



Convenio de Asociación
N°.CA 583 de 2017

ACTUALIZACIÓN INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS DEL VALLE DE ABURRÁ – AÑO 2016

Informe Final

AGOSTO DE 2018

CONVENIO DE ASOCIACIÓN No. 583 DE 2017
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE – SIGAIRE

UN PROYECTO DE:

ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ

Eugenio Prieto Soto

Director

María del Pilar Restrepo Mesa

Subdirectora Ambiental

Diana Fernanda Castro Henao

Líder Programa Gestión Ambiental

EJECUTA:

Universidad Pontificia Bolivariana

Grupo de Investigaciones Ambientales

María Victoria Toro Gómez I.Q. MSc. PhD.

Eliana Molina Vásquez I.S. MSc.

Juan Felipe Medina Velázquez I.A. MSc.

Juan Camilo Roldán Vargas I.Q. Esp.

Laura Catalina Gil Salazar I.A. Esp.

María Isabel Gonzalez Ospino I.Q. Esp.

María Luisa Jaramillo Jaramillo I.Ag. Esp.

Paola Andrea Gómez Arias I.C. Esp.

Óscar Fabián Arcos Jimenez I.Q. Esp.

Juan Manuel Arbelaez Urrego I.M.

Santiago Moncada Rojas I.E.

Sebastián Ruiz Gómez I.Q.

Asesor Internacional.

Marcelo Fernández Gómez I.I.

SUPERVISIÓN

Área Metropolitana del Valle de Aburrá

Ana Zuleima Orrego Guarín. I.Q Esp.

Profesional Universitaria

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	7
1 OBJETIVOS	8
1.1 OBJETIVO GENERAL	8
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	8
2 INVENTARIO FUENTES MÓVILES.....	9
2.1 METODOLOGÍA	9
2.2 DATOS DE ENTRADA.....	14
2.2.1 Perfil de antigüedad de los vehículos existentes (<i>Stock vintage profile</i>).....	20
2.2.2 Kilometraje.....	21
2.2.3 Rendimiento de combustible.....	7
2.2.4 Factores de emisión.....	7
2.3 RESULTADOS	10
2.3.1 Demanda energética del parque automotor.....	10
2.3.2 Composición del parque automotor del Valle de Aburrá.....	13
2.3.3 Emisiones de contaminantes criterio.....	15
2.3.4 Emisiones de gases de efecto invernadero.....	23
2.4 COMPARACIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN MEDIDOS Y LOS FACTORES DE EMISIÓN DEL MODELO INTERNATIONAL VEHICLE EMISSIONS, IVE.....	25
2.4.1 Resultados emisiones $PM_{2.5}$	29
3 INVENTARIO FUENTES DE ÁREA.....	31
3.1 ESTACIONES DE SERVICIO DE COMBUSTIBLE	31
3.1.1 Metodología para la estimación de emisiones.....	32
3.1.2 Datos de entrada.....	33
3.1.3 Resultados.....	35
3.2 RELLENO SANITARIO.....	37
3.2.1 Relleno sanitario La Pradera.....	38
3.2.2 Resultados.....	40
3.3 EMISIONES EVAPORATIVAS DE PROCESOS INDUSTRIALES.....	41
3.3.1 Producción de bebidas destiladas	41

3.3.2	<i>Proucción de fibras sintéticas</i>	42
3.3.3	<i>Fabricación de papas fritas y pasabocas</i>	42
3.3.4	<i>Recubrimiento de rollos metálicos y latas</i>	43
3.3.5	<i>Tostado de café</i>	44
3.3.6	<i>Producción de pinturas y barnices</i>	45
3.3.7	<i>Producción de cerveza</i>	46
3.3.8	<i>Resultados de emisiones evaporativas en la industria</i>	47
3.4	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE.....	49
3.4.1	<i>Tipos de Tanques de Almacenamiento</i>	49
3.4.2	<i>Recolección de datos</i>	52
3.4.3	<i>Resultados de emisiones evaporativas en tanques de almacenamiento de combustibles</i>	53
3.5	RESULTADOS DE EMISIONES DE FUENTES DE ÁREA.....	53
4	CONCLUSIONES	55
5	BIBLIOGRAFÍA.....	58

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Distribución del parque automotor en el modelo LEAP.....	10
Tabla 2.2 Existencias y ventas de vehículos registrados en el Valle de Aburrá para el año 2016	15
Tabla 2.3 Distribución porcentual del parque automotor por categoría vehicular, cilindraje y tipo de combustible para el año 2016	16
Tabla 2.4 Condiciones para los factores de emisión base.....	8
Tabla 2.5 Factores de corrección disponibles para los factores de emisión base.....	8
Tabla 2.6 Calendario de introducción de tecnologías vehiculares y contenido de azufre en el combustible en Colombia	9
Tabla 2.7 Factores de emisión de CO ₂ y SO ₂	10
Tabla 2.8 Demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá por categoría vehicular, año 2016.....	12
Tabla 2.9 Emisión de contaminantes criterio por categoría vehicular (Ton), año 2016	17
Tabla 2.10 Emisión de contaminantes criterio por tipo de combustible (Ton), año 2016	21
Tabla 2.11 Potenciales de Calentamiento Global.....	23
Tabla 2.12 Emisión de gases de efecto invernadero por categoría vehicular (Ton), año 2016	24
Tabla 2.13 Comparación de tecnologías medidas y las tecnologías tomadas del modelo IVE para los autos a gasolina.	26
Tabla 2.14 Comparación de factores de emisión medidos y los factores de emisión tomados del modelo IVE para los vehículos a gasolina.	26
Tabla 2.15 Comparación de tecnologías medidas y las tecnologías tomadas del modelo IVE para los camiones a diésel.	27
Tabla 2.16 Comparación de factores de emisión medidos y los factores de emisión tomados del modelo IVE para los vehículos a diésel.	27
Tabla 2.17 Comparación de tecnologías medidas y las tecnologías tomadas del modelo IVE para las motos de 4T.....	28
Tabla 2.18 Comparación de factores de emisión medidos y factores de emisión modelo IVE para las motos de 4T.....	29
Tabla 2.19 Emisión PM _{2.5} con el factor de emisión medido en (Ton), año 2016	30
Tabla 3.1 Factores de emisión de VOC para estaciones de servicio de combustible	33

Tabla 3.2 Consumo de Gasolina y Diésel en el Valle de Aburrá en el año 2016.....	34
Tabla 3.3 Emisiones estimadas de VOC a partir de las estaciones de servicio de combustible, año 2016	35
Tabla 3.4 Estimación contaminantes emitidos por la disposición de residuos en el relleno sanitario La Pradera, 2016.....	40
Tabla 3.5 Emisiones de VOC de la industria de bebidas destiladas, año 2016.....	41
Tabla 3.6. Factores de emisión y resultados para la producción de fibras sintéticas en el Valle de Aburrá, año 2016.....	42
Tabla 3.7. Factores de emisión y resultados para la fabricación de papas fritas y pasabocas, año 2016	43
Tabla 3.8. Factores de emisión para el recubrimiento de rollos metálicos y latas	44
Tabla 3.9. Emisión VOC por recubrimiento de rollos metálicos y latas, año 2016.....	44
Tabla 3.10 Emisiones de VOC provenientes del tostado de café, año 2016	45
Tabla 3.11 Emisiones de VOC por la fabricación de pinturas y barnices, año 2016	46
Tabla 3.12 Emisiones de VOC de la industria cervecera, año 2016	46
Tabla 3.13 Emisiones evaporativas industriales VOC, año 2016.....	47
Tabla 3.14. Emisión de VOC en tanques de almacenamiento de combustible, año 2016.....	53
Tabla 3.15 Emisiones fuentes de área, año 2016	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Árbol de categorías vehiculares utilizado en el modelo LEAP	11
Figura 2.2 Perfil de antigüedad vehículos ligeros a gasolina.....	20
Figura 2.3 Kilometraje promedio anual recorrido por los vehículos en el Valle de Aburrá para el año 2016.....	7
Figura 2.4 Balance energético real y estimado, año 2016	11
Figura 2.5 Demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá por categoría vehicular, año 2016.....	13
Figura 2.6 Composición del parque automotor del Valle de Aburrá, año 2016.....	14
Figura 2.7 Perfil de antigüedad de los camiones a gasolina y a diésel.	15
Figura 2.8 Perfil de antigüedad de las volquetas pesadas a diésel.....	16
Figura 2.9 Distribución de emisiones de contaminantes criterio por categoría vehicular, año 2016...18	
Figura 2.10 Distribución de emisiones de PM _{2.5} por categoría vehicular, año 2016.....	18
Figura 2.11 Distribución de emisiones de CO por categoría vehicular, año 2016.....	19
Figura 2.12 Distribución de emisiones de NOx por categoría vehicular, año 2016.....	19
Figura 2.13 Distribución de emisiones de SOx por categoría vehicular, año 2016.....	20
Figura 2.14 Distribución de emisiones de VOC por categoría vehicular, año 2016.....	20
Figura 2.15 Distribución de emisiones por tipo de combustible (Ton), año 2016.....	22
Figura 2.16 Distribución de emisiones de gases de efecto invernadero por categoría vehicular, año 2016.....	24
Figura 3.1 Métodos para la recarga de tanques de almacenamiento de combustible	32
Figura 3.2 Consumo de combustible en el Valle de Aburrá en el año 2016	34
Figura 3.3 Distribución de emisiones estimadas de VOC provenientes de estaciones de gasolina por municipio, año 2016	36
Figura 3.4 Distribución de emisiones estimadas de VOC provenientes de estaciones diésel por municipio, año 2016	36
Figura 3.5 Ubicación Relleno Sanitario La Pradera	39
Figura 3.6 Relleno Sanitario La Pradera.....	39
Figura 3.7 Estimación de la emisión de CH ₄ , CO ₂ y NMOC desde la apertura del relleno sanitario La Pradera.....	40

Figura 3.8 Distribución de emisiones de VOC causadas por emisiones evaporativas industriales.....	48
Figura 3.9. Tanque de techo fijo.....	49
Figura 3.10. Tanque de techo interno flotante	50
Figura 3.11. Tanque de techo externo flotante.....	50
Figura 3.12 Distribución de emisiones de VOC por fuente de área, año 2016	54

INTRODUCCIÓN

El Convenio de Asociación N° 583 de 2017 entre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la Universidad Pontificia Bolivariana, tiene como objeto “Aunar esfuerzos técnicos, económicos y financieros para la implementación del Plan Operacional para enfrentar episodios críticos de contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá y realizar simulaciones especiales para la toma de decisiones como autoridad ambiental y de movilidad”.

En este informe se presentan los resultados de la actualización del inventario de emisiones de fuentes móviles al año 2016 y la reclasificación del parque automotor de la región, separando la categoría de *taxis* en dos nuevas categorías llamadas: *taxis* (Transporte público individual) y *autos servicio especial* y la categoría de *buses* en otras dos nuevas categorías llamadas: *buses* (Transporte público colectivo) y *buses servicio especial*. Esto se realizó mediante el uso del modelo LEAP (Longe-range Energy Alternatives Planning System), estimando las emisiones de contaminantes criterio y gases de efecto invernadero; además se calculó la demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá. Adicionalmente, se actualizó el inventario de emisiones de fuentes de área mediante información entregada por las diferentes empresas.

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

- Actualizar el inventario de emisiones de fuentes de área y el inventario de fuentes móviles utilizando el modelo LEAP (Longe-range Energy Alternatives Planning System) del Valle de Aburrá, con año base 2016.

2 INVENTARIO 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, & Amirnekooei, 2014); ha sido utilizado por organizaciones en más de 150 países, entre ellos Colombia, donde universidades y entidades como la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) lo han empleado en diferentes proyectos. No obstante, fue en el Inventario de Emisiones Atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2011, donde por primera vez se usó este modelo en Colombia para el análisis del transporte (Área Metropolitana del Valle de Aburrá-Universidad Pontificia Bolivariana, 2013), siendo nuevamente empleado en la actualización realizada para el año base 2013 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana, 2015) y para el año base 2015 donde se realizó un ajuste, separando las categorías Tractocamiones y Volquetas, las cuales se encontraban incluidas en la categoría Camiones. (Área Metropolitana del Valle de Aburrá-Universidad Pontificia Bolivariana, 2016).

En esta oportunidad se presenta la actualización del inventario de emisiones de fuentes móviles al año 2016, realizando un nuevo ajuste separando la categoría de Taxis y Buses, esto con el fin de hacer del inventario una herramienta más precisa. El cálculo de las emisiones, así como la demanda energética del parque automotor de la región se realizó nuevamente utilizando el Sistema de Planteamiento de Alternativas Energéticas a Largo Plazo (LEAP, por sus siglas en inglés).

2.1 METODOLOGÍA

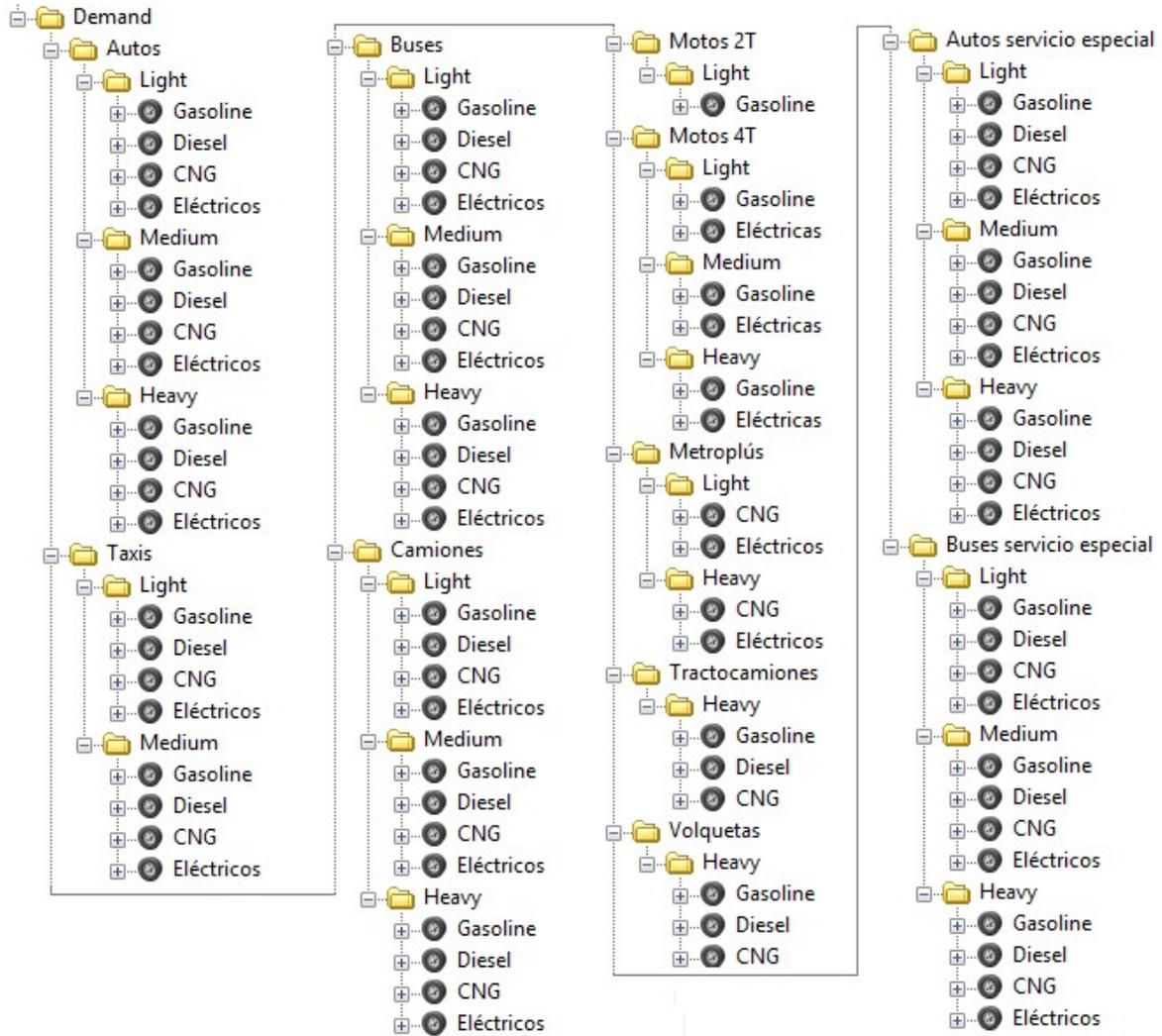
El modelo LEAP requiere que los datos del parque automotor sean distribuidos en tres (4) niveles a saber: sector, sub-sector, uso final y dispositivo. En cuanto a la intensidad energética

y los factores de emisión de cada contaminante, se asocian a cada componente del nivel (uso final). La Tabla 2.1 presenta la distribución realizada en LEAP del parque automotor del Valle de Aburrá y en la Figura 2.1 se muestra la estructura de árbol del modelo.

Tabla 2.1 Distribución del parque automotor en el modelo LEAP

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

Figura 2.1 Árbol de categorías vehiculares utilizado en el modelo LEAP



A continuación, se da una breve explicación de las principales variables de entrada del modelo LEAP, para el análisis del transporte automotor (Heaps, 2012). Retomando la información presentada desde el inicio de la utilización del modelo LEAP en la actualización del inventario año base 2011.

- 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 los 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.

- 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.

- 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.

- 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).

Ecuación 2.1 Rotación de las existencias de vehículos

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

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.

Survivales: la fracción de vehículos que sobreviven después de un determinado número de años.

Ecuación 2.2 Rendimiento del combustible.

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

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 $y=v$.

Ecuación 2.3 Kilometraje

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

Donde:

FeDegradation: 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 $y=v$.

Ecuación 2.4 Consumo de energía

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

Ecuación 2.5 Emisión de contaminantes basada en la distancia (e.g. contaminantes criterio)

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

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 $y=v$.

Ecuación 2.6 Emisión de contaminantes basada en la energía (e.g. CO₂ y otros gases de efecto invernadero)

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

2.2 DATOS DE ENTRADA

En la Tabla 2.2 se presenta el número de vehículos registrados en la región divididos en existencias (stock) y ventas (sales), perteneciendo a la categoría “stock” los vehículos de modelo anterior a 2016 y a la categoría “sales” los vehículos de modelo 2016. 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 (Anexo 1).

Tabla 2.2 Existencias y ventas de vehículos registrados en el Valle de Aburrá para el año 2016

Categoría vehicular	Existencias (stock)	Ventas (sales)	Total
Automóviles	440,784	26,190	466,974
Taxis	21,096	1,657	22,753
Autos servicio especial	17,849	1,016	18,865
Buses	4,520	330	4,850
Buses servicio especial	12,317	301	12,618
Camiones	27,227	1,292	28,519
Motocicletas 2 Tiempos	19,765	0	732,128
Motocicletas 4 Tiempos	641,356	71,007	
Metroplús	320	79	399
Tractocamiones	9,681	64	9,745
Volquetas	4,394	46	4,440
TOTAL	1,199,309	101,982	1,301,291

Fuente: Secretarías de Tránsito y Transporte y Movilidad AMVA

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 2.1). Para la distinción entre motocicletas de 2 y 4 tiempos y la distribución por tipo de combustible, se utilizaron los registros de los Centros de Diagnóstico Automotor (CDAs) proporcionados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la distribución del Metroplús se logró gracias a la información suministrada por la Secretaria de Tránsito y Transporte de Medellín (Anexo 3), en esta información para la categoría de Metroplús se referencian vehículos a diésel pero no se tienen en cuenta en la presente actualización por que no se especifica el modelo, en la columna del modelo se ingresa el siguiente dato “Los modelo varían entre el 2015-2017”. La Tabla 2.3 muestra la distribución porcentual vehicular, discriminada por rango de cilindraje y tipo de combustible.

Tabla 2.3 Distribución porcentual del parque automotor por categoría vehicular, cilindraje y tipo de combustible para el año 2016

	EXISTENCIAS	VENTAS
AUTOS	36.41%	25.68%
Livianos (cc ≤ 1500)	48.90%	35.40%
Gasolina	96.67%	100.00%
Diésel	2.18%	0.00%
GNV	1.15%	0.00%
Medianos (1500 < cc ≤ 3000)	46.30%	61.30%
Gasolina	83.84%	69.20%
Diésel	11.59%	7.70%
GNV	4.57%	23.10%
Pesados (cc > 3000)	4.80%	3.30%
Gasolina	82.50%	82.50%
Diésel	6.90%	6.90%
GNV	10.60%	10.60%
TAXIS	1.74%	1.62%
Livianos (cc ≤ 1500)	98.40%	92.10%
Gasolina	84.66%	91.70%
Diésel	5.61%	0.00%
GNV	9.74%	8.30%
Medianos (1500 < cc ≤ 3000)	1.60%	7.90%
Gasolina	68.72%	68.72%
Diésel	13.41%	13.41%
GNV	17.88%	17.88%

	EXISTENCIAS	VENTAS
AUTOS SERVICIO ESPECIAL	1.47%	1.00%
Livianos (cc ≤ 1500)	39.10%	35.80%
Gasolina	82.74%	82.74%
Diésel	7.00%	7.00%
GNV	10.26%	10.26%
Medianos (1500 < cc ≤ 3000)	54.70%	58.80%
Gasolina	64.38%	64.38%
Diésel	21.01%	21.01%
GNV	14.61%	14.61%
Pesados (cc > 3000)	6.20%	5.40%
Gasolina	7.94%	7.94%
Diésel	92.06%	92.06%
GNV	0.00%	0.00%
BUSES	0.39%	0.32%
Livianos (cc ≤ 3000)	5.00%	0.90%
Gasolina	6.49%	6.49%
Diésel	74.05%	74.05%
GNV	19.46%	19.46%
Medianos (3000 < cc ≤ 6000)	93.50%	94.80%
Gasolina	11.78%	11.78%
Diésel	66.54%	66.54%
GNV	21.68%	21.68%
Pesados (cc > 6000)	1.50%	4.30%
Gasolina	2.38%	2.38%
Diésel	85.71%	85.71%
GNV	11.91%	11.91%
BUSES SERVICIO ESPECIAL	1.40%	0.30%
Livianos (cc ≤ 3000)	40.00%	24.10%
Gasolina	8.97%	8.97%
Diésel	73.93%	73.93%
GNV	17.10%	17.10%
Medianos (3000 < cc ≤ 6000)	52.20%	57.70%
Gasolina	16.13%	16.13%
Diésel	62.08%	62.08%
GNV	21.80%	21.80%
Pesados (cc > 6000)	7.80%	18.20%
Gasolina	9.94%	9.94%
Diésel	64.83%	64.83%
GNV	25.24%	25.24%

	EXISTENCIAS	VENTAS
CAMIONES	2.74%	1.27%
Livianos (cc ≤ 3000)	21.80%	23.60%
Gasolina	11.50%	11.50%
Diésel	71.40%	71.40%
GNV	17.10%	17.10%
Medianos (3000 < cc ≤ 6000)	56.10%	64.80%
Gasolina	16.70%	0.00%
Diésel	60.30%	75.00%
GNV	23.00%	25.00%
Pesados (cc > 6000)	22.10%	11.60%
Gasolina	15.60%	0.00%
Diésel	65.90%	100%
GNV	18.50%	0.00%
MOTOS 2T	1.63%	0.00%
Livianos (cc ≤ 100)	100.0%	0.00%
Gasolina	100%	-
MOTOS 4T	52.98%	69.63%
Livianos (cc ≤ 100)	27.7%	14.7%
Gasolina	100%	100%
Medianos (100 < cc ≤ 300)	69.9%	82.6%
Gasolina	100%	100%
Pesados (cc > 300)	2.5%	2.8%
Gasolina	100%	100%
METROPLÚS	0.03%	0.08%
Livianos (cc ≤ 3000)	27.20%	26.60%
GNV	100%	100%
Medianos (3000 < cc ≤ 6000)	50.30%	67.10%
GNV	100%	100%
Pesados (cc > 6000)	22.50%	6.30%
GNV	100%	100%
TRACTOCAMIONES	0.80%	0.06%
Pesados (cc > 6000)	100%	100%
Diésel	100%	100%
VOLQUETAS	0.40%	0.05%
Pesados (cc > 6000)	100%	100%
Diésel	100%	100%

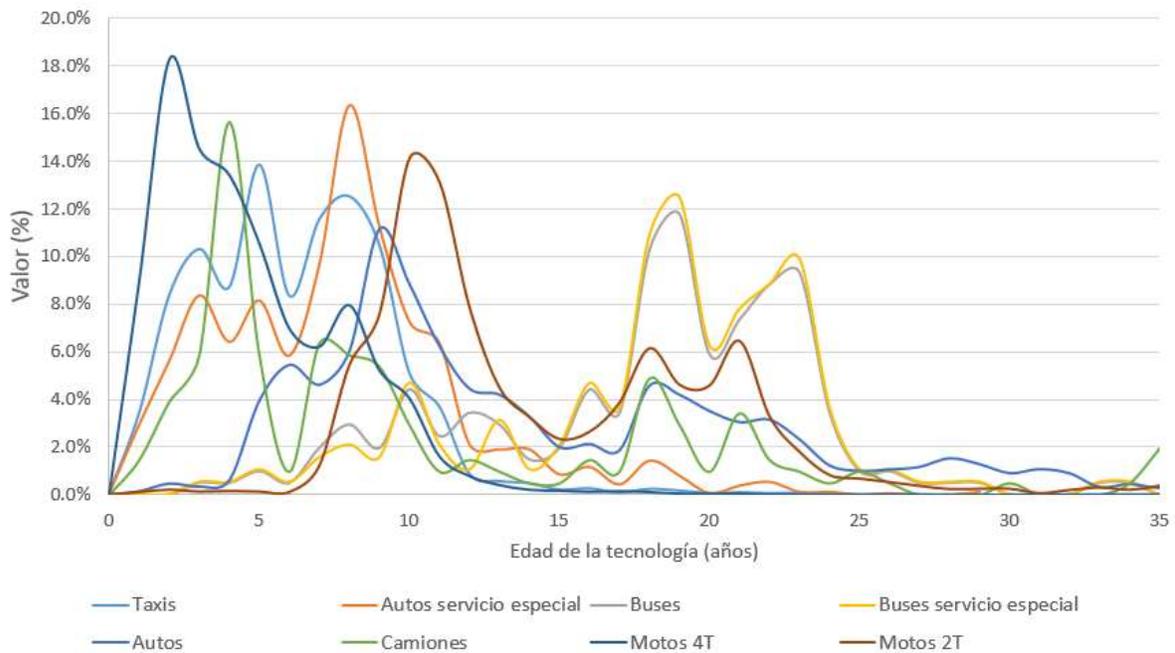
Fuente: Subdirección de Movilidad AMVA, Secretarías de Tránsito y Transporte y CDAs Valle de Aburrá

En las columnas Existencias y Ventas de la Tabla 2.3 los números en negrita suman 100% (corresponde a las categorías *autos, taxis, autos servicio especial, buses, buses servicio especial, buses, camiones, motos 2T, motos 4T, Metroplús, tractocamiones y volquetas*); los números en cursiva suman 100% dentro de cada categoría vehicular (corresponde a las subcategorías livianos, medianos, pesados) y los números en tipografía normal suman 100% dentro de cada subcategoría (corresponde a las tecnologías a gasolina, diésel y gas natural vehicular-GNV).

2.2.1 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, a continuación, se presentan los perfiles de los vehículos ligeros a gasolina. En el Anexo 2 se presentan los perfiles individuales para las demás categorías vehiculares contempladas. Estos perfiles se construyen a partir de los datos de los Centros de Diagnóstico Automotor.

Figura 2.2 Perfil de antigüedad vehículos ligeros a gasolina

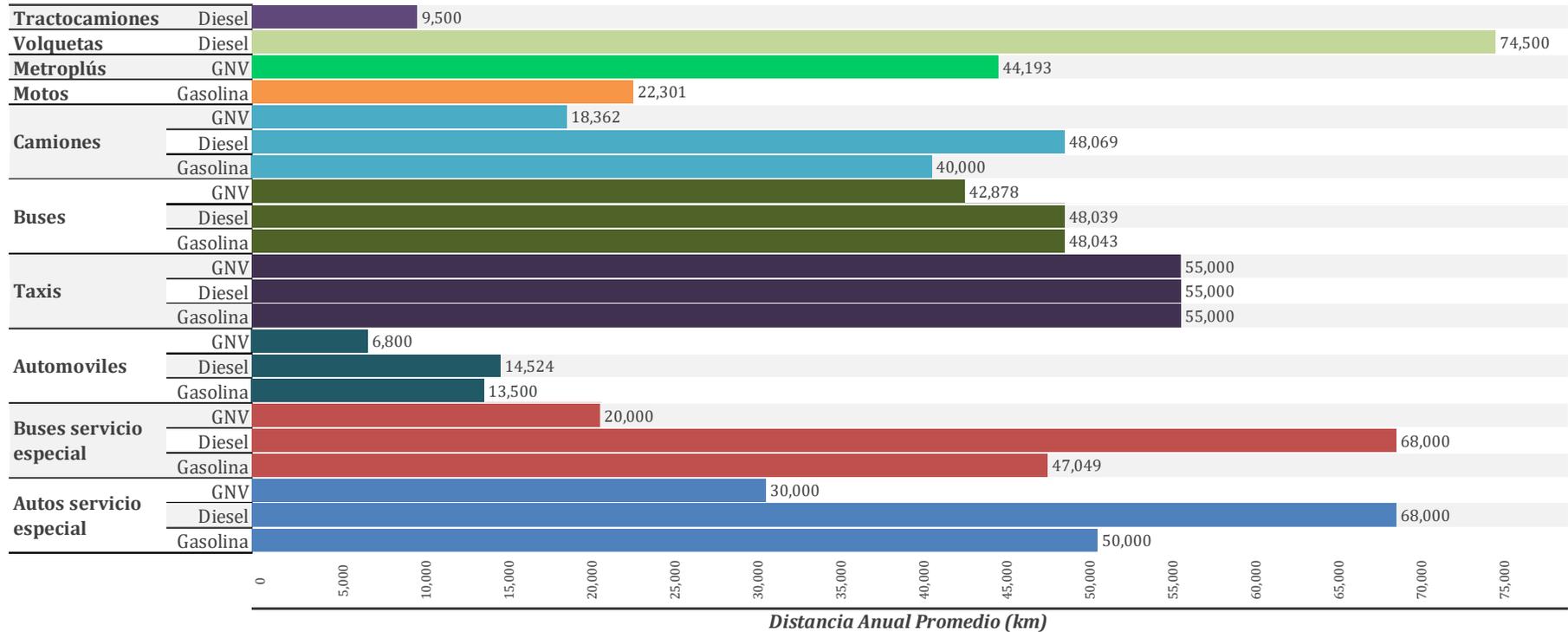


2.2.2 Kilometraje

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

Es importante anotar que solo se requiere una estimación inicial del kilometraje (VKT_0), pues esta variable se ajusta junto con el rendimiento del combustible hasta cerrar el balance energético, es decir, hasta que la demanda total de energía estimada en el modelo LEAP sea igual a la demanda de energía calculada a partir de los consumos de gasolina, diésel y gas natural vehicular en el Valle de Aburrá. Así, al ajustar el balance energético se estimaron las distancias anuales promedio recorridas en el primer año de vida, cuyos valores se presentan en la Figura 2.3 y fueron calculados como promedios ponderados de acuerdo a la categoría vehicular y al tipo de combustible.

Figura 2.3 Kilometraje promedio anual recorrido por los vehículos en el Valle de Aburrá para el año 2016



2.2.3 Rendimiento de combustible

Como se viene realizando desde la implementación del modelo LEAP en el inventario del 2011, la información relacionada con el rendimiento de combustible fue obtenida del modelo International Vehicle Emissions, IVE, el cual fue desarrollado por el International Sustainable Systems Research Center (Davis, Lents, Osses, Nikkila, & Bart, 2005). Además, para la categoría *motocicletas* se obtuvo información por parte de una empresa ensambladora de este tipo de vehículos asentada en la región en la actualización realizada con año base 2015 (Área Metropolitana del Valle de Aburrá - Universidad Pontificia Bolivariana, 2013).

2.2.4 Factores de emisión

Retomando la información de Área Metropolitana del Valle de Aburrá-Universidad Pontificia Bolivariana (2013), se tiene que un factor de emisión vehicular se define como la relación entre una cantidad emitida de determinado contaminante por longitud y usualmente es expresado en gramos/kilómetro. Los factores de emisión utilizados en este inventario son los del modelo International Vehicle Emissions, IVE (Davis, Lents, Osses, Nikkila, & Bart, 2005), el cual posee factores de emisión para aproximadamente 450 tecnologías vehiculares clasificadas de acuerdo al tipo de vehículo (p. ej. auto, bus/camión, motores pequeños), tipo de combustible (p. ej. gasolina, diésel, gas natural), peso (liviano, mediano, pesado), tipo de dispositivo para la mezcla aire/combustible (p. ej. carburador, inyección directa, inyección de combustible multipunto), control de emisiones por el tubo de escape (p. ej. catalizador, 3-vías/EGR-*exhaust gas recirculation*, Euro II) y tipo de control de las emisiones evaporativas (PCV, *positive crankcase ventilation*). Además, para cada una de las tecnologías hay un factor de emisión de acuerdo a la edad del vehículo, que se da en términos del kilometraje, así: <79.000 km, 80.000-161.000 km y >161.000 km.

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

Ecuación 2.7 Estimación de emisiones vehiculares

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

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 2.4 se presentan las condiciones a las que están dados los factores de emisión base (BER, *Base Emission Rate*) y en la Tabla 2.5 los factores de corrección disponibles.

Tabla 2.4 Condiciones para los factores de emisión base

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

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

Tabla 2.5 Factores de corrección disponibles para los factores de emisión base

VARIABLES LOCALES	VARIABLES DE CALIDAD DEL COMBUSTIBLE
Temperatura ambiente Humedad del ambiente Altura Programas de inspección y mantenimiento (I/M)	Gasolina Azufre en la gasolina 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 Tabla 2.6, el cual fue construido para el inventario 2011 con información de campo y del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, además se asume que si el combustible no cumple con los requerimientos de plomo y azufre de las tecnologías Euro, éstas no son introducidas al país.

Se debe tener en cuenta que, por ejemplo, este calendario tenía proyecciones acerca del contenido de azufre en la gasolina que a 2016 no se han alcanzado, por lo que en este caso se sigue utilizando un combustible de 300 ppm de azufre.

Tabla 2.6 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 50%, altura de 950 msnm, contenido de azufre en la gasolina de 300 ppm, contenido de azufre en el diésel de 50 ppm (ECOPETROL, 2013) y contenido de etanol en la gasolina de 10% V/V (aunque el diésel también se encuentra mezclado con aceite de palma (10% V/V), no se hace corrección de los correspondientes factores de emisión debido a que el modelo IVE no dispone de factores de corrección para este tipo de mezcla). De esta manera, del modelo IVE se obtienen los factores de emisión para los contaminantes VOC, CO, NO_x, PM, NH₃, N₂O y CH₄. Es importante resaltar que las emisiones de partículas por los tubos de escape vehiculares se ubican principalmente en el rango de tamaño del PM_{2.5}, por lo tanto, todos los factores de emisión de PM corresponden a PM_{2.5} (European Environment Agency, 2017).

En cuanto a los factores de emisión de CO₂ y SO₂, estos se calculan por balance de masa asumiendo que todo el carbono y el azufre en el combustible se convierten en CO₂ y SO₂, suposición válida, pues, aunque se generan otros contaminantes derivados del carbono y el azufre, las cantidades son mínimas si se comparan con el CO₂ y SO₂ producido. En la Tabla 2.7 se presentan los respectivos factores de emisión calculados, en unidades de kilogramo/Terajoule.

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

Tabla 2.7 Factores de emisión de CO₂ y SO₂

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

¹ Unidad de Planeación Minero Energética. ² Ecopetrol.

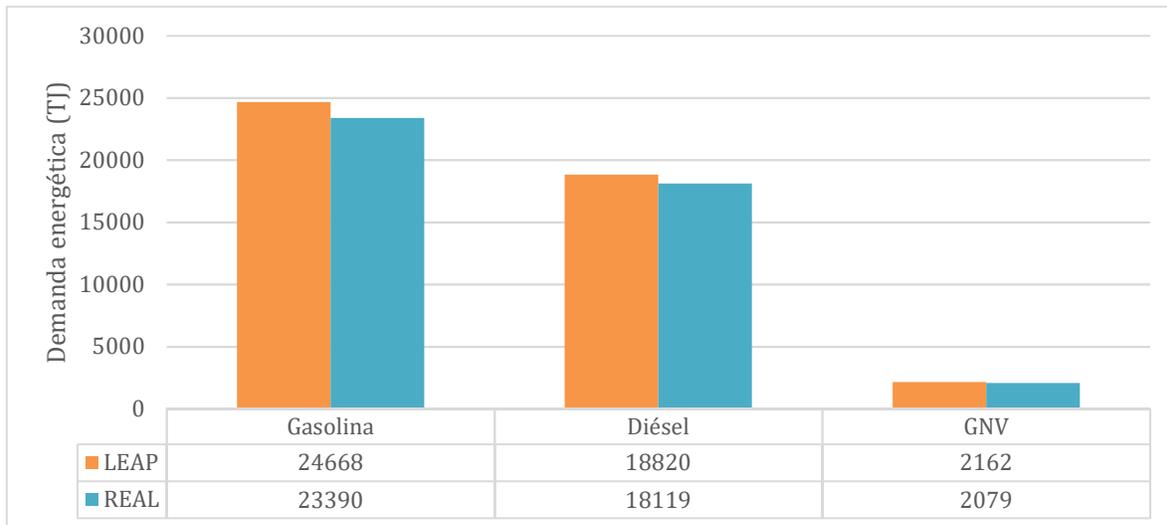
2.3 RESULTADOS

2.3.1 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 2016 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 2.4 muestra estos resultados.

Figura 2.4 Balance energético real y estimado, año 2016



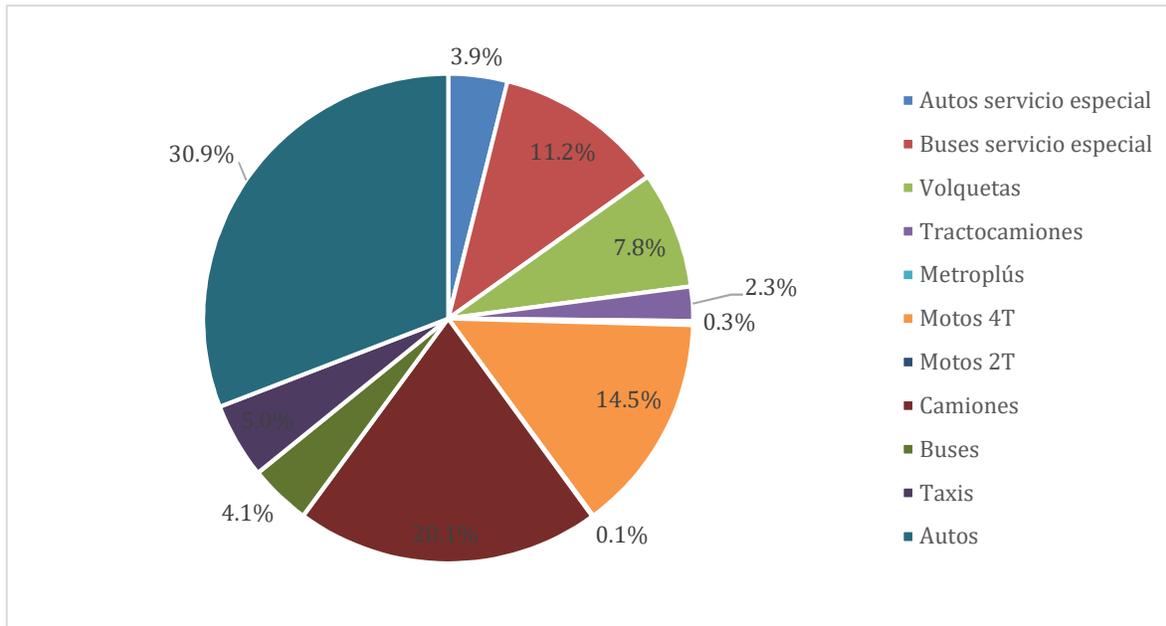
Se ajustó el kilometraje de los vehículos con el fin de cerrar el balance energético. Este ajuste del balance energético estimado al real asegura que las variables ingresadas al modelo como la eficiencia de combustible y el mismo kilometraje se asemejen mucho a los datos reales, con lo cual disminuye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

De acuerdo a los resultados del modelo LEAP con relación a la demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá discriminada por categoría vehicular (ver Tabla 2.8 y Figura 2.5), son los automóviles la categoría que lidera la demanda ya que, aunque no es la categoría que más recorre kilómetros anualmente según la Figura 2.3, ésta representa una gran parte del parque automotor en el Valle de Aburrá como puede evidenciar en la Tabla 2.2. Luego de la categoría automóviles, las categorías que le siguen liderando la demanda energética son los camiones, las motos 4T y los buses de servicio especial.

Tabla 2.8 Demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá por categoría vehicular, año 2016

Categoría	Combustible	Demanda Energética (TJ/año)	SubTotal (TJ/año)
Volquetas	Gasolina	-	3,539
	Diésel	3,539	
	GNV	-	
Tractocamiones	Gasolina	-	1,029
	Diésel	1,029	
	GNV	-	
Camiones	Gasolina	1,377	9,177
	Diésel	7,137	
	GNV	664	
Metroplús	Gasolina	-	126
	Diésel	-	
	GNV	126	
Buses	Gasolina	237	1,856
	Diésel	1,313	
	GNV	306	
Taxis	Gasolina	1,962	2,274
	Diésel	101	
	GNV	212	
Autos	Gasolina	12,626	14,090
	Diésel	1,027	
	GNV	437	
Motos 4T	Gasolina	6,608	6,608
	Diésel	-	
	GNV	-	
Motos 2T	Gasolina	35	35
	Diésel	-	
	GNV	-	
Autos servicio especial	Gasolina	1,223	1,781
	Diésel	469	
	GNV	89	
Buses servicio especial	Gasolina	601	5,133
	Diésel	4,204	
	GNV	328	
Total (TJ/año)			45,650

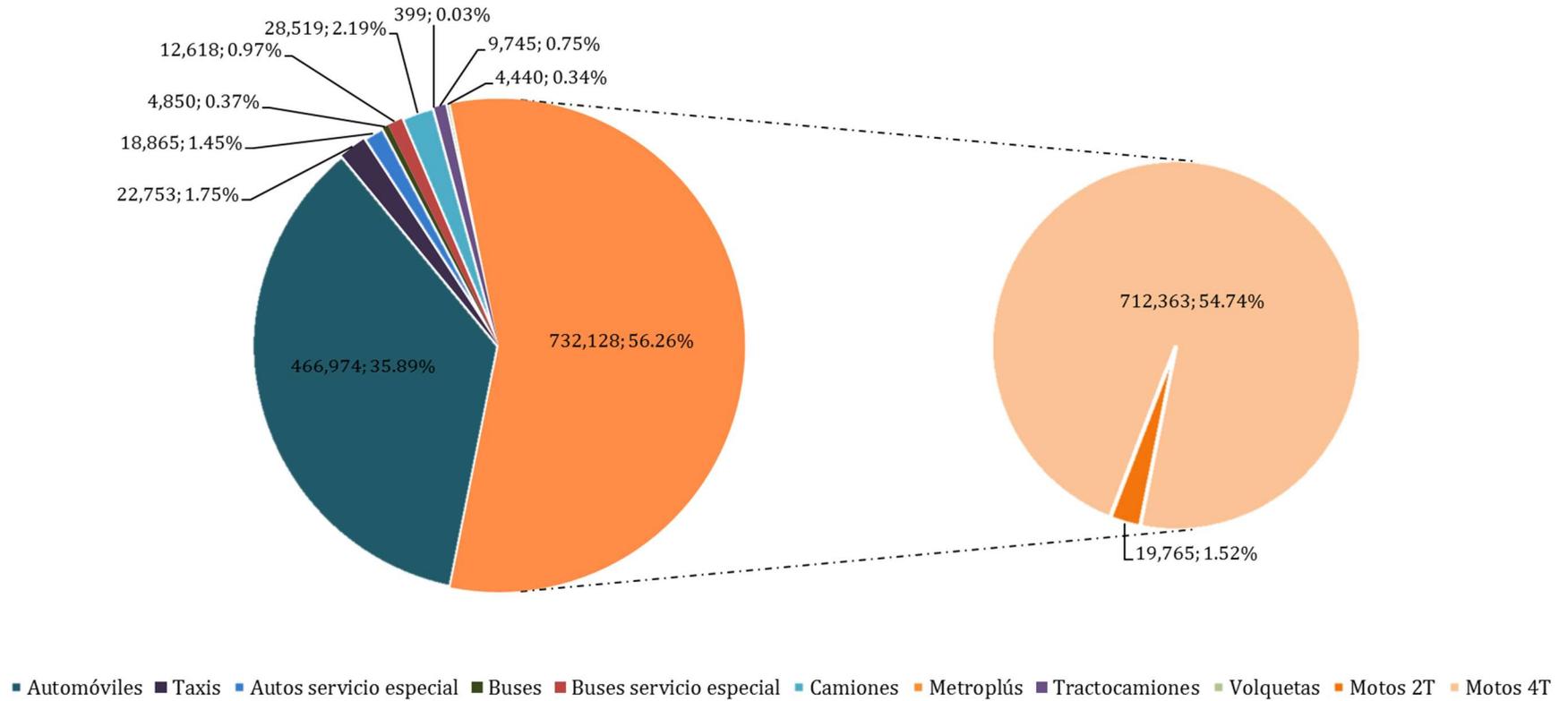
Figura 2.5 Demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá por categoría vehicular, año 2016



2.3.2 Composición del parque automotor del Valle de Aburrá

De acuerdo con los datos proporcionados por las Secretarías de Tránsito y Transporte de los diferentes municipios del Valle de Aburrá, el parque automotor estaba conformado en este año base 2016 por 1,301,291 vehículos, de los cuales la mayoría son *motocicletas* (56.26%) (ver Figura 2.6), seguida por la categoría *automóviles* (35.89%). Dentro de la categoría de motos el 54.74% corresponden a motos 4T y el 1.52% a motos 2T, el 7.85% que corresponde a otras categorías y donde se encuentran las nuevas categorías introducidas en la presente actualización se tiene que los camiones y los taxis son la mayoría con un 2.19% y 1.75% respectivamente seguidos de las categorías de autos servicio especial con un 1.45% y los buses servicio especial con un 0.97% de participación.

Figura 2.6 Composición del parque automotor del Valle de Aburrá, año 2016



2.3.3 Emisiones de contaminantes criterio

La Tabla 2.9 y la Figura 2.9 presentan las emisiones de contaminantes criterio discriminadas por categoría vehicular. Se observa que los camiones son los mayores emisores de CO y NO_x, aportando el 49% y 33% del total de emisiones respectivamente. Las categorías de mayor aporte al PM_{2.5} (Figura 2.10) son las volquetas con un 32%, seguido de los camiones con un 31% y las motos 4T con un 19%, además estas dos últimas categorías (camiones y motos 4T) son las mayores aportantes de VOC (Figura 2.14) con un 29% y 41% respectivamente. La categoría de autos es la mayor aportante de SO_x con un 46% (Figura 2.13).

Lo que más se resalta en este punto es que los camiones, siendo una de las categorías con menor cantidad de vehículos, son los que mayor aporte hace a las emisiones de CO y NO_x. 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 (ver Figura 2.7), influyendo en la escogencia del factor de emisión y por tanto en el cálculo de las emisiones, esto también se observa con el aporte de las emisiones de PM_{2.5} donde las volquetas (ver Figura 2.8) y nuevamente los camiones son los mayores aportantes.

Figura 2.7 Perfil de antigüedad de los camiones a gasolina y a diésel.

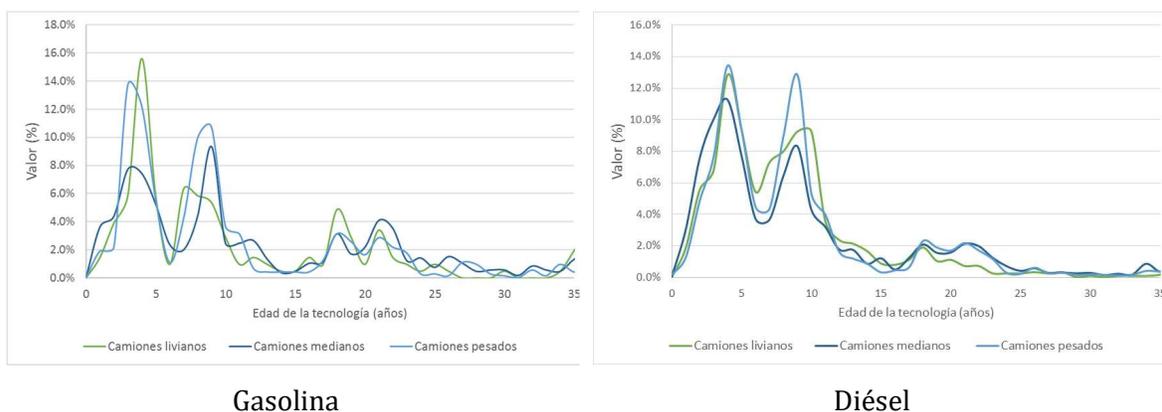


Figura 2.8 Perfil de antigüedad de las volquetas pesadas a diésel.

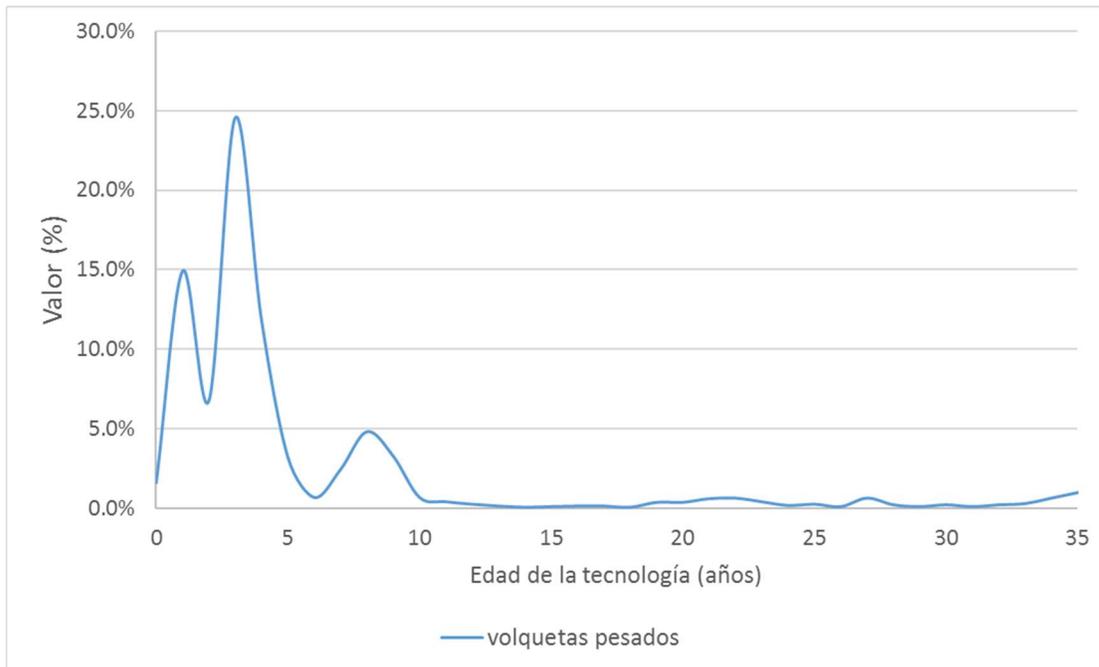


Tabla 2.9 Emisión de contaminantes criterio por categoría vehicular (Ton),
año 2016

Categoría		CO	NOX	SOX	VOC	PM _{2.5}
Autos	Ligeros	15,067	942	70	1,032	11
	Medianos	16,756	1,435	91	722	29
	Pesados	3,374	203	10	122	2
Taxis	Ligeros	900	210	26	54	4
	Medianos	36	8	1	1	0
Buses	Ligeros	55	38	0	6	1
	Medianos	822	716	6	131	17
	Pesados	72	29	0	7	1
Camiones	Ligeros	12,677	710	5	587	86
	Medianos	59,282	2,782	19	2,680	302
	Pesados	11,063	1,624	10	807	91
Metroplús	Ligeros	19	1	0	0	0
	Medianos	48	2	0	0	0
	Pesados	26	1	0	0	0
Tractocamiones	Pesados	662	757	2	131	57
Volquetas	Pesados	1,569	2,164	8	334	484
Motos 2T	Ligeros	966	1	0	412	9
Motos 4T	Ligeros	9,007	244	20	1,935	123
	Medianos	17,956	384	66	3,517	150
	Pesados	1,240	35	3	267	17
Autos servicio especial	Ligeros	218	56	6	14	2
	Medianos	426	156	10	24	6
	Pesados	48	28	1	10	3
Buses servicio especial	Ligeros	5,838	895	5	425	37
	Medianos	9,070	1,532	11	620	81
	Pesados	2,315	414	2	173	22
Total		169,512	15,363	372	14,014	1,534

Figura 2.9 Distribución de emisiones de contaminantes criterio por categoría vehicular, año 2016

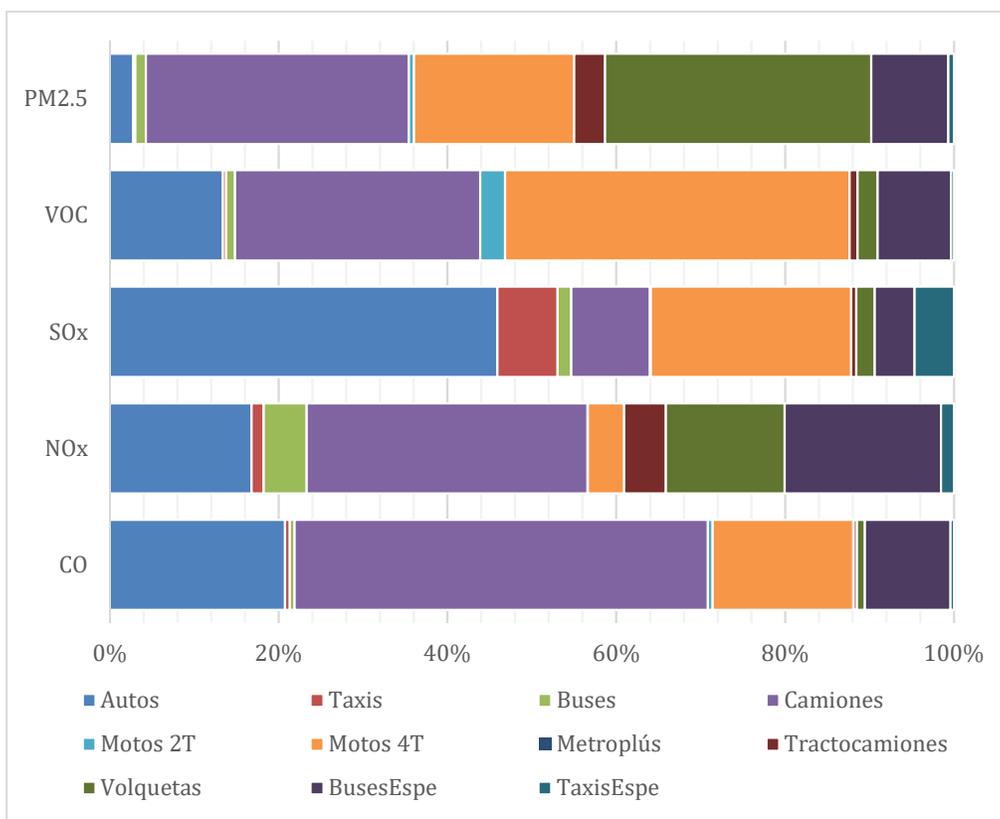


Figura 2.10 Distribución de emisiones de PM_{2.5} por categoría vehicular, año 2016

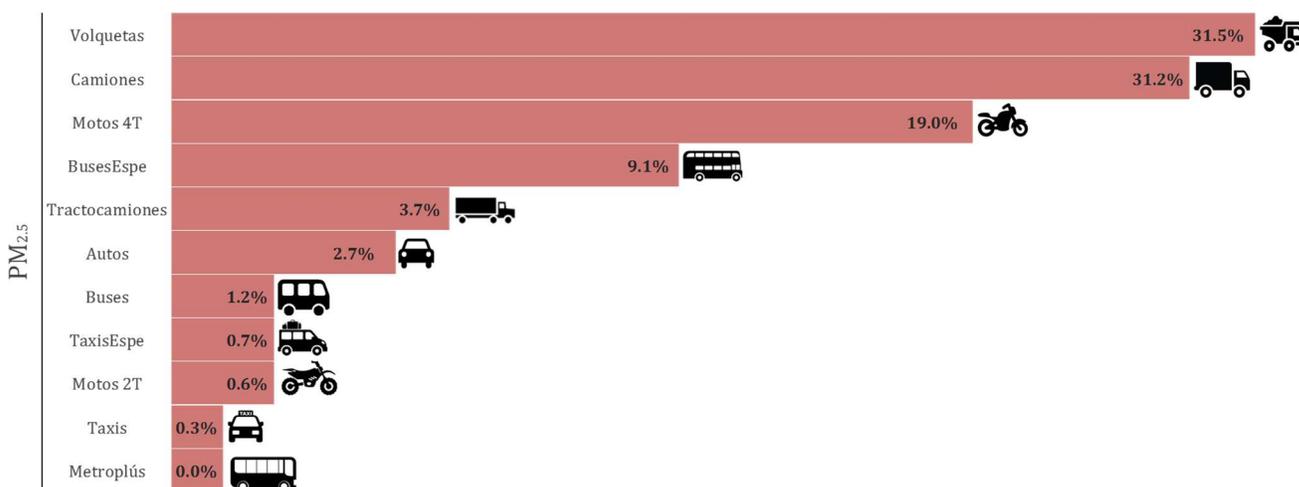


Figura 2.11 Distribución de emisiones de CO por categoría vehicular, año 2016

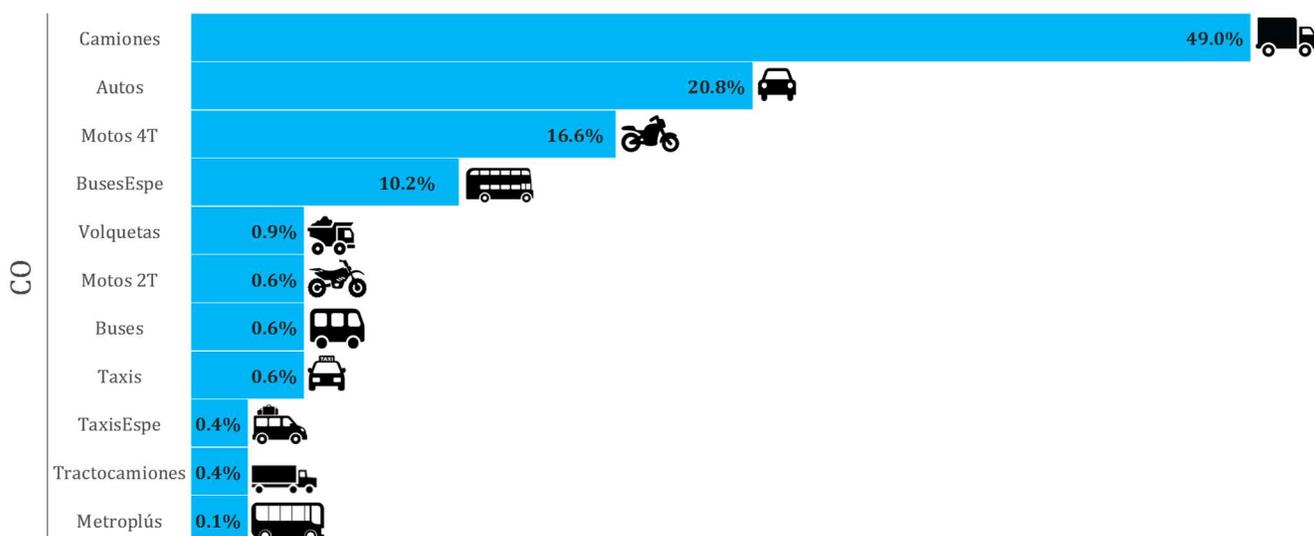


Figura 2.12 Distribución de emisiones de NOx por categoría vehicular, año 2016

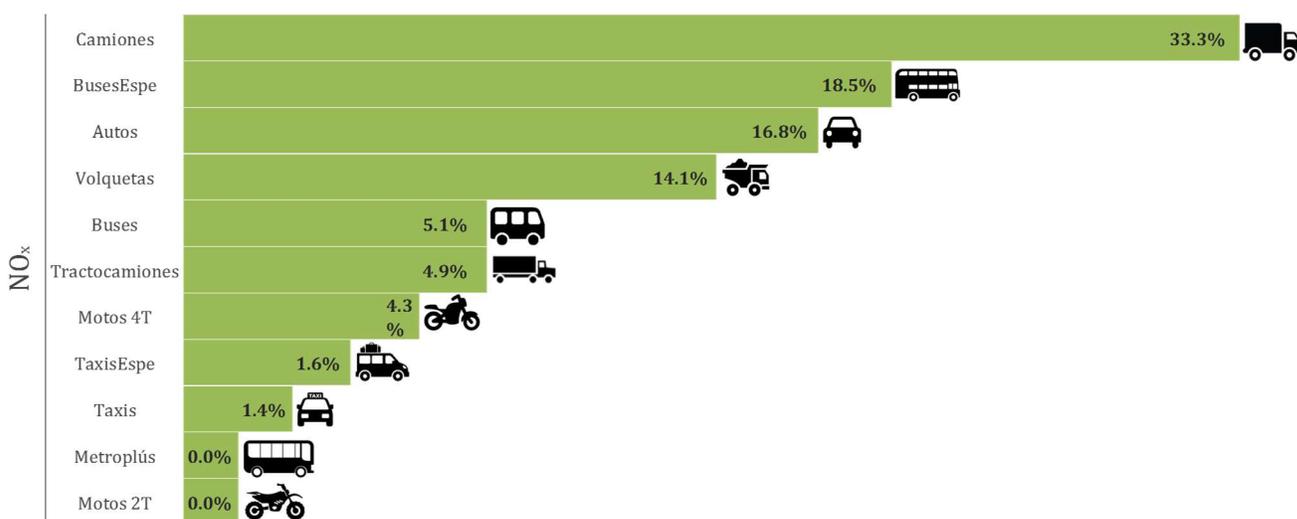


Figura 2.13 Distribución de emisiones de SO_x por categoría vehicular, año 2016

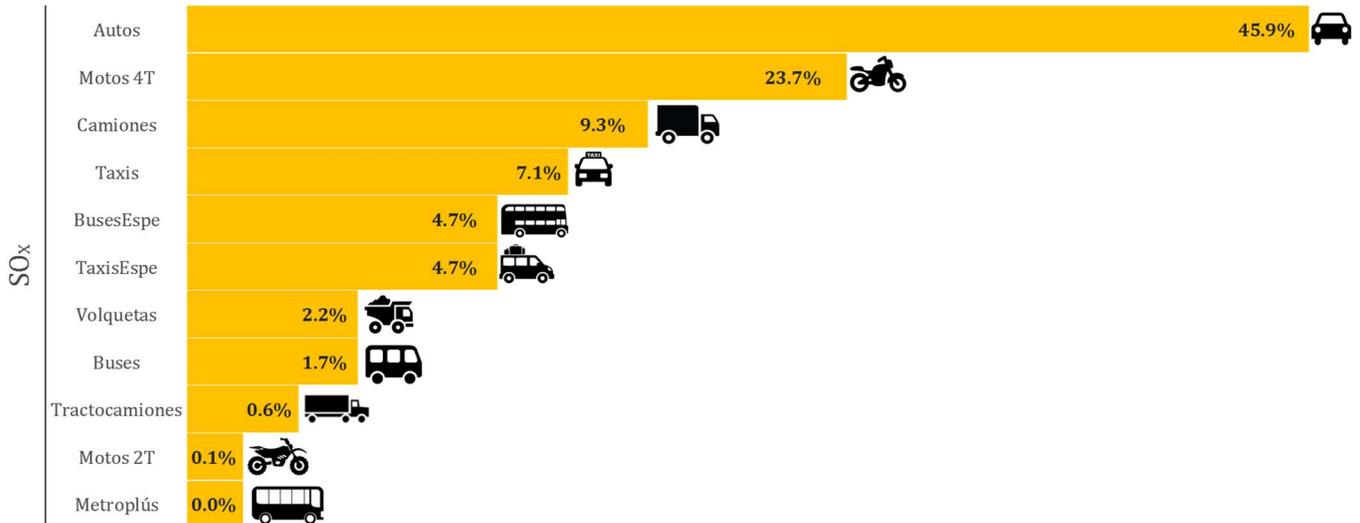
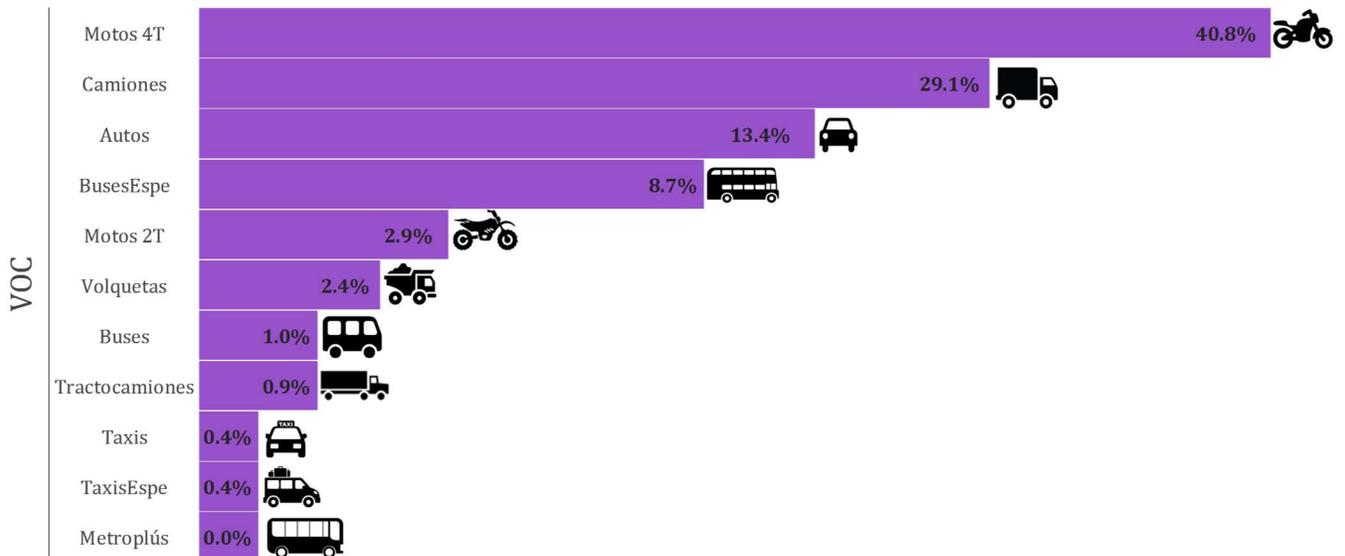


Figura 2.14 Distribución de emisiones de VOC por categoría vehicular, año 2016

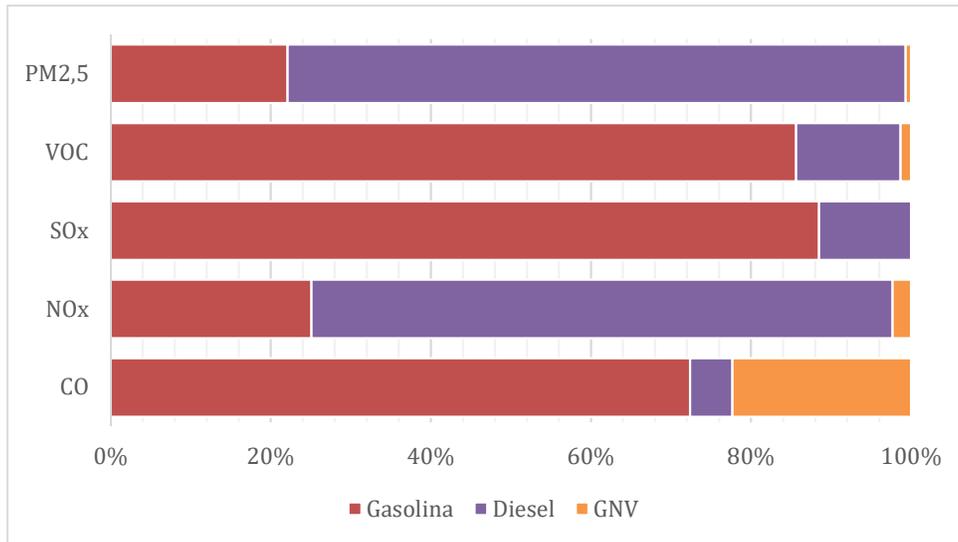


Las emisiones por tipo de combustible se presentan en la Tabla 2.10 y la Figura 2.15. Se observa que la gasolina es el principal responsable por las emisiones de CO, SO_x y VOC, con el 72%, 88% y 86% respectivamente. El diésel es el principal aportante de NO_x y PM_{2.5} con el 73% y el 77% de las emisiones de estos contaminantes. El GNV por su parte hace una contribución principal a las emisiones de CO con el 22% y en un 2% al NO_x.

Tabla 2.10 Emisión de contaminantes criterio por tipo de combustible
(Ton), año 2016

Combustible	CO	NO_x	SO_x	VOC	PM_{2,5}
Gasolina	122,724	3,851	329	12,002	339
Diésel	8,969	11,155	43	1,830	1,185
GNV	37,819	357	0	182	11
Total	169,512	15,363	372	14,014	1,534

Figura 2.15 Distribución de emisiones por tipo de combustible (Ton), año 2016



Las características particulares de los motores de ciclo otto (gasolina) y de los motores de ciclo diésel hacen que los primeros presenten una eficiencia menor respecto a los segundos (Bergthorson, 2015). Esto redundo en una combustión menos completa y de ahí que las emisiones de CO sean superiores en la gasolina, pues los motores diésel consiguen transformar mejor el carbono del combustible en CO₂. Esto también se debe a que en los motores a gasolina la combustión se realiza por medio de una chispa generada por una bujía, lo cual hace que la eficiencia de la combustión dependa de la sincronización de los tiempos del motor y del octanaje del combustible, el cual, si no es el adecuado, causará una ignición fuera de tiempo, yendo en detrimento del objetivo de conseguir una combustión lo más cercana posible a la ideal. De igual forma, las mayores emisiones de VOC por parte de la gasolina, se deben a que ésta está compuesta por elementos más volátiles que el diésel y a que además le son adicionados otros compuestos para mejorar su octanaje y así evitar los problemas mencionados antes. Por otra parte, la gasolina que se consume en el Valle de Aburrá tiene un máximo de 300 ppm de azufre, frente al diésel que cuenta con menos de 50 ppm; esto explica que las emisiones de SO_x sean también dominadas por la gasolina.

Ahora bien, pese a que los motores diésel tienen mayor eficiencia que los motores a gasolina, presentan zonas más ricas en combustible que otras, como consecuencia de que no hay una mezcla previa de éste con el aire. De esta forma, hay zonas con combustible que no alcanza a

quemarse completamente y ello conduce a la formación de material particulado, así mismo hay zonas de altas temperaturas en donde el nitrógeno del aire se oxida y se generan elevadas concentraciones de NO_x (Bergthorson, 2015).

Finalmente, el hecho de que el GNV sea responsable por el 22% 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.

2.3.4 Emisiones de gases de efecto invernadero

Se analizaron las emisiones de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso, así como de CO₂ equivalente utilizando los potenciales de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés) presentados por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) en el 4° Reporte de Evaluación (Government of Canada, 2013). En la Tabla 2.11 se muestran los GWP usados.

Tabla 2.11 Potenciales de Calentamiento Global

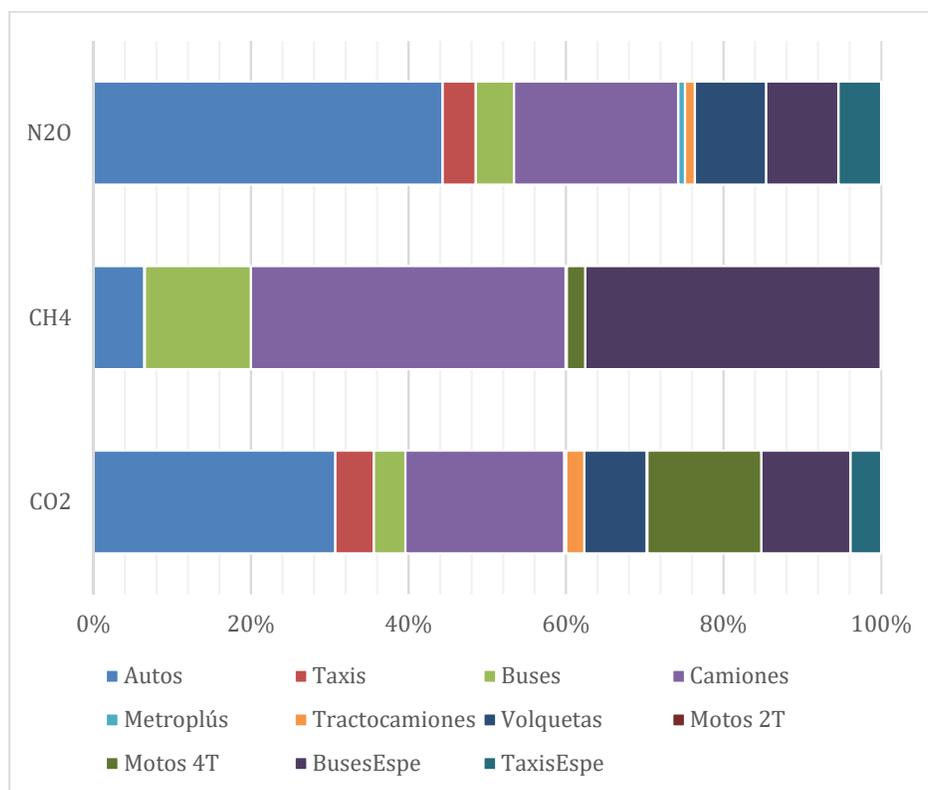
Gas de efecto invernadero	GWP en 100 años
Dióxido de carbono	1
Metano	25
Óxido nitroso	298

En la Tabla 2.12 y la Figura 2.16 se presentan las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de las fuentes móviles en el Valle de Aburrá. En éstas se observa que son los autos la categoría responsable por la mayoría de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y óxido nitroso (N₂O); no obstante, se resalta la contribución de la categoría camiones y la categoría de buses especiales a las emisiones de metano (CH₄).

Tabla 2.12 Emisión de gases de efecto invernadero por categoría vehicular (Ton), año 2016

Categoría	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Autos	988,323	2,815	39
Taxis	157,505	34	4
Buses	128,647	5,878	4
Camiones	648,781	17,422	18
Metroplús	7,171	17	1
Tractocamiones	74,143	0	1
Volquetas	254,942	0	8
Motos 2T	2,470	54	0
Motos 4T	465,561	1,006	0
Autos servicio especial	125,000	27	5
Buses servicio especial	363,797	16,359	8
Total	3,216,341	43,611	88
CO ₂ -eq	4,332,907		

Figura 2.16 Distribución de emisiones de gases de efecto invernadero por categoría vehicular, año 2016



2.4 COMPARACIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN MEDIDOS Y LOS FACTORES DE EMISIÓN DEL MODELO INTERNATIONAL VEHICLE EMISSIONS, IVE.

Se compararon los factores de emisión medidos en el proyecto “Articulación Universidad_Empresa_Estado para establecer los factores de emisión reales de fuentes móviles en el Valle de Aburrá” –FEVA-1, desarrollado en el marco del Convenio Interadministrativo de asociación 1096 de 2016, celebrado entre el Área Metropolitana de Valle de Aburrá (AMVA) y la Universidad de Antioquia y los factores de emisión utilizados en el presente inventario seleccionados del modelo International Vehicle Emissions (IVE), adaptados a las variables locales, calidad del combustible y el calendario de introducción de tecnologías. Los factores de emisión del CO₂ y SO₂ son calculados por balance de masas como se explicó anteriormente.

Esta comparación se realizó teniendo en cuenta la clasificación del modelo IVE de acuerdo al tipo de vehículo (auto, camión, bus camión, moto 2T y moto 4T), combustible (gasolina, Diésel, GNV), modelo (edad del vehículo), cilindraje (liviano, mediano, pesado) y la tecnología vehicular (dispositivo para la mezcla de mezcla aire/combustible, dispositivo para el control de emisiones por el tubo de escape y tipo de control de las emisiones evaporativas).

En la Tabla 2.13 se presenta la comparación de los autos a gasolina, para la referencia 1 medida, se encontró relación en todas las variables anteriormente descritas, para la referencia 2 medida, se encontró relación en la tecnología vehicular y el cilindraje pero el modelo (2001) no se encuentra dentro del rango estipulado en el calendario para este tipo de tecnología, en este caso se selecciona el factor de emisión a comprar teniendo en cuenta la tecnología vehicular, para las referencias 3 y 4 medidos, no se encontró relación con la clasificación del IVE. En la Tabla 2.14 se presentan los factores de emisión en g/km medidos y los seleccionados del modelo IVE.

En la Tabla 2.15 y la Tabla 2.17 se compararon los camiones a diésel y las motos de 4T, para las referencias 6, 7 y 8 medido, se encontró relación en el tipo de vehículo, cilindraje, tecnología vehicular y estas tecnologías concuerdan con los años en el calendario de introducción vehicular. En la referencia 5 medido, no concuerda el modelo con el calendario, pero se selecciona el factor de emisión teniendo en cuenta la tecnología vehicular, para las motos de 4T referencias medidos de la 9 a la 16 no se encuentra relación del modelo con el calendario de introducción vehicular por lo que se selecciona el factor de emisión teniendo en cuenta la

tecnología de las motos medidos. En las Tabla 2.16 y Tabla 2.18 se observan los factores de emisión medidos y los seleccionados del modelo IVE.

Tabla 2.13 Comparación de tecnologías medidas y las tecnologías tomadas del modelo IVE para los autos a gasolina.

Ref	Vehículos Medidos			Clasificación tecnología IVE
	Cilindrada (cc)	Modelo (kilometraje)	Datos técnicos	
1	1600	2016 (36493)	Inyección electrónica multipunto secuencial, catalizador de 3 vías	Vehículo: Auto Modelo: ≥ 2012 Cilindraje: Mediano ($1500 < \text{cc} \leq 3000$) Esp. Tec.: Gasolina, Multi-Pt FI, EuroII, PCV/Tank
2	1000	2001 (67944)	Inyección electrónica monopunto, con catalizador	Vehículo: Auto Modelo: $1993 \leq \text{año} < 1998$ Cilindraje: Liviano ($\text{cc} \leq 1500$) Esp. Tec.: Gasolina, Single-Pt FI, 2-Way, PCV
3	2000	2017 (14959)	Inyección directa de gasolina, catalizador de 3 vías	No se encontró
4	2700	2008 (16306)	Inyección electrónica multipunto, sistema de válvulas variable VVTi, catalizador de 3 vías	No se encontró

Tabla 2.14 Comparación de factores de emisión medidos y los factores de emisión tomados del modelo IVE para los vehículos a gasolina.

Ref	FE CO (g/km)		FE NO _x (g/km)		FE PM _{2.5} (g/km)		FE CO ₂ (g/km)	
	Medidos	IVE	Medidos	IVE	Medidos	IVE	Medidos	IVE
1	2.71851	0.56455	0.21758	0.319128	0.00148522	0.00321	204.8	258.114
2	3.69539	1.6911	0.78823	1.413076	0.00413762	0.0026	140.22	254.541

Tabla 2.15 Comparación de tecnologías medidas y las tecnologías tomadas del modelo IVE para los camiones a diésel.

Ref	Vehículos Medidos			Clasificación tecnología IVE
	Cilindrada (cc)	Modelo (kilometraje)	Datos técnicos	
5	3000	2008 (26839)	Turbocompresor, intercooler, EGR, common rail, Euro 2	Vehículo: Bus, Camión Modelo: 2010 ≤ año < 2013 Cilindraje: Liviano (cc ≤ 3000) Esp. Tec.: Diesel, FI, EURO II
6	2500	2016 (43365)	Turbocompresor, intercooler, common rail, válvula de recirculación de gases (EGR), catalizador de oxidación (DOC), Turbina de geometría variable, Euro 4	Vehículo: Bus, Camión Modelo: ≥ 2013 Cilindraje: Liviano (cc ≤ 3000) Esp. Tec.: Diesel, FI, EuroIV
7	2500	2004 (200972)	Turbocompresor, intercooler, pre-Euro sin	Vehículo: Bus, Camión Modelo: 2000 ≤ año < 2005 Cilindraje: Liviano (cc ≤ 3000) Esp. Tec.: Diesel, Direct Injection, Improved
8	3700	2017 (16110)	Turbocompresor, intercooler, common rail, válvula de recirculación de gases (EGR) refrigerado, catalizador de material particulado (POC), Euro 4	Vehículo: Bus, Camión Modelo: ≥ 2013 Cilindraje: Mediano (3000 < cc ≤ 6000) Esp. Tec.: Diesel, FI, EuroIV

Tabla 2.16 Comparación de factores de emisión medidos y los factores de emisión tomados del modelo IVE para los vehículos a diésel.

Ref	FE CO (g/km)		FE NO _x (g/km)		FE PM _{2.5} (g/km)		FE CO ₂ (g/km)	
	Medido	IVE	Medido	IVE	Medido	IVE	Medido	IVE
5	1.37832	1.42678	2.29795	3.434356	0.0056007	0.06456	254.945	399.789
6	1.22675	0.1365	1.96234	1.624077	0.0339686	0.01377	274.164	399.069
7	1.6388	1.33996	1.86818	5.722701	0.0473398	0.08	235.625	500.636
8	2.59744	0.20104	4.24297	2.388105	0.0112386	0.01652	399.284	587.798

Tabla 2.17 Comparación de tecnologías medidas y las tecnologías tomadas del modelo IVE para las motos de 4T.

Ref	Motos 4T Medidas			Clasificación tecnología IVE
	Cilindrada (cc)	Modelo (kilometraje)	Datos técnicos	
9	150	2013 (11813)	Carburador	Vehículo: Motos 4T Modelo: 2008 ≤ año < 2009 Cilindraje: Mediano (100< cc ≤ 300) Esp. Tec.: 4-Cycle, Carb,Catalyst
10	150	2015 (4186)	Iny. Electrónica	Vehículo: Motos 4T Modelo: ≥ 2009 Cilindraje: Mediano (100< cc ≤ 300) Esp. Tec.: 4-Cycle, FI, PCV
11	125	2013 (7737)	Carburador	Vehículo: Motos 4T Modelo: 2008 ≤ año < 2009 Cilindraje: Mediano (100< cc ≤ 300) Esp. Tec.: 4-Cycle, Carb,Catalyst
12	125	2017 (2330)	Iny. Electrónica	Vehículo: Motos 4T Modelo: ≥ 2009 Cilindraje: Mediano (100< cc ≤ 300) Esp. Tec.: 4-Cycle, FI, PCV
13	200	2015 (25492)	Carburador	Vehículo: Motos 4T Modelo: 2008 ≤ año < 2009 Cilindraje: Mediano (100< cc ≤ 300) Esp. Tec.: 4-Cycle, Carb,Catalyst
14	110	2017 (1828)	Carburador	Vehículo: Motos 4T Modelo: 2008 ≤ año < 2009 Cilindraje: Mediano (100< cc ≤ 300) Esp. Tec.: 4-Cycle, Carb,Catalyst
15	100	2017 (14705)	Carburador	Vehículo: Motos 4T Modelo: ≥ 2006 Cilindraje: Liviano (cc ≤ 100) Esp. Tec.: 4-Cycle, Carb,Catalyst
16	125	2015 (17836)	Carburador	Vehículo: Motos 4T Modelo: 2008 ≤ año < 2009 Cilindraje: Mediano (100< cc ≤ 300) Esp. Tec.: 4-Cycle, Carb,Hightech

Tabla 2.18 Comparación de factores de emisión medidos y factores de emisión modelo IVE para las motos de 4T.

Ref	FE CO (g/km)		FE NOx (g/km)		FE PM2.5 (g/km)		FE CO2 (g/km)	
	Medido	IVE	Medido	IVE	Medido	IVE	Medido	IVE
9	25.1023	2.874	0.02424	0.064	0.0003768	0.025	53.9422	56.96
10	2.99292	1.529	0.09426	0.086	0.0001026	0.013	67.6211	57.008
11	14.1653	2.874	0.22347	0.064	0.001427	0.025	70.681	56.96
12	0.98704	1.529	0.0707	0.086	7.18E-05	0.013	73.4126	57.008
13	13.6943	2.874	0.20996	0.064	0.0033879	0.025	72.2704	56.96
14	7.74813	2.874	0.35219	0.064	0.0001537	0.025	42.658	56.96
15	4.59623	3.505	0.50934	0.102	0.0002729	0.05	47.8312	31.892
16	20.4982	2.874	0.48044	0.064	0.0069404	0.025	72.3973	56.96

2.4.1 Resultados emisiones PM_{2.5}

En la Tabla 2.19 presenta la comparación de los resultados de las emisiones de PM_{2.5} con los factores de emisión medidos y los del modelo IVE utilizando el modelo LEAP. Para este ejercicio solo se modificaron los factores de emisión para PM_{2.5} y las comparaciones realizadas teniendo en cuenta el combustible, modelo y tecnología vehicular descrita en el segmento anterior. Se recomienda realizar más mediciones por considerar que un solo vehículo de una tecnología no es representativo para el este cálculo, esta afirmación se ratificó en la Jornada Académica “Fortalecimiento de las capacidades institucionales y sectoriales para la implementación del PIGECA” realizada los días 18 y 19 de abril de 2018 por el experto internacional Mauricio Osses de Chile.

Tabla 2.19 Emisión PM_{2.5} con el factor de emisión medido en (Ton), año 2016

Categoría		Combustible	PM _{2.5} (FE MEDIDO)	PM _{2.5} (FE IVE)
Autos	Ligeros	Gasolina	10	7
	Medianos	Gasolina	3	6
	Pesados	Gasolina	1	1
Taxis	Ligeros	Gasolina	3	2
	Medianos	Gasolina	0.02	0.03
Camiones	Ligeros	Diésel	78	82
	Medianos	Diésel	288	289
	Pesados	Diésel	87	87
Motos 4T	Ligeros	Gasolina	4	123
	Medianos	Gasolina	101	150
	Pesados	Gasolina	17	17
Autos servicio especial	Ligeros	Gasolina	1	0.5
	Medianos	Gasolina	0.3	1
	Pesados	Gasolina	0.01	0.01
Buses	Ligeros	Diésel	0.8	1.1
	Medianos	Diésel	15.8	15.9
Buses servicio especial	Ligeros	Diésel	28	35
	Medianos	Diésel	77.9	78.1

3 INVENTARIO FUENTES DE ÁREA

3.1 ESTACIONES DE SERVICIO DE COMBUSTIBLE

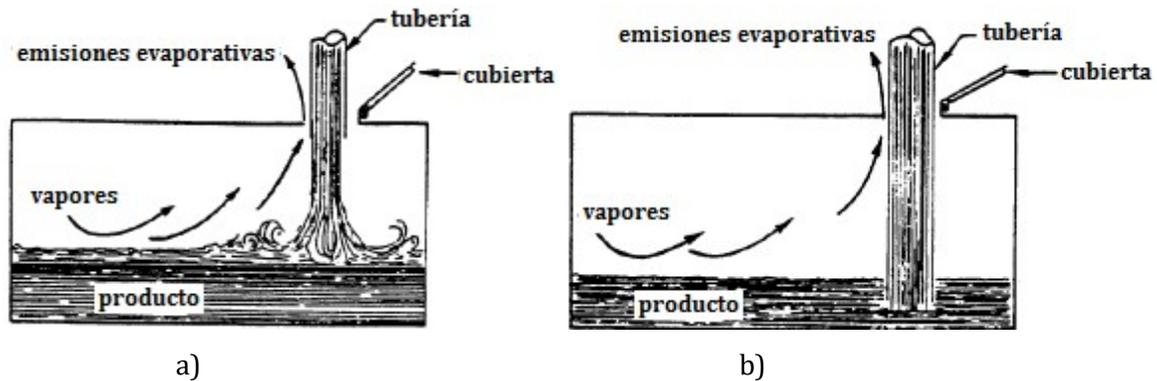
Las emisiones que se generan en las estaciones de servicio de combustible, se producen por la descarga del combustible desde los carro-tanques que lo transportan a los tanques de almacenamiento subterráneos, por la expansión y compresión del líquido debido a los cambios de temperatura y presión durante el día y finalmente por el abastecimiento a los vehículos.

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

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

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

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



Fuente: US EPA, 2008

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

3.1.1 Metodología para la estimación de emisiones

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

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

Ecuación 3.1 Emisión VOC

$$E_i = E_{Fi} \times V_i \times 10^{-6}$$

Donde,

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

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

V_i = Ventas anuales del combustible, L/año

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

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

Fuente de emisión	Factor de emisión (mg/L)
<i>Gasolina</i>	
Llenado del tanque subterráneo	
Tubería sumergida	880
Tubería no sumergida	1,380
Tubería sumergida y con control de emisiones	40
Contracción y expansión de los gases en el tanque subterráneo	120
Llenado de vehículos	
Emisión sin control	1,320
Emisión controlada	132
Derrames	80
<i>Diésel</i>	
Incluye el llenado de tanques subterráneos, el llenado de los vehículos y la contracción y expansión de vapores en el tanque subterráneo.	176

Fuente: US EPA, 2008

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

3.1.2 Datos de entrada

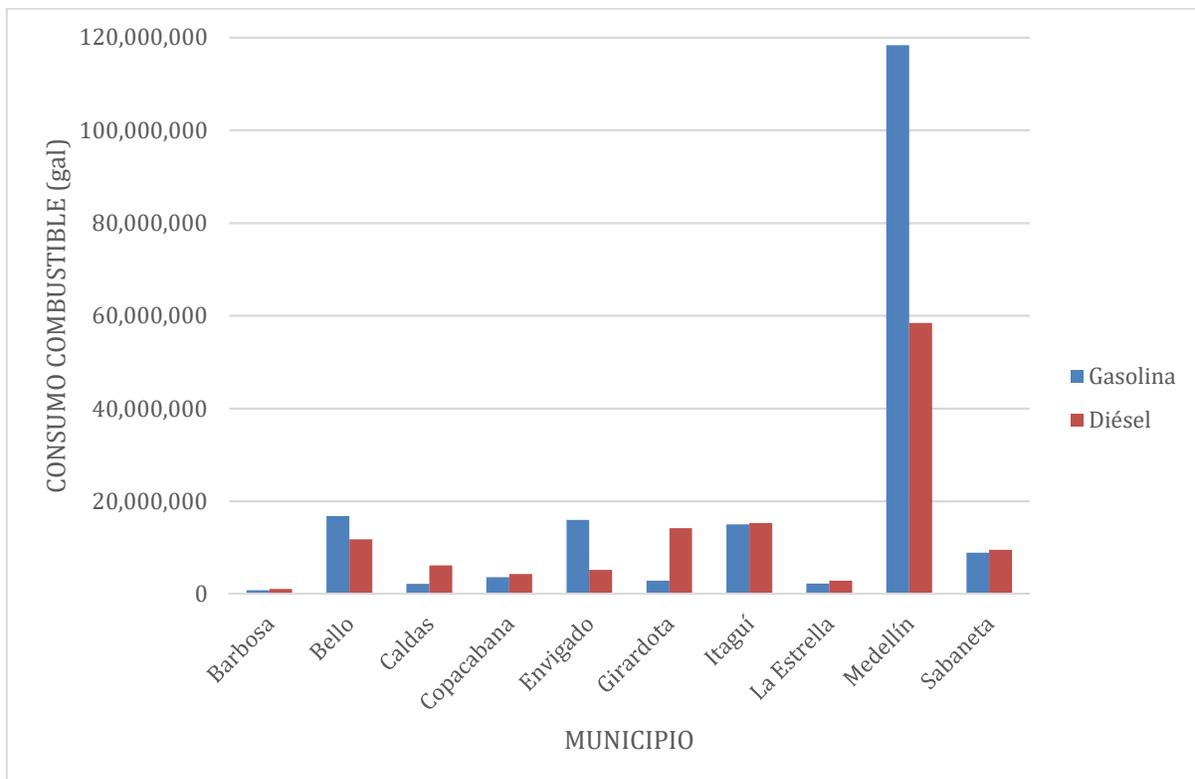
A través de la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) se obtuvo la información concerniente a los consumos de combustible (gasolina y diésel) para los 10 municipios del Valle de Aburrá en el año 2016. En la Tabla 3.2 y Figura 3.2 se muestran los datos consolidados para el año base.

Tabla 3.2 Consumo de Gasolina y Diésel en el Valle de Aburrá en el año 2016

Municipio	Gasolina (gal)	Diésel (gal)
Barbosa	820,533	1,046,979
Bello	16,785,460	11,805,386
Caldas	2,188,572	6,129,101
Copacabana	3,643,132	4,316,966
Envigado	15,990,138	5,191,701
Girardota	2,864,137	14,215,901
Itagüí	15,003,647	15,281,783
La Estrella	2,229,019	2,858,209
Medellín	118,318,599	58,447,862
Sabaneta	8,893,816	9,492,617
TOTAL	186,737,053	128,786,505

Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética

Figura 3.2 Consumo de combustible en el Valle de Aburrá en el año 2016



Se observa que el municipio con mayor consumo tanto de gasolina como de diésel es Medellín, donde se consume el 63% y el 45% de estos combustibles respectivamente. Por su parte Bello, Envigado e Itagüí son los municipios que después de la capital de Antioquia presentan el mayor consumo de gasolina con el 9%, 8.6% y 8% respectivamente; mientras que, en el caso del diésel, los municipios de Itagüí, Girardota y Bello donde, después de Medellín, se consumió la mayor cantidad del combustible con el 12% ,11% y 9% del total respectivamente.

3.1.3 Resultados

Con las cifras de consumo de combustible y los factores de emisión mencionados anteriormente, se calcularon las emisiones de VOC provenientes de las estaciones de servicio de combustible ubicadas en los diferentes municipios del Valle de Aburrá. En la Tabla 3.3 se reportan los resultados para este contaminante y en la Figura 3.3 y Figura 3.4, se muestran la distribución de éstas emisiones por combustible para los diferentes municipios del Valle de Aburrá.

Tabla 3.3 Emisiones estimadas de VOC a partir de las estaciones de servicio de combustible, año 2016

Municipio	Emisión VOC por Gasolina (Ton/año)	Emisión VOC por Diésel (Ton/año)
Barbosa	9	1
Bello	184	8
Caldas	24	4
Copacabana	40	3
Envigado	176	3
Girardota	31	9
Itagüí	165	10
La Estrella	24	2
Medellín	1,299	39
Sabaneta	98	6
Subtotal	2,050	86
TOTAL	2,136	

Figura 3.3 Distribución de emisiones estimadas de VOC provenientes de estaciones de gasolina por municipio, año 2016

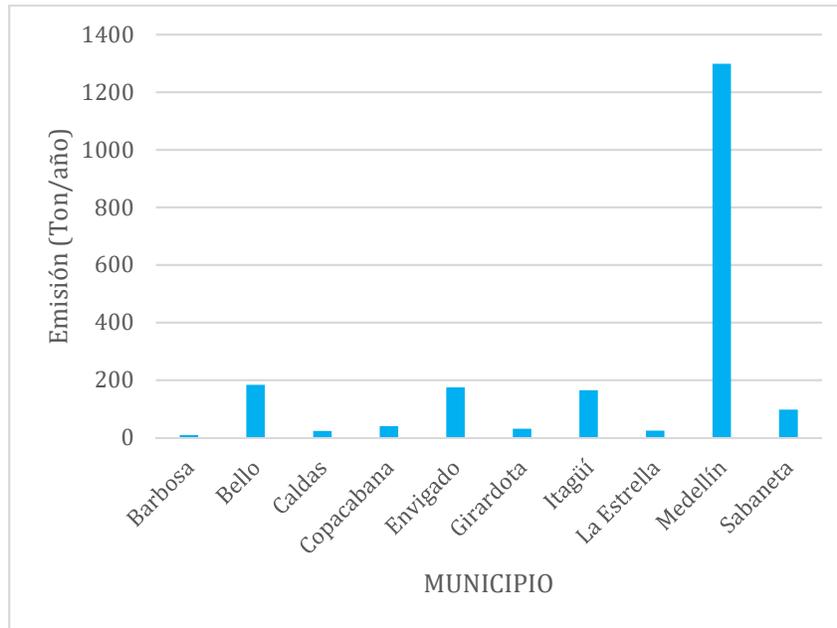
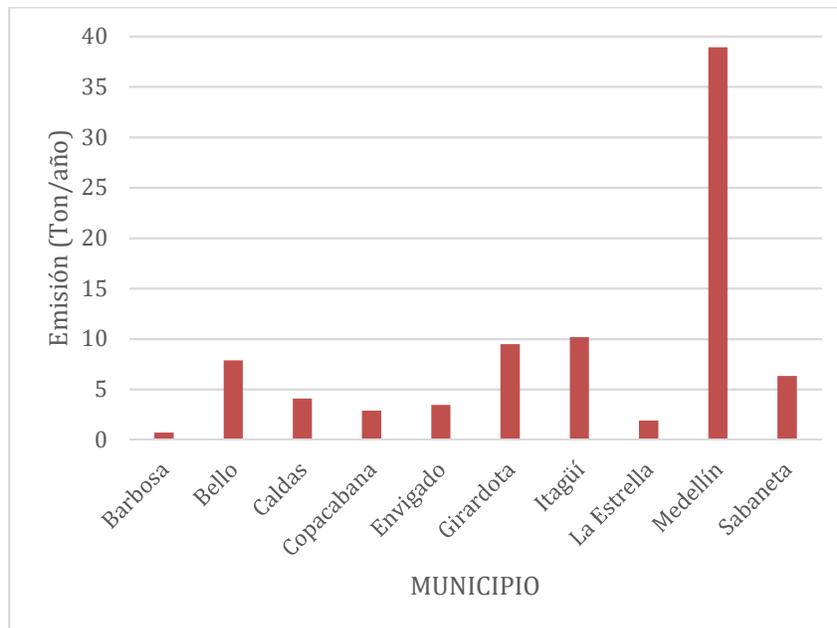


Figura 3.4 Distribución de emisiones estimadas de VOC provenientes de estaciones diésel por municipio, año 2016



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

3.2 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 aún 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 (H₂S), 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 ubicada dentro de la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, será objeto de análisis en el presente informe.

3.2.1 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 3.5 y Figura 3.6). Recibe los residuos de la ciudad de Medellín y sus corregimientos y las poblaciones vecinas Barbosa, Bello, Caldas, Cisneros, Carolina, 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 éstos, 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.

Entre las principales características de este relleno sanitario se encuentran:

- Inicio de operación: 6 de junio de 2003.
- Área: 354 hectáreas.

Figura 3.5 Ubicación Relleno Sanitario La Pradera

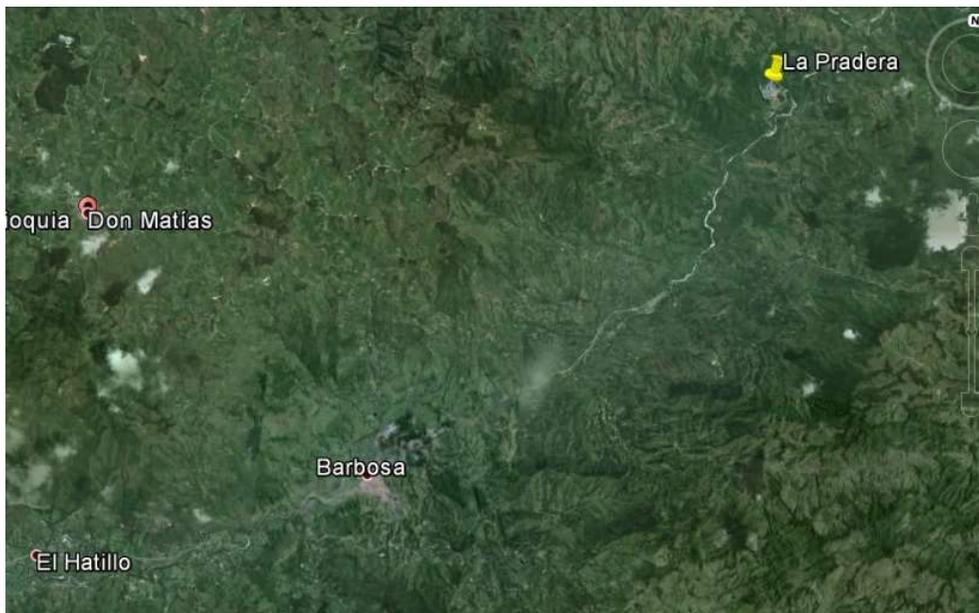


Figura 3.6 Relleno Sanitario La Pradera



3.2.2 Resultados

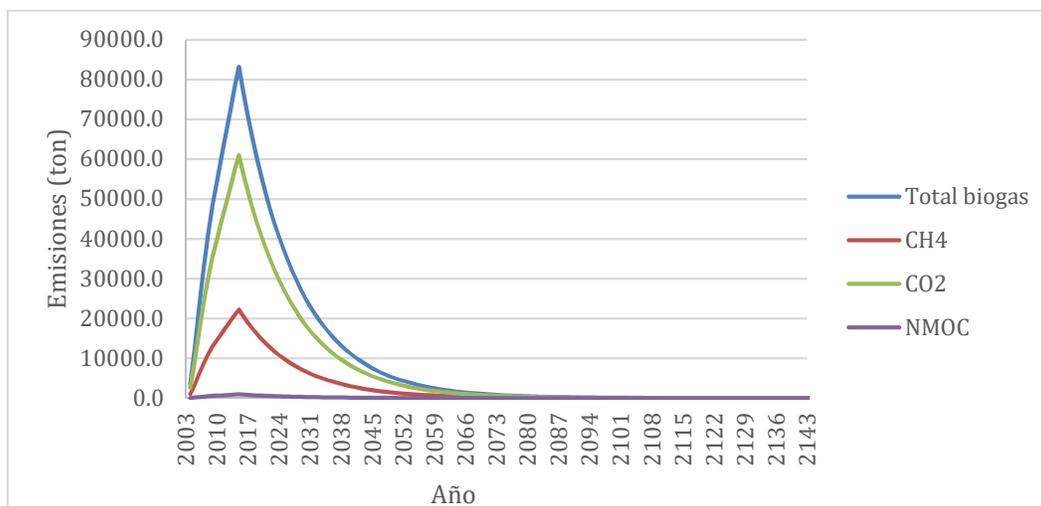
A partir de la información alimentada al modelo LandGem para el inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año 2013, se obtuvieron los resultados proyectados para el 2016 los cuales se evidencian en la siguiente tabla.

Tabla 3.4 Estimación contaminantes emitidos por la disposición de residuos en el relleno sanitario La Pradera, 2016

Sustancia	Modelo LangGem (Ton/año)
CH ₄	20,519.4
CO ₂	56,300.5
NMOC	882

En la Figura 3.7 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 3.7 Estimación de la emisión de CH₄, CO₂ y NMOC desde la apertura del relleno sanitario La Pradera



3.3 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 las estimaciones, a través de factores de emisión, de las emisiones evaporativas de las industrias seleccionadas para este inventario.

3.3.1 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 CO₂. 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.

De esta forma, se obtiene para el año 2016 las emisiones de VOC provenientes de la industria de bebidas destiladas. Es importante anotar que, en el año en mención, no se destiló alcoholes por lo que las cantidades relacionados a continuación son alcoholes importados en dicho periodo. En la Tabla 3.5 se reporta el resultado.

Tabla 3.5 Emisiones de VOC de la industria de bebidas destiladas, año 2016

Factor de emisión (kg/L alcohol)	Cantidad de alcohol (L/año)	Emisión VOC (ton/año)
0.5	10,653,316	1,598

3.3.2 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. En la Tabla 3.6 se presentan la producción para el año 2016 de estos materiales, su respectivo factor de emisión y a su vez su emisión.

Tabla 3.6. Factores de emisión y resultados para la producción de fibras sintéticas en el Valle de Aburrá, año 2016

Tipo de fibra	FE VOC (kg/Mg de producto)*	Producción (Ton/año)	Emisión VOC (Ton/año)
Poliéster			
Grano	0.6	16,589	9.95
Hilo	0.05	9,924	5.95
Nylon 6			
Hilo	0.45	16,625	65.34
Total		43,138	81.24

*Fuente: US EPA, AP 42

3.3.3 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, en la Tabla 3.7, se presentan los factores de emisión utilizados y las emisiones de VOC obtenidos para este proceso.

Tabla 3.7. Factores de emisión y resultados para la fabricación de papas fritas y pasabocas, año 2016

Fuente	FE (kg VOC/Mg de producto terminado)	Producción (Ton/año)	Emisión VOC (Ton/año)
Papas fritas	0.009	2,339	0.02
Otros pasabocas	0.043	8,143	0.35
Total			0.37

3.3.4 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 empacado.

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 3.8 se tabulan los factores de emisión de compuestos orgánicos volátiles para el recubrimiento de rollos metálicos y latas y en la Tabla 3.9, las emisiones de VOC obtenidos para este proceso.

Tabla 3.8. Factores de emisión para el recubrimiento de rollos metálicos y latas

Fuente	FE (kg VOC/h)
Recubrimiento de rollos metálicos	
Base solvente	
Sin control	303
Con control	30
Base agua	50
Recubrimiento de latas	
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 3.9. Emisión VOC por recubrimiento de rollos metálicos y latas, año 2016

Fuente	Tiempo de operación línea de recubrimiento (h/mes)	Emisión VOC (Ton/año)
Rollos metálicos (lámina de hojalata y lámina cromada)	222	79.9
Latas de tres piezas	288	176.3
Latas de dos piezas	96	44.9
Total		301.1

3.3.5 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 3.10 se presentan los resultados de emisiones de VOC provenientes de este proceso a partir del factor de emisión y la cantidad de café procesado.

Tabla 3.10 Emisiones de VOC provenientes del tostado de café, año 2016

Factor de emisión (kg/Ton de café verde)	Cantidad de café verde procesado (Ton/año)	Emisión VOC (ton/año)
0.021	26,333	0.6

3.3.6 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; así mismo, en la Tabla 3.11 se presentan los resultados de emisiones de VOC provenientes de las industrias del Valle de Aburrá que realizan esta actividad productiva.

Tabla 3.11 Emisiones de VOC por la fabricación de pinturas y barnices, año 2016

Producto	FE (kg VOC/Ton producto)	Producción (Ton/año)	Emisión VOC (Ton/año)
Pintura	15	5,726	86
Barniz alquídico	80	526	42
Total			128

3.3.7 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.

En la Tabla 3.12 se reporta el factor de emisión obtenido de EMEP/CORINAIR en la guía *Emissions Inventory Guidebook*, la producción de cerveza y el resultado de emisiones de VOC provenientes de esta actividad productiva.

Tabla 3.12 Emisiones de VOC de la industria cervecera, año 2016

Factor de emisión (kg/L cerveza producida)	Producción cerveza (Ton/año)	Emisión VOC (ton/año)
0.00035	252,410,140*	88

*Como no se logró obtener el valor de la producción de cerveza para el año 2016, se toma el dato del inventario anterior.

3.3.8 Resultados de emisiones evaporativas en la industria

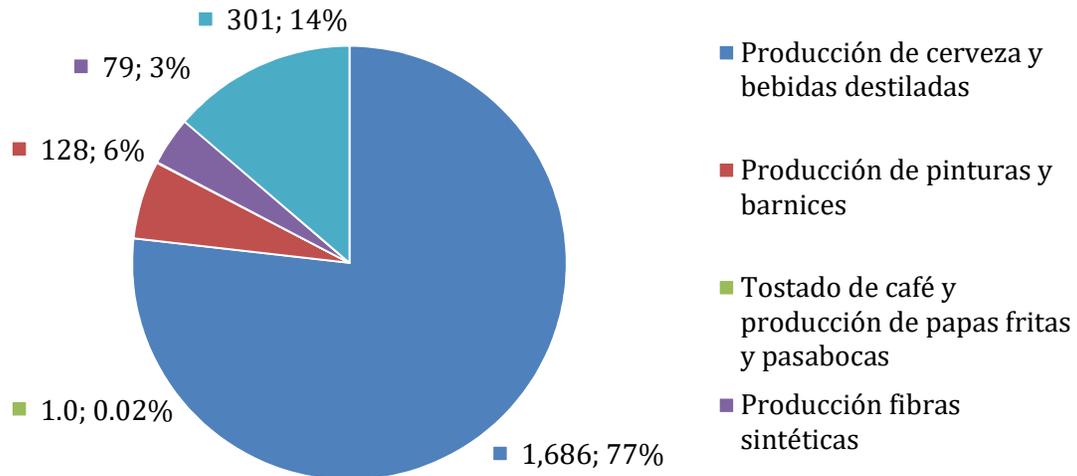
A continuación, en la Tabla 3.13 se presenta un resumen de las emisiones evaporativas industriales de VOC.

Tabla 3.13 Emisiones evaporativas industriales VOC, año 2016

Proceso	Número de empresas	Emisión VOC (ton/año)
Producción de bebidas destiladas	1	1,598
Tostado de café	1	0.6
Producción de pinturas y barnices	3	128
Producción de cerveza	1	88
Producción de fibras sintéticas	2	79
Fabricación de papas fritas y pasabocas	1	0.37
Recubrimiento de rollos metálicos y latas	2	301
Total		2,195

Las empresas seleccionadas en el desarrollo del presente inventario emitieron un total de 2,195 toneladas de VOC en el año 2016. Como se observa en la Figura 3.8, las emisiones evaporativas industriales asociadas a la producción de bebidas destiladas y cerveza son las que se generan en mayor cantidad en el Valle de Aburrá (77% del total), mientras que el recubrimiento de rollos metálicos y latas aporta aproximadamente el 14% de este tipo de emisiones.

Figura 3.8 Distribución de emisiones de VOC causadas por emisiones evaporativas industriales



3.4 TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE

A continuación, se evalúan las pérdidas por evaporación de gasolina, diésel y etanol (esta sustancia se mezcla con la gasolina para oxigenarla) durante el almacenamiento en tanques ubicados en el Valle de Aburrá pertenecientes a distribuidores mayoristas. La cuantificación de estas emisiones resulta muy importante, teniendo en cuenta que la reducción de evaporación de combustibles además de reducir la emisión de contaminantes al aire presenta un alto grado de retorno económico.

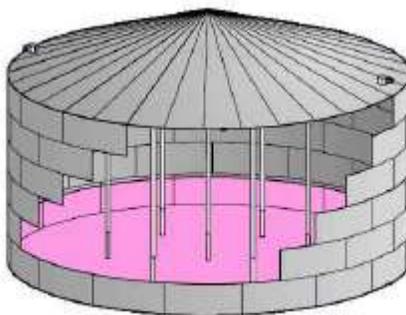
Las pérdidas de combustible por evaporación dependen del tipo de almacenamiento (son mínimas en tanques subterráneos), el combustible (son mayores para la gasolina debido a que es más volátil) y las prácticas para prevenir la evaporación. El calor del sol sobre los tanques hace que el combustible se volatilice, entre mayor es el cambio de temperatura del combustible más grande es el potencial de evaporación y el riesgo de contaminación por la condensación del vapor.

3.4.1 Tipos de Tanques de Almacenamiento

Los tres tipos de tanques de uso más común para el almacenamiento de combustibles son:

- Tanques de Techo Fijo: Consiste en un cilindro vertical cubierto con un techo que no se mueve el cual puede tener forma de cono, domo o ser plano. En la Figura 3.9 se muestra un tanque de techo fijo típico.

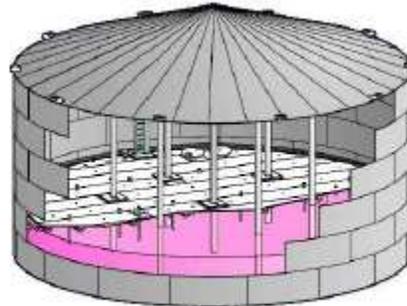
Figura 3.9. Tanque de techo fijo



Fuente: USEPA, AP-42 - Organic liquid storage

- Tanques de techo interno flotante: Consiste en un cilindro vertical cubierto con un techo fijo y una cubierta que flota sobre la superficie del líquido, como se muestra en la Figura 3.10.

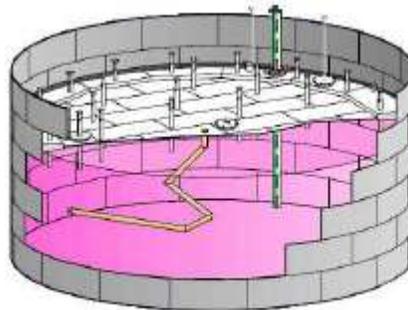
Figura 3.10. Tanque de techo interno flotante



Fuente: USEPA, AP-42 - Organic liquid storage

- Tanques de techo externo flotante: Consiste en un cilindro vertical y un techo flotante que sube y baja con el nivel del líquido (no tiene techo estacionario), como se muestra en la Figura 3.11.

Figura 3.11. Tanque de techo externo flotante



Fuente: USEPA, AP-42 - Organic liquid storage

Para estimar las emisiones de líquidos orgánicos en tanques de almacenamiento se usa el programa TANKS 4.0, desarrollado por la Oficina de Estándares y Planificación de Calidad del Aire de la US EPA. Este programa necesita información acerca del tanque (dimensiones, construcción, condiciones de la pintura), acerca del líquido almacenado (componentes químicos, temperatura del líquido) y acerca de la localización del tanque (ciudad, temperatura ambiente, presión atmosférica, velocidad del viento, entre otros).

A continuación, se tabulan los parámetros de entrada del modelo TANKS 4.0 para calcular las pérdidas evaporativas en tanques de almacenamiento de combustibles.

Tanques Verticales de Techo Fijo:

1. *Dimensiones*

Altura del cilindro (ft)

Diámetro del cilindro (ft)

Altura máxima del líquido (ft)

Altura promedio del líquido (ft)

Volumen de trabajo (gal)

Número de veces que se llena el tanque al año (adimensional)

Rendimiento neto (gal/año)

2. *Características del revestimiento*

Color

Condiciones (buena/mala)

3. *Características del techo*

Color

Tipo: Cono (altura y pendiente)

Domo (altura y radio)

4. *Condiciones de presión*

Presión de vacío (psig)

Presión de vapor (psig)

Tanques de Techo Interno Flotante:

1. *Características del tanque*

Diámetro (ft)

Volumen del tanque (gal)

Número de veces que se llena el tanque al año (adimensional)

Rendimiento neto (gal/año)

Número de columnas que soportan el techo flotante

Diámetro efectivo de la columna (in)

Condiciones internas del revestimiento (óxido liviano, óxido denso, cemento)

Color del revestimiento

Condiciones externas del revestimiento (buena/mala)

Color del revestimiento del techo

Condiciones del revestimiento del techo

2. *Sistemas de sellamiento*

3. *Características de la cubierta*

Tipo de cubierta: Soldada (Accesorios de borde: típica/detallada)

Atornillada (Accesorios de borde: típica/detallada)

(Construcción: lámina/papel)

(Longitud de la costura, ft)

Tanques de Techo Externo Flotante:

1. *Características del tanque*

Diámetro (ft)

Volumen del tanque (gal)

Número de veces que se llena el tanque al año (adimensional)

Rendimiento neto (gal/año)

Condiciones internas del revestimiento (óxido liviano, óxido denso, cemento)

Color de la pintura

Condiciones de la pintura (buena/mala)

2. *Características del techo*

Tipo de techo (flotador/doble piso)

Montaje de techo (típica/detallada)

3. *Construcción del tanque*

Construcción del tanque (soldado/remachado)

3.4.2 Recolección de datos

Los distribuidores mayoristas en el Valle de Aburrá son cinco: Chevron Petroleum Company, Comercializadora Proxon S.A., ExxonMobil de Colombia S.A., Organización Terpel S.A. y Zeuss Petroleum S.A. No obstante, los tanques de almacenamiento de Chevron Petroleum Company son operados por ExxonMobil de Colombia S.A y los tanques de Comercializadora Proxon S.A. están localizados en Urabá, por lo que fue necesario consultar solo a tres mayoristas sobre el

tipo, condiciones y sustancias almacenadas en los tanques (ExxonMobil de Colombia S.A., Organización Terpel S.A. y Zeuss Petroleum S.A.)

3.4.3 Resultados de emisiones evaporativas en tanques de almacenamiento de combustibles

En la Tabla 3.14 se muestran los resultados de emisiones de compuestos orgánicos volátiles en tanques de almacenamiento de combustibles como gasolina de motor, gasolina extra, diésel y etanol (el biodiésel no se tiene en cuenta ya que sus propiedades físicas y químicas no se encuentran disponibles en el programa TANKS 4.0) mostrando, a su vez, la capacidad acumulada según el tipo de tanque y combustible almacenado.

Tabla 3.14. Emisión de VOC en tanques de almacenamiento de combustible, año 2016

Combustible Almacenado	Tipo de tanque	Número de Tanques	Capacidad Acumulada (gal)	VOC (ton/año)
Gasolina motor	Techo fijo	1	350,054	45.01
	Techo interno flotante	6	3,045,153	8.45
Gasolina extra	Techo fijo	1	172,011	13.32
	Techo interno flotante	3	374,114	2.18
Diésel	Techo fijo	4	1,171,480	0.38
	Techo interno flotante	2	1,089,780	0.25
Etanol	Techo fijo	2	266,262	3.60
Total		19	6,468,855	73.19

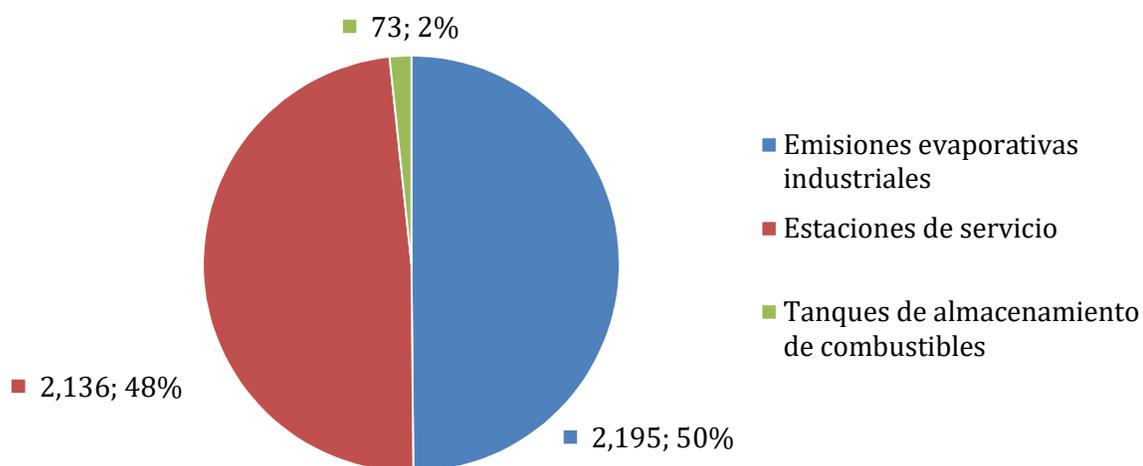
3.5 RESULTADOS DE EMISIONES DE FUENTES DE ÁREA

Los resultados finales de emisiones de VOC producidas por las fuentes de área en el Valle de Aburrá se presentan en la Tabla 3.15. Igualmente, la Figura 3.12 muestra la distribución de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles de acuerdo al tipo de fuente de área.

Tabla 3.15 Emisiones fuentes de área, año 2016

Fuentes de Área	VOC (ton/año)
Emisiones evaporativas industriales	2,195
Estaciones de servicio	2,136
Tanques de almacenamiento de combustibles	73
Total	4,404

Figura 3.12 Distribución de emisiones de VOC por fuente de área, año 2016



Se observa entonces que la mayoría de las emisiones de VOC para las fuentes de área provienen de las industrias (50%), las estaciones de servicio por su parte, contribuyen con el 48% y finalmente, los tanques de almacenamiento de combustibles aportan el 2% restante.

4 CONCLUSIONES

FUENTES MÓVILES

De acuerdo a los registros de las Secretarías de Tránsito y Transporte del Valle de Aburrá, en el año 2016 el parque automotor de la región lo conformaban aproximadamente 1,301,291 vehículos, de los cuales el 56% son motocicletas de 2 y 4 tiempos y el 36% automóviles, siendo las categorías principales en cuanto a cantidad de vehículos.

La demanda energética y las emisiones de contaminantes criterio, así como de gases de efecto invernadero generadas por el parque automotor del Valle de Aburrá año base 2016, 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 (2015) adicionando las siguientes: Buses servicio especial y Autos servicio especial.

Los factores de emisión utilizados en la presente actualización son los del modelo IVE (International Vehicle Emissions).

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.

Son los automóviles la categoría que lidera la demanda energética del parque automotor del Valle de Aburrá de acuerdo a los resultados del modelo LEAP, puesto que representa una gran parte del parque automotor (36%), luego la siguen las categorías de los camiones, las motos de 4T y los buses de servicio especial.

En cuanto a las emisiones de contaminantes criterio se obtuvo un total de 169,512 Ton/año de CO, 15,363 Ton/año de NO_x, 372 Ton/año de SO_x, 14,014 Ton/año de VOC y 1,534 Ton/año de PM_{2.5}. De estos, es la categoría camiones la responsable por la mayoría de emisiones de CO, NO_x y PM_{2.5}; mientras que la mayor parte de las emisiones de VOC son aportadas por las motos 4T y

las emisiones de SO_x son aportadas por los automóviles. Se debe tener en cuenta también al aporte de las volquetas a las emisiones de PM_{2.5}.

Los mayores aportes que hacen a las emisiones de CO, NO_x y PM_{2.5} las volquetas y los camiones 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.

Los resultados de emisiones por tipo de combustible mostraron que la gasolina es el principal responsable de las emisiones de CO, SO_x y VOC, el diésel es el principal aportante de NO_x y PM_{2.5} Y el GNV aporta a las emisiones de CO y en menor medida a los NO_x.

En comparación con el inventario año base 2015 se observa en cuanto a las emisiones de contaminante criterio un incremento en las emisiones de 16 % de CO, 7% de NO_x, 9% de SO_x, 22% de VOC y del 2% de PM_{2.5}, esto debido al incremento del parque automotor total del 1% y el incremento en los kilómetros recorridos anuales.

Finalmente se encontró un aporte total del sector transporte de 3,216,341 Ton/año de CO₂, 43,611 Ton/año de CH₄ y 88 Ton/año de N₂O. La mayor parte de estos gases de efecto invernadero es producida por los autos y camiones.

FUENTES DE ÁREA

Se calcularon las emisiones de VOC provenientes de las estaciones de servicio de combustible ubicadas en los diferentes municipios del Valle de Aburrá obteniendo un total de 2,136 ton/año donde, para el caso de las estaciones de gasolina, el municipio que presenta las mayores emisiones de VOC es Medellín, seguido por Bello y Envigado; mientras que las emisiones provenientes de las estaciones de combustible diésel son dominadas también por Medellín, seguido por Itagüí y Girardota.

Las emisiones evaporativas provenientes de procesos industriales de empresas seleccionadas en el desarrollo del presente inventario emitieron un total de 2,195 toneladas de VOC en el año 2016 donde las emisiones asociadas a la producción de bebidas destiladas y cerveza son las que se generan en mayor cantidad en el Valle de Aburrá (77% del total), mientras que el recubrimiento de rollos metálicos y latas aporta aproximadamente el 14% de este tipo de emisiones.

Se calcula las emisiones de compuestos orgánicos volátiles en tanques de almacenamiento de combustibles como gasolina de motor, gasolina extra, diésel y etanol obteniendo un total de

73.19 ton/año donde la mayoría de las emisiones provienen del almacenamiento de gasolina motor en tanques tipo techo fijo.

Las emisiones de VOC producidas por las fuentes de área (emisiones evaporativas industriales, estaciones de servicio y tanques de almacenamiento) en el Valle de Aburrá equivalen a 4,404 ton/año donde la mayoría provienen de las industrias (50%) seguidas de las estaciones de servicio (48%) y los tanques de almacenamiento de combustibles (2%).

5 BIBLIOGRAFÍA

AMVA-UPB. (2017). *Inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá, año base 2015*. Convenio 335 de 2016. Medellín.

ENVIRON International Corporation. (2015). *Comprehensive Air Quality Model With Extensions Version 6.20, Users Guide*. EE.UU.

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.

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

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

DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS - VALLE DE ABURRÁ								FACTORES DE EMISION CORREGIDOS						
								g/km						
Description	Fuel	Weight	Air/Fuel Control	Exhaust	Evaporative	Age	Index	VOC	CO	NO _x	PM	NH ₃	N ₂ O	CH ₄
Bus, Camión: Pesado, Gasolina														
Truck/Bus	Petrol	Heavy	Carburetor	None	PCV	<79K km	834	9,088	92,309	5,173	0,032	0,028	0,005	1,079
Truck/Bus	Petrol	Heavy	FI	3-Way	PCV	<79K km	906	0,375	7,878	0,300	0,032	0,028	0,077	0,074
Truck/Bus	Petrol	Heavy	FI	EuroII	PCV	<79K km	933	5,344	8,878	4,934	0,020	0,028	0,077	1,079
Moto 2T: Liviana, Gasolina														
Sml Engine	Petrol	Lt	2-Cycle	None	None	0-25K	1170	7,998	17,991	0,023	0,180	0,100	0,000	1,047
Moto 4T: Liviana, Gasolina														
Sml Engine	Petrol	Lt	4-Cycle, Carb	None	None	0-25K	1206	1,987	9,799	0,143	0,070	0,039	0,000	0,260
Sml Engine	Petrol	Lt	4-Cycle, Carb	High Tech	None	0-25K	1224	0,764	3,505	0,102	0,050	0,028	0,000	0,100
Moto 4T: Mediana, Gasolina														
Sml Engine	Petrol	Med	4-Cycle, Carb	None	None	0-25K	1209	2,483	12,249	0,179	0,088	0,049	0,000	0,325
Sml Engine	Petrol	Med	4-Cycle, Carb	Catalyst	None	0-25K	1236	0,716	2,874	0,064	0,025	0,014	0,000	0,094
Sml Engine	Petrol	Med	4-Cycle, FI	Catalyst	PCV	0-25K	1245	0,463*	1,529*	0,086*	0,013	0,007	0,000	0,094
Moto 4T: Pesada, Gasolina														
Sml Engine	Petrol	Hvy	4-Cycle, Carb	High Tech	None	0-25K	1230	1,910	8,763	0,255	0,125	0,069	0,000	0,250
Auto, Taxi: Liviano, Diesel														
Auto/Sml Truck	Diesel	Light	Pre-Chamber Inject.	None	None	<79K km	738	0,864	1,892	0,976	0,060	0,004	0,000	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Light	Pre-Chamber Inject.	Improved	None	<79K km	747	0,258	0,590	0,879	0,060	0,004	0,000	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Light	Direct Injection	EGR+Improv	None	<79K km	756	0,206	0,472	0,703	0,060	0,004	0,000	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Light	FI	EuroII	None	<79K km	792	0,042	0,435	0,733	0,052	0,005	0,000	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Light	FI	EuroIV	None	<79K km	810	0,043	0,471	0,539	0,062	0,005	0,005	0,000
Auto, Taxi: Mediano, Diesel														
Auto/Sml Truck	Diesel	Medium	Pre-Chamber Inject.	None	None	<79K km	741	0,864	1,892	0,976	0,060	0,004	0,001	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Medium	Pre-Chamber Inject.	Improved	None	<79K km	750	0,275	0,633	0,794	0,060	0,004	0,001	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Medium	Direct Injection	EGR+Improv	None	<79K km	759	0,220	0,507	0,635	0,060	0,004	0,001	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Medium	FI	EuroII	None	<79K km	795	0,042	0,435	0,733	0,052	0,005	0,001	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Medium	FI	EuroIV	None	<79K km	813	0,043	0,471	0,539	0,062	0,005	0,015	0,000

DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS - VALLE DE ABURRÁ								FACTORES DE EMISION CORREGIDOS						
								g/km						
Description	Fuel	Weight	Air/Fuel Control	Exhaust	Evaporative	Age	Index	VOC	CO	NO _x	PM	NH ₃	N ₂ O	CH ₄
Auto, Taxi: Pesado, Diesel														
Auto/Sml Truck	Diesel	Heavy	Pre-Chamber Inject.	None	None	<79K km	744	0,864	1,892	0,976	0,061	0,004	0,002	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Heavy	Pre-Chamber Inject.	Improved	None	<79K km	753	0,275	0,633	0,794	0,061	0,004	0,002	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Heavy	Direct Injection	EGR+Improv	None	<79K km	762	0,220	0,507	0,635	0,061	0,004	0,002	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Heavy	FI	EuroII	None	<79K km	798	0,042	0,435	0,733	0,054	0,005	0,002	0,000
Auto/Sml Truck	Diesel	Heavy	FI	EuroIV	None	<79K km	816	0,043	0,471	0,539	0,064	0,005	0,026	0,000
Bus, Camión: Liviano, Diesel														
Truck/Bus	Diesel	Light	Pre-Chamber Inject.	None	None	<79K km	1071	1,893	10,972	7,827	0,100	0,017	0,001	0,000
Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	Improved	None	<79K km	1080	0,451	1,340	5,723	0,080	0,017	0,001	0,000
Truck/Bus	Diesel	Light	Direct Injection	EGR+Improv	None	<79K km	1089	0,378	1,340	1,873	0,080	0,017	0,001	0,000
Truck/Bus	Diesel	Light	FI	EuroII	None	<79K km	1125	0,387	1,427	3,434	0,065	0,013	0,001	0,000
Truck/Bus	Diesel	Light	FI	EuroIV	None	<79K km	1143	0,018	0,136	1,624	0,014	0,013	0,014	0,000
Bus, Camión: Mediano, Diesel														
Truck/Bus	Diesel	Medium	Pre-Chamber Inject.	None	None	<79K km	1074	2,793	16,160	11,509	0,120	0,017	0,003	0,000
Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	Improved	None	<79K km	1083	0,684	2,899	10,474	0,096	0,017	0,003	0,000
Truck/Bus	Diesel	Medium	Direct Injection	EGR+Improv	None	<79K km	1092	0,709	2,899	3,341	0,096	0,017	0,003	0,000
Truck/Bus	Diesel	Medium	FI	EuroII	None	<79K km	1128	0,571	2,101	5,050	0,077	0,013	0,003	0,000
Truck/Bus	Diesel	Medium	FI	EuroIV	None	<79K km	1146	0,027	0,201	2,388	0,017	0,013	0,045	0,000
Bus, Camión: Pesado, Diesel														
Truck/Bus	Diesel	Heavy	Pre-Chamber Inject.	None	None	<79K km	1077	4,304	24,999	17,908	0,144	0,017	0,005	0,000
Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	Improved	None	<79K km	1086	0,905	4,851	16,920	0,115	0,017	0,005	0,000
Truck/Bus	Diesel	Heavy	Direct Injection	EGR+Improv	None	<79K km	1095	0,793	4,851	5,244	0,115	0,017	0,005	0,000
Truck/Bus	Diesel	Heavy	FI	EuroII	None	<79K km	1131	0,879	3,251	7,858	0,093	0,013	0,005	0,000
Truck/Bus	Diesel	Heavy	FI	EuroIV	None	<79K km	1149	0,041	0,311	3,716	0,020	0,013	0,077	0,000

DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS - VALLE DE ABURRÁ								FACTORES DE EMISION CORREGIDOS						
Description	Fuel	Weight	Air/Fuel Control	Exhaust	Evaporative	Age	Index	g/km						
								VOC	CO	NO _x	PM	NH ₃	N ₂ O	CH ₄
Auto, Taxi: Liviano, GNV														
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Light	Carb/Mixer	None	PCV	<79K km	216	0,216	37,997	1,411	0,002	0,028	0,000	7,066
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Light	Carb/Mixer	3-Way	PCV	<79K km	243	0,008	3,667	0,639	0,002	0,064	0,005	0,299
Auto, Taxi: Mediano, GNV														
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Medium	Carb/Mixer	None	PCV	<79K km	219	0,216	38,277	1,411	0,002	0,028	0,001	7,066
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Medium	Carb/Mixer	3-Way	PCV	<79K km	246	0,027	12,271	1,595	0,002	0,064	0,015	0,964
Auto, Taxi: Pesado, GNV														
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Heavy	Carb/Mixer	None	PCV	<79K km	222	0,317	42,535	2,452	0,002	0,028	0,002	10,359
Auto/Sml Truck	NG Retrofit	Heavy	Carb/Mixer	3-Way	PCV	<79K km	249	0,032	14,998	1,949	0,002	0,064	0,026	1,178
Bus, Camión: Liviano, GNV														
Truck/Bus	Natural Gas	Light	Carb/Mixer	None	PCV	<79K km	963	0,351	117,017	2,594	0,002	0,028	0,001	8,638
Truck/Bus	Natural Gas	Light	FI	3-Way/EGR	PCV	<79K km	990	0,016	4,023	0,149	0,002	0,028	0,014	0,698
Bus, Camión: Mediano, GNV														
Truck/Bus	Natural Gas	Medium	Carb/Mixer	None	PCV	<79K km	966	0,474	158,111	3,486	0,002	0,028	0,003	11,667
Truck/Bus	Natural Gas	Medium	FI	3-Way/EGR	PCV	<79K km	993	0,019	4,671	0,173	0,002	0,028	0,045	0,810
Bus, Camión: Pesado, GNV														
Truck/Bus	Natural Gas	Heavy	FI	3-Way/EGR	PCV	<79K km	996	0,023	5,515	0,204	0,002	0,028	0,077	0,956

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

VOC: compuestos orgánicos volátiles

CO: monoxide de carbon

NO_x: óxidos de nitrógeno

PM: material particulado menor de 2,5 µm.

NH₃: amoniaco

N₂O: óxido nitroso

CH₄: metano