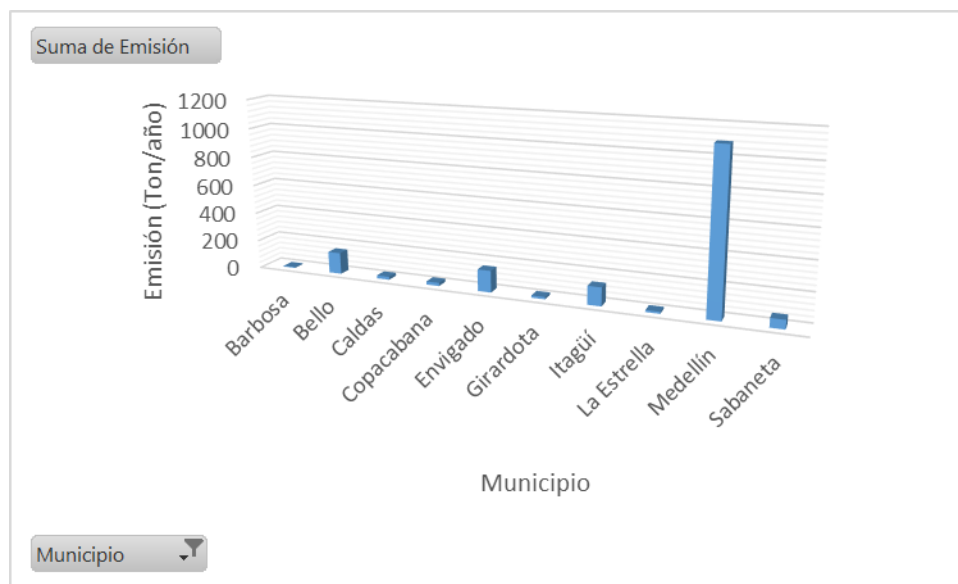
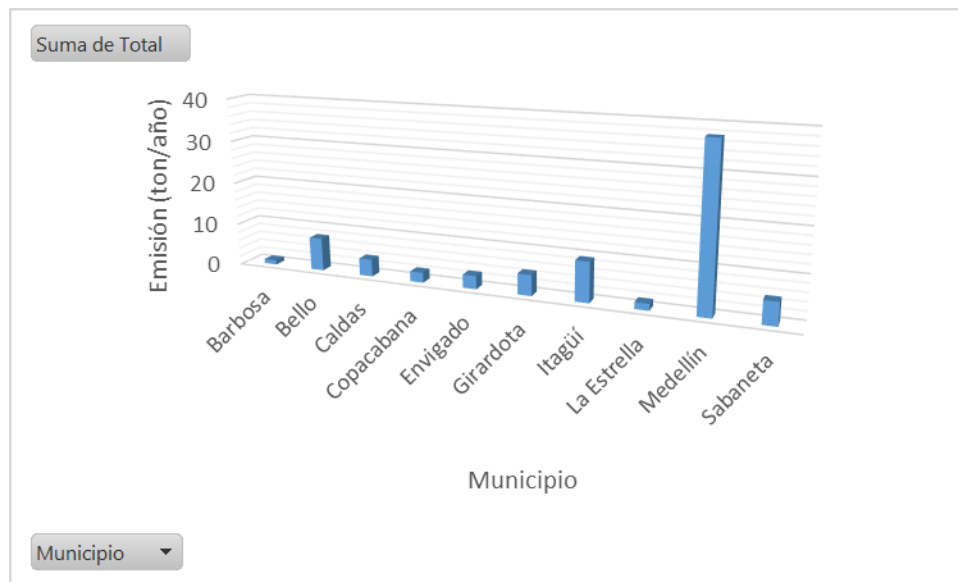


Figura 4.7. Distribución de emisiones de VOC provenientes del diésel por municipio, año 2013



Se observa que para el caso de la gasolina, el municipio que presenta las mayores emisiones de VOC es Medellín, seguido por Envigado, Bello e Itagüí. 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.

#### 4.2 RELLENO SANITARIO

“La American Society of Civil Engineers, ASCE, define los rellenos sanitarios como: “Una técnica para la disposición de basura en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestia o peligro para la salud y seguridad pública, método que utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en el menor área posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable, y para cubrir la basura así depositada con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al fin de cada jornada” (Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana, 2010)”.

A nivel global los rellenos sanitarios se mantienen como la principal estrategia de disposición de residuos sólidos, sobre todo en países industrializados. Por su parte, en los países en desarrollo, el manejo de los residuos sólidos municipales representa un reto, puesto que aun se disponen en botaderos a cielo abierto en muchos lugares. La descomposición de estos residuos generan emisiones que pueden afectar la calidad del aire y la salud de las personas (Laner, Fellner, & Brunner, 2011).

La mayor parte de los residuos sólidos municipales que se disponen en rellenos sanitarios está compuesta por materia orgánica, que al ser degradada produce gases de efecto invernadero como metano, dióxido de carbono y otros gases como el ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), hidrógeno, etc. La cantidad de estos gases dependerá, entre otros factores, de la composición de los residuos que llegan al lugar de disposición final. Cabe resaltar también que en países como Colombia la separación en la fuente es casi inexistente, así como los pretratamientos a estos residuos antes de ser dispuestos (Huber-Humer, Kjeldsen, & Spokas, 2011) (Sil, Kumar, & Wong, 2014).

De esta forma, resulta importante un manejo adecuado no solo de los residuos sólidos municipales, sino también de sus emisiones atmosféricas. Anteriormente, los residuos generados en los municipios del Valle de Aburrá se disponían en el relleno sanitario Curva de Rodas, el cual fue cerrado en el año 2003 y sus emisiones fueron estimadas por Área Metropolitana del Valle de Aburrá-Universidad Pontificia Bolivariana (2010). A partir de



dicho año comenzó a operar el relleno sanitario La Pradera, el cual, aunque no se encuentra ubicado dentro de la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, será objeto de análisis en el presente informe.

#### 4.2.1 Relleno sanitario La Pradera

El relleno sanitario La Pradera se encuentra ubicado en la vereda del mismo nombre, jurisdicción del municipio de Don Matías al norte del Valle de Aburrá, al Nororiente del municipio de Barbosa (Figura 4.8 y Figura 4.9). Recibe los residuos de la ciudad de Medellín y sus corregimientos y las poblaciones vecinas Barbosa, Bello, Caldas, Cisneros, Carolinia, Copacabana, Fredonia, Girardota, Gómez Plata, Guarne, Guadalupe, Heliconia, Itagüí, La Estrella, El Retiro, Rionegro, Sabaneta, Salgar, Titiribí, Venecia y Yolombó; lo cual se traduce en aproximadamente 1800 toneladas al día (Empresas Varias de Medellín, 2015).

La Pradera cuenta con tres vasos para la disposición de los residuos: La Carrilera, La Música y Altair. De estos, el primero se encuentra cerrado y cubierto con capa vegetal; en 2013 los residuos eran dispuestos en el segundo vaso, mientras que Altair apenas entró en funcionamiento a finales de 2014 tras el cierre del vaso La Música.

Por esta razón, a pesar de que actualmente los vasos La Carrilera y La Música se encuentran cerrados y los residuos se disponen en el vaso Altair, el cual amplió la vida útil del relleno sanitario por lo menos 14 años; se tomarán en cuenta las emisiones de los dos primeros vasos y las condiciones que se presentaban en 2013, año base del presente inventario.

Entre las principales características de este relleno sanitario se encuentran:

- Inicio de operación: 6 de junio de 2003.
- Área: 354 hectáreas.
- Toneladas dispuestas a 2012: 6'175,878

Figura 4.8. Ubicación Relleno Sanitario La Pradera

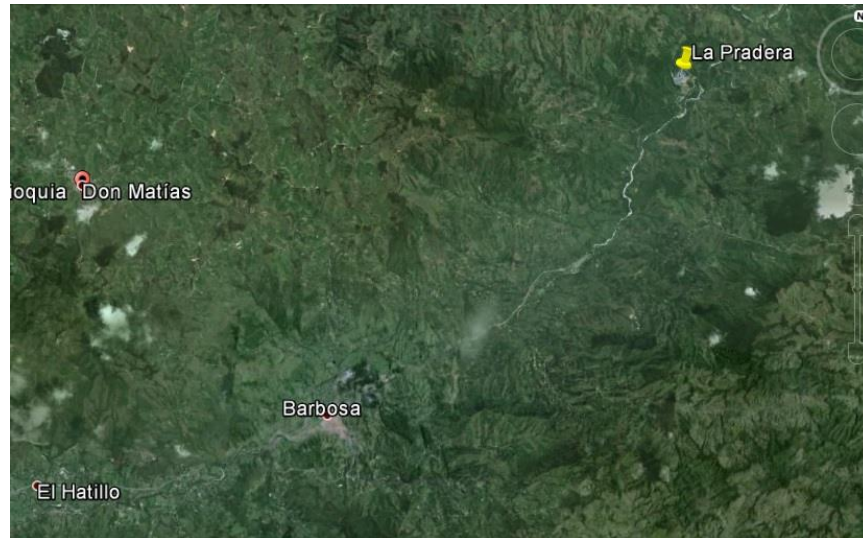


Figura 4.9. Relleno Sanitario La Pradera



La cantidad de residuos dispuestos en el relleno sanitario La Pradera desde su apertura hasta el año 2012, así como su composición se presentan en la Tabla 4.6 y la Figura 4.10. La

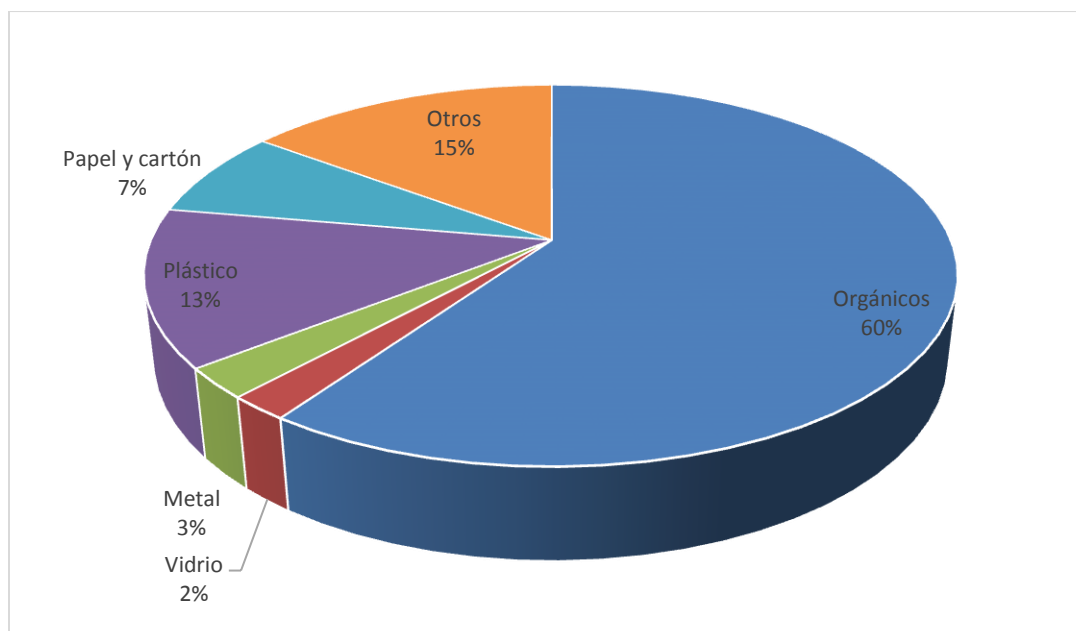
cantidad correspondiente al año 2013 se estimó de acuerdo a la tendencia de crecimiento que presentan los residuos dispuestos a partir del año 2009.

Tabla 4.6. Cantidad de residuos dispuestos en La Pradera

Año	Cantidad de residuos dispuestos (ton)
2003	260,324
2004	607,784
2005	704,562
2006	703,147
2007	686,007
2008	664,033
2009	591,174
2010	640,732
2011	647,743
2012	670,372
2013	698,657

Fuente: Emvarias

Figura 4.10. Composición de los residuos dispuestos en La Pradera en 2012



Fuente: Emvarias

#### 4.2.2 Metodología de cálculo de emisiones provenientes de un relleno sanitario

Las emisiones provenientes del relleno sanitario La Pradera se estiman utilizando el modelo LandGEM versión 3.02, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (US EPA). Es una herramienta de Microsoft Excel que permite el cálculo de emisiones de biogás, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, Compuestos Orgánicos No Metánicos (NMOC) y otros contaminantes.

Retomando la información de Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana (2010), se tiene que el modelo LandGEM utiliza la siguiente ecuación para el cálculo de la generación anual de metano:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_0 \left( \frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}}$$

Donde,

$Q_{CH_4}$  = Generación anual de metano en el año de cálculo, m<sup>3</sup>/año

$i$  = Incremento de tiempo de 1 año

$n$  = (año de cálculo) - (año de apertura)

$j$  = Incremento de tiempo de 0.1 años

$k$  = Velocidad de generación de metano, año<sup>-1</sup>

$L_0$  = Potencial de generación de metano, m<sup>3</sup>/Mg

$M_i$  = Masa de residuos sólidos dispuestos en el año  $i$

$t_{ij}$  = Edad de la sección  $j$  de la masa de residuos  $M_i$  en el año  $i$ , años decimales

LandGEM asume que el biogás es aproximadamente mitad CH<sub>4</sub> y mitad CO<sub>2</sub> con relativamente bajas concentraciones de otros contaminantes. La información necesaria para estimar la emisión de contaminantes es:

- Capacidad de diseño del relleno sanitario.
- Cantidad de residuos dispuestos anualmente.
- Velocidad de generación de metano,  $k$ .
- Potencial de generación de metano,  $L_0$ .
- Especiación y concentración de NMOC.
- Año de apertura del relleno sanitario.

El modelo tiene valores por defecto para algunos parámetros de entrada, en este caso se tiene valores locales para  $k$  y  $L_0$ , los cuales fueron tomados de (Mazo, Estimación de la producción de biogás en rellenos sanitarios. Caso: Curva de Rodas y La Pradera, 2006), estos se muestran en la Tabla 4.7 y la Tabla 4.8.

Tabla 4.7. Parámetros de entrada para el modelo LandGEM - Vaso La Carrilera

Parámetro	Valor
Velocidad de generación de metano, $k$	0.08 año <sup>-1</sup>
Potencial de generación de metano, $L_0$	70 m <sup>3</sup> /Mg
Concentración de NMOC (ppmv de hexano)	4,000
Contenido de metano (% en volumen)	50

Tabla 4.8. Parámetros de entrada para el modelo LandGEM - Vaso La Música

Parámetro	Valor
Velocidad de generación de metano, $k$	0.08 año <sup>-1</sup>
Potencial de generación de metano, $L_0$	84 m <sup>3</sup> /Mg
Concentración de NMOC (ppmv de hexano)	4,000
Contenido de metano (% en volumen)	50

### 4.2.3 Resultados

A partir de la información alimentada al modelo LandGEM se obtuvieron los resultados presentados en la segunda columna de la Tabla 4.9, sin embargo, debido a que en el relleno sanitario La Pradera se realiza una quema de los gases, se debe ajustar los resultados del modelo de acuerdo al metano dejado de emitir al ser transformado en dióxido de carbono y vapor de agua mediante el proceso de combustión.

Según Mazo (2009), en el año 2013 se reducirían 81,513 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>eq) en La Pradera; esto quiere decir que se dejaron de emitir 3882 toneladas de metano al ser quemado. Además, asumiendo una combustión completa y un proceso de limpieza del biogás de alta eficiencia, se produjeron adicionalmente 10674 toneladas de CO<sub>2</sub>.

Tabla 4.9. Contaminantes emitidos por la disposición de residuos en el relleno sanitario La Pradera, 2013

Sustancia	Modelo LandGem (Ton/año)	Gases tratados (Ton/año)	Total (Ton/año)
CH <sub>4</sub>	19,265	-3,882	15,383
CO <sub>2</sub>	52,858	+10,674	63,532
NMOC	828		828

El potencial de calentamiento global del metano es 21 veces mayor que el del dióxido de carbono, CH<sub>4</sub> = 21 CO<sub>2</sub>

De acuerdo con los resultados obtenidos para el relleno sanitario La Pradera, aproximadamente el 1% de las emisiones corresponden a Compuestos Orgánicos No Metánicos, los cuales tienen impacto principalmente sobre la salud de las personas. El 99% restante corresponde a gases de efecto invernadero.

El modelo LandGem permite obtener las emisiones de otros contaminantes del aire producidos por la disposición de residuos en el relleno sanitario. En la Tabla 4.10 se tienen los resultados de aquellos clasificados como contaminantes peligrosos del aire (HAP, por sus siglas en inglés) y VOC. Se resaltan las emisiones de etano (64 ton/año), tolueno(38 ton/año), monóxido de carbono (9 ton/año ) y 2-propanol (7 ton/año).

Tabla 4.10. Emisión de HAP/VOCs en el relleno sanitario La Pradera (ton), 2013

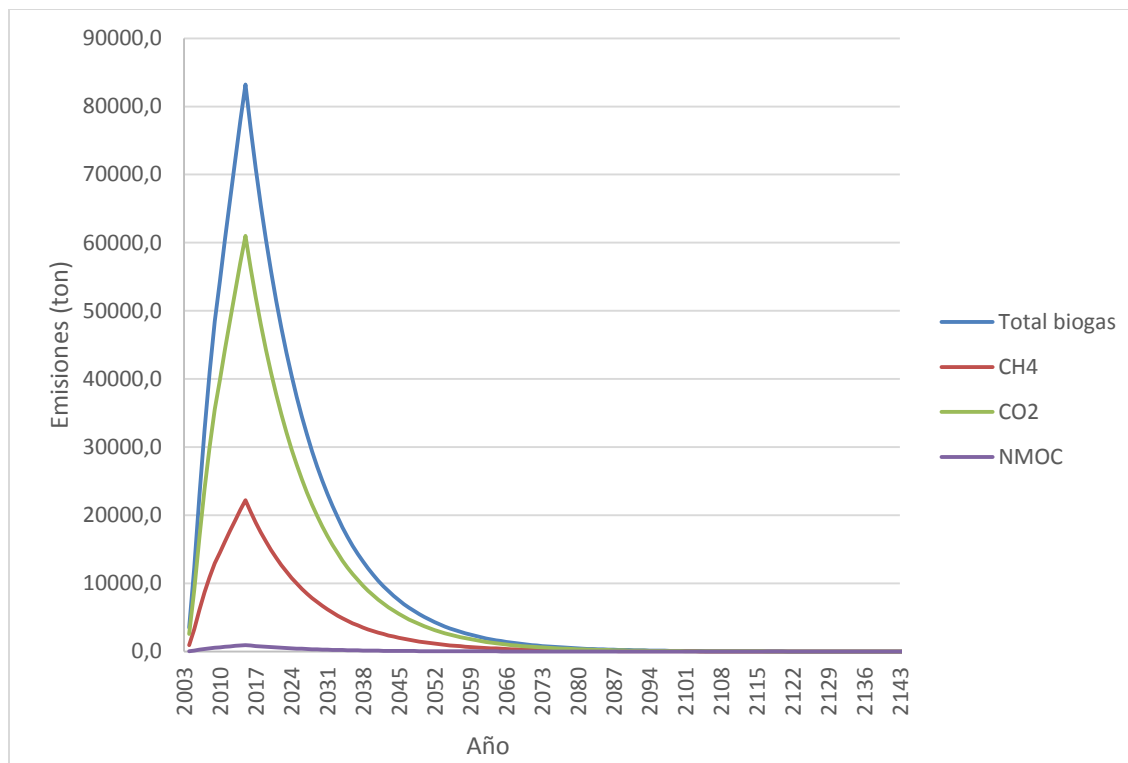
1,1,1-Tricloroetano - HAP	0.15	Diclorofluorometano - VOC	0.64
1,1,2,2-Tetracloroetano - HAP/VOC	0.44	Diclorometano - HAP	2.86
1,1-Dicloroetano - HAP/VOC	0.57	Dimetil sulfuro - VOC	1.16
1,1-Dicloroetano - HAP/VOC	0.05	Etano	64.29
1,2-Dicloroetano - HAP/VOC	0.10	Etanol - VOC	2.99
1,2-Dicloropropano - HAP/VOC	0.05	Etil mercaptano - VOC	0.34
2-Propanol - VOC	7.22	Etilbenceno - HAP/VOC	1.17

Acetona	0.98	Etilen dibromuro - HAP/VOC	0.00
Acrilonitrilo - HAP/VOC	0.80	Fluorotriclorometano - VOC	0.25
Benceno - HAP/VOC	2.06	Hexano - HAP/VOC	1.37
Bromodichlorometano - VOC	1.22	Sulfuro de hidrógeno	2.95
Butano - VOC	0.70	Mercurio (total) - HAP	0.00
Disulfuro de carbono - HAP/VOC	0.11	Metil etil cetona - HAP/VOC	1.23
Monóxido de carbono	9.42	Metil isobutil cetona - HAP/VOC	0.46
Tetracloruro de carbono - HAP/VOC	0.00	Metil mercaptano - VOC	0.29
Sulfuro de carbonilo - HAP/VOC	0.07	Pentano - VOC	0.57
Clorobenceno - HAP/VOC	0.07	Percloroetileno - HAP	1.47
Clorodifluorometano	0.27	Propano - VOC	1.16
Cloroetano (ethyl chloride) - HAP/VOC	0.20	1,2-Dicloroetano - VOC	0.65
Cloroformo - HAP/VOC	0.01	Tolueno - HAP/VOC	37.62
Clorometano - VOC	0.15	Tricloroetileno - HAP/VOC	0.88
Diclorobenceno - (HAP for para isomer/VOC)	0.07	Vinil cloruro - HAP/VOC	1.10
Diclorodifluorometano	4.65	Xilenos - HAP/VOC	3.06

En la Figura 4.11 se presentan las emisiones de dióxido de carbono, metano y compuestos orgánicos no metánicos en una línea de tiempo, desde el año 2003, cuando entró en funcionamiento el relleno sanitario La Pradera. Dichas emisiones corresponden a los dos vasos mencionados anteriormente: La Carrilera y La Música. Cabe resaltar que éstas serían las emisiones con las condiciones del año 2013, es decir, sin tomar en cuenta el vaso Altair.



Figura 4.11. Emisión de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y NMOC desde la apertura del relleno sanitario La Pradera



### 4.3 EMISIONES EVAPORATIVAS DE PROCESOS INDUSTRIALES

A esta categoría corresponden aquellas emisiones de compuestos orgánicos volátiles producidos en diferentes etapas de proceso y que no necesariamente son descargadas por una fuente fija (chimenea). Se han incluido las emisiones difusas o de área provenientes de procesos industriales que por su tamaño resultan importantes. A continuación se presentan los resultados de las industrias seleccionadas para este inventario.

#### 4.3.1 Producción de bebidas destiladas

De acuerdo con Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana (2010), se tiene que el proceso de producción de alcohol se realiza mediante la fermentación de glucosa, de donde se obtiene etanol y CO<sub>2</sub>. Este alcohol es destilado para aumentar su pureza.

Normalmente, el proceso se compone de cinco etapas a saber:

- Preparación de mostos (melaza y otros compuestos que contienen glucosa, levadura y nutrientes).
- Fermentación.
- Destilación.
- Añejamiento.
- Empaque.

Las principales emisiones de VOC están compuestas de etanol, acetaldehído, glicerol y etil acetato. Éstas ocurren durante el añejamiento del licor y el factor de emisión reportado en el *Emissions Inventory Guidebook* preparado por EMEP/CORINAIR es 0.15 kg/L de alcohol producido.

De esta forma, se obtiene para el año 2013 las emisiones de VOC provenientes de la industria de bebidas destiladas. En la Tabla 4.11 se reporta este resultado.

Tabla 4.11. Emisiones de VOC de la industria de bebidas destiladas, año 2013

Factor de emisión (kg/L alcohol producido)	Emisión VOC(ton/año)
0.15	584

#### 4.3.2 Tostado de café

El tostado es un proceso mediante el cual se transforma el grano verde en productos de café, bien sea soluble o entero, que llegarán finalmente al consumidor. Este proceso incluye las operaciones de limpieza, el tostado como tal, enfriamiento, molienda y empaque.

Generalmente los tostadores son tambores rotatorios que arrojan los granos de café verde a una corriente de gases calientes; operan a temperaturas entre los 370 °C y 540 °C y el tiempo de tostado es de máximo treinta minutos. Una vez los granos han sido tostados, se enfrían y se llevan a un clasificador, de donde se transportan a una tolva de almacenamiento para su estabilización. Finalmente, los granos de café son molidos y empacados para su distribución (Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana, 2010).

Los factores de emisión de compuestos orgánicos volátiles provenientes del proceso de tostado de café, fueron tomados del AP 42 de la Agencia de Protección Ambiental de los

Estados Unidos. Así, en la Tabla 4.12 se presentan los resultados de emisiones de VOC provenientes de este proceso.

Tabla 4.12. Emisiones de VOC provenientes del tostado de café, año 2013

<b>Factor de emisión (kg/Ton de café verde)</b>	<b>Emisión VOC (ton/año)</b>
0.021	0.6

### 4.3.3 Producción de pinturas y barnices

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos establece que la producción de pintura se lleva a cabo mediante la dispersión de un pigmento en aceite o resina, seguido por la adición de un solvente orgánico para el ajuste de la viscosidad. Este proceso se lleva a cabo en tanques de mezcla y generalmente a temperatura ambiente. No hay reacciones químicas involucradas.

Los principales factores que afectan las emisiones procedentes de la fabricación de pinturas son el tipo de solventes utilizados y la temperatura de mezcla (se tienen pérdidas entre el 1% y 2% del solvente, incluso bajo condiciones bien controladas). Teóricamente, si se utilizan postquemadores se reducen las emisiones de VOC en un 99%.

El proceso de fabricación de barnices, por su parte, consiste en la mezcla de diferentes ingredientes e involucra reacciones químicas que se inician por calentamiento. Los tiempos de cocción del barniz varían entre 4 y 16 horas a temperaturas entre 93 y 340 °C. Las emisiones provenientes de este proceso corresponden principalmente a compuestos orgánicos volátiles y dependen de las temperaturas y tiempos de cocción, así como del tipo de solvente utilizado. Se estima que entre el 1% y el 6 % de la materia prima se emite a la atmósfera.

La US EPA ha definido los siguientes factores de emisión para compuestos orgánicos volátiles provenientes de los procesos de producción de pinturas y barnices (ver Tabla 4.13). Así mismo, en la Tabla 4.14 se presentan los resultados de emisiones de VOC provenientes de las industrias del Valle de Aburrá que realizan esta actividad productiva.

Tabla 4.13. Factores de emisión para el proceso de producción de pintura y barnices

<b>Fuente</b>	<b>FE (kg VOC/Mg de producto)</b>
Pintura	15
Barniz	
<i>Bodying oil</i>	20
Oleoresina	75
Alquídica	80
Acrílica	10

Fuente: US EPA, AP 42.

 Tabla 4.14. Emisiones de VOC por la fabricación de pintura y barnices en el Valle de Aburrá en  
2013

<b>Producto</b>	<b>Emisión VOC (Ton/año)</b>
Pintura	86
Barniz alquídico	4
Resinas y bases para pintura	1,282
Total	1,372

#### 4.3.4 Producción de cerveza

Agua, cereales, lúpulo y levadura son los ingredientes necesarios para la elaboración de cerveza, cuya producción consta de cuatro etapas a saber: cocción, fermentación, añejamiento y empaque. Durante la primera se remojan los granos con el fin de ablandarlos y que estos germinen, posteriormente son calentados en un horno y triturados; el producto se dispone en un tanque de maceración junto con agua caliente y así se transforman los almidones de los granos en azúcares fermentables.

Tras un proceso de filtración se obtiene lo que se conoce como mosto, el cual es hervido junto con el lúpulo, que después de ser sedimentado y refrigerado pasa a tanques de fermentación, donde la levadura transforma el azúcar en etanol, dióxido de carbono y agua. Posteriormente, el líquido es añejado y finalmente empacado.

La fabricación de cerveza emite compuestos orgánicos volátiles entre los que se encuentran el etanol, acetato de etilo y algunos aldehídos. El *Emissions Inventory Guidebook* preparado por EMEP/CORINAIR reporta un FE de 0.00035 kg/L para este proceso; con el cual se obtuvo el resultado de la Tabla 4.15 para el Valle de Aburrá en 2013.

Tabla 4.15. Emisiones de VOCs de la industria cervecera, año 2013

Factor de emisión (kg/L cerveza producida)	Emisión VOC (ton/año)
0.00035	88

#### 4.3.5 Producción de fibras sintéticas

El tereftalato de polietileno (PET, por sus siglas en inglés) es una resina de poliéster termoplástica utilizada principalmente en la fabricación de fibras sintéticas para la producción de empaques de comidas, cosméticos, medicamentos, entre otros.

En el Valle de Aburrá se producen fibras sintéticas como el poliéster y el nylon, cuyos procesos poseen los factores de emisión que se presentan en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16. Factores de emisión y resultados para la producción de fibras sintéticas en el Valle de Aburrá, año 2013

Tipo de fibra	FE VOC (kg/Mg de producto)	Emisión VOC (Ton/año)
Poliéster		
Grano	0.6	
Hilo	0.05	1
Nylon 6		
Grano	3.93	
Hilo	0.45	7
Total		8

Fuente: US EPA, AP 42

#### 4.3.6 Fabricación de papas fritas y pasabocas

De acuerdo con Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana (2010), los alimentos como la papa, la yuca, el maíz y el plátano son preparados, freídos y vendidos como pasabocas. Este proceso puede ser por etapas o continuo, y consiste en sumergir el alimento en aceite caliente hasta que esté cocinado y luego retirarlo. En algunas ocasiones el producto puede ser tostado antes de freírlo.

Aunque el principal contaminante emitido en este proceso es el material particulado, los compuestos orgánicos volátiles también son emitidos cuando el aceite es arrastrado por el vapor de agua producido durante el freído, ya que el aceite se puede descomponer en productos volátiles. A continuación, la Tabla 4.17 presenta los factores de emisión utilizados y las emisiones de VOC obtenidos para este proceso.

Tabla 4.17. Factores de emisión y resultados para la fabricación de papas fritas y pasabocas,  
año 2013

Fuente	FE (kg VOC/Mg de producto terminado)	Emisión VOC (Ton/año)
Papas fritas	0.009	0.02
Otros pasabocas	0.043	0.36

Fuente: US EPA, AP 42; Snack chip deep fat frying

#### 4.3.7 Recubrimiento de rollos metálicos y latas

El recubrimiento de rollos metálicos consiste en la aplicación de una capa orgánica o decorativa sobre una superficie plana metálica. Las latas pueden hacerse a partir de una pieza rectangular y dos circulares (latas de tres piezas) o pueden ser elaboradas y formadas en forma de taza y después de estar llenas se sellan (latas de dos piezas). Hay grandes diferencias en las prácticas de recubrimiento dependiendo del tipo de lata y del producto empaçado.

La fabricación de latas de tres piezas involucra el recubrimiento de la hoja metálica (recubrimiento base e impresión o litografía) y la fabricación de la lata, seguido por un proceso de curado a temperaturas superiores a los 220 °C.

Las latas de dos piezas son comúnmente usadas para cervezas y otras bebidas. El exterior puede ser recubierto de blanco y curado a 200 °C, para luego ser recubiertas con tintas de varios colores y ser curadas nuevamente.

Las emisiones provenientes de la fabricación de latas dependen de la composición del recubrimiento, el área recubierta, el espesor del recubrimiento y la eficiencia de aplicación. La tasa de emisión varía con la velocidad de la línea, el tamaño de la lámina y el tipo de recubrimiento (Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana, 2010).

En la Tabla 4.18 se tabulan los factores de emisión de compuestos orgánicos volátiles para el recubrimiento de rollos metálicos y latas y en la Tabla 4.19 se presentan las emisiones obtenidas.

Tabla 4.18. Factores de emisión para el recubrimiento de rollos metálicos y latas

<b>Fuente</b>	<b>FE (kg VOC/h)</b>
<i>Recubrimiento de rollos metálicos</i>	
Base solvente	
Sin control	303
Con control	30
Base agua	50
<i>Recubrimiento de latas</i>	
Línea de recubrimiento por impresión, latas de tres piezas	51
Línea de recubrimiento por litografía, latas de tres piezas	30
Línea de recubrimiento, latas de dos piezas	39
Línea de sellado de latas de dos piezas	4

Fuente: USEPA, AP-42: Can coating

Tabla 4.19. Emisión de VOC por el recubrimiento de rollos metálicos y latas, año 2013

<b>Fuente</b>	<b>Emisión VOC (Ton/año)</b>
Latas de dos piezas	36.5
Latas de tres piezas	270.5

### 4.3.8 Resultados de emisiones evaporativas en la industria

A continuación, en la Tabla 4.21 y la Tabla 4.21 se presenta un resumen de las emisiones evaporativas industriales de VOC.

Tabla 4.20. Empresas seleccionadas para la estimación de las emisiones evaporativas

<b>Proceso</b>	<b>Número de empresas</b>
Producción de bebidas destiladas	1
Tostado de café	1
Producción de pinturas y barnices	3
Producción de cerveza	1
Producción de fibras sintéticas	2
Fabricación de papas fritas y pasabocas	1
Recubrimiento de rollos metálicos y latas	1

Tabla 4.21. Emisiones evaporativas industriales, año 2013

<b>Proceso</b>	<b>Emisión VOC (ton/año)</b>
Producción de bebidas destiladas	584
Tostado de café	0.6

Producción de pinturas y barnices	1,372
Producción de cerveza	88
Producción de fibras sintéticas	8
Fabricación de papas fritas y pasabocas	0.38
Recubrimiento de rollos metálicos y latas	307
Total	2,359

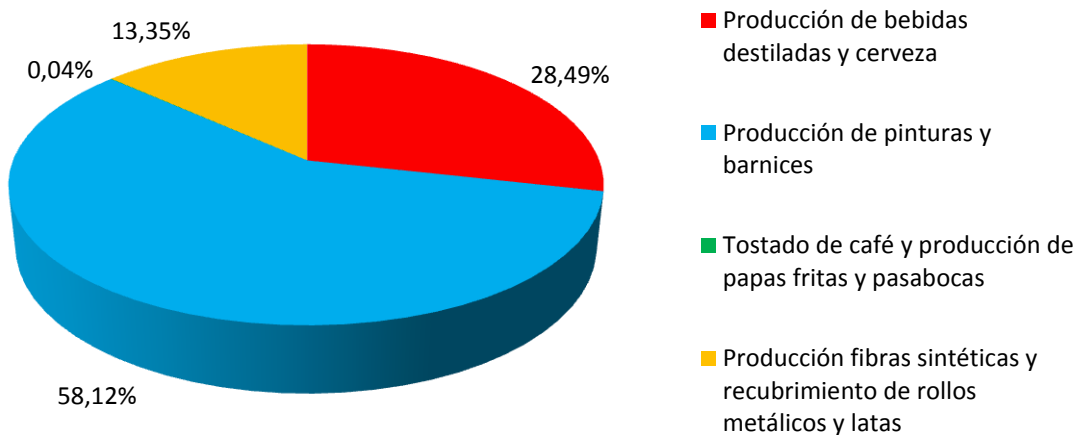
Las empresas seleccionadas en el desarrollo del presente inventario emitieron un total de 2359 toneladas de VOC en el año 2013. Como se observa en la Figura 4.12 las emisiones evaporativas industriales asociadas a la producción de pinturas y barnices son las que se generan en mayor cantidad en el Valle de Aburrá (58.12% del total), mientras que la producción de bebidas destiladas y cerveza aporta aproximadamente el 29% de este tipo de emisiones.

Las empresas productoras de pinturas y barnices seleccionadas reportaron la fabricación de aproximadamente 40850 toneladas de productos con FE que oscilan entre 10 y 80 kg de contaminante por Mg de producto, en el año 2013. Por su parte, la industria de bebidas destiladas reportó una producción de aproximadamente 3.89 millones de litros de alcohol, con un FE de 0.15 kg de VOC por cada litro de alcohol producido y la industria cervecera reportó la producción aproximada de 2.5 millones de hectolitros, con un factor de emisión de 0.00035 kg VOC/L cerveza. Esta es la razón por la cual estas industrias dominan las emisiones de este contaminante.

Finalmente, cabe mencionar que existen otras fuentes emisoras de VOC como los procesos de vulcanización, las cuales se deben ser tenidas en cuenta en el inventario y por ello es una oportunidad de mejora para la próxima actualización del inventario de emisiones atmosféricas en el Valle de Aburrá.



Figura 4.12. Distribución de emisiones de VOC causadas por emisiones evaporativas industriales



#### 4.4 RESULTADOS DE EMISIONES DE FUENTES DE ÁREA

Los resultados finales de emisiones de VOC, CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> producidas por las fuentes de área en el Valle de Aburrá se presentan en la Tabla 4.22. Igualmente, la Figura 4.13 muestra la distribución de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles de acuerdo al tipo de fuente de área.

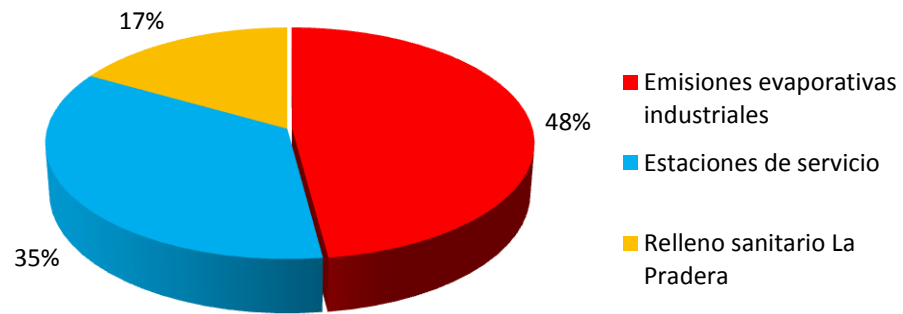
Tabla 4.22. Emisiones fuentes de área, año 2013

Fuente de Área	Ton/año		
	VOC	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>
Emisiones evaporativas industriales	2,359	-	-
Estaciones de servicio	1,736	-	-
Relleno La Pradera	828	15,383	63,532
Total	4,923	15,383	63,532

Se observa entonces que la mayoría de las emisiones de VOC para las fuentes de área provienen de las industrias (48%), las estaciones de servicio por su parte, contribuyen con el 35% y finalmente, el relleno sanitario La Pradera aporta el 17% restante.



Figura 4.13. Distribución de emisiones de VOC por fuente de área, año 2013



## 5 FUENTES FIJAS

### 5.1 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 retoma la información de (Universidad Pontificia Bolivariana - Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2014) en donde se explica el proceso mediante el cual se calculan las emisiones contaminantes provenientes de este tipo de fuentes.

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 (U.S Environmental Protection Agency, 1995). 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:

$$\text{Ecuación 5.1} \quad E = A \times FE \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right)$$

Donde:

E es la emisión.

A es el nivel de actividad.

FE es el factor de emisión.

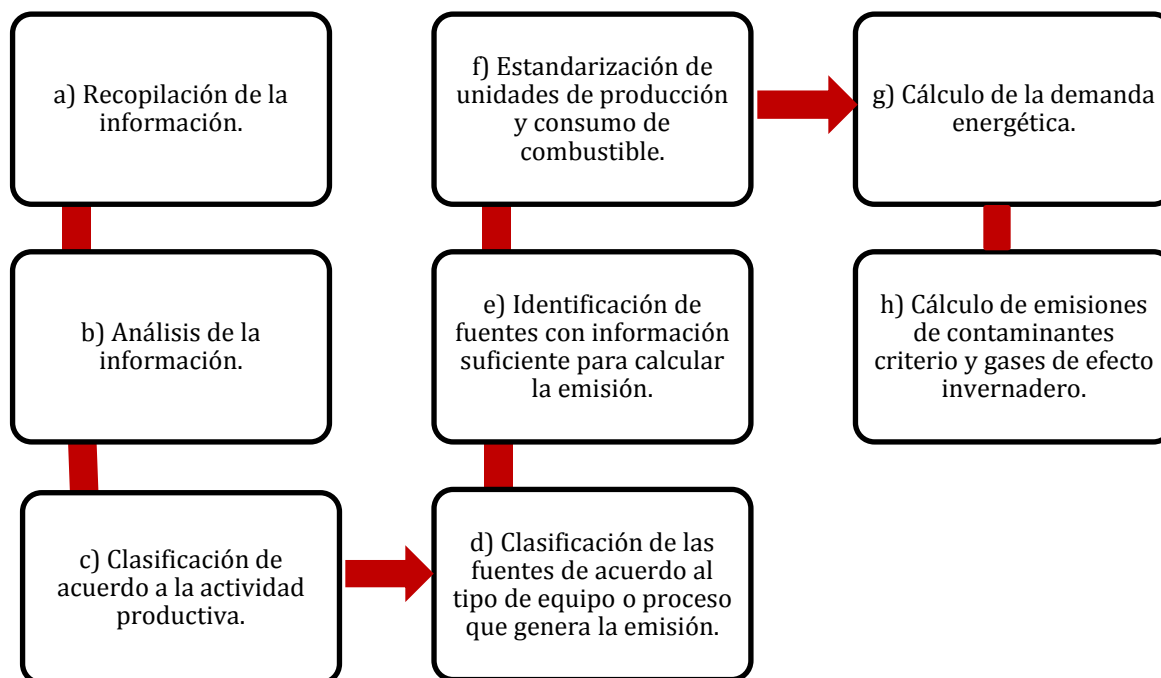
ER es la eficiencia del equipo de control de emisiones, %.

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  $\text{mg}/\text{m}^3$  en condiciones de referencia a flujo en unidades de  $\text{kg}/\text{h}$ .

En la Figura 5.1 se presenta el esquema que resume las actividades llevadas a cabo para la elaboración del inventario de fuentes fijas.

Figura 5.1. Actividades desarrolladas 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 aun no se encuentran registradas en el inventario de emisiones.

De esta forma, a partir de información suministrada por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y de la revisión de expedientes físicos y el Sistema de Información Metropolitano, se actualizaron los datos de 151 fuentes, eliminándose 14 de éstas y agregándose 5 empresas más que aun no se encontraban registradas en el inventario de emisiones. Se destaca la inclusión de la termoeléctrica que entró en funcionamiento en 2014 en las instalaciones de ENKA de Colombia S.A.

### ***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 5.1.

Tabla 5.1. Actividades productivas susceptibles de realizar descargas atmosféricas en el Valle de Aburrá

<b>Actividad productiva</b>	<b>Descripción</b>
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	Aserríos, 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 5.2. Procesos o equipos generadores de emisiones en el Valle de Aburrá

<b>Tipo de fuente</b>	<b>Descripción</b>
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 (m<sup>3</sup>) 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 pronóstico químico CAM<sub>x</sub> 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 5.3 se presentan los poderes caloríficos utilizados en este estudio.

Tabla 5.3. 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 <sup>3</sup>
GLP		25,641.7	MJ/m <sup>3</sup>
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](http://www.ecopetrol.com.co), [www.cadascu.wordpress.com](http://www.cadascu.wordpress.com), [www.carbocoque.com](http://www.carbocoque.com), [www.cenicafe.org](http://www.cenicafe.org), [www.si3ea.gov.co](http://www.si3ea.gov.co).

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

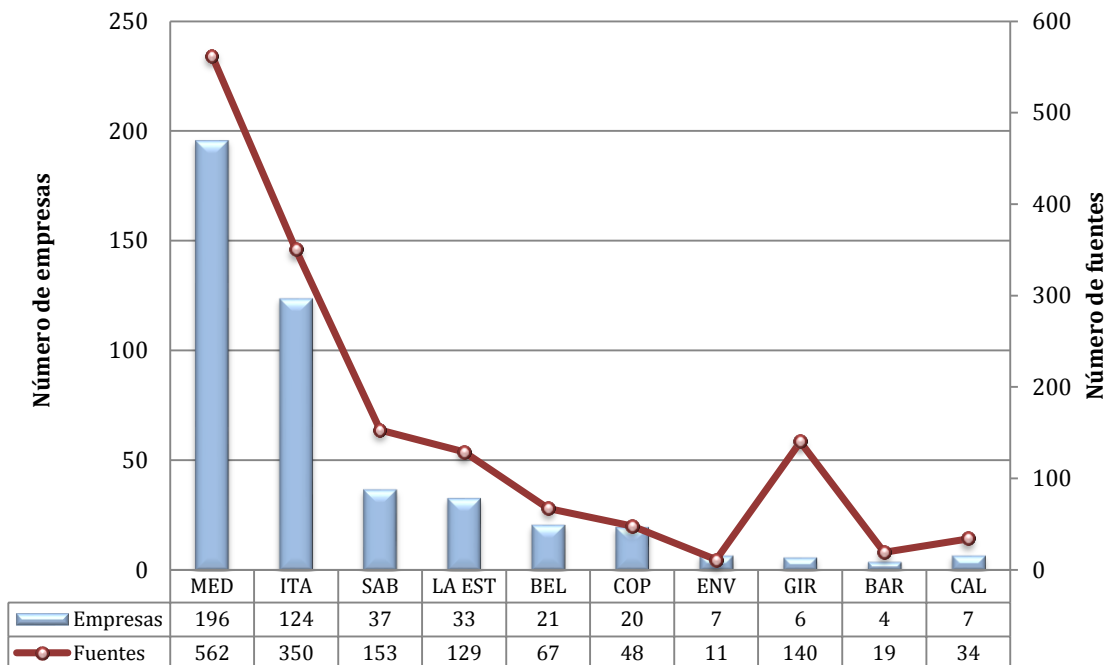
Finalmente, se procede a calcular las emisiones de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero haciendo uso de la Ecuación 5.1 y de los factores de emisión que se presentan en el Anexo E.

## **5.2 RESULTADOS**

En la presente actualización del inventario de emisiones de fuentes fijas se tiene que en el Valle de Aburrá existen 455 empresas emisoras de contaminantes atmosféricos, las cuales cuentan con 1516 fuentes. La Figura 5.2 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 70% 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 140 fuentes.



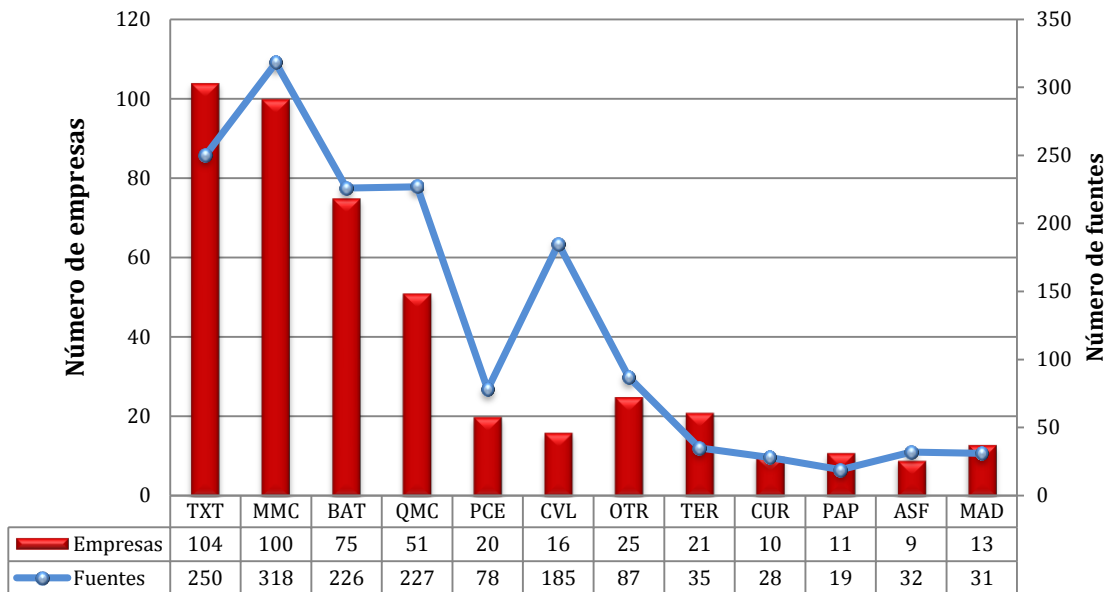
Figura 5.2. Empresas y fuentes de emisión fijas por municipio, año 2014



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 5.3 se presenta la distribución de empresas y fuentes por actividad productiva. Son los sectores Textil, Metalmecánico, 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 23%, 22%, 16% y 11% de las empresas y con el 16%, 21%, 15% y 15% de las fuentes.

Figura 5.3. Empresas y fuentes de emisión fijas por actividad productiva, año 2014



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.

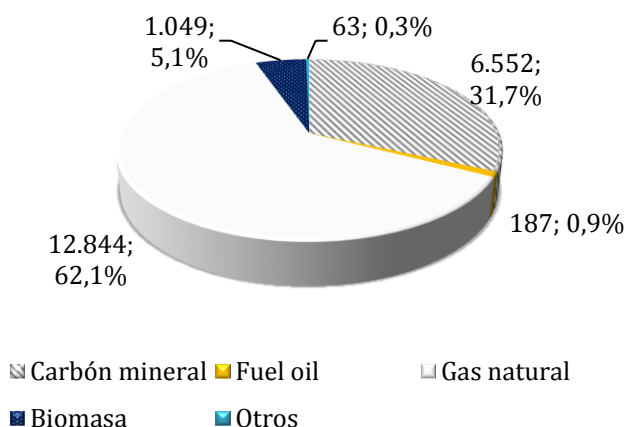
### 5.2.1 Demanda energética

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 5.4 muestran que el gas natural es el combustible más utilizado, seguido por el carbón mineral y la biomasa. Igualmente, en la Figura 5.4 se observa que el 62% de la energía consumida es aportada justamente por el gas natural, mientras que el 32% corresponde al carbón mineral y el 5% a la biomasa.

Tabla 5.4. Demanda energética de las fuentes industriales del Valle de Aburrá, año 2014

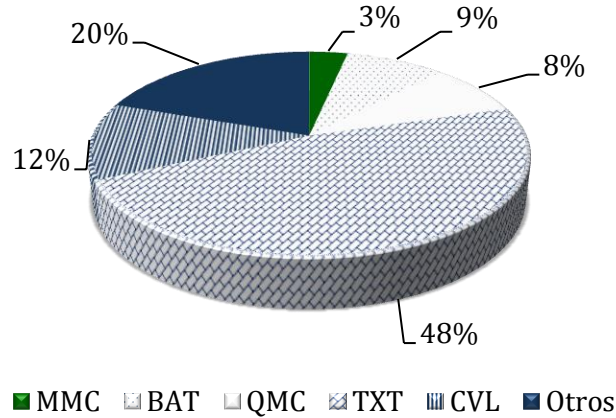
Combustible		Consumo	Unidades	TJ/año
Carbón	Carbón mineral	290,446	Mg/año	6,552
	Carbón coque	115	Mg/año	3
Fuel oil No 2	ACPM	3,812	1000 L/año	142
Fuel oil No 6	Fuel oil No 6	1,067	1000 L/año	45
	Aceite recuperado	63	1000 L/año	2
Gas natural		362,837,688	m3/año	12,844
GLP		2,236	1000 L/año	57.34
Biomasa	Madera	35,371	Mg/año	672
	Cáscara de coco	469	Mg/año	8
	Fique	844	Mg/año	14
	Borra de café	14,254	Mg/año	355
Total				20,696

Figura 5.4. Distribución de la demanda energética (TJ) de las fuentes fijas del Valle de Aburrá, año 2014



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 48% de la demanda. Los sectores PCE, TER, CUR, OTR, PAP, ASF y MAD fueron agrupados en la Figura 5.5 con el nombre de “Otros” y son estas industrias las que en conjunto demandan el 20% 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 Metalmecánico consumen el 8% y 3% respectivamente.

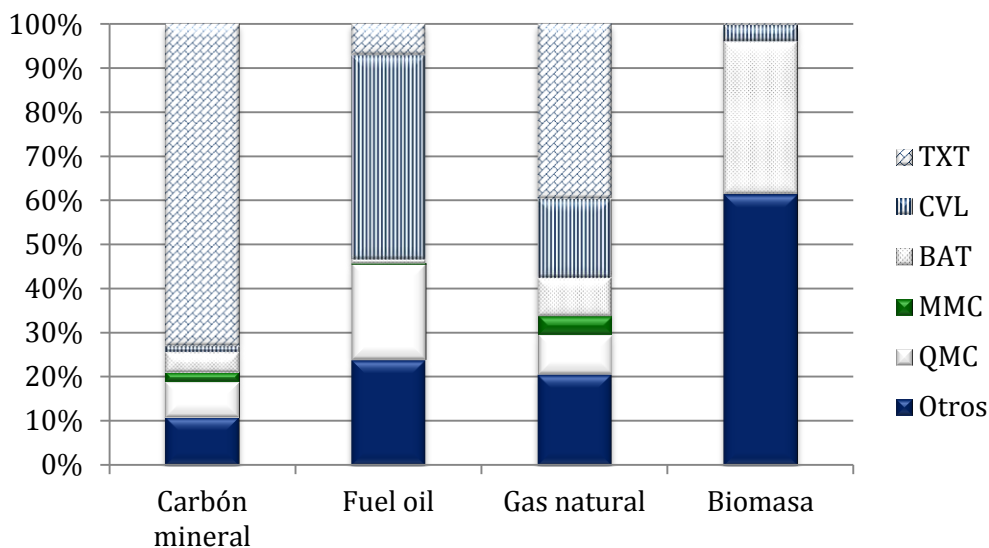
Figura 5.5. Demanda energética según el sector productivo, año 2014



*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 5.6 se presenta la demanda energética, esta vez desagregada no solo por sector productivo, sino también por tipo de combustible. Se observa que la industria textil consume más del 70% del carbón mineral y aproximadamente el 40% del gas natural. En el caso del Fuel Oil, más del 40% 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 5.6. Distribución de la demanda energética por actividad productiva y tipo de combustible, año 2014



*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.*

### 5.2.2 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, azufre, compuestos orgánicos volátiles, material particulado grueso (PM), material particulado menor de 10  $\mu\text{m}$  (PM10) y material particulado menor de 2.5  $\mu\text{m}$  (PM2.5). La Tabla 5.5 y la Figura 5.7 presentan los resultados de las emisiones de estos contaminantes y su clasificación por actividad productiva.

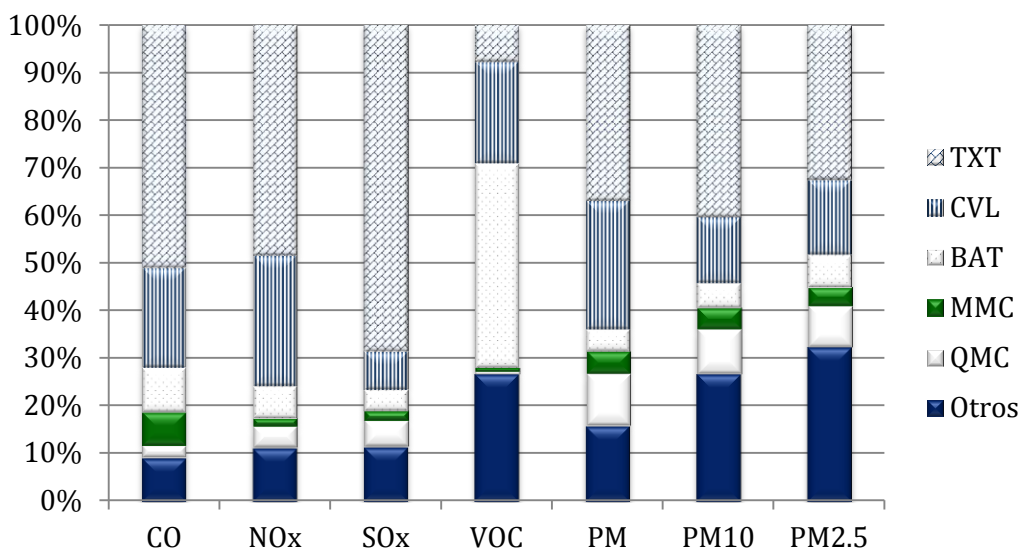
Tabla 5.5. Emisiones de contaminantes criterio por actividad productiva (Ton), año 2014

Sector	CO	NOx	SOx	VOC	PM	PM10	PM2.5
BAT	314.7	193.8	134.7	529.8	81.3	36.5	21.2
TXT	1,694.6	1,374.7	2,040.3	95.5	634.3	277.5	99.7
CVL	699.0	780.4	242.4	264.9	464.0	95.7	48.3
PAP	66.8	101.6	149.4	2.7	92.3	59.9	24.7
PCE	10.1	12.9	11.8	185.8	9.9	5.4	2.4
MMC	236.1	49.5	60.8	11.2	81.6	31.3	12.2
QMC	85.3	129.1	165.6	6.8	187.3	64.8	26.6
CUR	66.1	69.2	144.8	6.5	89.0	56.1	18.9

ASF	35.8	30.6	25.6	3.1	6.3	1.7	1.1
TER	10.8	13.0	1.2	0.5	0.2	0.0	0.0
MAD	107.4	68.9	4.2	6.9	66.7	59.6	51.3
OTR	3.4	20.0	0.4	122.5	6.2	0.2	0.0
Total	3,330.0	2,843.8	2,981.3	1,236.1	1,719.0	688.8	306.5

*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 5.7. Distribución de emisiones de contaminantes criterio de acuerdo a la actividad productiva, año 2014



*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 Bebidas, alimentos y tabaco y el de Cerámicos y vítreos.

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 36%, 40% y el 32% de las emisiones de PM, PM10 y PM2.5 respectivamente.

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 147 fuentes, pertenecientes a 104 empresas; lo cual corresponde al 16% de las fuentes y el 23% de las empresas. De estas fuentes, el 53% son calderas, el 42% hornos y el 5% restante otro tipo de equipo.

El 68% de las fuentes del sector textil utiliza el gas natural como combustible, mientras el 26% utiliza carbón. Las demás fuentes utilizan otro tipo de combustible. Sin embargo, como se observa en la Tabla 5.6, más del 90% de las emisiones en este sector provienen de fuentes que utilizan carbón.

Tabla 5.6. Emisión de contaminantes criterio en el sector textil (Ton), año 2014

<b>Emisiones</b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>VOC</b>	<b>PM</b>	<b>PM10</b>	<b>PM<sub>2,5</sub></b>
Sector TXT, Carbón	1,525.8	1,167.7	2,023.8	84.4	632.6	276.8	99.1
Sector TXT, Total	1,694.6	1,374.7	2,040.3	95.5	634.3	277.5	99.7

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.

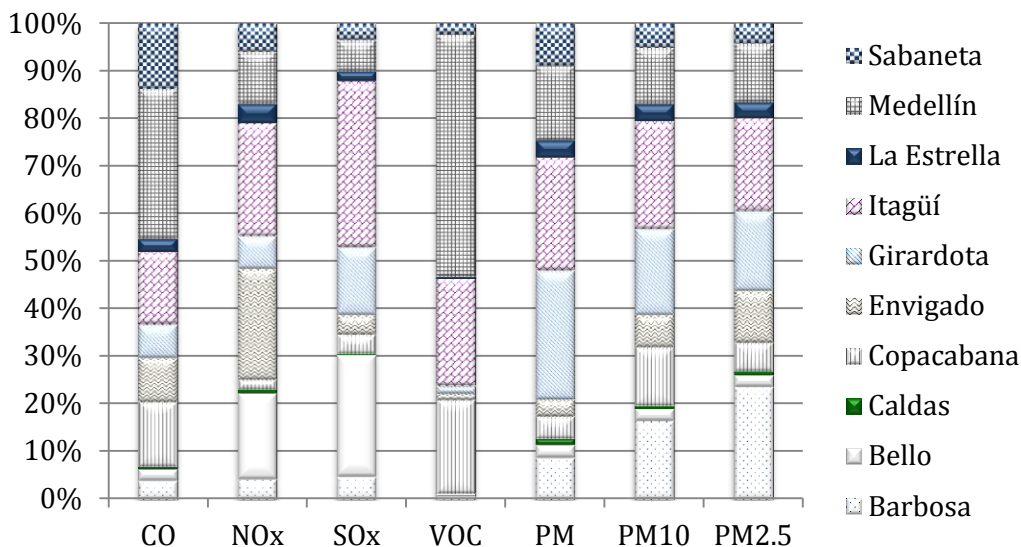
Ahora, al distribuir las emisiones por municipio (Tabla 5.7 y Figura 5.8) se tiene que la ciudad de Medellín realiza los mayores aportes de CO y VOC, mientras que Itagüí lo hace con los contaminantes NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, PM10 y PM<sub>2.5</sub>. Es importante también el papel de Envigado en las emisiones de NO<sub>x</sub> y el de Girardota en las de material particulado. Finalmente, Bello realiza una contribución considerable de NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>.

Tabla 5.7. Emisiones de contaminantes criterio por municipio (Ton), año 2014

<b>Municipio</b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>SO<sub>x</sub></b>	<b>VOC</b>	<b>PM</b>	<b>PM10</b>	<b>PM<sub>2.5</sub></b>
Barbosa	130.2	119.2	141.6	6.8	149.7	112.8	71.9
Bello	80.0	511.5	756.4	7.3	45.1	17.4	7.6
Caldas	17.2	19.9	5.6	1.3	23.2	4.8	2.3
Copacabana	454.8	63.6	124.4	242.7	82.6	84.7	18.9
Envigado	309.9	662.4	127.1	17.1	61.6	47.2	33.7
Girardota	232.6	196.0	424.5	19.8	464.4	124.6	51.1
Itagüí	511.3	673.9	1,039.7	280.5	407.3	156.1	60.2
La Estrella	92.1	117.5	62.5	5.4	64.3	24.4	10.2
Medellín	1,049.1	312.0	198.5	627.0	271.0	82.3	37.9

Sabaneta	452.7	167.7	100.9	28.3	149.8	34.7	12.8
Total	3,330.0	2,843.8	2,981.3	1,236.1	1,719.0	688.8	306.5

Figura 5.8. Distribución de emisiones de contaminantes criterio por municipio, año 2014



### 5.2.3 Emisiones de gases de efecto invernadero

Las industrias del Valle de Aburrá emitieron en 2014 aproximadamente 1.12 millones de toneladas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), 59.02 toneladas de metano (CH<sub>4</sub>) y 18.14 toneladas de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O); lo cual corresponde a 1'127,168 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (ver Tabla 5.8). En la Figura 5.9 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 (48%, 57% y 42% de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O respectivamente).

Tabla 5.8. Emisiones de gases de efecto invernadero por actividad productiva (Ton), año 2014

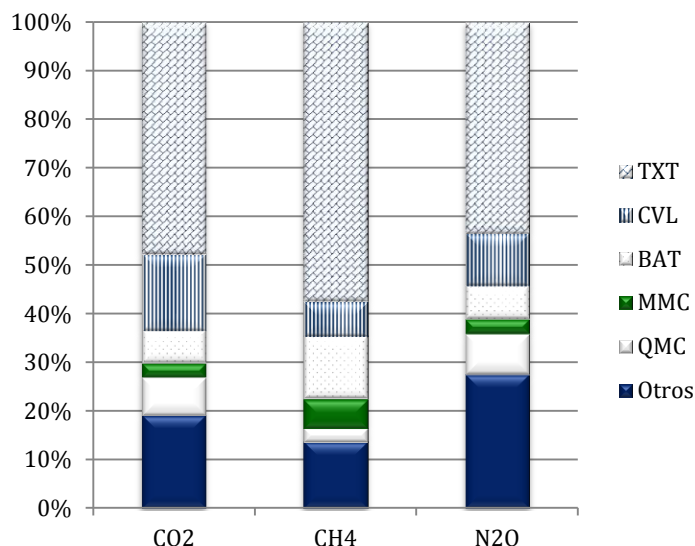
Sector	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
BAT	75,855	7.62	1.26
TXT	534,514	33.88	7.89
CVL	175,609	4.19	1.94
PAP	61,968	1.28	1.04
PCE	6,832	0.16	0.12
MMC	32,328	3.51	0.55



QMC	87,783	1.72	1.51
CUR	23,139	1.96	0.34
ASF	31,604	0.92	0.55
TER	10,728	0.21	0.20
MAD	74,464	3.48	2.49
OTR	5,461	0.11	0.24
Total	1,120,285	59.02	18.14
CO <sub>2</sub> -eq	1,127,168		

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 5.9. Distribución de emisiones de gases de efecto invernadero de acuerdo a la actividad productiva, año 2014



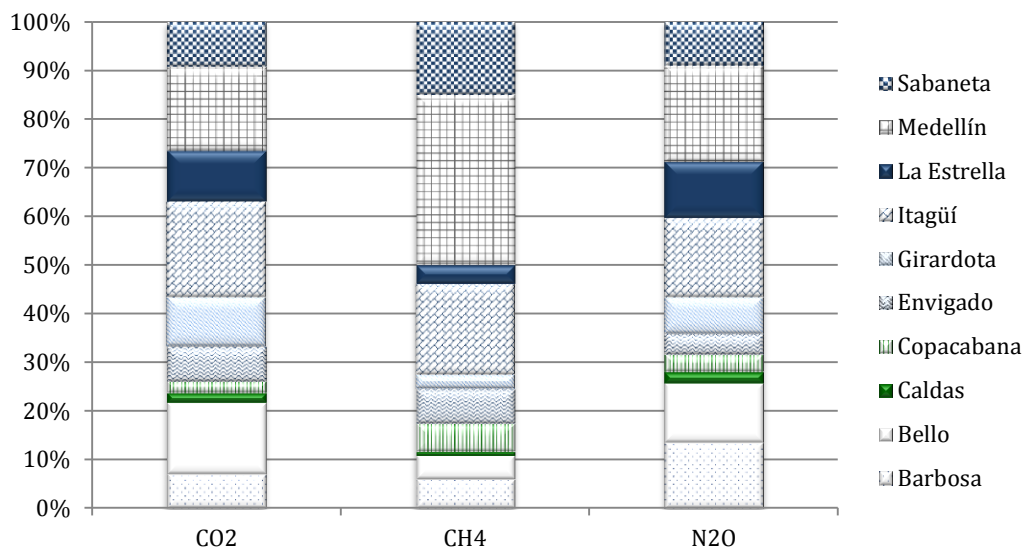
TXT: textil y confección; CVL: cerámicos y vítreos; BAT: bebidas, alimentos y tabaco; MMC: metalmecánico; QMC: químico; Otros: plásticos, cauchos y empaques; cueros; papel, cartón, pulpa e impresión; derivados del petróleo; aserríos, depósitos de maderas, e industrias que trabajan la madera; terciario;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

La Tabla 5.9 y la Figura 5.10 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 las ciudades de Medellín e Itagüí aportan la mayor cantidad de estos contaminantes; destacándose el aporte de Sabaneta a las emisiones de metano y el de Bello y Barbosa a las emisiones de óxido nitroso.

Tabla 5.9. Emisiones de gases de efecto invernadero por municipio (Ton), año 2014

Municipio	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Barbosa	79,358	3.5	2.5
Bello	164,513	2.9	2.2
Caldas	21,708	0.5	0.4
Copacabana	26,608	3.4	0.7
Envigado	80,472	4.2	0.8
Girardota	114,316	1.7	1.4
Itagüí	220,091	11.1	2.9
La Estrella	116,841	2.3	2.1
Medellín	194,802	20.7	3.6
Sabaneta	101,576	8.7	1.6
Total	1,120,285	59.0	18.1

Figura 5.10. Distribución de emisiones de gases de efecto invernadero por municipio, año 2014

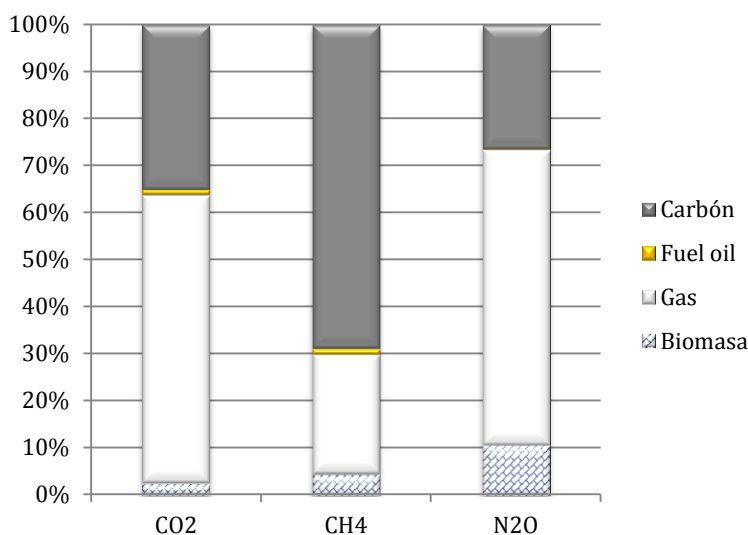


Ahora bien, al analizar las emisiones de gases de efecto invernadero por tipo de combustible (ver Tabla 5.10 y Figura 5.11) se tiene que es el empleo de gas natural por parte de las industrias en el Valle de Aburrá, la principal causa de las emisiones de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O (60% y 63% respectivamente); mientras que el empleo de carbón aporta cerca del 68% del CH<sub>4</sub> en la región. En la Figura 5.11 también se observa que el gas natural realiza un aporte considerable a las emisiones de metano.

Tabla 5.10. Emisiones de gases de efecto invernadero por tipo de combustible (Ton), año 2014

Tipo de combustible	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
Carbón	393,759	40.6	4.8
Fuel oil	13,513	0.7	0.0
Gas	685,737	15.1	11.4
Biomasa	27,277	2.6	1.9
Total	1,120,285	59.0	18.1

Figura 5.11. Distribución de emisiones de gases de efecto invernadero de acuerdo al tipo de combustible, año 2014



#### 5.2.4 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 5.11 y la Tabla 5.12 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 E.

Tabla 5.11. Emisión de contaminantes peligrosos por sector productivo en el Vale de Aburrá (Ton), año 2014

Sector	PAH	Hexano	Benceno	Arsénico	Cadmio	Cromo	Plomo	Manganeso	Mercurio	Níquel
BAT	0.000	0.8	0.017	0.066	0.005	0.141	0.058	0.131	0.002	0.098
TXT	0.002	3.6	0.144	1.160	0.080	2.565	0.944	2.372	0.024	1.715
CVL	0.000	1.3	0.007	0.004	0.001	0.006	0.002	0.005	0.002	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	0.001	0.005	0.000	0.014	0.006	0.002	0.000	0.001
MMC	0.000	0.3	0.005	0.020	0.002	0.061	0.247	0.000	0.000	0.000
QMC	0.000	0.9	0.012	0.065	0.006	0.202	0.082	0.000	0.000	0.003
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	0.004	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	0.8	0.501	0.003	0.001	0.003	0.006	0.191	0.001	0.005
OTR	0.000	0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	0.003	9.1	0.711	1.427	0.104	3.322	1.478	2.703	0.029	1.832

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 5.12. Emisión de contaminantes peligrosos por municipio en el Valle de Aburrá (Ton), año 2014

Municipio	PAH	Hexano	Benceno	Arsénico	Cadmio	Cromo	Plomo	Manganeso	Mercurio	Níquel
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	0.011	0.045	0.004	0.140	0.056	0.004	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	0.000	0.6	0.021	0.125	0.010	0.389	0.157	0.000	0.000	0.001
Itagüí	0.001	1.0	0.081	0.611	0.041	1.316	0.684	1.307	0.015	0.944
La Estrella	0.000	1.6	0.009	0.024	0.003	0.076	0.050	0.002	0.000	0.002
Medellín	0.000	2.4	0.020	0.039	0.005	0.115	0.053	0.011	0.001	0.019
Sabaneta	0.000	1.1	0.008	0.021	0.002	0.067	0.027	0.000	0.000	0.001
Total	0.003	9.1	0.711	1.427	0.104	3.322	1.478	2.703	0.029	1.832

Como se observa en la Figura 5.12, 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 5.11). De igual forma, en la Figura 5.13 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 26% del hexano en el Valle de Aburrá.

Figura 5.12. Distribución de emisiones de contaminantes peligrosos de acuerdo a la actividad productiva, año 2014

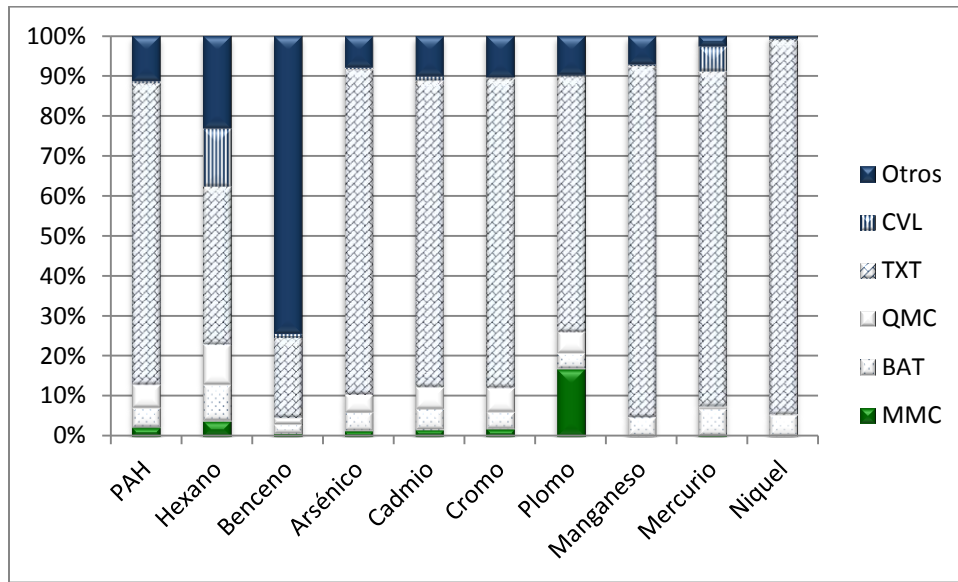
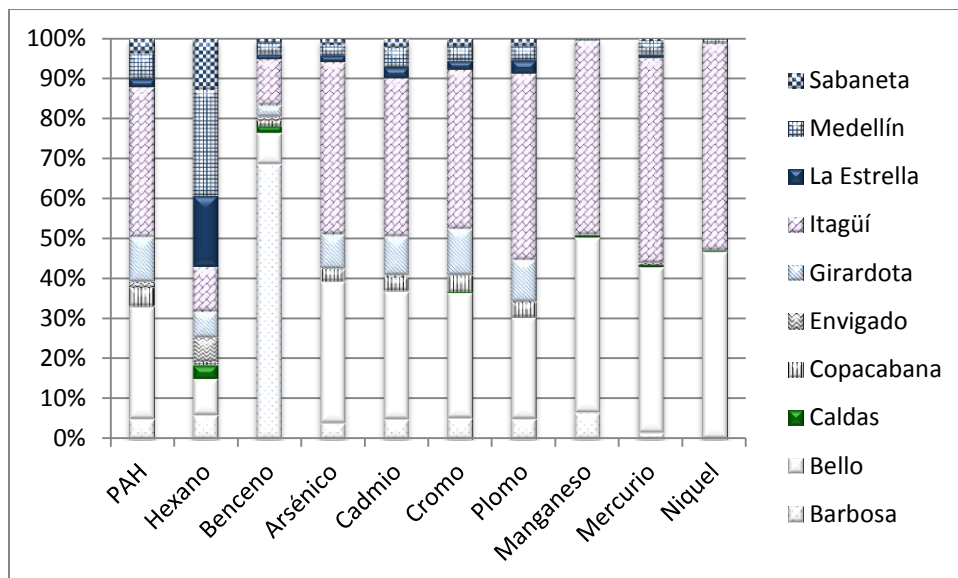


Figura 5.13. Distribución de emisiones de contaminantes peligrosos por municipio, año 2014



## 6 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.

### 6.1 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 6.1. Se observa que la mayor demanda de energía la tiene el parque automotor y que para las fuentes fijas la principal fuente de energía son los combustibles fósiles.

Tabla 6.1. Demanda de energía de acuerdo al tipo de fuente (TJ)

	<b>Combustible</b>		<b>Energía (TJ/año)</b>
<b>Fuentes móviles</b>	Gasolina		18,912
	Diesel		16,206
	GNV		2,666
			<b>37,784</b>
<b>Fuentes fijas</b>	Carbón	Carbón mineral	6,552
		Carbón coque	3
	Fuel oil No 2	Diesel o ACPM	142
	Fuel oil No 6	Combustóleo	45
	Aceite recuperado		2
	Gas natural		12,844
	GLP		57.34
	Biomasa	Madera	672
		Cáscara de coco	8
		Fique	14
Borra de café		355	
		<b>20,696</b>	
		<b>58,480</b>	

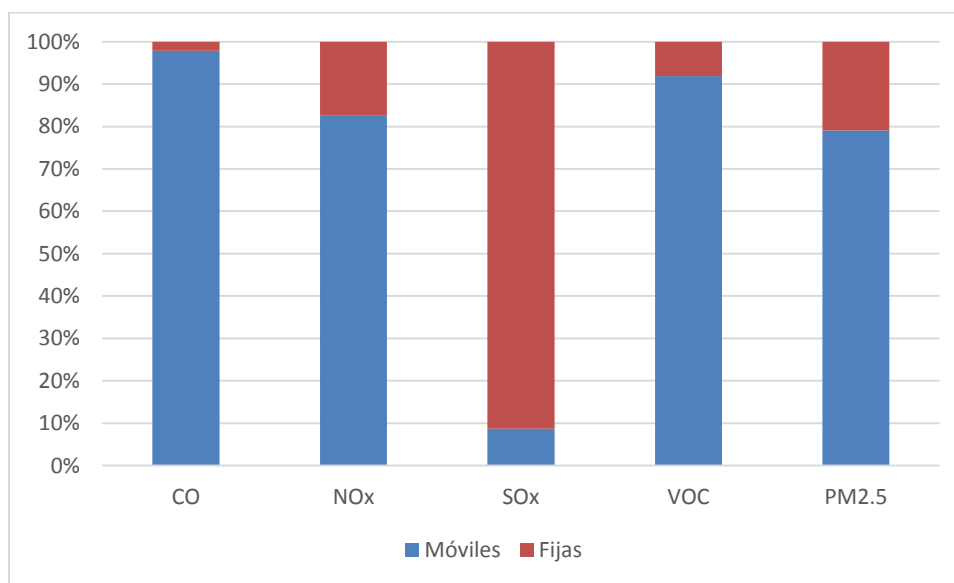
### 6.2 EMISIÓN DE CONTAMINANTES CRITERIO

La Tabla 6.2 muestra las emisiones de contaminantes criterio estimada para los dos tipos de fuentes ya mencionados. Se observa también en la Figura 6.1 que las fuentes móviles generan más del 80% de las emisiones de todos los contaminantes, excepto del SO<sub>x</sub>, cuyas emisiones son producidas en un 91% por las fuentes fijas.

Tabla 6.2. Emisión de contaminantes criterio de acuerdo al tipo de fuente (Ton/año)

Tipo de Fuente	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	VOC	PM <sub>2.5</sub>
Móviles	151,117	13,462	283	13,978	1,159
Fijas	3,330	2,844	2,981	1,236	306
Total	154,447	16,306	3,264	15,214	1,465

Figura 6.1. Distribución de emisiones de contaminantes criterio de acuerdo al tipo de fuente



Estos resultados son útiles para realizar una adecuada gestión de la calidad del aire, puesto que evidencian en qué sector deben centrarse los esfuerzos de control y vigilancia. Las fuentes móviles contribuyen con la mayor cantidad de contaminantes en la región, siendo los camiones, motocicletas y autos las categorías responsables por la mayoría de dichas emisiones.

En el caso de las fuentes fijas, se encontró que es el sector textil y el empleo del carbón como combustible el principal generador de contaminantes criterio, por lo tanto la autoridad se debería enfocar en controlar dichas fuentes.

## 7 CONCLUSIONES

### FUENTES MÓVILES

De acuerdo a los registros de las Secretarías de Tránsito y Transporte del Valle de Aburrá, en el año 2013 el parque automotor de la región lo conformaban aproximadamente 1'055,000 vehículos, de los cuales el 49% son motocicletas de 2 y 4 tiempos, el 42% automóviles, el 7% taxis y camiones, el 2% buses y menos del 1% vehículos del sistema Metroplús. El municipio que cuenta con más vehículos registrados es Envigado con cerca de 480 mil, seguido por Medellín, Sabaneta, Itagüí y Bello. La estrella es el municipio que registra la menor cantidad de vehículos.

- *Autos:* De los cerca de 441700 vehículos que se encuentran dentro de esta categoría, el 47% son livianos (menos de 1500 cc), el 47% son medianos (entre 1500 cc y 3000 cc) y el resto son pesados (más de 3000 cc). La gasolina es el combustible predominante entre los automóviles.
- *Taxis:* En la región existen alrededor de 41192 taxis, de los cuales el 69% son livianos y los demás son medianos. Aproximadamente la mitad de estos vehículos utilizan gasolina y los demás se dividen entre los que usan diésel y GNV.
- *Buses:* En 2013 se encontraban registrados cerca de 18200 buses en el Valle de Aburrá, de estos el 57% son medianos (entre 3000 cc y 6000 cc), el 36% son livianos (menos de 3000 cc) y el resto son pesados (más de 6000 cc). El combustible predominante en este tipo de vehículos es diésel.
- *Camiones:* El Valle de Aburrá cuenta con aproximadamente 36500 camiones registrados, de los cuales el 41% son medianos y el 37% son pesados. Al igual que los buses, el combustible predominante es el diésel.
- *Motos:* Existen en la región más de 517000 motocicletas, de las cuales el 13% son de dos tiempos y las demás son de cuatro tiempos. De estas últimas el 33% son livianas (menos de 100 cc), el 64% son medianas (entre 100 cc y 300 cc) y las demás son pesadas (más de 300 cc). Todas utilizan gasolina como combustible.
- *Metroplús:* De acuerdo a los datos proporcionados por Movilidad del Área Metropolitana del Valle de Aburrá existen en la región 20 vehículos articulados y 49



buses entre padrones y alimentadores, cuyo modelo es 2013 o más antiguo. Todos utilizan GNV como combustible.

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 (2011) adicionando las siguientes categorías y subcategorías: Metroplús; taxis livianos diésel, camiones y buses pesados GNV.

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 151117 Ton/año de CO, 13462 Ton/año de NO<sub>x</sub>, 283 Ton/año de SO<sub>x</sub>, 13978 Ton/año de VOC y 1159 Ton/año de PM<sub>2.5</sub>. De estos, es la categoría camiones la responsable por la mayoría de emisiones de CO, NO<sub>x</sub> y PM<sub>2.5</sub>; mientras que la mayor parte de las emisiones de VOC y SO<sub>x</sub> son aportadas por las motocicletas de 4 tiempos y los automóviles respectivamente.

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<sub>x</sub> y VOC y tiene una contribución importante en las emisiones de NO<sub>x</sub> y PM<sub>2.5</sub>, las cuales son principalmente generadas por el diésel.

Finalmente se encontró un total de 2'606,333 Ton/año de CO<sub>2</sub>, 10176 Ton/año de CH<sub>4</sub> y 63 Ton/año de N<sub>2</sub>O. La mayor parte de estos gases de efecto invernadero es producida por los autos y camiones y, desde el punto de vista del tipo de combustible son la gasolina y el diésel los principales emisores de dióxido de carbono. La gasolina junto con el GNV producen la

mayoría de emisiones de metano, mientras que más del 60% del óxido nítrico es responsabilidad de la gasolina.

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<sub>x</sub>). Es importante también tener en cuenta que los camiones, 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 de camiones, del cual forman parte las volquetas, es un punto a tener en cuenta a la hora de ejercer control y vigilancia.

#### FUENTES DE ÁREA

Estaciones de servicio de combustible: de acuerdo a la información proporcionada por la Unidad de Planeación Minero Energética, el consumo de gasolina en el Valle de Aburrá en el año 2013 presentó un incremento de aproximadamente el 4% respecto al año inmediatamente anterior. Por su parte, el consumo de diésel decreció en un 1%, pero su tendencia histórica ha sido estable.

Así, se utilizó 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 2013 se emitieron 1736 toneladas de este contaminante (1659 toneladas provenientes de la gasolina y 77 toneladas del diésel). La mayor parte de estas emisiones (64%) se registraron en la ciudad de Medellín, donde se presentó el más alto consumo de estos combustibles.

Relleno Sanitario: el relleno sanitario La Pradera, ubicado cerca al municipio de Barbosa, al norte del Valle de Aburrá, presentó en el año 2013 emisiones de 15383 toneladas de metano, 63532 toneladas de CO<sub>2</sub> y 828 toneladas de VOC.

Emisiones evaporativas industriales: De acuerdo a la información proporcionada por las empresas seleccionadas, se tiene que las emisiones de VOC provenientes de la industria en el año 2013 son las siguientes:

Producción de bebidas destiladas: 584 toneladas.

Tostado de café: 0.6 toneladas.

Producción de pinturas y barnices: 1372 toneladas.

Producción de cerveza: 88 toneladas.

Producción de fibras sintéticas: 8 toneladas.

Fabricación de papas fritas y pasabocas: 0.38 toneladas.

Recubrimiento de rollos metálicos y latas: 307 toneladas.

Se encontró finalmente que la mayoría de las emisiones de VOC provenientes de fuentes de área son causadas por las industrias (48%), las estaciones de servicio aportan el 35% de las mismas y el relleno sanitario la Pradera es responsable por el 17%. En una futura actualización del inventario de emisiones se espera contar con aquellas provenientes de procesos de vulcanización.

#### 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 base 2014 se identificaron en total 1516 fuentes pertenecientes a 455 empresas.

Los resultados de la presente actualización del inventario de emisiones de fuentes fijas mostraron que las industrias del Valle de Aburrá consumieron un total de 20696 TJ de energía. Ésta provino principalmente de combustibles fósiles, siendo el gas natural el mayor aportante con el 62%, seguido por el carbón mineral con el 32% y la biomasa con el 5%. Combustibles como el GLP, Fuel oil y el carbón coque aportan menos del 1% a la demanda energética de los establecimientos industriales de la región.

El análisis del consumo energético por sectores productivos reportó que el sector de Textil y confección domina con el 48% de la demanda. El sector de Cerámicos y vítreos consume el 12% de la energía, mientras los sectores de Bebidas, alimentos y tabaco, Químico y Metalmeccánico representan el 9%, 8% y 3% respectivamente. En conjunto, el sector de

Plásticos, Cueros, Papel, Derivados del petróleo, Maderas y Terciario participan con el 20% de la demanda.

En cuanto a las emisiones de contaminantes criterio se obtuvo que en el año 2014 las empresas del Valle de Aburrá emitieron 3330 toneladas de CO, 2844 toneladas de NO<sub>x</sub>, 2981 toneladas de SO<sub>x</sub>, 1236 toneladas de VOC, 1719 toneladas de PM, 689 toneladas de PM<sub>10</sub> y 306 toneladas de PM<sub>2.5</sub>. Se encontró que es el sector Textil el responsable por cerca del 50% del CO y NO<sub>x</sub>; así como del 70% del SO<sub>x</sub>, el 36% del PM, el 40% del PM<sub>10</sub> y el 32% del PM<sub>2.5</sub>. El sector de Bebidas, alimentos y tabaco, junto con el de Cerámicos y vítreos son responsables por el 65% de las emisiones de VOC.

La distribución de las emisiones de contaminantes criterio permitió establecer que en la ciudad de Medellín se genera aproximadamente el 31% del CO y el 49% de VOC. En Itagüí se emite el 23% de los NO<sub>x</sub>, el 34% de los SO<sub>x</sub>, el 25% del PM, el 22% del PM<sub>10</sub>, el 20% de PM<sub>2.5</sub> y es el segundo emisor de VOC (24%). El municipio de Bello contribuye con el 17% de los NO<sub>x</sub> y el 25% de los SO<sub>x</sub>. Se destaca también la participación de Envigado a las emisiones de NO<sub>x</sub> (22%), de Copacabana a las de VOC (21%) y de Girardota y Barbosa a las emisiones de material particulado de todos los tamaños.

Por otra parte, en 2014 se emitieron 1'120,285 toneladas de dióxido de carbono, 59 toneladas de metano y 18 toneladas de óxido nitroso. Se encontró que es también el sector Textil el mayor aportante de estos gases de efecto invernadero, participando con el 48% del CO<sub>2</sub>, el 58% del CH<sub>4</sub> y el 43% del N<sub>2</sub>O.

Los municipios que mayor aporte realizan a las emisiones de gases de efecto invernadero son Itagüí y Medellín. Y en lo que respecta al tipo de combustible se encontró que debido al uso de gas natural se emite cerca del 60% del dióxido de carbono, el 25% del metano y el 60% del óxido nitroso; mientras que el empleo de carbón emite el 34% del CO<sub>2</sub>, el 68% del CH<sub>4</sub> y el 26% del N<sub>2</sub>O.

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. 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.

## 8 REFERENCIAS

- Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana. (2010). *Optimización del inventario de emisiones atmosféricas*. Convenio 543 de 2008. 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. (2014). *Actualización del inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá*. Medellín.
- Área Metropolitana del Valle de Aburrá-Universidad Pontificia Bolivariana. (2010). *Simulaciones Especiales Tarea 1: Optimización del Inventario de Emisiones Atmosféricas*. 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.
- Empresas Varias de Medellín. (2015). *Emvarias*. Obtenido de <http://www.eevvm.com.co/SitePages/pradera.aspx>
- 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.

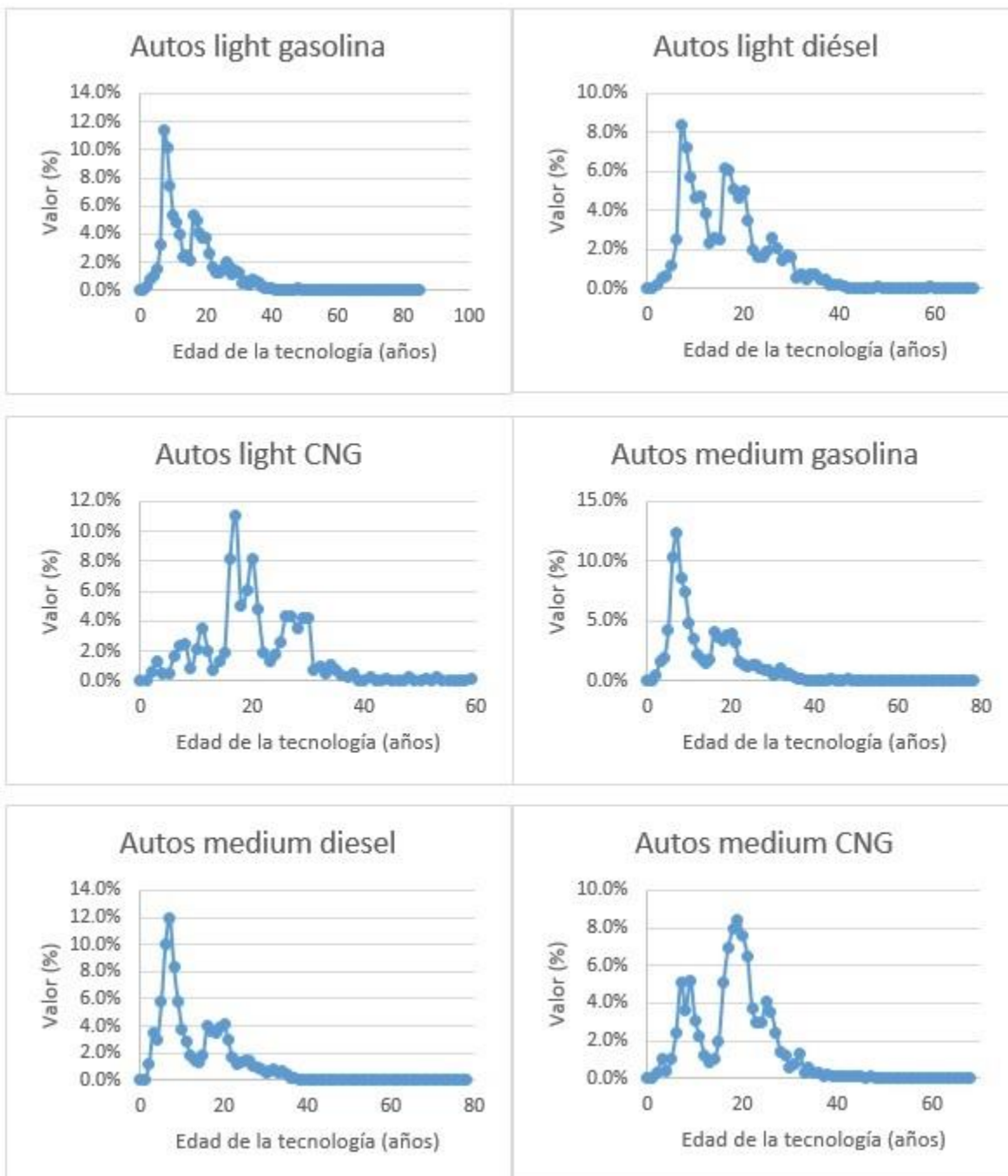
- Huber-Humer, M., Kjeldsen, P., & Spokas, K. A. (2011). Special issue on landfill gas emission and mitigation. *Waste Management*, 821-822.
- Kota, S., Zhang, H., Chen, G., Schade, G., & Ying, Q. (2014). Evaluation of on-road vehicle CO and NOx National Emission Inventories using an urban-scale source-oriented air quality model. *Atmospheric Environment*, 99-108.
- Laner, D., Fellner, J., & Brunner, P. (2011). Future landfill emissions and the effect of final cover installation-A case study. *Waste Management*, 1522-1531.
- Mazo, E. (2006). *Estimación de la producción de biogás en rellenos sanitarios. Caso: Curva de Rodas y La Pradera*. Medellín: Empresas Varias de Medellín - Universidad de Antioquia.
- Mazo, E. (2009). *Proyecto de captura y combustión de biogas de los rellenos sanitarios La Pradera y Curva de Rodas*. Armenia.
- 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.
- Sil, A., Kumar, S., & Wong, J. (2014). Development of correction factors for landfill gas emission model suiting Indian condition to predict methane emission from landfills. *Bioresource Technology*, 97-99.
- United States Environmental Protection Agency. (28 de 6 de 2011). *Air Quality Management Online Portal*. Obtenido de Emissions Inventory: [http://www.epa.gov/airquality/aqportal/management/emissions\\_inventory/](http://www.epa.gov/airquality/aqportal/management/emissions_inventory/)
- US EPA. (2008). *Emissions Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors*. Transportation and marketing of petroleum liquids.

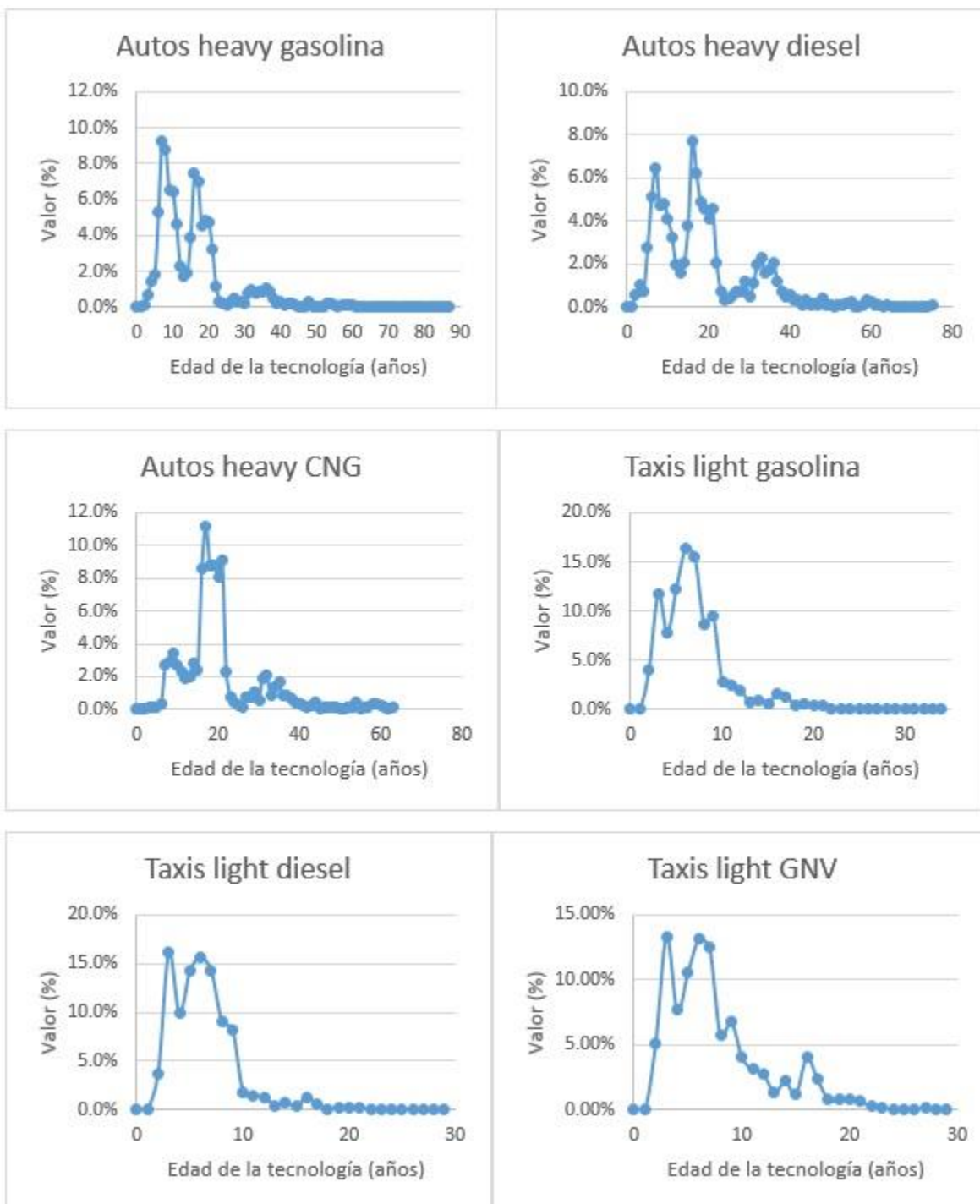
Anexo A. Vehículos registrados en las Secretarías de Tránsito y Transporte del Valle de Aburrá, año 2013 (digital)

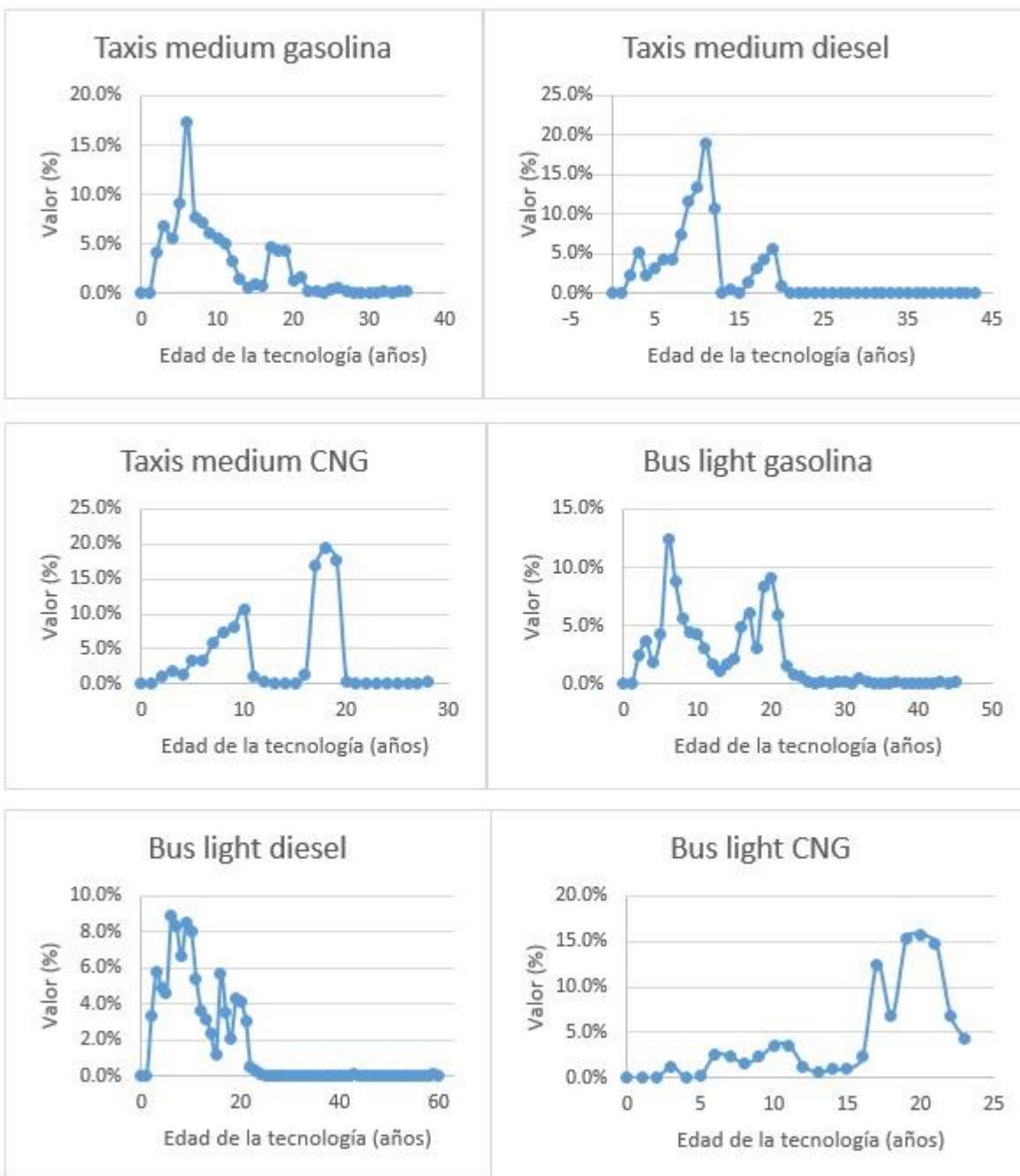
Anexo B. Base de datos de los Centros de Diagnóstico Automotor del Valle de Aburrá, año 2013 (digital)

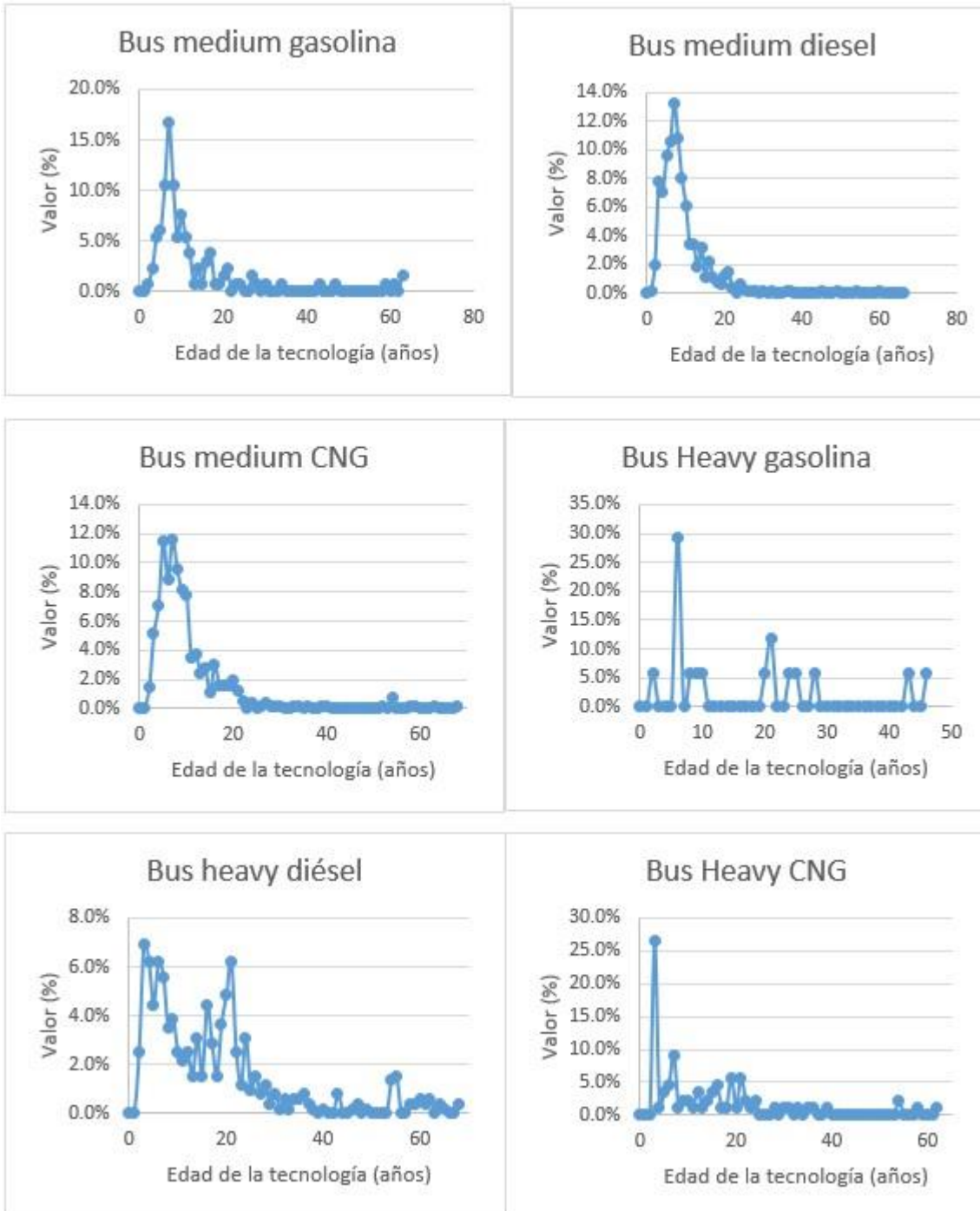


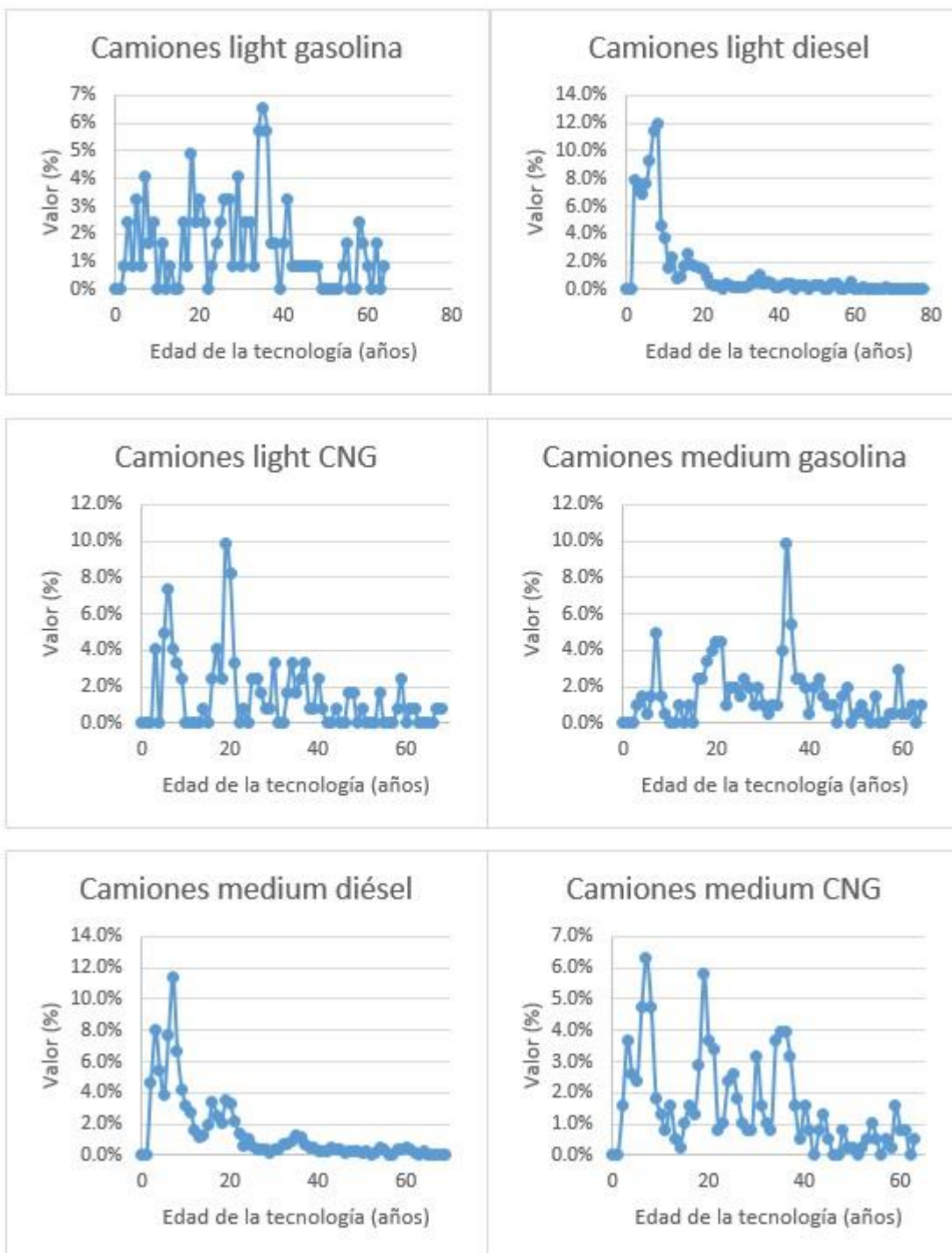
Anexo C. Perfiles de antigüedad de las tecnologías vehiculares del Valle de Aburrá

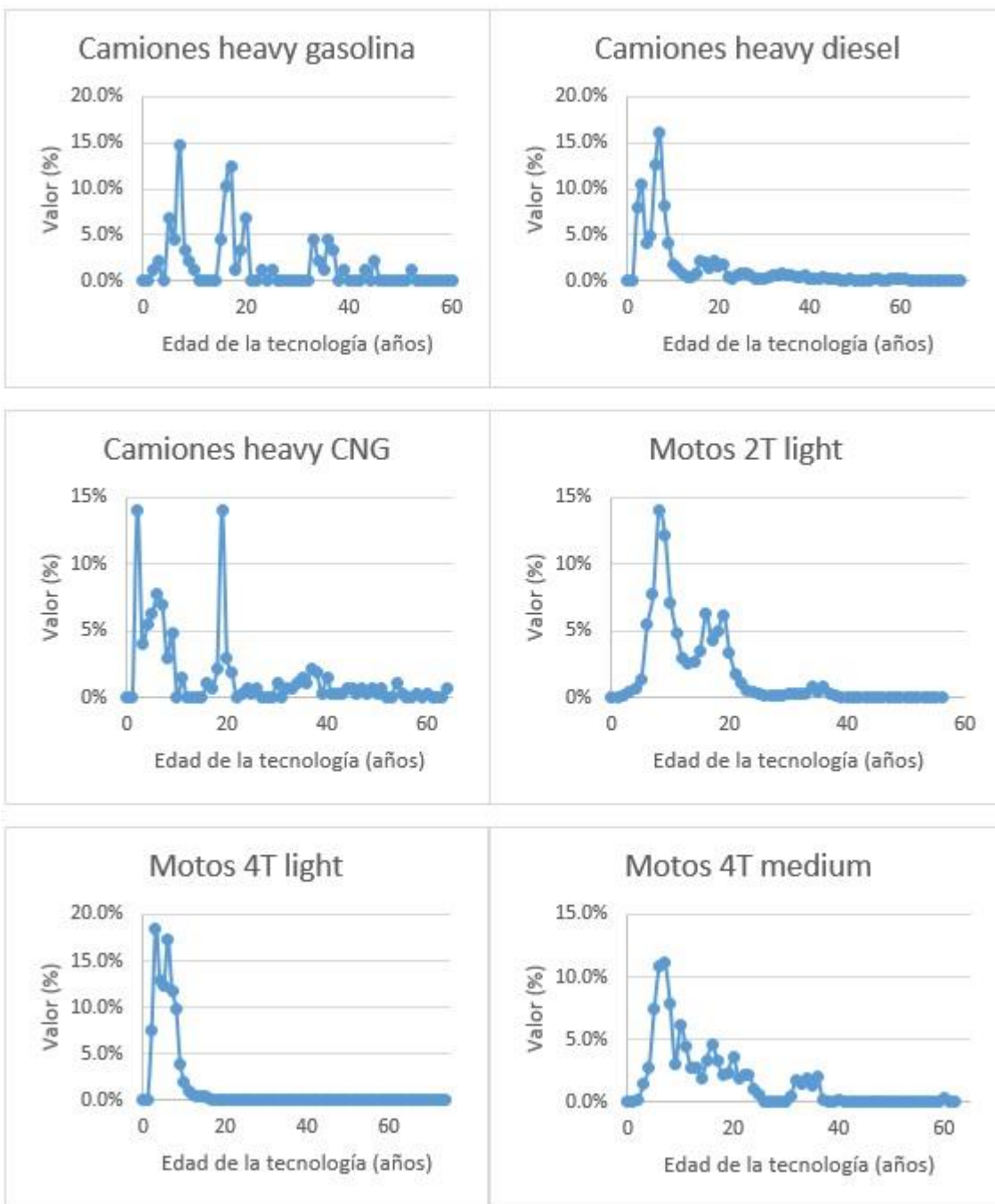


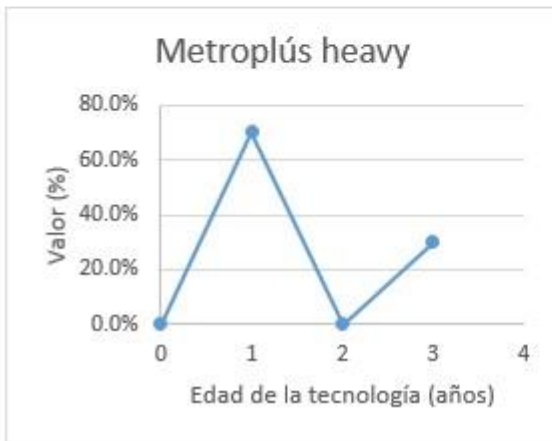
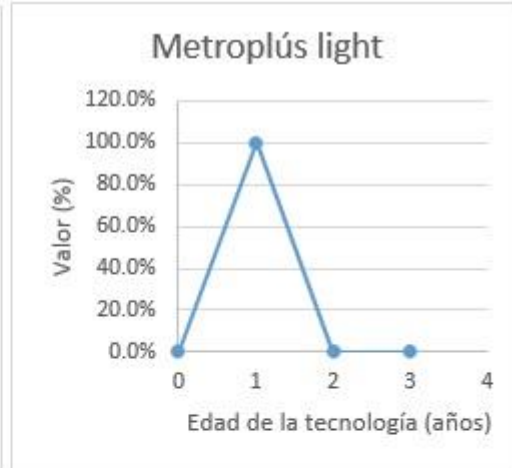
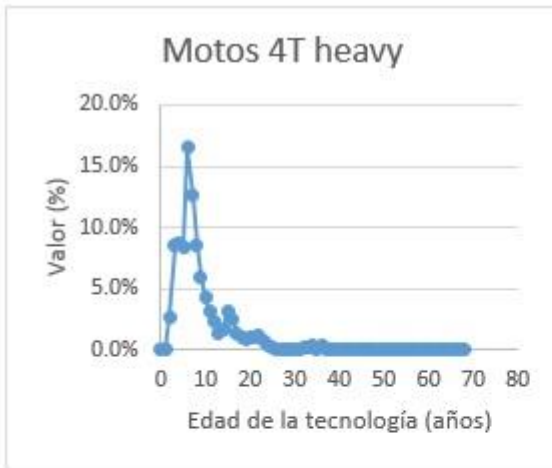














Anexo D. Factores de Emisión del modelo IVE corregido de acuerdo a las condiciones del Valle de Aburrá

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 <sub>x</sub>	PM	NH <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>
<b>Auto, Taxi: Liviano, Gasolina</b>														
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
<b>Auto, Taxi: Mediano, Gasolina</b>														
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
<b>Auto, Taxi: Pesado, Gasolina</b>														
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
<b>Bus, Camión: Liviano, Gasolina</b>														
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
<b>Bus, Camión: Mediano, Gasolina</b>														
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 <sub>x</sub>	PM	NH <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>
<b>Bus, Camión: Pesado, Gasolina</b>														
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
<b>Moto 2T: Liviana, Gasolina</b>														
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
<b>Moto 4T: Liviana, Gasolina</b>														
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
<b>Moto 4T: Mediana, Gasolina</b>														
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	High Tech	None	0-25K	1227	0,955	4,381	0,128	0,063	0,035	0,000	0,125
<b>Moto 4T: Pesada, Gasolina</b>														
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
<b>Auto, Taxi: Liviano, Diesel</b>														
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
<b>Auto, Taxi: Mediano, Diesel</b>														
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 <sub>x</sub>	PM	NH <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>
<b>Auto, Taxi: Pesado, Diesel</b>														
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
<b>Bus, Camión: Liviano, Diesel</b>														
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
<b>Bus, Camión: Mediano, Diesel</b>														
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
<b>Bus, Camión: Pesado, Diesel</b>														
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 <sub>x</sub>	PM	NH <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>
<b>Auto, Taxi: Liviano, GNV</b>														
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
<b>Auto, Taxi: Mediano, GNV</b>														
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
<b>Auto, Taxi: Pesado, GNV</b>														
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
<b>Bus, Camión: Liviano, GNV</b>														
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
<b>Bus, Camión: Mediano, GNV</b>														
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
<b>Bus, Camión: Pesado, GNV</b>														
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

VOC: compuestos orgánicos volátiles

CO: monoxide de carbon

NO<sub>x</sub>: óxidos de nitrógeno

PM: material particulado menor de 2,5 µm.

NH<sub>3</sub>: amoniaco

N<sub>2</sub>O: óxido nitroso

CH<sub>4</sub>: metano

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

Pollutant	Vehicle type	Road Vehicle tyre and brake wear	Road surface wear	Total
		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 E. Modelo Fuentes Fijas IEFI\_dic 04\_2015 (digital)