

Un proyecto de:



**SIMULACIONES
ESPECIALES
TAREA 1:
ACTUALIZACIÓN
DEL
INVENTARIO DE
EMISIONES
ATMOSFÉRICAS**

Ejecuta:



**Universidad
Pontificia
Bolivariana**

Convenio de Asociación
No. 543 de 2008
Acta No 3

Informe Final. Agosto de 2010

CRÉDITOS

CONVENIO 543 DE 2008 EVALUAR LOS NIVELES DE CONTAMINACIÓN EN LAS ZONAS URBANAS DEL VALLE DE ABURRÁ

UN PROYECTO DE:
ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ

Mauricio Facio Lince Prada. Arq.
Director

Alejandro González Valencia. I.A. MSc.
Subdirector Ambiental

EJECUTA:
Universidad Pontificia Bolivariana

EQUIPO DE TRABAJO:

María Victoria Toro Gómez I.Q. MSc. PhD.
Josshual Serna Patiño. I.C. MSc.
Néstor Waldyd Álvarez Villa. I.E.
Carlos Gabriel Sánchez Toro I.E.
Frank Eddilson Ospina Giraldo I.Q.
Diana Marcela Quiceno Rendón I.Q.
Juan David Zapata Carmona I.M

EQUIPO ASESOR:
Olga Cristina Duque Gallego I.Q. Esp.
Edwin Fernando Bedoya Arias I.Q.

EQUIPO AMVA
Gloria Estela Ramírez Casas I.Q. Msc.
Claudia Liliana Mendoza Salas I.S.
Ana Zuleima Orrego Guarín I.Q. Esp.
Laura Catalina Gil Salazar I.A. Esp.
Gustavo Londoño Gaviria I.Q. MSc.
Raúl Alexander Cardona Pareja I.S. Esp.

INTERVENTORÍA
Multivac Consultores

Agosto de 2010, Medellín

INDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	15
ANTECEDENTES	16
1. OBJETIVOS	17
1.1 GENERAL.....	17
1.2 ESPECÍFICOS.....	17
2. ALCANCES	18
3. PRODUCTOS	19
4. MARCO TEÓRICO	20
5. FUENTES MÓVILES	25
5.1 ORIGEN DE LAS EMISIONES EN FUENTES MÓVILES.....	25
5.1.1. <i>Emisiones por el Tubo de Escape</i>	25
5.1.2. <i>Emisiones Evaporativas</i>	27
5.1.3. <i>Emisiones por el Desgaste de Frenos y Neumáticos</i>	27
5.2. ESTIMACIÓN DE EMISIONES EN FUENTES MÓVILES.....	28
5.3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	29
5.3.1. <i>Características de la Flota Vehicular</i>	29
5.3.2. <i>Medición de la Intensidad del Tráfico Horario</i>	31
5.3.3. <i>Desgaste de Frenos y Neumáticos</i>	32
5.4. RESULTADOS	33
5.4.1. <i>Distribución de la Flota Vehicular</i>	33
5.4.2. <i>Intensidad del tráfico</i>	38
5.4.4. <i>Emisiones por el desgaste de frenos y neumáticos</i>	41
5.4.5. <i>Emisiones Vehiculares</i>	42
6. FUENTES FIJAS	45
6.1. ORIGEN DE LAS EMISIONES EN FUENTES FIJAS	45
6.2. EQUIPOS USADOS EN LA INDUSTRIA.....	46

6.2.1.	<i>Calderas.....</i>	46
6.2.2.	<i>Hornos.....</i>	48
6.2.3.	<i>Otros Equipos.....</i>	51
6.3.	TIPOS DE COMBUSTIBLE USADOS EN LA INDUSTRIA	52
6.3.1.	<i>Carbón.....</i>	53
6.3.2.	<i>Aceites Combustibles (Fuel Oil).....</i>	55
6.3.3.	<i>Gas Natural.....</i>	56
6.3.4.	<i>Otros Combustibles.....</i>	57
6.4.	RECOLECCIÓN DE DATOS	57
6.4.1	<i>Información Referente a las Fuentes Fijas de Emisión.....</i>	57
6.4.2	<i>Información Referente a Muestreos Isocinéticos.....</i>	58
6.5.	METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES EN FUENTES FIJAS	59
6.5.1	<i>Actualización de Factores de Emisión para la Especiación de los Compuestos Orgánicos Volátiles y Material Particulado.....</i>	60
6.5.2.	<i>Actividades Industriales y Contaminantes.....</i>	62
6.6.	RESULTADOS DE EMISIONES EN FUENTES FIJAS	65
6.6.1.	<i>Emisiones por Sectores Productivos.....</i>	65
6.6.2.	<i>Emisiones por Municipio de SO_x, NO_x y PM10.....</i>	67
6.6.3.	<i>Emisiones por Tipo de Combustible.....</i>	70
6.7.	ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO DE ESTÁNDARES DE EMISIÓN (RESOLUCIÓN 909 DE 2008)	73
6.8.	ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRES, MUESTREOS ISOCINÉTICOS Y FACTORES DE EMISIÓN	76
7.	FUENTES DE ÁREA	80
7.1.	EMISIONES EVAPORATIVAS EN PROCESOS INDUSTRIALES.....	80
7.1.1.	<i>Descripción de los Procesos Productivos.....</i>	80
7.1.2.	<i>Recolección de Datos.....</i>	91
7.1.3.	<i>Resultados de Emisiones Evaporativas en la Industria.....</i>	92
7.2.	ESTACIONES DE SERVICIO DE COMBUSTIBLES	93
7.2.1.	<i>Metodología para la Estimación de Emisiones en Estaciones de Servicio.....</i>	96
7.2.2.	<i>Especiación de las Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles.....</i>	97

7.2.3.	<i>Recolección de Datos</i>	99
7.2.4.	<i>Resultados de Emisiones en Estaciones de Servicio de Combustible</i>	102
7.3.	TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES	104
7.3.1.	<i>Tipos de Tanques de Almacenamiento</i>	105
7.3.2.	<i>Recolección de Datos</i>	109
7.3.3.	<i>Resultados de Emisiones Evaporativas en Tanques de Almacenamiento de Combustibles</i>	110
7.4.	RELLENOS SANITARIOS	111
7.4.1.	<i>Relleno Sanitario Curva de Rodas</i>	113
7.4.2.	<i>Metodología de Cálculo para la Estimación de Emisiones en Rellenos Sanitarios</i>	116
7.4.3.	<i>Resultados de Emisiones en el Relleno Sanitario Curva de Rodas</i>	118
7.5.	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	121
7.5.1.	<i>Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) San Fernando</i>	122
7.5.2.	<i>Resultado de Emisiones en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Fernando</i>	123
7.6.	RESULTADO DE EMISIONES EN FUENTES DE ÁREA.....	125
8.	FUENTES BIOGÉNICAS.....	127
8.1.	FUENTES BIOGÉNICAS EN EL VALLE DE ABURRÁ.....	127
8.2.	RESULTADO DE EMISIONES EN FUENTES BIOGÉNICAS.....	128
9.	INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS.....	131
10.	CONCLUSIONES.....	134
11.	RECOMENDACIONES	137
	BIBLIOGRAFÍA	139

INDICE DE TABLAS

TABLA 5.1 – FACTORES DE EMISIÓN DE PM10 PARA EL DESGASTE DE FRENOS Y NEUMÁTICOS .	33
TABLA 5.2 - CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS EN EL VALLE DE ABURRA	34
TABLA 5.3 - CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS PEQUEÑOS SEGÚN SU CILINDRAJE	36
TABLA 5.4 - TOTAL DE VEHÍCULOS REGISTRADOS EN LAS SECRETARÍAS DE TRANSPORTES Y TRÁNSITO DEL VALLE DE ABURRÁ EN ESTADO ACTIVO	36
TABLA 5.5 - EMISIÓN DE CONTAMINANTES POR FUENTES MÓVILES, AÑO 2009.....	42
TABLA 5.6 - EMISIÓN DE CONTAMINANTES POR TIPO DE COMBUSTIBLE	43
TABLA 6.1 - CLASIFICACIÓN DEL CARBÓN	54
TABLA 6.2 - CALIDAD DEL CARBÓN EN ANTIOQUIA	54
TABLA 6.3 - CALIDAD DE ACEITES COMBUSTIBLES EN COLOMBIA	56
TABLA 6.4 - PROPIEDADES DEL GAS NATURAL.....	56
TABLA 6.5 - ACTIVIDADES PARA LAS QUE SE RECOPIARON FACTORES DE EMISIÓN.....	62
TABLA 6.6 - ESPECIES QUÍMICAS PRESENTES EN EL INVENTARIO	63
TABLA 6.7 - EMISIONES DE CONTAMINANTES POR FUENTES FIJAS, AÑO 2009	66
TABLA 6.8 - EMISIONES DE SOX, NOX Y PM10 POR MUNICIPIO DEBIDO A FUENTES FIJAS, AÑO 2009	68
TABLA 6.9 - CLASIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE EMISIÓN DE ACUERDO AL USO DE COMBUSTIBLES.....	70
TABLA 6.10 – CONSUMO DE COMBUSTIBLES Y CONSUMO ENERGÉTICO	71
TABLA 6.11 - DISTRIBUCIÓN DE EMISIONES DE ACUERDO AL USO DE COMBUSTIBLES	72
TABLA 6.12 - INDUSTRIAS EXISTENTES DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS TEXTILES, A CONDICIONES DE REFERENCIA (25 °C, 760 MM HG) CON OXIGENO DE REFERENCIA AL 11%.....	74
TABLA 6.13 - EQUIPOS DE COMBUSTIÓN EXTERNA EXISTENTES A CONDICIONES DE REFERENCIA (25 °C, 760 MM HG) CON OXIGENO DE REFERENCIA DEL 11%	74

TABLA 6.14 - INDUSTRIAS EXISTENTES DE FABRICACIÓN DE PRODUCTOS DE CERÁMICA REFRACTARIA, NO REFRACTARIA Y DE ARCILLA, A CONDICIONES DE REFERENCIA (25 °C, 760 MM HG) CON OXIGENO DE REFERENCIA DEL 11%	74
TABLA 6.15 - ACTIVIDADES INDUSTRIALES A CONDICIONES DE REFERENCIA (25°C, 760 MM HG) CON OXIGENO DE REFERENCIA DEL 11%.....	75
TABLA 6.16 - DISMINUCIÓN DE EMISIONES EN CASO DE QUE LAS FUENTES MUESTREADAS CUMPLIERAN LOS ESTÁNDARES ADMISIBLES.....	76
TABLA 7.1 - FACTORES DE EMISIÓN PARA LAS OPERACIONES DE TOSTADO DE CAFÉ	81
TABLA 7.2 - FACTORES DE EMISIÓN PARA LAS OPERACIONES DE FREÍDO DE PASABOCAS	82
TABLA. 7.3 - ESPECIACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES EMITIDOS EN LAS OPERACIONES DE PRODUCCIÓN DE CERVEZA.....	84
TABLA 7.4 - FACTORES DE EMISIÓN PARA EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PINTURA Y BARNICES.....	86
TABLA 7.5 - FACTORES DE EMISIÓN PARA EL RECUBRIMIENTO ROLLOS METÁLICOS Y LATAS ...	87
TABLA 7.6 - FACTORES DE EMISIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE PET	89
TABLA 7.7 - FACTORES DE EMISIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE FIBRAS SINTÉTICAS.....	90
TABLA 7.8 - CANTIDAD DE EMPRESAS SELECCIONADAS PARA LA ESTIMACIÓN DE EMISIONES EVAPORATIVAS	91
TABLA 7.9 – EMISIONES EVAPORATIVAS INDUSTRIALES, AÑO 2009	92
TABLA 7.10 - FACTORES DE EMISIÓN PARA ESTACIONES DE SERVICIO	97
TABLA 7.11 - ESPECIACIÓN DE VOC PROVENIENTES DE LA DISTRIBUCIÓN DE GASOLINA EN ESTACIONES DE SERVICIO.....	98
TABLA 7.12 - CONSUMO MENSUAL PROMEDIO DE COMBUSTIBLE POR ESTACIÓN DE SERVICIO EN LOS MUNICIPIOS DEL VALLE DE ABURRÁ EN EL AÑO 2009.....	101
TABLA 7.13 - EMISIÓN DE VOC EN ESTACIONES DE SERVICIO DISCRIMINADAS POR MUNICIPIO, AÑO 2009.....	102
TABLA 7.14 - CARACTERÍSTICAS DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES UBICADOS EN EL VALLE DE ABURRÁ	109

TABLA 7.15 - EMISIÓN DE VOC EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLE, AÑO 2009	110
TABLA 7.16 - CONSTITUYENTES TÍPICOS ENCONTRADOS EN LOS GASES DE UN RELLENO SANITARIO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	112
TABLA 7.17 - CANTIDAD DE RESIDUOS DEPOSITADOS EN EL RELLENO SANITARIO CURVA DE RODAS	115
TABLA 7.18 - PARÁMETROS DE ENTRADA PARA EL MODELO LANDGEM	118
TABLA 7.19 - CONTAMINANTES EMITIDOS EN EL AÑO 2009 POR LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS EN EL RELLENO SANITARIO CURVA DE RODAS	119
TABLA 7.20 - CONTAMINANTES CLASIFICADOS COMO HAP/VOC EMITIDOS EN EL AÑO 2009 POR LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS EN EL RELLENO SANITARIO CURVA DE RODAS	119
TABLA 7.21 - DENSIDAD Y COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS DE LA PTAR SAN FERNANDO	124
TABLA 7.22 - EMISIÓN DE CONTAMINANTES EN LA PTAR SAN FERNANDO	124
TABLA 7.23 - EMISIONES EN FUENTES DE ÁREA.....	125
TABLA 8.1 – ÁREA VEGETATIVA DEL VALLE DE ABURRÁ.....	128
TABLA 8.2 - EMISIONES BIOGÉNICAS EN EL VALLE DE ABURRÁ, AÑO 2009	128
TABLA 9.1 - EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN EL VALLE DE ABURRÁ, AÑO 2009	131

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 4.1 – DOMINIOS SELECCIONADOS PARA MODEMED	22
FIGURA 5.1 - DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL POR CATEGORÍAS VEHICULARES	34
FIGURA 5.2 - EDAD DEL PARQUE AUTOMOTOR	35
FIGURA 5.3 - DISTRIBUCIÓN DE VEHÍCULOS POR MUNICIPIO	37
FIGURA 5.4 - DISTRIBUCIÓN DE MOTOCICLETAS	37
FIGURA 5.5 - VARIACIÓN DEL TRÁFICO EN LA AVENIDA 33.....	38
FIGURA 5.6 - VARIACIÓN DEL TRÁFICO EN LA CALLE 10 Y ALEDAÑAS	39
FIGURA 5.7 - VARIACIÓN DEL TRÁFICO EN LA AVENIDA COLOMBIA (CALLE 50) Y ALEDAÑAS.....	39
FIGURA 5.8 - VARIACIÓN DEL TRÁFICO EN OTRAS CALLES PRINCIPALES	40
FIGURA 5.9 - TRÁFICO VEHICULAR A LO LARGO DEL DÍA POR CATEGORÍAS.....	41
FIGURA 5.10 - DISTRIBUCIÓN DE EMISIONES DE ACUERDO A LA CATEGORÍA VEHICULAR	43
FIGURA 5.11 - DISTRIBUCIÓN DE EMISIONES DE ACUERDO AL TIPO DE COMBUSTIBLE	43
FIGURA 6.1 - CALDERAS	47
FIGURA 6.2 - HORNO CÚPULA	48
FIGURA 6.3 - HORNO DE INDUCCIÓN.....	49
FIGURA 6.4 - HORNO REVERBERATORIO	50
FIGURA 6.5 - HORNOS PAMPA	50
FIGURA 6.6 - TRANSPORTE Y TRITURACIÓN.....	51
FIGURA 6.7 - SECTORES PRODUCTIVOS QUE INTEGRAN LA INDUSTRIA EN EL VALLE DE ABURRÁ	65
FIGURA 6.8 – DISTRIBUCIÓN DE EMISIONES RELATIVO AL SECTOR PRODUCTIVO.....	67
FIGURA 6.9 - CANTIDAD DE EMISIONES DE SOX, NOX Y PM10 POR MUNICIPIO	68
FIGURA 6.10 - DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE EMISIONES.....	69

FIGURA 6.11 - COMBUSTIBLES USADOS POR LAS FUENTES FIJAS.....	70
FIGURA 6.12 - USO DE COMBUSTIBLES DE ACUERDO AL TIPO EQUIPO	71
FIGURA 6.13 – BALANCE ENERGÉTICO EN LA FUENTES FIJAS LOCALIZADAS EN EL VALLE DE ABURRÁ	72
FIGURA 6.14 - APORTE DE CONTAMINANTES DE ACUERDO AL TIPO DE COMBUSTIBLE	73
FIGURA 6.15 - DISMINUCIÓN DE EMISIONES EN CASO DE QUE LAS FUENTES MUESTREADAS CUMPLIERAN LOS ESTÁNDARES ADMISIBLES.....	76
FIGURA 6.16 - CALDERAS A CARBÓN.....	77
FIGURA 6.17 - CALDERAS A FUEL OIL.....	77
FIGURA 7.1 - ESQUEMA GENERAL DEL PROCESO DE TOSTADO DE CAFÉ	81
FIGURA 7.2 - ESQUEMA GENERAL PARA LA FRITURA DE PASABOCAS	82
FIGURA 7.3 - ESQUEMA GENERAL PARA LA PRODUCCIÓN DE CERVEZA	84
FIGURA 7.4 - ESQUEMA GENERAL PARA LA PREPARACIÓN DE BEBIDAS DESTILADAS	85
FIGURA 7.5 - ESQUEMA GENERAL PARA LA PRODUCCIÓN DE PINTURA Y BARNIZ	85
FIGURA 7.6 - ESQUEMA GENERAL PARA PRODUCCIÓN DE PET	88
FIGURA 7.7 - DISTRIBUCIÓN DE EMISIONES DE VOC CAUSADAS POR EMISIONES EVAPORATIVAS INDUSTRIALES, AÑO 2009	93
FIGURA 7.8 - MÉTODOS PARA LLENADO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	94
FIGURA 7.9 - LLENADO DE TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	95
FIGURA 7.10 - LLENADO DEL TANQUE VEHICULAR.....	95
FIGURA 7.11 - DISTRIBUCIÓN DE GASOLINAS EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN POR PARTE DE MAYORISTAS, AÑO 2009.....	99
FIGURA 7.12 - DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES EN LOS MUNICIPIOS DEL VALLE DE ABURRÁ, AÑO 2009.....	101
FIGURA 7.13 - EMISIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES CAUSADAS POR LA DISTRIBUCIÓN DE GASOLINA Y DIESEL, AÑO 2009	103

FIGURA 7.14 - TANQUE DE TECHO FIJO	105
FIGURA 7.15 - TANQUE DE TECHO INTERNO FLOTANTE	106
FIGURA 7.16 - TANQUE DE TECHO EXTERNO FLOTANTE.....	106
FIGURA 7.17 - RELLENO SANITARIO DE CURVA DE RODAS	114
FIGURA 7.18 - COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DISPUESTOS EN EL RELLENO SANITARIO CURVA DE RODAS	116
FIGURA 7.19 - EMISIÓN DE CH ₄ , CO ₂ Y NMOC DESDE LA APERTURA DEL RELLENO SANITARIO CURVA DE RODAS	120
FIGURA 7.20 – UBICACIÓN DE LA PTAR SAN FERNANDO.....	123
FIGURA 7.21 - DISTRIBUCIÓN DE EMISIONES DE FUENTES DE ÁREA, AÑO 2009.....	125
FIGURA 8.1 - DISTRIBUCIÓN DE EMISIONES DE FUENTES BIOGÉNICAS, AÑO 2009.....	129
FIGURA 9.1 - DISTRIBUCIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS, AÑO 2009.....	131

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A – FACTORES DE EMISIÓN DEL MODELO IVE USADOS EN EL MODELO ETROME

ANEXO B – NIVEL DE ACTIVIDAD DEL PARQUE AUTOMOTOR DEL VALLE DE ABURRÁ

ANEXO C – ESPECIACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES PARA FUENTES FIJAS

ANEXO D – ESPECIACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PARA FUENTES FIJAS

ANEXO E – ESPECIACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO PARA FUENTES MÓVILES

ANEXO F – ESPECIACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES PARA EMISIONES
EVAPORATIVAS INDUSTRIALES

ANEXO G – ESPECIACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES PARA TANQUES DE
ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES

INTRODUCCIÓN

Este documento describe los métodos y resultados obtenidos para cumplir con los objetivos consignados en la Actividad 1: Simulaciones Especiales para el Diseño del Plan de Descontaminación del Aire, Tarea 1: Optimización del Inventario de Emisiones Atmosféricas del Acta No. 3 dentro del Convenio de Asociación 543 de 2008.

En la búsqueda de caracterizar y cuantificar las emisiones de contaminantes atmosféricas que se producen en una determinada zona de estudio, los inventarios de emisiones resultan ser una herramienta muy útil, pues permiten identificar los sectores relevantes por su mayor aporte de contaminantes al aire, información que puede ser utilizada para direccionar los esfuerzos en la reducción de la contaminación, por lo tanto el modelo de inventario de emisiones se convierte en una herramienta indispensable para la gestión de la calidad del aire.

En el presente capítulo se documentan los criterios e información base utilizada en la generación del modelo de inventario de emisiones, MODEMED, con año base 2009, concentrándose en optimizar las estimaciones realizadas en estudios anteriores (Convenio de Asociación No. 075 de 2008, No. 289 de 2006, entre otros) donde los principales avances se refieren a disponer de bases de datos más completas para fuentes fijas o industriales, actualización y ampliación de aforos de flujo vehicular para el submodelo de tráfico rodado y la estimación de nuevas fuentes de área como son las emisiones en estaciones de servicio de combustibles y emisiones evaporativas industriales localizadas en el Valle de Aburrá. Con todo lo anterior el MODEMED es la base de datos que podrá ser usada en el futuro para la gestión ambiental en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (el inventario de emisiones cubre un área de 60 x 60 km² con una resolución espacial de 1 x 1 km², cubriendo así tanto el área urbana como rural del Valle de Aburrá).

ANTECEDENTES

En el Valle de Aburrá se han realizado inventarios de emisiones aplicando las metodologías Bottom-up y Top-down desde el año 1998. Estos inventarios se han realizado haciendo estimaciones con factores de emisión.

Los estudios realizados por la Línea de Estudios Atmosféricos del Grupo de Investigaciones Ambientales (GIA) de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB) han estado enmarcados bajo convenios de asociación entre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá y la universidad en mención (en algunos casos los convenios asocian otras universidades o instituciones de la región); algunos de esos convenios son el 601 de 2005, el 289 de 2006 y el 075 de 2008.

Los pasos técnicos del desarrollo de inventarios de emisiones representan la continuidad del trabajo que requiere la actualización de ellos. En general, los primeros inventarios se caracterizan por tener información faltante y otras imperfecciones, pero la calidad de inventarios posteriores y actualizados mejora gradualmente.

La meta final es desarrollar inventarios de emisiones más precisos y que representen los datos más actuales de las emisiones de contaminantes atmosféricos y datos asociados de las fuentes, dentro de un área geográfica determinada en un intervalo de tiempo específico. Sin embargo, las limitaciones prácticas ameritan un enfoque continuo para alcanzar este objetivo. Con el tiempo, el desarrollo sistemático del inventario reducirá la incertidumbre y mejorará su calidad general.

Algunas aplicaciones del inventario deberán ser actualizadas cada año y requerirán información específica para el año en particular. Estas actualizaciones anuales servirán para realizar el seguimiento de las emisiones debido al crecimiento en la actividad generadora de emisiones, o su reducción debida a la instrumentación de diversas estrategias de control.

1. OBJETIVOS

1.1 GENERAL

Contribuir a disminuir la contaminación atmosférica en el valle de Aburrá, con acciones de planeación estratégica, suministro de información oportuna e investigación aplicada.

1.2 ESPECÍFICOS

- Optimizar el inventario de emisiones del Valle de Aburrá para las fuentes móviles, fuentes fijas y fuentes de área.
- Desarrollar el inventario de fuentes de área para compuestos orgánicos volátiles.

2. ALCANCES

- Inventario de fuentes móviles a partir de los datos del parque automotor del Valle de Aburrá, incluyendo el desgaste de frenos y neumáticos.
- Inventario de fuentes de área emitidas por las estaciones de servicio de combustibles, tanques de almacenamiento de combustible de distribuidores mayoristas, emisiones evaporativas industriales, emisión de gases de los rellenos sanitarios dentro de la ciudad, entre otros.

3. PRODUCTOS

- Modelo de inventario de emisiones para la jurisdicción del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, ajustado.

4. MARCO TEÓRICO

A propósito de los inventarios de emisiones, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México, D.F. afirma:

"El inventario de emisiones es un componente clave de todo programa de gestión de la calidad del aire. Antes de desarrollar estrategias para mejorar la calidad del aire, debe recopilarse información sobre las emisiones para determinar los tipos de fuentes de emisiones, cantidades de contaminantes emitidos, características temporales y espaciales de las fuentes, procesos y prácticas de control de emisiones que usan las fuentes en la región. El inventario de emisiones se usa para identificar fuentes que están sujetas a posibles medidas de control, para medir la efectividad de los programas de control y predecir futuros niveles de calidad del aire a través de modelización. Los datos de emisiones también se utilizan para evaluar la relación costo-efectividad de posibles estrategias de control de la contaminación¹".

Además de esto, los inventarios de emisiones juegan un papel muy importante ya que proporcionan información vital para los modelos pronóstico de la calidad del aire.

¹ SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones. Primera edición. México, D.F: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT). 2005. p. 55

Igualmente, como lo dice Lents² el uso del inventario de emisiones es el acercamiento más común para identificar las fuentes en lugares con problemas de contaminación del aire. Aun en casos donde una fuente o categoría de fuentes son responsables de gran parte del problema, las fuentes restantes no pueden ser ignoradas si se quiere mejorar la calidad del aire de la región. Hay cuestiones de equidad y de coherencia si solo un número limitado de fuentes son controladas. Esto no significa que la prioridad no deba ser controlar los mayores aportantes, pero argumenta que todos los aportantes deben contribuir a la solución de alguna manera.

Las fuentes de emisión son divididas generalmente en varias categorías:

-Móviles en ruta: Ésta categoría incluye todos los vehículos que operan en vías públicas como vehículos de pasajeros, buses, busetas y camiones.

-Móviles fuera de ruta: Todas las fuentes que son consideradas móviles pero normalmente no operan en las vías. Esta categoría incluye equipos de construcción, botes, lanchas, trenes, generadores eléctricos portátiles, equipos de agricultura y similares.

-Fuentes puntuales: Una fuente puntual es una fuente de emisión lo suficientemente grande para ser clasificada individualmente en una región. No hay una definición clara de que tamaño debe tener una fuente para ser clasificada como una fuente puntual. Sin embargo, un indicador usado comúnmente es el total de emisiones relacionado con su localización, por ejemplo una fuente puede ser clasificada como puntual si emite más de 1, 10, 100 o 250 ton/año.

-Fuentes de área: Es una fuente muy pequeña para ser considerada individualmente. En su lugar son consideradas en un grupo con características similares. Un ejemplo de este tipo de fuentes es la aplicación de pintura, que es tratada como fuente de área.

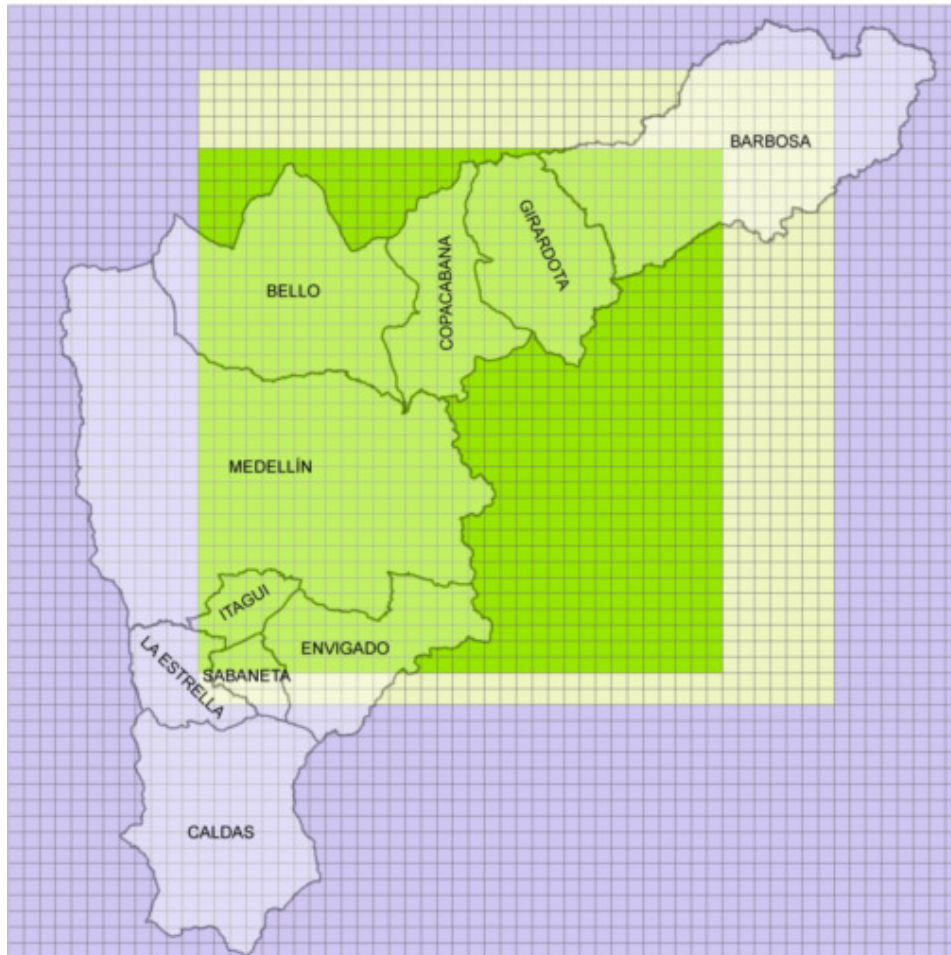
² AIR QUALITY MANAGEMENT: The framework - the inventory – estimating emissions from mobile sources. En línea. <<http://www.issrc.org/>> [citado en septiembre 5 de 2009]

-Fuentes biogénicas: Incluye todas las fuentes de emisión que resultan de actividades naturales. Puede incluir compuestos orgánicos volátiles de bosques, material particulado de quemas forestales y emisiones de volcanes.

Base de Datos Modelo de Inventario de Emisiones MODEMED

El Modelo de Inventario de Emisiones Atmosféricas MODEMED V.2, es una aplicación desarrollada en el lenguaje de programación PHP (<http://www.php.net>), y en la base de datos MySQL (<http://dev.mysql.com/downloads/>). La base de datos almacena la información relacionada con el inventario de emisiones, permitiendo generar mapas de emisiones y reportes en formato gráfico (barras, tortas) y en formato tabular. Estos productos son generados individualmente para cada tipo de fuente de emisión. Adicionalmente, se prevé crear reportes y mapas de emisiones para la sumatoria de las emisiones y generar un archivo de emisiones de entrada para el Modelo Químico de Pronóstico CAMx.

Figura 4.1 – Dominios seleccionados para MODEMED



Dominio fuentes fijas
 Dominio fuentes biogénicas
 Dominio fuentes móviles

El modelo MODEMED está desarrollado para trabajar dominios específicos para cada una de las fuentes de emisión consideradas. Así, para las fuentes fijas (industria) se asume un dominio de $60 \times 60 \text{ km}^2$, el cual incluye todos los municipios localizados en el Valle de Aburrá. Las fuentes biogénicas correspondientes a la vegetación se calculan en un dominio de $40 \times 40 \text{ km}^2$, y las fuentes móviles se estiman dentro de un dominio de $33 \times 33 \text{ km}^2$.

Todos los dominios están ubicados estratégicamente para que representen efectivamente las condiciones de contaminación del Valle de Aburrá. Cada uno de ellos está anidado dentro del dominio de emisiones de fuentes fijas³; la resolución de mallas es de 1 x 1 km² y la resolución temporal de 1 hora.

³ Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas en el Valle de Aburrá, Manual del Sistema, Convenio 323 de 2005: Universidad Pontificia Bolivariana – Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

5. FUENTES MÓVILES

5.1 ORIGEN DE LAS EMISIONES EN FUENTES MÓVILES

En este inventario de fuentes móviles se consideran los automóviles que operan en vías públicas, es decir móviles en ruta (el término automóvil se refiere principalmente a un vehículo autopropulsado por un motor propio y destinado al transporte terrestre de personas o cosas sin necesidad de carriles).

La historia del automóvil empieza en 1769, con automóviles a vapor y más tarde en 1806 con autos a gasolina. A principios del siglo XX, los autos entran al mercado y cada vez se hacen más populares; el primer auto llega al Valle de Aburrá en 1899, para 1916 había solo 16 en la capital antioqueña y para la década de los 60's se instalan en el Valle de Aburrá las primeras ensambladoras de autos y motocicletas, de esta manera el ingreso de vehículos nuevos tiene un crecimiento constante, que a su vez incide en la movilidad urbana y en el aumento de emisiones a la atmosfera.

Las emisiones vehiculares se presentan en las siguientes formas:

- Por el tubo de escape del motor del vehículo
- Por las evaporaciones de combustible (fuente de hidrocarburos)
- Por el desgaste de los frenos y los neumáticos (fuente de material particulado)

La siguiente información se basa en el documento "Air Quality Management: The framework - the inventory – estimating emissions from mobile sources" escrito por James Lents y otros, del International Sustainable Systems Research Center (ISSRC).

5.1.1. Emisiones por el Tubo de Escape

Los gases de escape del motor se forman como subproductos de una reacción química entre el oxígeno en el aire y el carbón, hidrogeno, azufre y otros componentes oxidables

del combustible. Las principales sustancias presentes en los gases de escape son dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O), hidrocarburos no quemados, partículas producidas por la combustión incompleta de hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles (VOC) y monóxido de carbono (CO). También hay una cantidad considerable de nitrógeno en la cámara de combustión (debido a que constituye aproximadamente el 70% del aire), por lo que se produce óxido de nitrógeno (NO), dióxido de nitrógeno (NO_2) y óxido nitroso (N_2O).

Las emisiones varían considerablemente dependiendo de la aceleración del automóvil, el modo de conducir, el tipo de combustible, la temperatura, la presión y la eficiencia del dispositivo de control de emisiones, si lo hay.

Sistemas de control de emisiones

Los vehículos modernos a gasolina incluyen sistemas de control de emisiones, que pueden ser de dos categorías: modificadores de la combustión (reduce la producción de contaminantes) y sistemas post combustión (remueven los contaminantes de la corriente de gases del escape).

Algunos tipos de sistemas modificadores de combustión son el *Exhaust Gas Recirculation* (EGR), que envía una parte de los gases del exhosto a la cámara de combustión (como estos gases no contienen oxígeno, hacen necesaria la entrada de más aire para que se produzca la combustión de la misma cantidad de combustible, lo que disminuye la temperatura y la producción de NO_x), otros sistemas son los de inyección directa, que consisten en controladores electrónicos que monitorean algunos parámetros del motor y logran una operación más óptima del mismo (el motor puede llegar a operar a condiciones estequiométricas).

Entre los sistemas post combustión para motores a gasolina, el método más común para reducir las emisiones de CO, NO_x y VOC son los convertidores catalíticos (platino, rodio y

otros metales son usados como sustratos en matrices cerámicas o metálicas proporcionando un área superficial donde los gases de escape se conviertan en dióxido de carbono, agua y nitrógeno). Estos sistemas requieren bajo mantenimiento, pero algunas sustancias como el azufre y el plomo, a altas temperaturas pueden dañarlos.

Para los motores diesel el método más común para el control de material particulado son los filtros que pueden reducir las emisiones de este contaminante hasta en un 95%, los más avanzados usan materiales catalíticos y pueden regenerarse ellos mismos, requiriendo poco mantenimiento. Otro sistema es el *Diesel Oxidation Catalyst* (DOC), una opción para motores muy antiguos en los que no pueden usarse filtros, este sistema destruye el material particulado (formado por hidrocarburos) en un orden del 30% al 40% y el CO y otros hidrocarburos gaseosos hasta en un 90%. Sin embargo, si el diesel tiene alto contenido de azufre este puede ser oxidado y convertido en partículas sulfatadas, incrementando el material particulado.

5.1.2. Emisiones Evaporativas

Las emisiones evaporativas de compuestos orgánicos volátiles pueden llegar a ser más altas que las expulsadas por el tubo de escape en vehículos a gasolina (no hay emisiones significativas causadas por el diesel debido a su baja volatilidad). Como los tanques de gasolina no se encuentran presurizados, hay evaporaciones a medida que varía la temperatura en el día (la evaporación se incrementa con la temperatura) y cuando el tanque es recargado con combustible.

Estas emisiones se calculan en el capítulo 7: Fuentes de Área; numeral 7.2: Estaciones de Servicio de Combustibles.

5.1.3. Emisiones por el Desgaste de Frenos y Neumáticos

Las partículas producidas por el desgaste de frenos y neumáticos tienen una distribución de tamaño y composición muy diferente a las producidas en procesos de combustión. Estas emisiones se consideran de menor importancia comparada con las del tubo de escape y las evaporativas, pero no deben ser ignoradas ya que pueden contribuir con emisiones de compuestos tóxicos.

5.2. ESTIMACIÓN DE EMISIONES EN FUENTES MÓVILES

Las emisiones vehiculares pueden ser estimadas multiplicando el factor de emisión por la distancia recorrida. El factor de emisión vehicular es una relación entre una cantidad emitida de determinado contaminante por longitud, usualmente expresada en gramos/kilometro.

Varios países han creado modelos para la estimación de emisiones, algunos ejemplos son el MOBILE6 y el MOVES desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA), el modelo *Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport* (COPERT) creado por la Agencia Ambiental Europea y el *International Vehicle Emissions* (IVE) desarrollado por el International Sustainable Systems Research Center (ISSRC) y la Universidad de California.

En 2001, el Grupo de Investigaciones Ambientales de la Universidad Pontificia Bolivariana desarrolló el modelo "Emisión de Tráfico Rodado para Medellín y municipios aledaños" (ETROME), que consiste en una serie de subrutinas que calculan las emisiones relativas de las categorías vehiculares definidas y sus aportes a la emisión total en el dominio; los datos de entrada para este modelo son la selección de la red vial de tránsito, la distribución de la flota, intensidad de tráfico horario (flujo vehicular), ecuaciones de balances de flujo en los nodos, longitud de las vías, velocidad promedio y factores de emisión (tomados del modelo IVE). En el Anexo A se adjuntan los factores de emisión del Modelo IVE utilizados en este estudio.

5.3. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para este inventario las variables de entrada que fueron actualizadas son las concernientes a la distribución de la flota vehicular y a la intensidad del tráfico horario; las restantes permanecen como en los pasados inventarios. Las emisiones provenientes del desgaste de frenos y neumáticos son nuevas en este estudio.

5.3.1. Características de la Flota Vehicular

Con el fin de realizar la actualización de la información de los vehículos existentes en el Valle de Aburrá, se realizó una recopilación de la distribución de vehículos y modelos en las diferentes Secretarías de Transportes y Tránsito que permite obtener tanto la variación de la flota vehicular como su composición (modelo, cilindraje, categoría, marca y estado del vehículo). Cada una de estas categorías se detalla a continuación:

-*Modelo*: Es el año de matrícula del vehículo dentro de alguna secretaría del Valle de Aburrá, es decir, el año en que el automotor comienza su vida útil.

-*Cilindraje*: Es la suma de volúmenes que desplazan cada uno de los pistones (desplazamiento volumétrico), a mayor cilindraje mayor fuerza del motor.

-*Categoría*: Es la característica por la cual el común de la gente conoce el vehículo, es decir según el chasis que este posee se le puede dar el nombre de camión, bus, microbús, entre otros.

-*Marca*: Es aquella característica que indica el nombre del fabricante del vehículo, por ejemplo Mazda, Renault, Chevrolet, Toyota, entre otros.

-*Estado del vehículo*: Es la forma como se encuentra registrado el vehículo dentro de las secretarías de transportes y tránsito y da a conocer si el vehículo está rodando o no por las calles. Estos estados pueden ser: activo, inservible, trasladado, pérdida total, cancelado, pendiente, robado, entre otros.

En la recolección de los datos se consultaron las diferentes Secretarías de Transportes y Tránsito del Valle de Aburrá, obteniendo respuesta de todos los municipios, excepto Bello

y Envigado (reportó resultados parciales que sirven solo para totalizar el número de vehículos).

Otra alternativa consultada fue el Ministerio de Transporte, que a través del Registro Único Nacional de Tránsito (RUNT), pretende registrar y mantener actualizada, centralizada y validada la información sobre registro de automotores, conductores, licencias de tránsito, empresas de transporte público, infractores, entre otros. Sin embargo, se encontró mucha incertidumbre, pues algunos datos son generados a través de proyecciones y no especifican el estado de los vehículos (incluye vehículos inservibles, destruidos, trasladados, etc.). Prueba de esto es la diferencia entre el total de vehículos calculado por medio de las dos fuentes de información: 643.068 a través de las Secretarías de Transportes y Tránsito y 755.342 por medio del Ministerio de Transporte.

Para la obtención de los resultados se inició clasificando las categorías vehiculares según el modelo reportado en la lista de las secretarías de las que se tenía información. En el municipio de Bello se tomó una base de datos del año 2005 (información que había sido recopilada por el Grupo de Investigaciones Ambientales para el inventario de emisiones, 2005). En el caso de Envigado fue necesario hacer una serie de suposiciones debido a que solo se tenía información de categoría, rangos de modelo y cilindraje dentro de valores no apropiados para el modelo ETROME. En primer lugar se hallaron los porcentajes de modelos y categorías obtenidas en el Ministerio de Transporte, estas relaciones sirvieron para hallar una nueva especiación del parque automotor del municipio en mención.

Las suposiciones hechas fueron las siguientes:

- El porcentaje hallado para las motocicletas se aplicó a motonetas y cuatrimotos.
- La participación de la categoría micro fue igual a la hallada para microbuses.
- Se dio la misma relación de la categoría máquina industrial y a la de montacarga.

El modelo tiene entonces los vehículos clasificados de acuerdo al cilindraje, así: los menores o iguales a 1.5 litros, entre 1.5 y 3 litros y los mayores de 3 litros. Para la construcción de esta información fue necesario hacer una clasificación por cilindraje para

vehículos, camionetas, camperos y ambulancias de todas las bases de datos reportadas por las secretarías de transportes y tránsito que dieron respuesta (la misma clasificación se hizo para la lista que se tenía del año 2005 para el municipio de Bello, para Envigado se supuso que el comportamiento de registro en esta secretaría era similar al de Medellín).

Por último, se realizó una clasificación de las motocicletas de dos tiempos y cuatro tiempos teniendo en cuenta que a partir del año 1998 se empezaron a comercializar las de cuatro tiempos.

5.3.2. Medición de la Intensidad del Tráfico Horario

La intensidad del tráfico horario se midió con aforos en diferentes vías del Valle de Aburrá para días laborales y domingos, utilizando 35 cámaras de video del Centro de Monitoreo y Control de Tránsito del Municipio de Medellín, los videos corresponden a las vías más representativas con tiempo de monitoreo de 24 horas.

Los videos obtenidos fueron evaluados por grupos de auxiliares en pantallas ubicadas en las instalaciones del GIA, donde cada auxiliar se encargaba de una o dos categorías vehiculares (automóviles, campero, motos, buses y camiones) dependiendo de cuantos carriles tuviera la vía. Haciendo uso de contadores manuales, cuantificaban la cantidad de vehículos de cada categoría que pasaba por la vía evaluada por un periodo de una hora. De esta manera se obtenía un número de vehículos para cada hora del día y esta información se entra al modelo ETROME como nivel de actividad. Esta metodología presenta ventajas frente al monitoreo en vías, pues no expone a las personas que hacen el trabajo a las emisiones vehiculares y a las condiciones climáticas del día.

Las cámaras están ubicadas en la Avenida 33 con Carrera 65 D, Avenida 33 con Carrera 65, Avenida 33 con Carrera 52, Diagonal 74 B con Calle 65, Diagonal 74 B con Calle 37, Calle 10 con Carrera 48, Calle 10 con Carrera 53, Calle 11 sur con Carrera 50, Calle 50 con Carrera 53, Calle 50 con Carrera 55, Calle 50 con Carrera 80, Calle 50 con Carrera 45, Calle 53 con Carrera 52, Calle 44 con Carrera 65, Calle 47 con Carrera 46, Calle 49 con Carrera 54, Calle 52 con Carrera 45 y Calle 111 con Carrera 64 AA.

5.3.3. Desgaste de Frenos y Neumáticos

Frenos

Los frenos son usados para desacelerar el vehículo y hay dos configuraciones de uso común: frenos de disco y frenos de tambor, los primeros son de uso común en vehículos livianos y los otros en vehículos pesados. Están conformados por resinas fenol-formaldehído, fibras metálicas, minerales o cerámicas, rellenos de bario y sulfato de antimonio, óxidos de cromo y magnesio, y polvos metálicos.

La generación de partículas contaminantes se produce en el momento en que se aplica el freno para desacelerar el vehículo; las fuerzas de cizallamiento por el movimiento relativo de las superficies es el principal mecanismo de la producción de partículas, un mecanismo secundario envuelve la evaporación de material de la superficie a las altas temperaturas que se desarrollan durante el contacto.

Neumáticos

Los neumáticos llevan la carga del vehículo y los pasajeros, ofrecen tracción, dirección y absorben las irregularidades de la carretera. Los neumáticos están compuestos de una mezcla compleja de cauchos naturales y sintéticos, metales y aditivos orgánicos que son introducidos para lograr las propiedades deseadas y óxido de zinc que actúa como agente vulcanizador.

El desgaste de los neumáticos es un proceso físico-químico impulsado por la energía de fricción desarrollada entre la banda de rodadura y el pavimento, y depende de numerosos factores como el patrón de manejo, condiciones, antigüedad y posición de los neumáticos, condiciones y antigüedad de la carretera, la tracción, el clima, entre otros.

La tabla 5.1 muestra los factores de emisión para material particulado menor de 10 micrómetros (PM10) reportados para el desgaste de frenos y de neumáticos.

Tabla 5.1 – Factores de emisión de PM10 para el desgaste de frenos y neumáticos

Tipo de vehículo	g/km		
	Desgaste de frenos	Desgaste de neumáticos	Total
Motocicletas	0,0037	0,0028	0,0065
Carros de pasajeros	0,0073	0,0064	0,0137
Camiones de carga liviana	0,0115	0,0101	0,0216
Camiones de carga pesada	0,0320	0,0270	0,059

Fuente: Road vehicle, tyre and brake wear. EMEP/CORINAIR

5.4. RESULTADOS

5.4.1. Distribución de la Flota Vehicular

En la tabla 5.2 se tabulan el número de automotores divididos por categoría que circulan por el Valle de Aburrá, además son clasificados de acuerdo a la edad del vehículo. Las diferentes categorías incluyen:

Motocicleta: Motocarros, cuatrimotos, ciclomotos, motonetas y motocicletas

Campero: Ambulancias, camionetas y camperos.

Bus: Busetas, microbús, bus y minivan

Automóvil: Carros particulares y taxis

Camión: Tracto-camión, camión, y volqueta

Maquinaria: Montacarga, maquinaria agrícola e industrial.

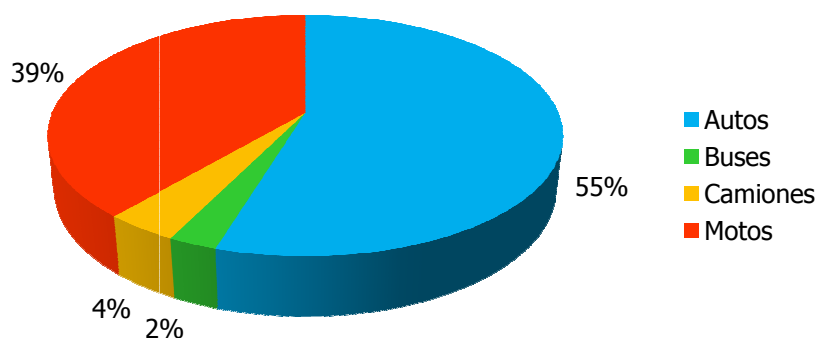
Tabla 5.2 - Clasificación de vehículos en el Valle de Aburrá

Modelo	Motocicleta	Campero	Bus	Automóvil	Camión	Total
<i>Año ≤ 1980</i>	14.900	21.168	2.897	32.415	9.543	80.923
<i>1980 < Año ≤ 2000</i>	63.908	45.629	7.438	97.146	8.079	222.200
<i>2000 < Año ≤ 2005</i>	35.188	12.175	2.505	40.376	1.560	91.804
<i>Año > 2005</i>	135.303	29.033	3.862	73.832	6.111	248.141
<i>Total</i>	249.299	108.005	16.702	243.769	25.293	643.068

En la tabla puede verse como el número de motocicletas ha llegado a superar el número de automóviles, y en cuanto a la edad del parque automotor se ve que casi la mitad del parque tiene más de 10 años.

En la figura 5.1 puede observarse el aporte de cada categoría al parque vehicular del Valle de Aburrá (la categoría Autos incluye automóviles y camperos).

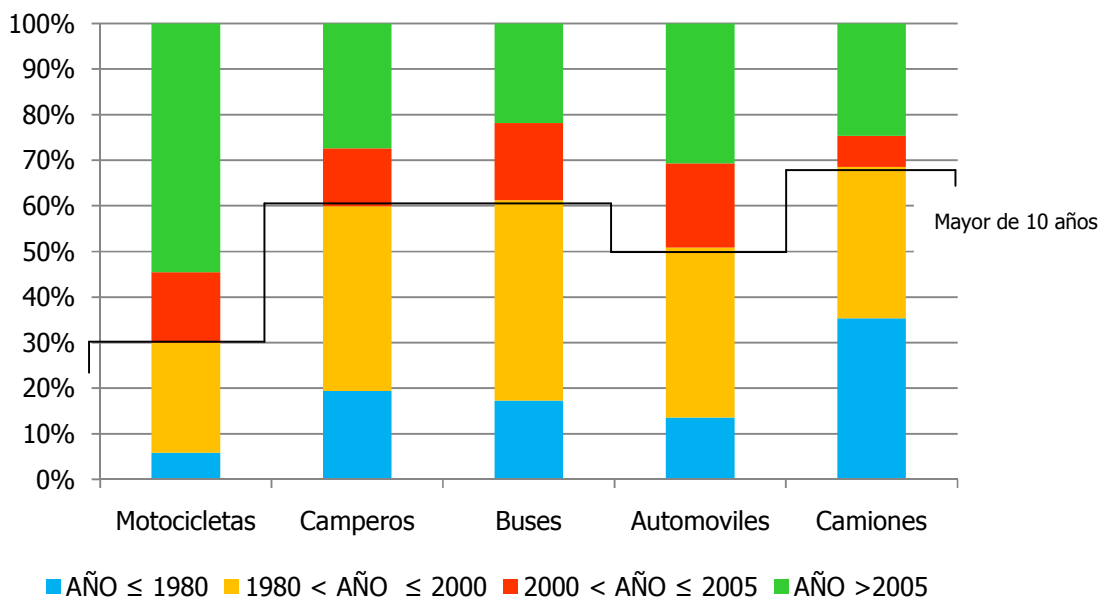
Figura 5.1 - Distribución porcentual por categorías vehiculares



La mayor contribución la hacen los automóviles y camperos con un 55%, seguido de las motos con un 39%; los camiones y buses representan el 4% y el 2%, respectivamente.

En la figura 5.2 puede observarse la distribución del parque automotor de acuerdo a la edad del mismo. Casi el 20% de los buses y el 35% de los camiones tienen más de 30 años, mientras que el 60% de los camperos y el 50% de los automóviles tienen más de 10 años; solo las motocicletas pueden considerarse como la categoría más actualizada de la flota vehicular.

Figura 5.2 - Edad del parque automotor



La tabla 5.3 muestra la clasificación de vehículos de acuerdo al cilindraje para los diferentes municipios del Valle de Aburrá (se incluyen vehículos, camperos y camionetas).

Tabla 5.3 - Clasificación de vehículos pequeños según su cilindraje

Clasificación	C ≤ 1,5 L	1,5 L < C ≤ 3,0 L	C > 3,0 L	Total
Barbosa	225	304	75	604
Sabaneta	8.862	12.300	1.808	22.970
Caldas	283	204	31	518
La Estrella	64	23	3	90
Itagüí	13.233	8.588	1.644	23.465
Girardota	131	208	64	403
Copacabana	240	160	21	421
Medellín	70.094	51.249	12.026	133.369
Bello	18.161	10.935	1.879	30.975
Envigado	61.644	45.071	10.576	117.291
<i>Total</i>	172.937	129.042	28.127	330.106

En esta tabla puede verse que los municipios con mayor cantidad de vehículos registrados son Medellín y Envigado y que los vehículos que más circulan por el Valle de Aburrá tiene un cilindraje menor a 1.5 litros.

En la tabla 5.4 se muestra el total de vehículos registrados en las diferentes secretarías de Transportes y Tránsito del área metropolitana y en la figura 5.3 se gráfica esta información.

Tabla 5.4 - Total de vehículos registrados en las secretarías de transportes y tránsito del Valle de Aburrá en estado activo

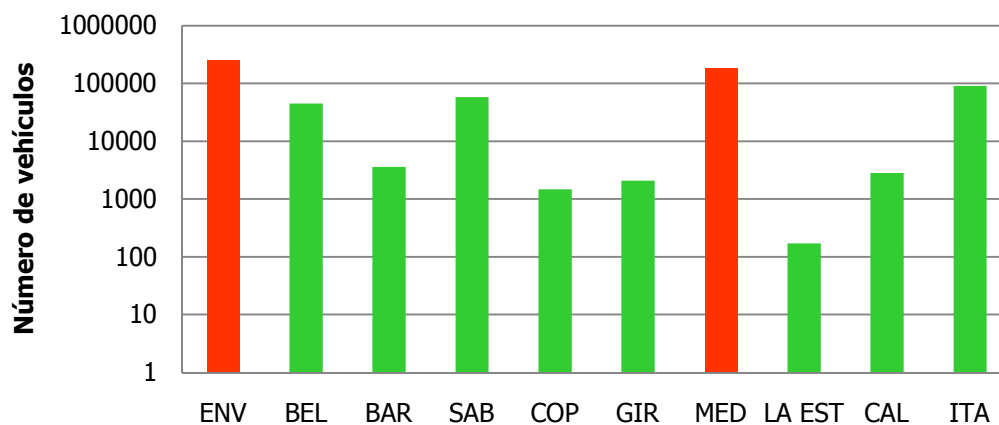
Municipio	No. de vehículos
Envigado	254.257
Bello	45.006
Barbosa	3.585
sabaneta	58.013
Copacabana	1.474
Girardota	2.077
Medellín	184.235
La Estrella	170

Caldas	2.803
Itagüí	91.448
<i>Total</i>	643.068

Puede verse como la mayoría de los carros están registrados en Envigado y Medellín, con 254.257 y 184.235 vehículos respectivamente, mientras los municipios de Copacabana y La Estrella tan solo registran 1.474 y 170 vehículos.

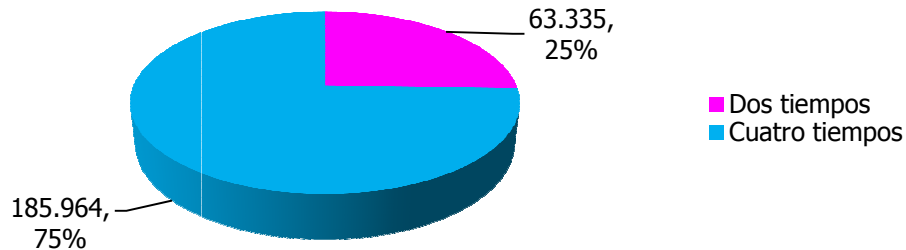
La figura 5.3 muestra la distribución de vehículos por municipio, las columnas resaltadas en color naranja equivalen a los municipios que cuentan con el mayor número de automotores.

Figura 5.3 - Distribución de vehículos por municipio



En cuanto a las motocicletas, se realizó una clasificación de dos tiempos y cuatro tiempos. En la figura 5.4 se muestra la distribución encontrada, el número en cada categoría y su porcentaje.

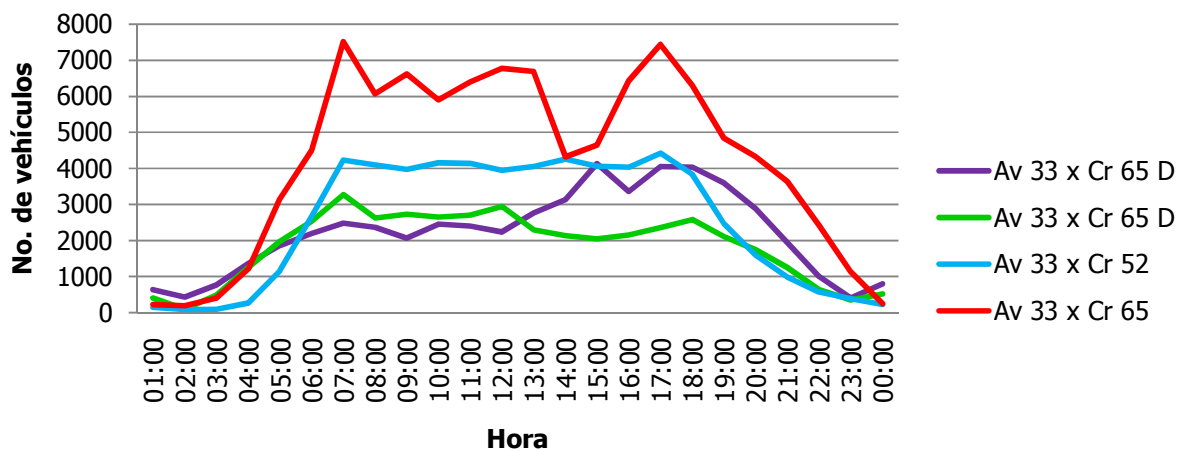
Figura 5.4 - Distribución de motocicletas



5.4.2. Intensidad del tráfico

Los resultados presentados en las figuras 5.5, 5.6, 5.7 y 5.8 muestran la intensidad del tráfico horario en algunas de las principales vías del municipio de Medellín, obtenidos a partir del conteo de vehículos registrados en las cámaras de video del Centro de Monitoreo y Control de Tránsito del Municipio de Medellín.

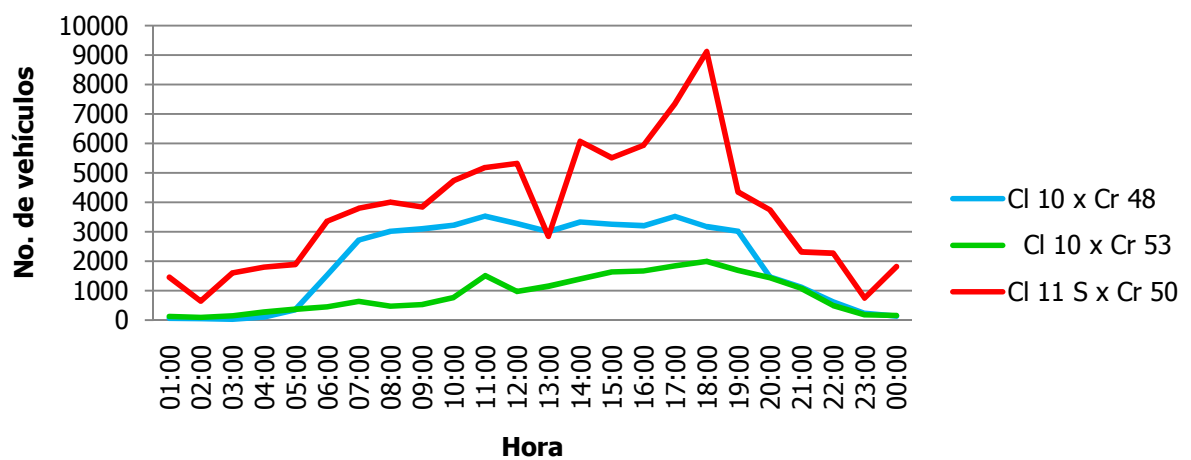
Figura 5.5 - Variación del tráfico en la Avenida 33



Sobresale el alto tráfico vehicular de la Avenida 33 con la Calle 65, y el declive del mismo aproximadamente a las 2:00 p.m, hora en la que ha empezado de nuevo la jornada laboral. También resaltan los picos aproximadamente a las 7 a.m y a las 6:00 p.m, horas

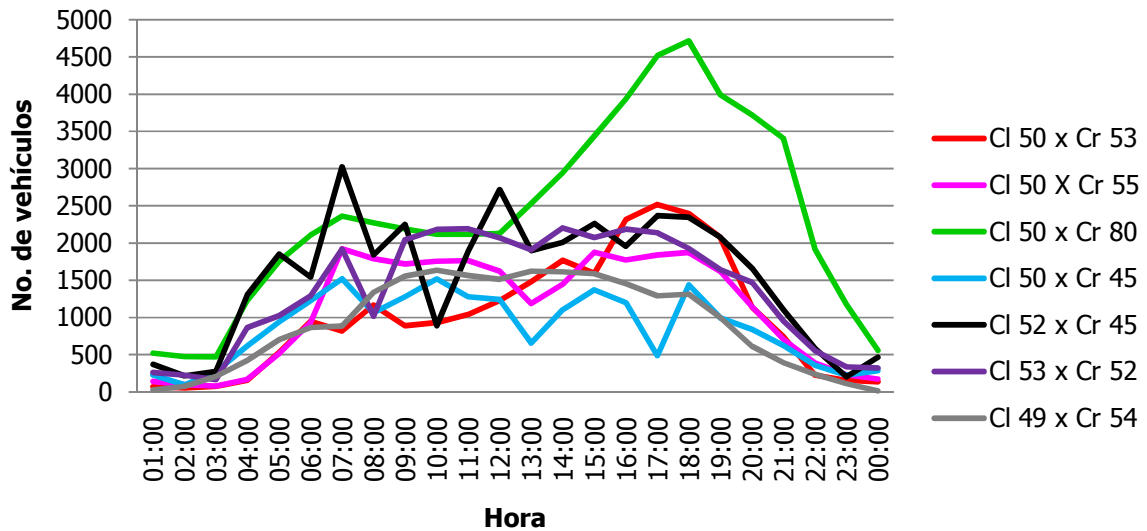
de comienzo y fin de la jornada. Las otras intersecciones presentan un tráfico constante de 7:00 a.m a 6:00 p.m.

Figura 5.6 - Variación del tráfico en la Calle 10 y aledañas



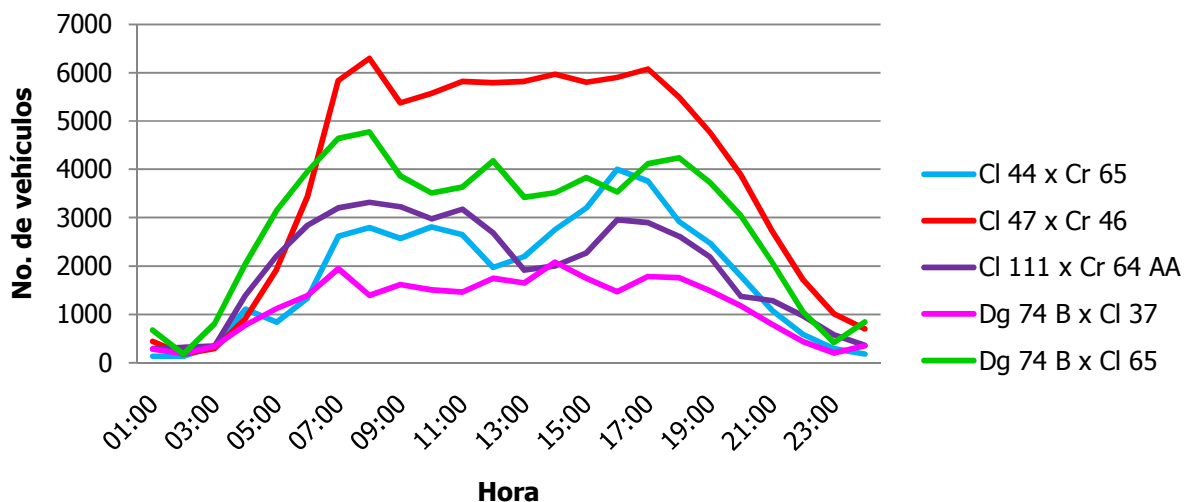
En la figura 5.6 sobresale el tráfico vehicular en la Calle 11 Sur con la Carrera 50, un declive a la 1:00 p.m y un sobresalto a las 6:00 p.m.

Figura 5.7 - Variación del tráfico en la Avenida Colombia (Calle 50) y aledañas



En la figura 5.7 no puede establecerse un patrón, hay muchos picos y cierta tendencia de aumento de tráfico en las horas de la tarde. Sobresale el alto flujo vehicular de la Avenida 50 con la Carrera 80, dos de las principales vías del municipio.

Figura 5.8 - Variación del tráfico en otras calles principales

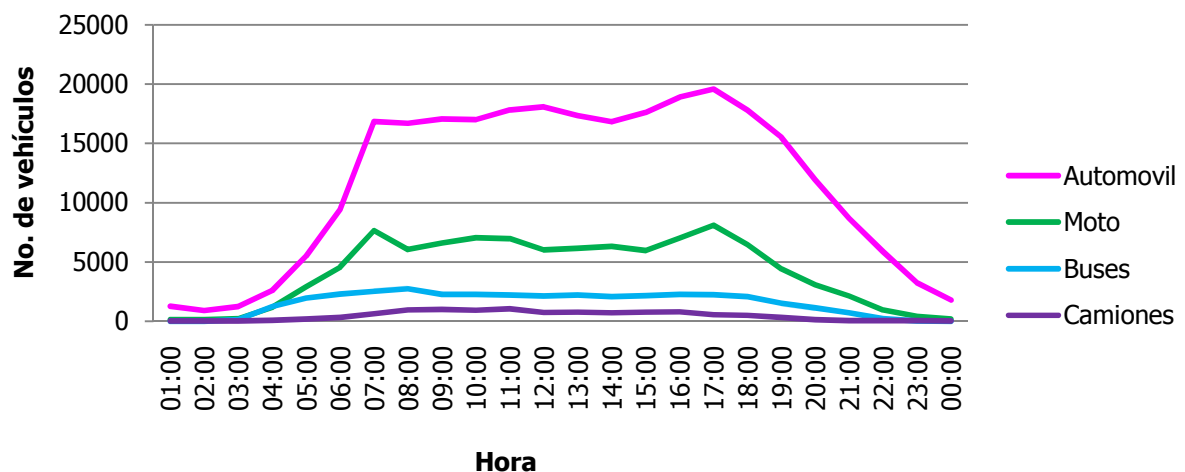


En la figura 5.8 se muestran otras calles de la ciudad, entre las que se encuentran la Calle San Juan (Calle 44), la Diagonal 74 B, la Avenida Oriental (Carrera 46) y la Autopista Norte

(Carrera 64 AA). Todas tienen un patrón similar, con un tráfico constante a lo largo de la jornada laboral, resalta el alto flujo en la Avenida Oriental.

Por último, en la Figura 5.9 se muestra el tráfico vehicular dividido por categorías (automóviles, motos, buses y camiones). Esta gráfica se construyó sumando todas las categorías de las vías que fueron medidas.

Figura 5.9 - Tráfico vehicular a lo largo del día por categorías



Se ve como la gran mayoría de vehículos que circulan son automóviles, aproximadamente 10.000 más que las motos, lo que contrasta con el número de automóviles y motos registrados en el Valle de Aburrá, donde las últimas han llegado a superar el número de autos.

5.4.4. Emisiones por el desgaste de frenos y neumáticos

Por medio del modelo ETROME y haciendo uso de los factores de emisión tabulados en la tabla 5.1 se estimó una emisión de **122 toneladas** de PM10 para el año 2009, producidos por el desgaste de frenos y neumáticos usados en motocicletas, vehículos livianos,

camiones y buses. Estas emisiones se incluyen en el inventario de emisiones vehiculares que se presenta a continuación.

5.4.5. Emisiones Vehiculares

Los resultados que se muestran a continuación fueron calculados con el modelo ETROME y con factores de emisión del IVE para todos los contaminantes.

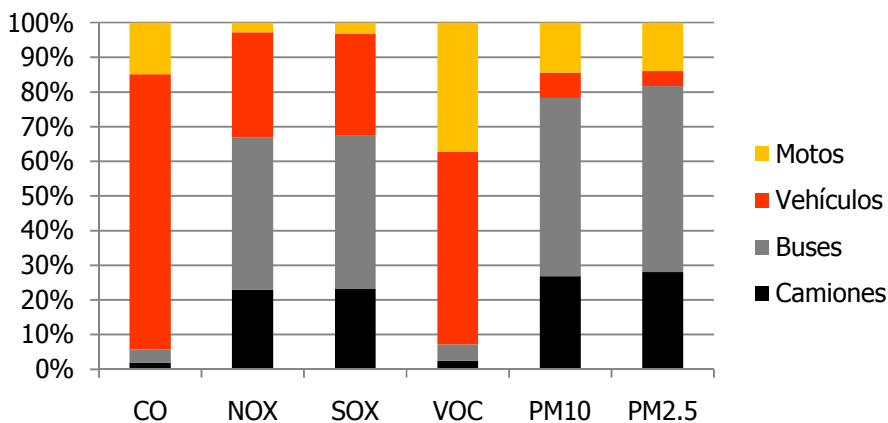
La tabla 5.5 muestra la cantidad de emisiones para los principales contaminantes por categoría de vehículos, para los vehículos livianos se incluyó el cilindraje. La figura 5.10 muestra la distribución de esas emisiones.

Allí, puede verse como los vehículos livianos son los principales responsables de las emisiones de monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles mientras que los buses hacen el mayor aporte de óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y material particulado.

Tabla 5.5 - Emisión de contaminantes por fuentes móviles, año 2009

Año 2009 (ton/año)						
Categoría	CO	NO_x	SO_x	VOC	PM10	PM2.5
Vehículos livianos < 1,5 L	66.570	4.156	211	7.691	54	16
Vehículos livianos 1,5 a 3 L	52.095	3.262	186	5.787	42	14
Vehículos livianos > 3 L	441	383	92	278	65	56
Vehículos retrofit < 3 L	10.997	799	0	409	7	2
Vehículos retrofit > 3 L	2.364	278	0	110	3	2
Buses	6.249	12.909	741	1.211	1.223	1.114
Camiones	3.256	6.726	386	631	638	580
Motos 2 tiempos	9.341	39	18	5.409	171	151
Motos 4 tiempos	15.586	772	35	4.127	173	140
<i>Total</i>	166.899	29.324	1.669	25.652	2.377	2.075

Figura 5.10 - Distribución de emisiones de acuerdo a la categoría vehicular

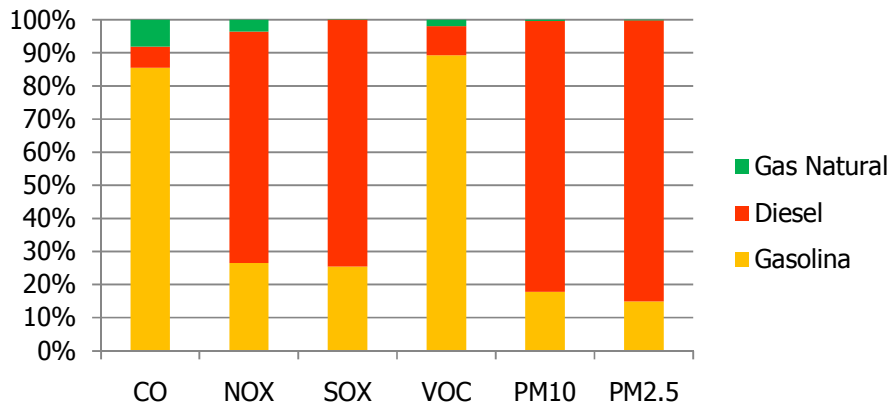


En la tabla 5.6 se tabula la emisión de contaminantes por tipo de combustibles y en la figura 5.11 se muestra la distribución de estas emisiones.

Tabla 5.6 - Emisión de contaminantes por tipo de combustible

Año 2009 (ton/año)						
Combustible	CO	NO _x	SO _x	VOC	PM10	PM2.5
Gasolina	143.593	8.229	450	23.014	441	320
Diesel	9.945	20.018	1.219	2.119	1.926	1.750
Gas Natural	13.361	1.077	0	519	10	4
<i>Total</i>	166.899	29.324	1.669	25.652	2.377	2.075

Figura 5.11 - Distribución de emisiones de acuerdo al tipo de combustible



De esta figura se ve como la gasolina contribuye con el mayor porcentaje de CO y VOC, mientras el diesel es responsable del resto de las emisiones, por otra parte el gas natural presenta un mínimo de emisiones, debido a que es un combustible menos contaminante y a su poco uso frente a los otros dos combustibles.

6. FUENTES FIJAS

6.1. ORIGEN DE LAS EMISIONES EN FUENTES FIJAS

El siglo XIX abre la era de la revolución industrial y el carbón se convierte en el motor de la industria. Él sirve para alimentar las máquinas de vapor, los hornos de las industrias metalúrgicas y siderúrgicas y hace funcionar los primeros trenes.

En Colombia, la economía cafetera hacia 1850 formó las bases de la industrialización, así, durante las dos primeras décadas del siglo XX surgieron industrias de producción de bienes básicos como alimentos, bebidas, tabaco, textiles y materiales como cemento y vidrio. Este proceso se dio en la región occidental, específicamente en Antioquia y Viejo Caldas, ciudades portuarias como Barranquilla y Cartagena y en las ciudades de Santafé de Bogotá y Cali. Hacia mediados del siglo, el proceso de industrialización se orientó al desarrollo del sector químico, manufactura de metales, cemento, llantas, caucho, productos farmacéuticos, papel y sus derivados, e industria de petróleo.

Actualmente, en el Valle de Aburrá las principales actividades industriales son la química, textil, alimentaria, metalúrgica, metálica, manufacturera y procesadora de productos vegetales y animales, entre otras. Las emisiones derivadas de estos procesos se concentran en la combustión utilizada para la generación de energía o vapor; estas emisiones dependen de la calidad de los combustibles y de la eficiencia de los quemadores, mantenimiento del equipo y de la presencia de un dispositivo de control al final del proceso (ciclones, filtros, precipitadores y lavadores, entre otros). Los principales contaminantes asociados a la combustión son partículas, SO_x , NO_x , CO_2 , CO e hidrocarburos.

En este inventario de emisiones, los establecimientos industriales considerados dentro del Valle de Aburrá se describen según sectores industriales, usando para ello un código, tal como se especifica a continuación:

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

6.2. EQUIPOS USADOS EN LA INDUSTRIA

6.2.1. Calderas

Una caldera es una máquina para generar vapor saturado. Éste vapor se forma a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia de estado.

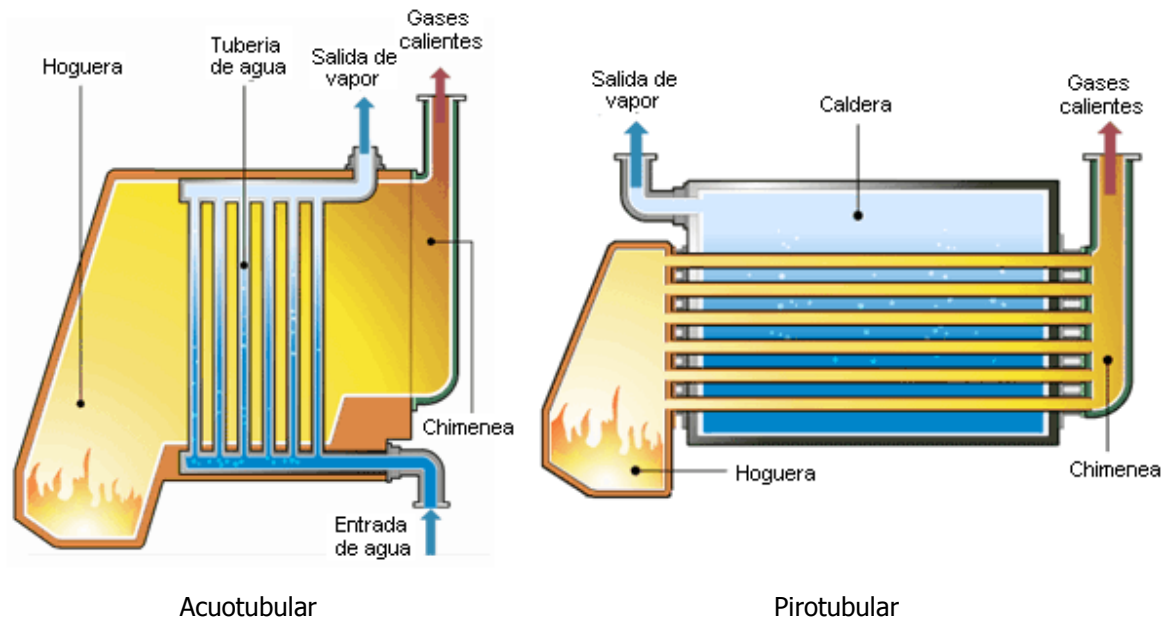
Las calderas pueden ser clasificadas por combustible, tipo y método de construcción. Por tipo se identifican por la forma de transferencia de calor (acuotubular, pirotubular o hierro fundido), el arreglo de la superficie de transferencia de calor (horizontal o vertical, tubos

rectos o doblados) y la configuración de quemado del combustible (suspensión, fogón o *stoker*, lecho fluidizado). El método más común de transferencia de calor en calderas a carbón es el acuotubular, que consiste en la combustión de los gases en el lado exterior de los tubos mientras el agua y el vapor son contenidos en el interior de los tubos (ver figura 6.1).

En el valle de Aburrá, las calderas más comunes son las acuotubulares que utilizan carbón como combustible, éstas incluyen a las *stoker* y alimentación manual. Las que tienen sistema de quemado tipo *stoker* son las más usadas a nivel industrial, comercial e institucional. Estas calderas por lo general son pequeñas y pueden ser divididas en tres grupos: *underfeed stokers* (alimentación horizontal), *overfeed stokers* (el carbón es alimentada desde lo alto y usa una parrilla en movimiento o "viajera") y *spreader stoker* (alimentadores mecánicos o neumáticos distribuyen el carbón uniformemente sobre la superficie de la parrilla viajera).

En general, el carbón con distribución de tamaño pequeño, alto contenido de material volátil y baja humedad tienen una eficiencia de combustión mayor.

Figura 6.1 - Calderas



Fuente: www.howstuffworks.com

6.2.2. Hornos

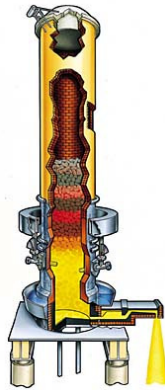
En términos generales, un horno es un dispositivo que genera calor y lo mantiene en un compartimiento cerrado; en la región metropolitana del Valle de Aburrá, las industrias con mayor número de hornos son la metalúrgica y la ladrillera.

Sector metalúrgico

Los tipos de hornos más comunes son los hornos cúpula, de inducción, y reberveratorios.

Un horno cúpula es un dispositivo para fundir metales, generalmente es de forma cilíndrica y arreglo vertical soportado en cuatro patas (figura 6.2). El fondo del cilindro tiene puertas por donde sale el material fundido y por la parte superior salen los gases de combustión.

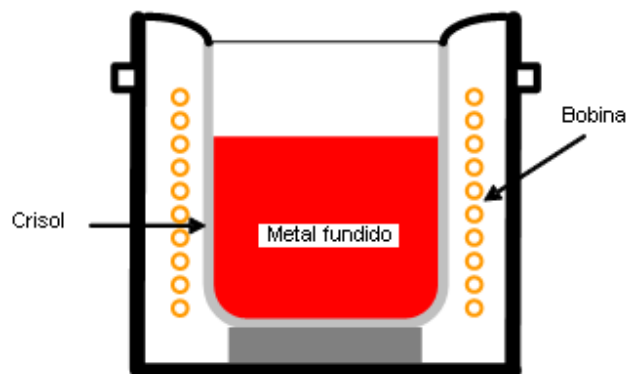
Figura 6.2 - Horno cúpula



Fuente: www.castingsforindustry.com

Un horno de inducción es un horno que funciona con electricidad. La ventaja de este tipo de hornos es que son limpios, energéticamente eficientes y el proceso de fundición se controla fácilmente. Estos hornos son usados para fundir hierro, acero, cobre, aluminio y metales preciosos (figura 6.3).

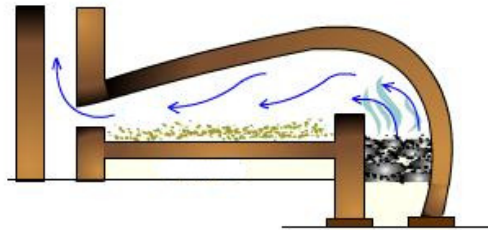
Figura 6.3 - Horno de inducción



Fuente: www.substech.com

Un horno reverberatorio es un equipo en el cual el material fundido se encuentra aislado del combustible pero no de los gases de combustión (ver figura 6.4).

Figura 6.4 - Horno reverberatorio



Fuente: www.tutorvista.com

Por último, otro dispositivo de uso común para la fundición de metales son los crisoles, estos son piezas en forma de tazas que están hechos de materiales resistentes a altas temperaturas como porcelana, grafito y metales inertes.

Sector ladrillero

En éste sector los tipos de hornos más comunes son los hornos túnel que incluyen zonas de precalentamiento, quemado y enfriamiento; la zona de quemado se mantiene alrededor de 1000 °C. Allí toman lugar varios pasos: evaporación del agua libre, deshidratación, oxidación y vitrificación, después del quemado, los ladrillos entran a la zona de enfriamiento hasta que alcanzan la temperatura ambiente, todo este proceso dura entre 20 y 50 horas. Los combustibles más usados en este tipo de hornos son el carbón y los residuos de madera. Otro tipo de hornos muy usados en el Valle de Aburrá son los hornos pampa, los cuales son bastante rudimentarios y poco eficientes energéticamente (figura 6.5).

Figura 6.5 - Hornos pampa



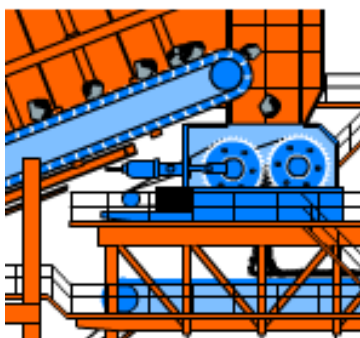
Fuente: <http://www.co2.org.co>

6.2.3. Otros Equipos

Otros procesos responsables de la emisión de contaminantes son las operaciones de manejo de sólidos como la trituración, cribado y transporte de materiales; procesos de tostado y torres de secado.

La trituración es un proceso de reducción de materiales comprendido entre los tamaños de entrada de 1 metro a 1 centímetro, diferenciándose en trituración primaria (de 1 m a 10 cm) y trituración secundaria (de 10 cm a 1 cm). Algunas de las fuerzas utilizadas en la reducción de tamaño son: la compresión, el cizallamiento, el impacto y la abrasión. El cribado consiste en la separación de partículas según su tamaño y el transporte de materiales se hace a través de bandas, elevadores de cangilones, entre otros. En la figura 6.6 se observa una banda transportadora y un sistema de trituración.

Figura 6.6 - Transporte y trituración



Fuente: <http://aubema.de>

En los procesos de tostado y las torres de secado se retira la humedad de los productos por medio del calor que puede ser generado con calderas o con fuentes directas de electricidad.

6.3. TIPOS DE COMBUSTIBLE USADOS EN LA INDUSTRIA

Colombia cuenta con extensas reservas de carbón, petróleo y gas natural, y grandes recursos hidroeléctricos. La participación departamental en el consumo nacional de carbón tiene a Boyacá como el mayor consumidor (34%), seguido por Cundinamarca (22%), Valle del Cauca (19%) y Antioquia (14%)⁴.

En cuanto al fuel oil, aunque las compras siguen creciendo, lo hacen a un ritmo menor, consecuencia propia de la desaceleración de la actividad económica nacional y de un menor consumo, particularmente en los sectores de construcción e industrial. Se destaca

⁴ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. La Cadena del Carbón: El Carbón colombiano, fuente de energía para el mundo. Ministerio de Minas y Energía, 2005. 53 p

la dinámica en las compras del Aceite Combustible para Motores (ACPM) usado principalmente como combustible en motores diesel y en calefacción⁵.

El sector del gas natural ha tenido un crecimiento constante constituyéndose en uno de los objetivos de política energética más importantes y aumentando su participación en el consumo final de energía. En el interior del país el consumo de gas ha tenido un comportamiento homogéneo, presentando una tasa promedio anual del 10.5%. El comportamiento sectorial del consumo señala a los sectores industrial y termoeléctrico como los mayores demandantes de gas natural con un alto dinamismo en los sectores doméstico y vehicular, debido principalmente a que se ha convertido en un combustible competitivo a causa de los altos precios del petróleo⁶. Así, el sector industrial se posiciona como el segundo consumidor de energía con una demanda del 30% del total.

Teniendo en cuenta que los factores de emisión más utilizados en este inventario son los relativos a fuentes de combustión externa (máquinas que realizan una conversión de energía calorífica mediante un proceso de combustión que se realiza fuera de la máquina, generalmente para calentar agua, en oposición a las máquinas de combustión interna, en las que la propia combustión, es realizada dentro del motor) que utilizan carbón, fuel oil o gas natural como combustible, se hará una breve reseña sobre estos combustibles y las propiedades fisicoquímicas de los que se consumen en la región.

6.3.1. Carbón

⁵ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. La Cadena del Petróleo. Ministerio de Minas y Energía, 2009. 140 p.

⁶ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. La Cadena del Gas Natural en Colombia. Ministerio de Minas y Energía, 2005. 111 p.

El carbón es una compleja combinación de materia orgánica e inorgánica formado a partir de grandes acumulaciones vegetales depositadas en zonas pantanosas, lagunares y marinas.

Una de las clasificaciones más aceptadas para el carbón corresponde a la que hace la *American Society for Testing and Materials* (ASTMD-388-777), mostrada en la tabla 6.1, que lo divide en cuatro clases según las propiedades referidas a la composición y las condiciones de presión y temperatura (grado de metamorfismo) a que fueron sometidos durante su formación.

Tabla 6.1 - Clasificación del carbón

Tipo	Carbono fijo (%)	Material volátil (%)	Contenido humedad (%)	Poder calorífico		
				Btu/lb	MJ/kg	kcal/kg
<i>Antracita</i>	86 - 98	1	< 15	>14.000	>32,6	>7.780
<i>Bituminoso</i>	45 - 86	32	15 - 20	10.500 - 14.000	24,5 - 32,6	5.800 - 7.780
<i>Subbituminoso</i>	35 - 45	50	20 - 30	7.800 - 10.500	18,2 - 24,5	4.300 - 7.780
<i>Lignito y turba</i>	25 - 35	96	> 30	4.000 - 7.800	9,3 - 18,2	2.200 - 4.300

Fuente: La cadena del carbón: El carbón colombiano, fuente de energía para el mundo⁷.

Tabla 6.2 - Calidad del carbón en Antioquia

Zona	Área	Sector	Humedad	Cz	MV	CF	St	PC	PC	PC
			%	%	%	%	%	BTU/lb	MJ/kg	Kcal/kg
<i>Cordoba-Norte de Antioquia</i>	<i>Alto San Jorge</i>	<i>San Pedro Sur</i>	14,49	9,24	37,55	38,73	1,31	9.280	21,62	5.160
		<i>San Pedro Norte</i>	14,49	9,24	37,55	38,73	1,31	9.280	21,62	5.160
		<i>Alto San Jorge</i>	14,49	9,24	37,55	38,73	1,31	9.280	21,62	5.160
<i>Antioquia-Antiguo Caldas</i>	<i>Venecia-Fredonia</i>		11,64	8,11	40,06	40,2	0,48	10.426	24,29	5.790
	<i>Amagá-Angelópolis</i>	<i>Amagá-Nechí</i>	13,16	11,96	36,69	38,18	0,55	9.682	22,56	5.380

⁷ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. La Cadena del Carbón. Op. Cit., p. 56

		<i>Angelópolis</i>								
<i>Venecia-Bolombo</i>	<i>Rincón Santo</i>	9,84	11,1	38,45	40,61	1,04	10.090	23,51	5.610	
	<i>Bolombolo</i>	8,49	7,9	37,77	45,91	1,09	11.113	25,89	6.170	
<i>Titiribí</i>	<i>Corcovado</i>	7,25	7,92	37,99	46,84	0,72	11.767	27,42	6.540	
	<i>El Balsal</i>									
<i>Río Sucio-Quinchía</i>		4,08	15,56	31,75	48,61	1,8	10.713	24,96	5.950	
<i>Aranzazu-Santágueda</i>	<i>Aranzazu</i>	22,22	28,69	30,33	18,76	0,67	5.451	12,70	3.030	
	<i>Santágueda</i>	19,03	25,05	37,32	18,6	0,43	6.230	14,52	3.460	

Cz: Cenizas, MV: Material volátil, CF: Carbono fijo, St: Azufre total, PC: Poder calorífico

La Unidad de Planeación Minero Energética, UPME, en el documento “La Cadena del Carbón”, compila varias propiedades fisicoquímicas dependiendo de la zona carbonífera de la cual es extraído el mineral, allí se puede consultar las especificaciones del carbón en Antioquia que se muestran en la tabla 6.2; en donde se consignan las propiedades del carbón de Amagá, el cual es el que más se consume en el Valle de Aburrá.

Si se comparan los valores relativos al poder calorífico (parámetro más importante en la clasificación del carbón) y al carbono fijo del mineral de Amagá con los valores reportados de calidad del carbón, dichos valores lo clasifican como **carbón subbituminoso**.

6.3.2. Aceites Combustibles (Fuel Oil)

Los aceites combustibles se dividen en dos grandes categorías: aceites destilados y aceites residuales, los primeros son más volátiles y menos viscosos que los segundos. Los aceites combustibles también se dividen por número de grados, No. 1 y No. 2 corresponde a destilados y No. 5 y No. 6 a residuales; los No. 3 y No. 4 se reservan para mezclas de aceites destilados y residuales.

Los aceites destilados son usados principalmente en aplicaciones domésticas y comerciales (en Colombia se conocen como queroseno y Diesel o ACPM). Los aceites residuales al ser menos volátiles y más viscosos necesitan ser calentados para facilitar su manejo y atomización. En la tabla 6.3 se tabulan algunas propiedades de los aceites combustibles.

Tabla 6.3 - Calidad de aceites combustibles en Colombia

<i>Especificación</i>	Fuel oil No. 6 (Residual)		Fuel oil No. 2 (Destilado)	
	Rango	Promedio	Rango	Promedio
<i>Contenido de azufre total (% en peso)</i>	1,5 - 1,6	1,54	-	0,25*
<i>Cenizas</i>	0,10 - 0,12	0,11	-	-

*Valor promedio durante el año 2009 para el Diesel distribuido en el Valle de Aburrá.

6.3.3. Gas Natural⁸

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos livianos en estado gaseoso, que en su mayor parte está compuesta por metano y etano, y en menor proporción por propano, butanos, pentanos e hidrocarburos más pesados. Si el contenido de hidrocarburos de orden superior al metano es alto se le denomina gas rico, de lo contrario se conoce como gas seco. Las principales impurezas que puede contener la mezcla son vapor de agua, gas carbónico, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno y helio, entre otros.

El gas natural se encuentra al igual que el petróleo en yacimientos en el subsuelo. Puede ser asociado (gas mezclado con crudo) o libre. Algunas propiedades promedio del gas natural distribuido en Colombia se muestran en la tabla 6.4.

Tabla 6.4 - Propiedades del gas natural

Especificaciones	Promedio
-------------------------	-----------------

⁸ Fuente: www.ecopetrol.com.co

Máximo poder calorífico bruto (Nota 1)	42,8 MJ/m ³
Mínimo poder calorífico bruto (Nota 1)	35,4 MJ/m ³
Contenido de líquido (Nota 2)	Libre de líquidos
Contenido total de H ₂ S máximo	6 mg/m ³
Contenido total de azufre máximo	23 mg/m ³
Contenido CO ₂ , máximo en % volumen	2%
Contenido de N ₂ , máximo en % volumen	3
Contenido de oxígeno máximo en % volumen	0,1%
Contenido máximo de vapor de agua	97 mg/m ³
Contenido máximo de polvos y material en suspensión (Nota 3)	1,6 mg/m ³

Nota 1: Todos los datos sobre metro cúbico ó pie cúbico de gas están referidos a condiciones estándar.

Nota 2: Los líquidos pueden ser: hidrocarburos, agua y otros contaminantes en estado líquido.

Nota 3: El máximo tamaño de las partículas debe ser 15 micrones.

6.3.4. Otros Combustibles

Aunque los tres combustibles citados anteriormente son los más utilizados en el Valle de Aburrá, en baja proporción también son usados los residuos de madera, el bagazo, la cáscara de coco, el fique, la borra o sedimentos de café y los aceites residuales. Estos aunque tienen menor eficiencia energética, son usados debido a que generalmente son subproductos del proceso industrial y resultan más económicos para el consumidor.

6.4. RECOLECCIÓN DE DATOS

6.4.1 Información Referente a las Fuentes Fijas de Emisión

Actualmente se tiene una base de datos actualizada con la información de 366 empresas y 887 fuentes de emisión, tal información ha sido verificada en campo, a través de correo electrónico y llamadas telefónicas. Entre la información recopilada se tiene:

- Datos de la visita: Fecha y evaluador
- Datos generales de la empresa: Código ante la autoridad ambiental competente, nombre de la empresa, sector industrial al cual pertenece, dirección, geo-referenciación, jurisdicción, teléfono, municipio, responsable, cargo y correo electrónico.
- Información técnica: Equipo y su clasificación, tipo de combustible y consumo, marca del equipo, año de fabricación, modelo y capacidad, frecuencia de funcionamiento del dispositivo en horas/mes y mes/año, equipo de control de emisiones y porcentaje de eficiencia, diámetro y altura de la chimenea, y si el equipo es una caldera se pide la configuración de la misma y el tipo de alimentación.

Esta base de datos está disponible en un archivo de Excel llamado Inventario_FF_2009.xls, donde se encuentra la información base y las emisiones de aproximadamente 180 contaminantes en kilogramos/hora y toneladas/año, además de una serie de análisis de emisiones por sector, uso de combustibles, mayores emisores, entre otros.

6.4.2 Información Referente a Muestreos Isocinéticos

Para este inventario fueron recopilados 220 muestreos isocinéticos realizados durante el año 2009 a través del Convenio No. 559 de 2008, suscrito entre el Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental, GIGA, de la Universidad de Antioquia y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Otros datos se encontraron en los realizados por la Línea de Estudios Atmosféricos del Grupo de Investigaciones Ambientales, GIA, de la Universidad Pontificia Bolivariana. Aunque se solicitó en varias ocasiones información a otros consultores estos no permitieron la consulta de los muestreos realizados por ellos debido a la confidencialidad con las empresas que los contratan.

La información recopilada para cada muestreo se almacenó en un archivo de Excel nombrado Muestreos isocineticos_2009.xls con los siguientes datos: día, mes y año del muestreo, consultor que realiza el muestreo, código ante la autoridad ambiental

competente y nombre de la empresa muestreada, sector al cual pertenece, dirección, teléfono, municipio, responsable del equipo muestreado, cargo y correo electrónico.

En cuanto a la información concerniente al equipo se tiene: clase de equipo, tipo y cantidad de combustible utilizado, consumo nominal, marca del equipo, año de fabricación, modelo, capacidad, frecuencia de trabajo en horas/mes y mes/año, proceso llevado a cabo en el equipo, la producción promedio, altura y diámetro de la chimenea, y en caso de tener equipo de control de emisiones, su tipo; si el equipo es una caldera es muy importante tener información acerca de su configuración y el tipo de alimentación del combustible.

En lo referente a las variables del muestreo, se recopiló la emisión en kilogramos por hora (kg/h) y a condiciones de referencia de material particulado, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno; además de la concentración en miligramos por metro cúbico (mg/m^3) a condiciones de referencia y con corrección de oxígeno para esos mismos contaminantes, según lo exige la norma que regula las fuentes fijas de emisión, Resolución 909 de 2008. También se recolectó el porcentaje en volumen de oxígeno y de dióxido de carbono, y la concentración en partes por millón (ppm) de monóxido de carbono. Por último, se tomaron la presión, temperatura y velocidad a condiciones de chimenea y el caudal a condiciones de referencia. La definición de las condiciones a las cuales son tomadas las variables es muy importante para un análisis posterior en cual se determina en qué cantidad disminuirían las emisiones en el caso de que las fuentes que incumplen la norma, la cumplieran.

6.5. METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE EMISIONES EN FUENTES FIJAS

Un estimado de emisiones se basa en una técnica que usa factores de emisión (una fuente específica de emisión medida como una función del nivel de actividad).

La *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA) ha compilado factores de emisión para una gran variedad de fuentes y niveles de actividad (como producción o consumo), reportando los resultados desde 1972 en el *AP-42 Compilation of Air Pollution Emission Factor*, para el cual son emitidos suplementos regularmente. Los factores de emisión usados actualmente son desarrollados a partir de un número limitado de muestreos y los valores reportados son un promedio de esos muestreos por lo que pueden no ser estadísticamente representativos de la población.

Estos factores se expresan normalmente como el peso del contaminante dividido por una unidad de peso, volumen, distancia o duración de la actividad de emisión del contaminante, por ejemplo, kilogramos de partículas emitidas por megagramo de carbón quemado. En la mayoría de los casos, los factores de emisión son promedios de todos los datos disponibles de calidad aceptable, y en general se supone que sea representativo de los promedios a largo plazo para todas las instalaciones de categoría de fuente.

La ecuación general para la estimación de emisiones es:

$$E = A \times EF \times \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \quad \text{Ecuación 6.1}$$

Donde:

E = Emisiones

A = Tasa de actividad

EF = Factor de emisión

ER = Eficiencia del equipo de control de emisiones, %

6.5.1 Actualización de Factores de Emisión para la Especiación de los Compuestos Orgánicos Volátiles y Material Particulado

Inicialmente es necesario considerar la especiación de las sustancias contaminantes lo cual se define, según la SEMARNAT⁹ como la desagregación de un contaminante del inventario en sus componentes químicos individuales o en grupos químicos específicos.

Una de las principales razones de la especiación es su uso en la modelización fotoquímica, donde es necesaria conocer cuáles hidrocarburos son emitidos e identificar las diferentes reactividades químicas o fotoquímicas. Las emisiones totales de hidrocarburos se agrupan por diferentes procedimientos particulares dependiendo del mecanismo de reacción química que se elija para representar adecuadamente las reacciones químicas que ocurren en la atmósfera, en uno de los casos se asigna un nivel de reactividad propio para cada grupo de especies.

Las sustancias químicas que se consideran fotoquímicamente reactivas se denominan gases orgánicos reactivos (ROG, por sus siglas en inglés). Por definición, los ROG son un subconjunto de los compuestos orgánicos totales (TOC, por sus siglas en inglés) fotoquímicamente activos, integrados por hidrocarburos que pueden contribuir a la formación del *smog*. En algunos casos, los ROG también son conocidos como compuestos orgánicos volátiles (VOC, por sus siglas en inglés). Los factores de emisión publicados en el AP-42 de la EPA (U. S. EPA, 1995) se presentan tanto como TOC o como ROG/VOC. Otras definiciones de hidrocarburos que ocasionalmente aparecen en la literatura de calidad del aire y de los factores de emisión incluyen: gases orgánicos no metánicos (NMOG, por sus siglas en inglés), hidrocarburos no metánicos (NMHC, por sus sigla en inglés), hidrocarburos totales (THC, por sus siglas en inglés), e hidrocarburos (HC).

⁹ SEMARNAT, Op. Cit., p. 16

En este caso, la especiación de compuestos orgánicos volátiles se realiza siguiendo las directrices plasmadas en el documento *AP-42 Compilation of Air Pollution Emission Factor*, recopilando factores de emisión para más de 140 especies químicas y que se puede consultar en el Anexo C.

La información usada para la especiación de las sustancias químicas y para la distribución de tamaño de partículas está disponible a través de la base de datos SPECIATE 4.2 formulada por la EPA. Esta contiene los perfiles de especiación para 3.326 actividades susceptibles de emitir material particulado, 1.624 actividades emisoras de gases orgánicos y 237 actividades que pueden emitir otros gases, para un total de 2.207 sustancias químicas.

Adicionalmente la especiación del material particulado se extrajo de esta base de datos, agregando porcentajes en peso para cuatro especies: sulfato, nitrato, carbono orgánico y carbono elemental, para fuentes fijas (Anexo D) y para fuentes móviles (Anexo E).

6.5.2. Actividades Industriales y Contaminantes

En la optimización del inventario de emisiones se incrementaron algunas de las actividades industriales, se ajustaron los valores de factores de emisión de acuerdo a nueva información recolectada y se cambiaron otros factores de emisión de acuerdo al *AP-42 Compilation of Air Pollution Emission Factor* de la EPA y que son las listadas en la tabla 6.5.

Las actividades citadas allí son las responsables de la emisión de diferentes tipos de contaminantes; para este inventario se han recopilado factores de emisión para 180 especies.

Tabla 6.5 - Actividades para las que se recopilaron factores de emisión

Actividad	Equipos y procesos
Combustión de carbón sub-bituminoso	Calderas manuales y automáticas, con o sin control de emisiones
Combustión de aceites combustibles	Calderas de capacidades inferiores a 3000 BHP que usan aceites destilados y residuales
Combustión de gas natural	Calderas de capacidades inferiores a 3000 BHP y hornos residenciales
Combustión de gas licuado de petróleo (GLP)	Calderas comerciales e industriales
Combustión de residuos de madera	Calderas que usan trozos de madera sin control de emisiones
Combustión de bagazo	Calderas
Combustión de aceites residuales	Hornos
Producción de ladrillos	Secadores de ladrillo con gas natural, operaciones de trituración, molienda y cribado, hornos túnel que usan carbón como combustible, hornos pampa
Producción de cerámica	Trituración y cribado del material crudo, hornos de secado y quemado
Producción de fritas (mezcla fundida de materiales inorgánicos usados para recubrir elementos cerámicos)	Hornos de fundición con y sin control de emisiones
Producción de asfalto	Hornos rotatorios con y sin control de emisiones, hornos de calentamiento de asfalto
Fundición de hierro	Hornos cúpula, reverberatorios y de arco eléctrico
Fundición de aluminio	Crisoles y hornos reverberatorios
Fundición de cobre	Hornos cúpula y reverberatorios
Producción de jabón y detergente	Pulverización y secado
Incineración de residuos	Incineradores
Tostado de café	Manejo y molienda de café verde, tostadores y enfriadores de café
Producción de pasabocas	Freidoras de papas y otros pasabocas

En la tabla 6.6 se muestran las especies para las que se recolectaron factores de emisión, en donde se agrupan de acuerdo al mecanismo de reacción química que va a ser usado para el modelo de pronóstico de la calidad del aire.

 Tabla 6.6 - Especies químicas presentes en el inventario

<i>Grupo</i>	<i>Especies</i>
Contaminantes criterio	CO, CO ₂ , NO ₂ , NO, VOC, PM, PM10, PM2.5, PM1.0, SO ₂ , SO ₃ , CH ₄ , NMVOC
Alcanos	Etano, propano, butano, isobutano, n-pentano, n-hexano, n-heptano, n-octano, n-nonano, 2,2,4-trimetilpentano, ciclohexano, ciclopentano, metilciclohexano, isooctano(2,2,4-trimetilpentano), 2-metil-1-penteno, 3-metilpentano
Alquenos	Etileno, propileno, 1,3-butadieno, 1-penteno, 2-metil-2-buteno
Alcoholes	Metanol
Aldehídos	Formaldehído, acetaldehído, acroleína, benzaldehído, crotonaldehído, isobutiraldehído, propionaldehído, hexanal, o-tolualdehído, p-tolualdehído, crotonaldehído, propanal
Cetonas	Isoforona, acetofenona, metil etil cetona, 2-cloroacetofenona, 2-hexanona, acetona
Ácidos	Ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico, ácido benzoico
Ésteres	Metil metacrilato, vinil acetato
Éteres	Metil ter butil eter
Aromáticos	Tolueno, etilbenzeno, xilenos (orto, meta, para), 1,2,3-trimetilbenzeno, 1,2,4-trimetilbenzeno, 1,3,5-trimetilbenzeno, estireno, benzeno, cumeno, fenol, 2,4-dinitrotolueno, bifenil, 2-metilnaftaleno, 7,12-dimetilbenz(a)antraceno, acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(a)pireno, benzo(e)pireno, benzo(g,h,i)perileno, criseno, dibenzo(a,h)antraceno, fluoreno, indeno(1,2,3-cd)pireno, naftaleno, fenantreno, pireno, 5-metil criseno, carbazole, 2,4-dinitrofenol, 2-nitrofenol, 4-nitrofenol, perileno, 2-metilfenol, bis(2-etilhexil)ftalato, butilbenzilftalato, di-n-octilftalato, dietilftalato, dimetilftalato, di-n-butilftalato, dimetilftalato
Halogenuros	Bromoformo, cloroformo, benzil cloruro, 1,1,1-tricloroetano, metil bromuro, metilcloruro, etilcloruro, etilen dicloruro, etilen dibromuro, 3-metilclorantreno, benzo(b,j,k)fluoroanteno, diclorobenzeno, fluoranteno, tetracloroetileno, tetracloruro de carbono, cloronaftaleno, 2-clorofenol, 1,2-dibromoetano, diclorobifenil, 1,2-dicloroetano, diclorometano, 1,2-dicloropropano, heptaclorobifenil, hexaclorobifenil, monoclorobifenil, pentaclorobifenil, pentaclorofenol, triclorobifenil, tricloroetano, triclorofluorometano, 2,4,6-triclorofenol, vinil cloruro, tetracloroetano, tricloroetano, yodometano, 1,1-dicloroetano, 1,3-dicloropropeno, metil cloroformo, clorobenzeno, decaclorobifenil
Metales (incluye semimetales, metales de transición y alcalinos)	Berilio, cadmio, cromo, cromo (IV), cobalto, cobre, plomo, magnesio, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, vanadio, cinc, hierro, potasio, plata, sodio, estroncio, estaño, titanio, itrio, talio, bario, antimonio, arsénico
Compuestos azufrados	Disulfuro de carbono, dimetil sulfato
Compuestos nitrogenados	Cianuro, metil hidracina, N ₂ O, acrilonitrilo
Dioxinas y furanos	p-dioxinas dibenzoclorinadas, dibenzofuranos policlorinados
Otros	Cloro, selenio, sulfato, nitrato, carbono orgánico, carbono elemental

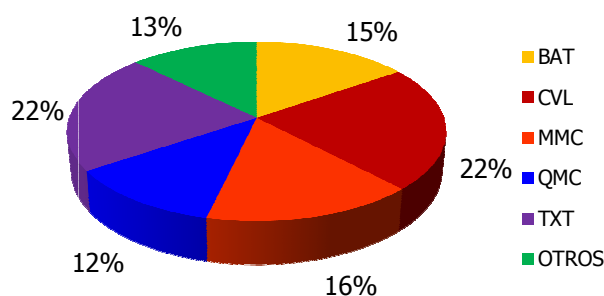
Los factores de emisión recopilados y actualizados se encuentran en el archivo digital FE_AP42_2009.xls, en este archivo se encuentran los factores de emisión en unidades tanto del sistema inglés como internacional. Las actividades productivas así como los contaminantes permanecen en idioma inglés, pues esto facilita su trazabilidad, es decir, hacer un seguimiento entre la fuente de los datos (AP-42) y la recopilación que se ha hecho en este estudio, en caso de que haya lugar a futuras actualizaciones.

6.6. RESULTADOS DE EMISIONES EN FUENTES FIJAS

6.6.1. Emisiones por Sectores Productivos

La figura 6.7 muestra los principales sectores productivos que componen la industria localizada dentro del Valle de Aburrá. Este aporte porcentual es estimado a partir del número de fuentes fijas o chimeneas que posee cada actividad productiva.

Figura 6.7 - Sectores productivos que integran la industria en el valle de Aburrá



BAT: Bebidas, alimentos y tabaco, CVL: Cerámico, vítreo y ladrillero, MMC: Metalmecánico, QMC: Químico, TXT: Textil, OTROS: Asfaltadoras, curtimbres, maderero, papeleras, plásticos, terciario.

Como puede verse el sector cerámico, vítreo y de ladrilleras (CVL) y el sector textil (TXT) son los que más fuentes o chimeneas tienen. El resto de los sectores disponen de una distribución equilibrada entre ellos.

La estimación de las emisiones de contaminantes criterios se muestra en la tabla 6.7 y la gráfica 6.2 donde se puede observar que el sector CVL y TXT, que son los de mayor cantidad de chimeneas, emiten en mayor proporción los contaminantes criterio.

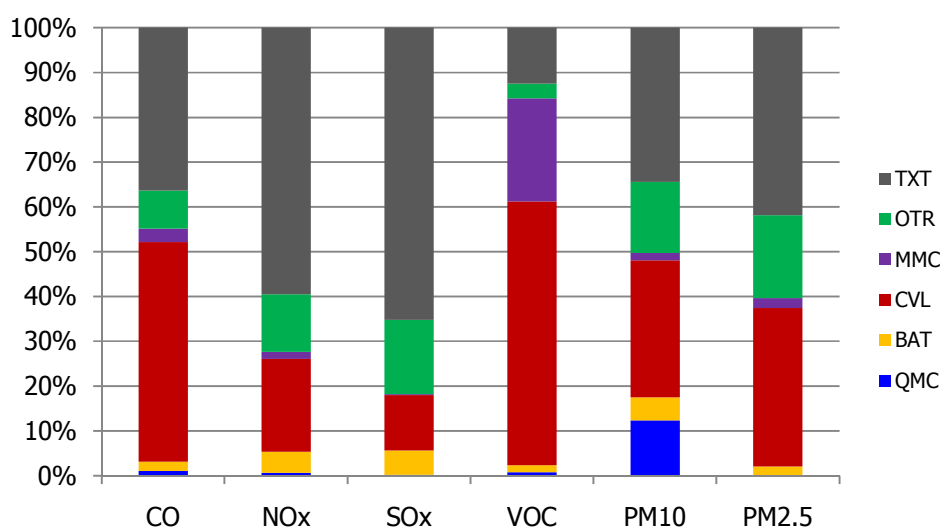
Tabla 6.7 - Emisiones de contaminantes por fuentes fijas, año 2009

Año 2009 (ton/año)						
Sector productivo	CO	NO_x	SO_x	VOC	PM10	PM2.5
ASF	96	20	9	13	210	1
BAT	518	204	417	30	124	42
CUR	27	26	58	4	18	11
CVL	4.698	720	698	1.064	518	210
MAD	27	3	2	2	6	5
MMC	285	56	13	416	29	13
OTR	7	12	11	0	0	0
PAP	219	193	440	24	119	50
PCE	12	7	7	1	2	2
QMC	205	164	308	29	88	11
TER	2	2	0	0	0	0
TXT	3.489	2.065	3.684	225	585	248
TOTAL	9.584	3.472	5.647	1.808	1.700	592

Los resultados muestran que los sectores CVL y TXT son los mayores aportantes de CO, NO_x, PM10 y PM2.5, debido principalmente al uso de carbón y materia orgánica en calderas y hornos. Más del 80% de los VOC son emitidos por el sector CVL y MMC, lo que se debe al uso de madera como combustible y a la aplicación de recubrimientos de pintura sobre láminas metálicas. Por otro lado las mayores emisiones de SO_x la realizan los

sectores TXT, CVL, PAP y BAT principalmente debido al uso de carbón en equipos de combustión.

Figura 6.8 – Distribución de emisiones relativo al sector productivo



BAT: Bebidas, alimentos y tabaco, CVL: Cerámico, vítreo y ladrillero, MMC: Metalmecánico, QMC: Químico, TXT: Textil, OTROS: Asfaltadoras, curtimbres, maderero, papeleras, plásticos, terciario.

6.6.2. Emisiones por Municipio de SO_x , NO_x y PM_{10}

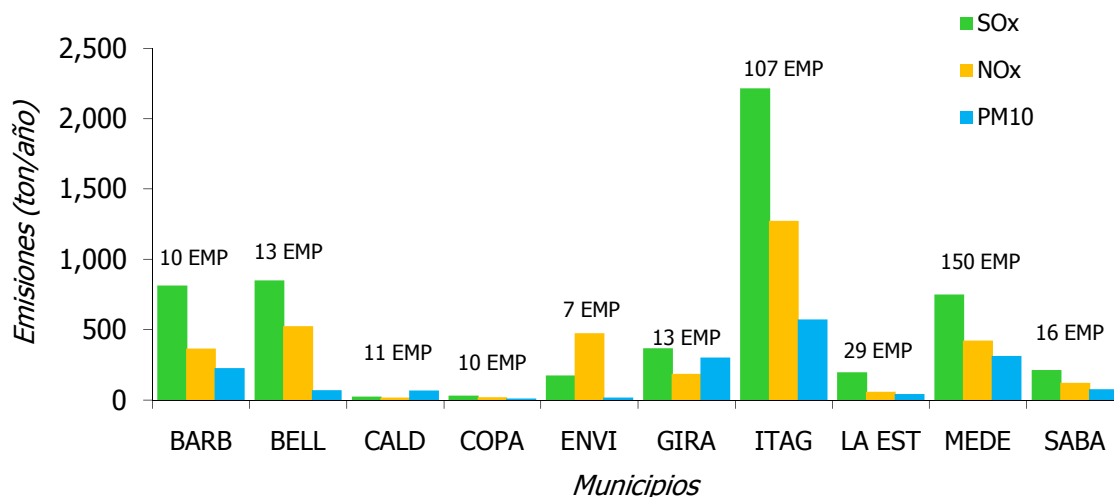
La tabla 6.8 indica la distribución de las emisiones por municipio para óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x) y material particulado menor a 10 micrómetros (PM_{10}). La selección de estos tres contaminantes se realiza teniendo en cuenta dos aspectos: 1) son los de mayor emisión y 2) son los principales causantes de la formación de aerosoles y de material particulado menor a 10 μm que se ve reflejado en la superación de la norma en el Valle de Aburrá.

De acuerdo a la información de MODEAM los municipios con mayor emisión de contaminantes son Itagüí, Bello, Barbosa y Medellín. La figura 6.3 ayuda a visualizar las emisiones y el número de fuentes que lo liberan. Por ejemplo se resalta que aunque en Medellín se encuentran la mayoría de los puntos de emisión, en Itagüí, Bello y Barbosa se presentan las mayores emisiones de SO_x, debido al tipo de industria que allí se asienta.

Tabla 6.8 - Emisiones de SO_x, NO_x y PM₁₀ por municipio debido a fuentes fijas, año 2009

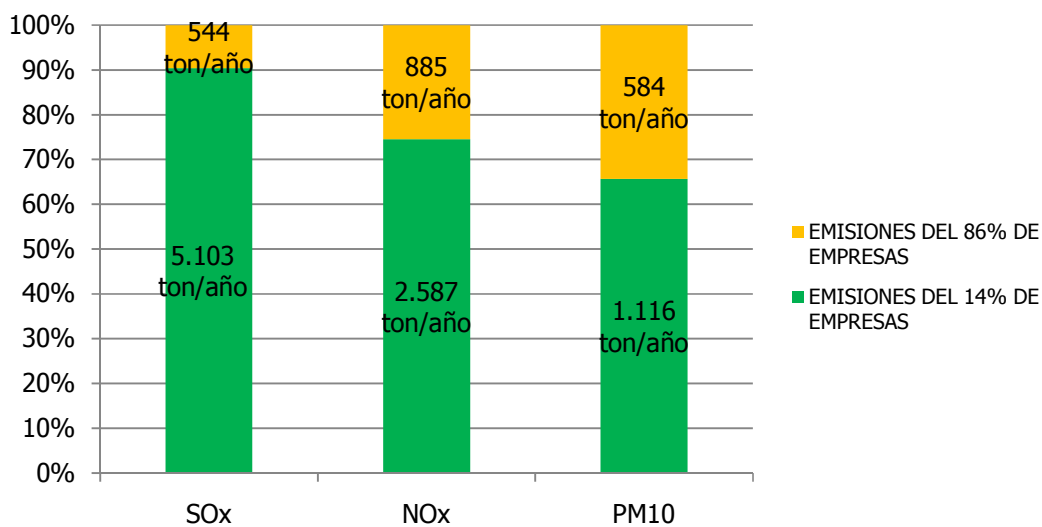
Año 2009 (ton/año)					
Municipio	Fuentes	Empresas	SO_x	NO_x	PM₁₀
<i>Barbosa</i>	30	10	815	368	227
<i>Bello</i>	34	13	849	527	70
<i>Caldas</i>	20	11	26	17	68
<i>Copacabana</i>	22	10	33	19	9
<i>Envigado</i>	13	7	174	475	18
<i>Girardota</i>	29	13	370	185	303
<i>Itagüí</i>	237	107	2.216	1.276	572
<i>La Estrella</i>	61	29	198	60	44
<i>Medellín</i>	343	150	751	422	314
<i>Sabaneta</i>	98	16	214	124	76
<i>Total</i>	887	366	5.647	3.472	1.700

Figura 6.9 - Cantidad de emisiones de SO_x, NO_x y PM₁₀ por municipio



Un análisis interesante es el mostrado en la figura 6.10, donde puede verse como el 90% de las emisiones de SO_x, más del 70% de las emisiones de NO_x y más del 60% de las emisiones de PM10 son emitidas por el 14% de las empresas, lo que equivale a 51 empresas y a 83 fuentes de emisión.

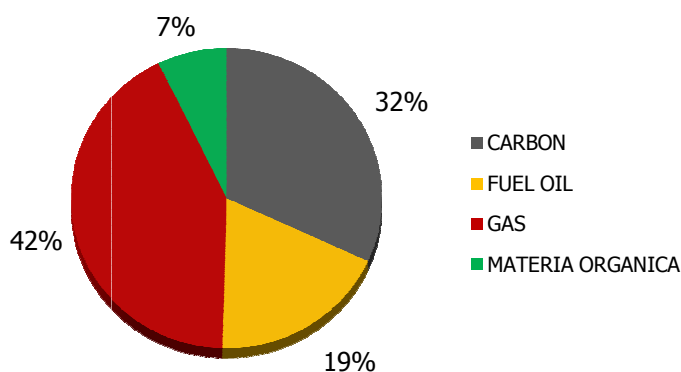
Figura 6.10 - Distribución de la concentración de emisiones



6.6.3. Emisiones por Tipo de Combustible

La información consignada en la base de datos MODEAM permite establecer la distribución de uso de combustibles en el Valle de Aburrá. En la figura 6.11 puede apreciarse el gas (incluye tanto gas natural como gas licuado de petróleo) y el carbón encabezan la lista de combustibles más usados, con el 42% y 32%, respectivamente.

Figura 6.11 - Combustibles usados por las fuentes fijas



Estos combustibles en su mayoría son usados por los procesos industriales que utilizan calderas y hornos, tal y como se ilustra en la tabla 6.9. Estos equipos se clasifican de acuerdo al tipo de combustible utilizado, que puede ser carbón, fuel oil (No. 2 y No. 6), gas (natural y licuado de petróleo) y materia orgánica (fique, cáscara de coco, borra de café, madera).

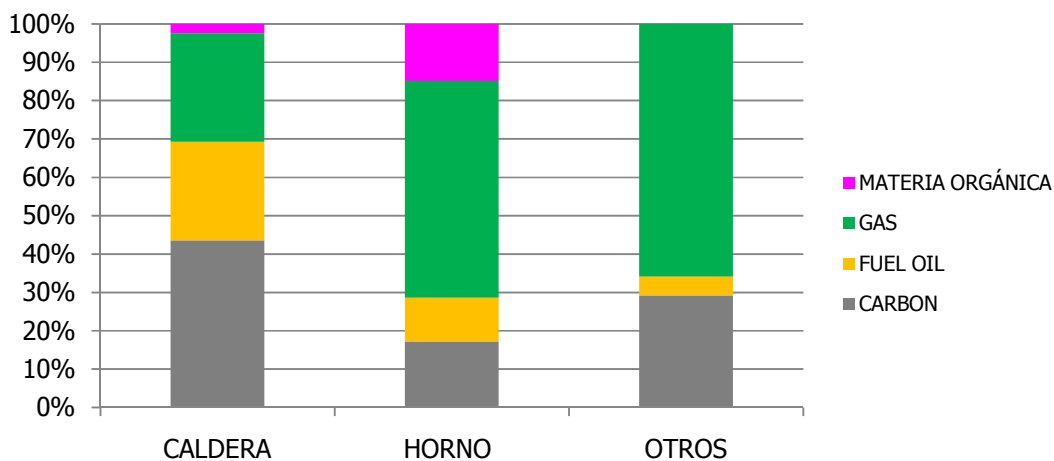
Una mirada a estos valores muestra como el 44% de las calderas usan carbón como combustible, el 57% de los hornos usan gas natural. En la figura 6.12 puede observarse claramente esta distribución de equipos de acuerdo al tipo de combustible usado.

Tabla 6.9 - Clasificación de las fuentes de emisión de acuerdo al uso de combustibles

Combustible	Calderas	Hornos	Otros
-------------	----------	--------	-------

	No	%	No	%	No	%
<i>Carbón</i>	159	44	50	17	12	29
<i>Fuel oil</i>	94	26	33	11	2	5
<i>Gas</i>	103	28	164	57	27	66
<i>Materia orgánica</i>	9	2	43	15	0	0
<i>Total</i>	365	100	290	100%	41	100

Figura 6.12 - Uso de combustibles de acuerdo al tipo equipo



Los hornos que más usan materia orgánica son los utilizados en el sector CVL y las calderas que usan carbón en el sector TXT.

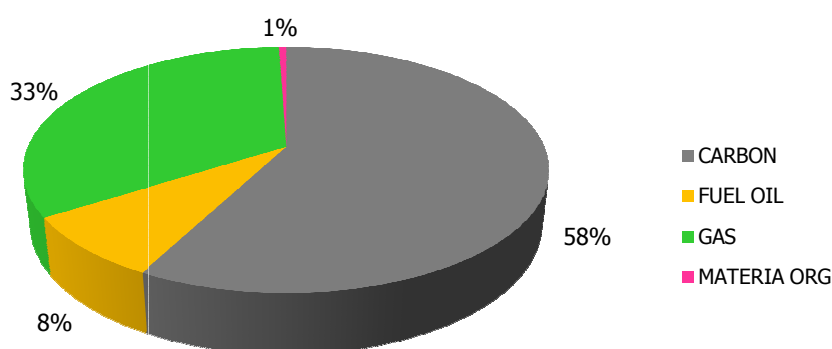
En la tabla 6.10 se tabula el consumo de combustibles de las fuentes fijas que componen el inventario.

Tabla 6.10 – Consumo de combustibles y consumo energético

Combustible	Consumo	Unidad	MJ/mes
<i>Carbón</i>	42.033	ton/mes	948.270.437
<i>Fuel oil</i>	930.700	gal/mes	135.507.768
<i>Gas</i>	14.778.751	m ³ /mes	550.645.902
<i>Materia orgánica</i>	1.022	ton/mes	8.582.205

Debido a que los consumos de combustible no son comparables entre sí se hace un balance energético y se gráfica en la figura 6.13.

Figura 6.13 – Balance energético en la fuentes fijas localizadas en el Valle de Aburrá



Como puede verse el 58% de la energía proporcionada por el uso de combustibles la suministra el carbón, seguido del gas natural con un 33%; en menor proporción aportan el fuel oil y la materia orgánica con un 8% y 1%, respectivamente.

En la tabla 6.11 y figura 6.14 se muestra la distribución de emisiones de acuerdo al tipo de combustible utilizado, en donde como es de esperarse el carbón emite la mayor proporción de todos los contaminantes a excepción de los COV que son emitidos en mayor proporción por la materia orgánica.

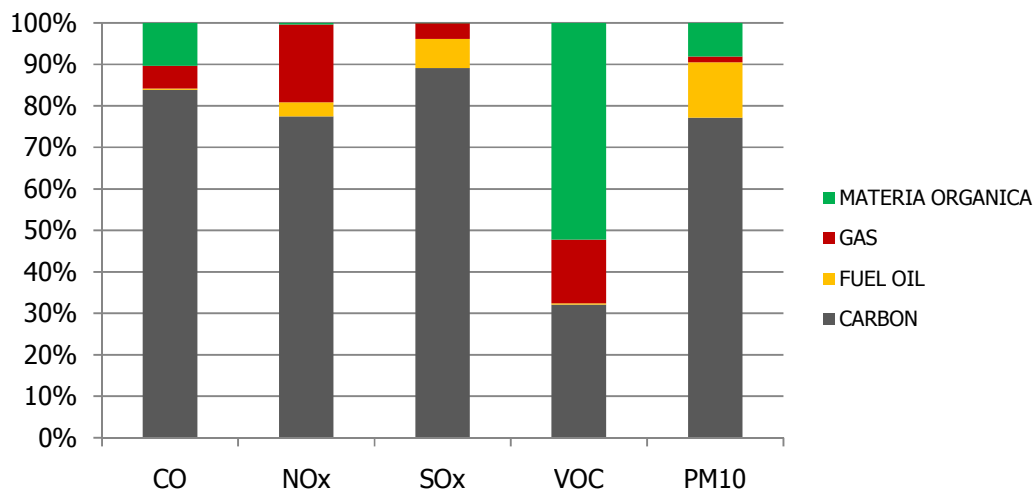
Tabla 6.11 - Distribución de emisiones de acuerdo al uso de combustibles

	CO	NOx	SOx	VOC	PM10	PM2.5
Carbón	7.994	2.687	5.029	513	1.286	566
Fuel Oil	27	118	400	5	223	13
Gas	520	650	212	247	23	5
Materia orgánica*	991	14	4	835	135	8
Total	9.532	3.470	5.646	1.600	1.668	592

*Incluye bagazo y residuos de madera.

Los resultados totales de emisiones por tipo de combustible no coinciden con los resultados totales del inventario de fuentes fijas, debido a que no todas las fuentes usan combustible, muchos equipos son eléctricos (por ejemplo hornos de fundición de arco eléctrico) o no tienen una fuente de energía directa (se pasa aire caliente en un proceso de secado pudiéndose generar material particulado, entre otros).

Figura 6.14 - Aporte de contaminantes de acuerdo al tipo de combustible



El alto uso del carbón, ligado a su poder calorífico y bajos precios lo hace el combustible más utilizado por las fuentes fijas, y a su vez el que mayor aporte hace a la emisión de contaminantes.

6.7. ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO DE ESTÁNDARES DE EMISIÓN (RESOLUCIÓN 909 DE 2008)

En el mes de junio de 2010 entró en vigencia la Resolución 909 de 2008 con lo cual todas las fuentes industriales deben cumplir con estándares basados en la concentración de material particulado y gases en mg/m^3 , algunos de ellos mostrados en las tablas 6.12 a 6.15.

Tabla 6.12 - Industrias existentes de fabricación de productos textiles, a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia al 11%

Contaminante	Flujo del contaminante (kg/h)	mg/m^3
PM	TODOS	250
SO ₂	TODOS	550
NO _x	TODOS	550

Tabla 6.13 - Equipos de combustión externa existentes a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 11%

Combustible	PM (mg/m^3)	SO ₂ (mg/m^3)	NO _x (mg/m^3)
Sólido	200	500	350
Líquido	200	500	350
Gaseoso	NO APLICA	NO APLICA	350

Tabla 6.14 - Industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla, a condiciones de referencia (25 °C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 11%

Combustible	PM (mg/m^3)	SO ₂ (mg/m^3)	NO _x (mg/m^3)
Sólido	250	550	550
Líquido	250	550	550
Gaseoso	NO APLICA	NO APLICA	550

Tabla 6.15 - Actividades industriales a condiciones de referencia (25°C, 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 11%

Contaminante	Flujo del contaminante (kg/h)	Actividades industriales existente (mg/m ³)	Actividades industriales nuevas (mg/m ³)
PM	≤ 0,5	250	150
	> 0,5	150	50
SO ₂	TODOS	550	500
NO _x	TODOS	550	500
HF	TODOS		8
HCl	TODOS		40
HCT	TODOS		50
Dioxinas y furanos	TODOS		0,5*
H ₂ SO ₄	TODOS		150
Pb	TODOS		1
Cd y sus compuestos	TODOS		1
Cu y sus compuestos	TODOS		8

*Las dioxinas y furanos se expresan en (ng-EQT/m³), EQT: Equivalencia de toxicidad

Utilizando la resolución se efectúan análisis para determinar en qué cantidad se reducirían las emisiones de material particulado, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, en caso de que las fuentes que incumplen los estándares de emisión realizaran las adecuaciones necesarias para cumplir.

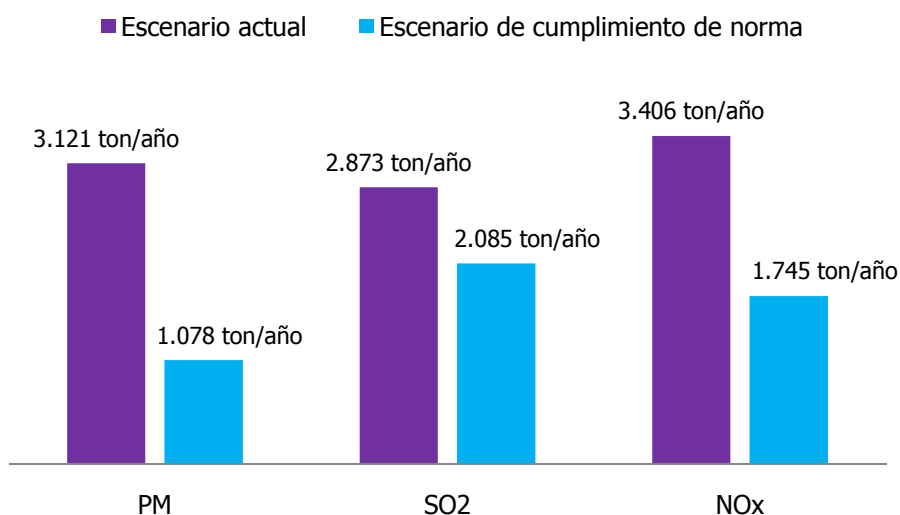
En el ejercicio se toman 211 muestreos isocinéticos con la información referente a PM, SO_x y NO_x (aunque se recopilaban 220 muestreos, nueve de ellos habían sido hechos por GIA y GIGA-AMVA a la misma fuente por los que se omitieron los muestreos repetidos). Se determina que fuentes incumplen los estándares y se hace la suposición de que cumplen las normas de emisión en el límite máximo permitido por dicha norma. Esta concentración se convierte a carga y con estos valores se estima la cantidad total de emisiones. De esta manera se determina la cantidad de contaminantes que han dejado de emitirse a la atmósfera por el cumplimiento de los estándares de emisión.

Los resultados de este análisis de cumplimiento de norma se muestran en la tabla 6.16 y en la figura 6.15. La mayor disminución de emisiones se lograría para el material particulado, lográndose una reducción del 65%, seguido de disminuciones de óxidos de nitrógeno y dióxido de azufre, con reducciones del 27% y 49% aproximadamente.

Tabla 6.16 - Disminución de emisiones en caso de que las fuentes muestreadas cumplieran los estándares admisibles

	ton/año		
	PM	SO ₂	NO _x
Escenario actual	3.121	2.873	3.406
Escenario de cumplimiento de norma	1.078	2.085	1.745
Reducción	65%	27%	49%

Figura 6.15 - Disminución de emisiones en caso de que las fuentes muestreadas cumplieran los estándares admisibles



6.8. ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRES. MUESTREOS ISOCINÉTICOS Y FACTORES DE EMISIÓN

Un método para conocer el grado de certeza de los valores calculados con factores de emisión consiste en realizar la comparación entre las emisiones medidas con la prueba isocinética y las estimadas con factores de emisión para material particulado, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno en equipos de combustión externa como calderas de carbón y fuel oil.

Con el fin de hacer una estimación sobre que tan bien se ajustan las emisiones de PM, SO₂ y NO_x calculadas a través de factores de emisión, se hizo un análisis de dispersión para calderas a carbón y a fuel oil comparando las mediciones estimadas con las mediciones medidas por muestreo isocinético, obteniendo los resultados que se muestran en las figura 6.16 y 6.17.

Figura 6.16 - Calderas a carbón

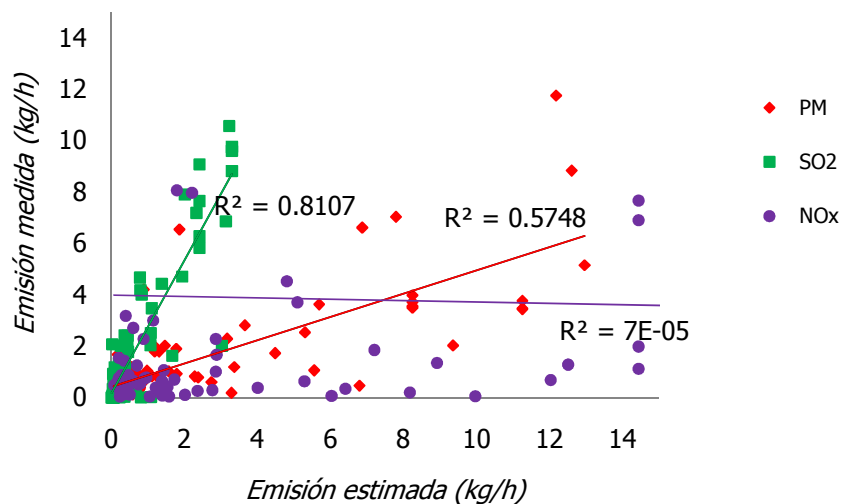
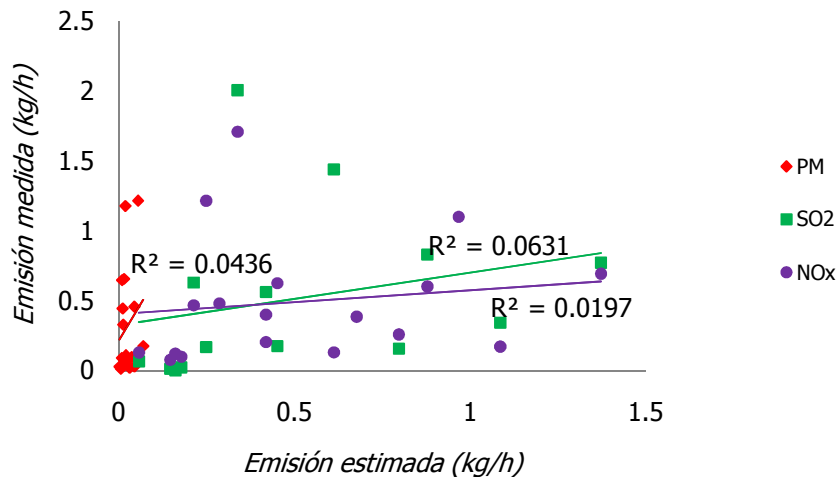


Figura 6.17 - Calderas a fuel oil



La figura 6.16 muestra que en las calderas a carbón la estimación SO₂ tiene una correlación del 80%, seguida del 50% para material particulado, lo que indica que para este último contaminante el método de factores de emisión reporta la mitad de las emisiones medidas.

En las calderas a carbón los factores de emisión de óxidos de nitrógeno son los que presentan un mínimo ajuste con un coeficiente de determinación (R^2) de 7×10^{-5} , y al ver la distribución de los puntos se infiere que hay una sobre-estimación de las emisiones de este contaminante, ya que las emisiones calculadas con factores de emisión tienden a ser mayores que las calculadas por muestreo isocinético.

En el caso de las calderas que usan fuel oil como combustible el grado en que se corresponden los valores estimados con los datos reales es muy bajo, con valores de 0.0436, 0.0631 y 0.0197 para el material particulado, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, respectivamente.

Las grandes diferencias entre las emisiones medidas y estimadas indican que: 1) los monitoreos varían de prueba a prueba debido a que no existe una estandarización de los mismos; 2) la selección del equipo en los factores de emisión es muy importante a la hora

de estimar las emisiones, la selección se basa en diversos parámetros como: tipo de alimentación del combustible, quemadores, calidad del combustible, entre otros; 3) manipulación del proceso de combustión para reportar menos emisiones.

A pesar de estos resultados, los factores de emisión continúan siendo la mejor opción para estimar las emisiones en el Valle de Aburrá, ya que no se cuenta con un número considerable de muestreos para cada uno de los diferentes tipos de fuentes presentes en el inventario, con lo que se conseguiría sacar factores de emisión locales que cumplan con los requerimientos estadísticos. Por otro lado, al usar factores de emisión se calculan las emisiones con iguales parámetros para cada categoría de fuente, en lugar de usar muestreos isocinéticos puntuales realizados en circunstancias que tal vez no reflejen las condiciones de operación normales del dispositivo.

Esta incertidumbre en el cálculo de las emisiones se tendrá en cuenta para su uso en el modelo fotoquímico, que ayudará a conocer una mejor aproximación de los valores más cercanos a la realidad.

7. FUENTES DE ÁREA

7.1. EMISIONES EVAPORATIVAS EN PROCESOS INDUSTRIALES

Las emisiones evaporativas industriales se refieren a las emisiones de compuestos orgánicos volátiles producidos en diferentes etapas de los procesos y que no necesariamente salen por una fuente fija puntual (chimenea).

En esta sección se caracterizan los procesos industriales de gran importancia por su tamaño y por lo tanto por sus emisiones difusas o de área, de compuestos orgánicos volátiles.

A continuación se reseñan los principales procesos tenidos en cuenta para la estimación de estas emisiones en el Valle de Aburrá.

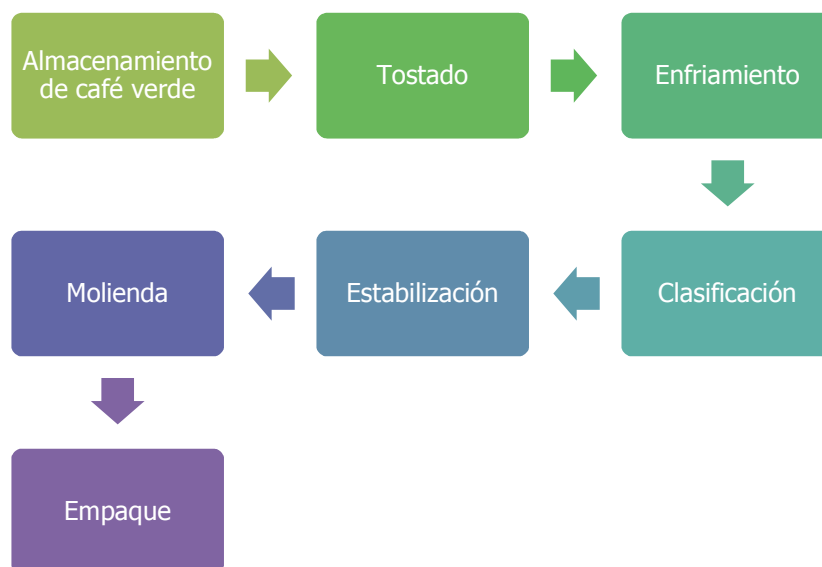
7.1.1. Descripción de los Procesos Productivos

Tostado de café

Los procesos de tostado de café incluyen la conversión de café verde en productos de café tostado, tanto entero como soluble. Este proceso incluye operaciones de limpieza, tostado, enfriamiento, molienda y empaque (ver figura 7.1).

Los tostadores operan a temperaturas entre los 370 °C y 540 °C, los granos son tostados por periodos de pocos minutos (máximo treinta minutos). Estos equipos generalmente son tambores rotatorios que arrojan los granos de café verde a una corriente de gases calientes. Después del tostado los granos son enfriados y llevados a un clasificador que remueve fragmentos indeseables y de aquí se transportan a una tolva de almacenamiento para someterlos a un proceso de estabilización. Posteriormente los granos de café son molidos y empacados al vacío para su distribución en el mercado.

Figura 7.1 - Esquema general del proceso de tostado de café



El proceso de tostado es la principal fuente de contaminantes gaseosos incluyendo alcoholes, aldehídos, ácidos orgánicos y compuestos de sulfuro y nitrógeno.

La tabla 7.1 presenta factores de emisión para compuestos orgánicos volátiles producidos durante el tostado de café.

Tabla 7.1 - Factores de emisión para las operaciones de tostado de café

Fuente	VOC (kg/Mg de café verde alimentado)
Tostador tipo batch	0,43
Tostador tipo batch con oxidador térmico	0,0235
Tostador continuo	0,7
Tostador continuo con oxidador térmico	0,08

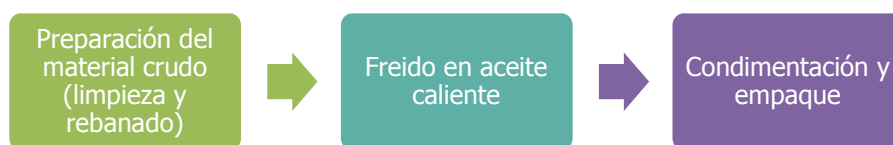
Fuente: US EPA, AP 42; Coffee roasting.

Fabricación de papas fritas y pasabocas

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.

Las papitas son el pasabocas más común; su preparación comienza con la limpieza de la papa y el corte en rodajas, luego son pasadas por agua presurizada para separar las rodajas y retirar el almidón de las superficies cortadas. Posteriormente son enjuagadas y parcialmente secadas para introducirlas en la freidora (ver figura 7.2)

Figura 7.2 - Esquema general para la fritura de pasabocas



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. La tabla 7.2 muestra los factores de emisión para el freído de pasabocas.

Tabla 7.2 - Factores de emisión para las operaciones de freído de pasabocas

Fuente	VOC (kg/Mg de producto terminado)
Papas fritas	0,009
Otros pasabocas	0,043

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

Producción de cerveza

La producción de cervezas o bebidas de malta comprende cuatro etapas: operaciones de cocción, fermentación, añejamiento o fermentación secundaria y empaque.

El proceso de elaboración de cerveza comienza con el remojo de los granos de malta para ablandarlos, después pasa a tanques de germinación por una semana aproximadamente, de allí entra a un horno para detener el proceso de germinación por medio del secado y pasa a trituration.

Malta molida y agua caliente se introducen en un tanque de maceración y climatización para convertir los almidones de los cereales en azúcares fermentables, para luego ser filtrado, el producto de este proceso se llama mosto.

El mosto es hervido para detener la conversión del almidón en azúcar, esterilizarlo, precipitar las proteínas hidrolizadas y concentrarlo por evaporación del agua; en el proceso de ebullición se añade el lúpulo. Luego, el mosto caliente es bombeado a un tanque de sedimentación para retirar el material insoluble, y el mosto caliente sin sedimentos pasa a un tanque de refrigeración, para más tarde agregar la levadura y pasar a fermentación (proceso en el que la levadura convierte los azúcares en etanol, dióxido de carbono y agua). Este proceso se lleva a cabo en tanques grandes que pueden ser abiertos o cerrados, si son cerrados tienen sistemas de recuperación de dióxido de carbono, usualmente con carbón activado.

Después de una primera fermentación los residuos de levadura son removidos y el líquido pasa a una segunda fermentación o proceso de añejamiento, terminado este proceso los sólidos son removidos por centrifugación o filtración y la cerveza es bombeada a un tanque de almacenamiento, para más tarde ser empacada en barriles, latas o botellas.

Entre los compuestos orgánicos volátiles emitidos en este proceso se encuentra el etanol, acetato de etilo y algunos aldehídos.

Figura 7.3 - Esquema general para la producción de cerveza



El factor de emisión de compuestos orgánicos volátiles para producción de cerveza es 0,00035 kg/ l de cerveza. La especiación se muestra en la tabla 7.3.

Tabla. 7.3 - Especiación de compuestos orgánicos volátiles emitidos en las operaciones de producción de cerveza

Especie	Porcentaje del total de VOC (%)
Etanol	59
Propanol	10
Hexanal	10
Dimetil sulfuro	10
Ácido acético	10
Diclorometano	1

Fuente: Emission Inventory Guidebook, EMEP/CORINAIR

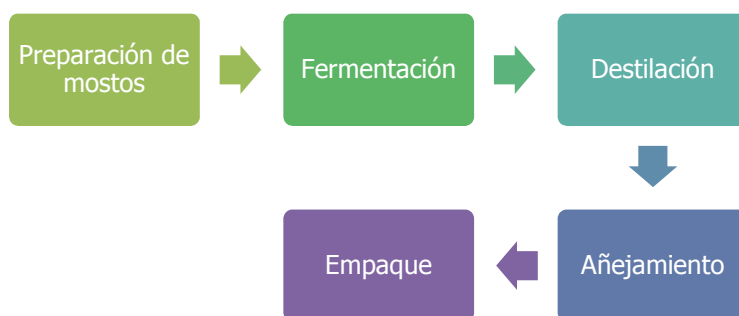
Producción de bebidas destiladas

El proceso de producción de alcohol comienza con la preparación de mostos (melaza y/o miel virgen, levadura y nutrientes) que una vez fermentados por la acción de la levadura produce etanol y dióxido de carbono. Este alcohol es destilado para aumentar su pureza. Los tipos de alcoholes que se producen son alcohol extrapuro, alcohol industrial, alcohol para ron y alcoholes superiores (ver figura 7.4).

Por fermentación de la glucosa proveniente del maíz y con mostos preparados, cebada y maíz germinado, se produce alcohol de cereal que es el insumo para producir vodka.

Las principales emisiones de compuestos orgánicos volátiles se componen de etanol, acetaldehído, glicerol y etil acetato y ocurren durante el añejamiento del licor. El factor de emisión para este tipo de procesos, reportado en el *Emissions Inventory Guidebook* preparado por EMEP/CORINAIR es de 0,15 kg/l de alcohol producido.

Figura 7.4 - Esquema general para la preparación de bebidas destiladas



Producción de pinturas y barnices

La fabricación de pintura consiste en la dispersión de un pigmento en un aceite o resina, seguido por la adición de un solvente orgánico para el ajuste de la viscosidad. Ninguna de las operaciones del proceso incluye reacción química y se llevan a cabo en grandes tanques de mezclado usualmente a temperatura ambiente (ver figura 7.5).

Figura 7.5 - Esquema general para la producción de pintura y barniz



Los principales factores que afectan las emisiones procedentes de la fabricación de pinturas son el tipo de solventes utilizados y la temperatura de mezcla (incluso bajo condiciones bien controladas se pierde 1% ó 2 % del solvente).

La fabricación de barniz consiste en la mezcla de varios componentes para producir una amplia gama de productos que al ser calentados reaccionan químicamente. El barniz es calentado en rectores por periodos de 4 a 16 horas a temperaturas entre 93 °C y 340 °C.

Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles dependen de las temperaturas y tiempos de residencia en el reactor y el solvente usado, se estima que entre el 1% y 6% de la materia prima es emitida. La tabla 7.4 muestra los factores de emisión para este proceso.

Tabla 7.4 - Factores de emisión para el proceso de fabricación de pintura y barnices

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

Fuente: US EPA, AP 42; Paint and varnish

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 piezas de tres latas 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. En la tabla 7.5 se tabulan los factores de emisión de compuestos orgánicos volátiles para el recubrimiento de rollos metálicos y latas.

Tabla 7.5 - Factores de emisión para el recubrimiento rollos metálicos y latas

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

Línea de recubrimiento, latas de dos piezas	39
Línea de sellado de latas de dos piezas	4

Fuente: USEPA, AP-42: Can coating

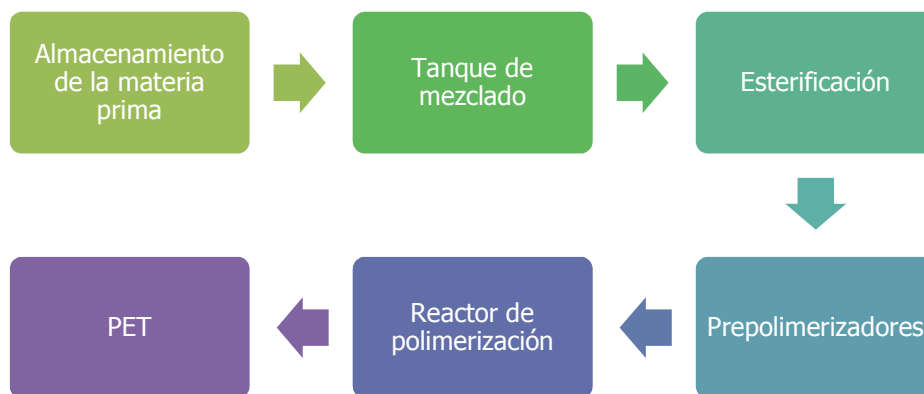
Producción de Tereftalato de Polietileno (PET)

El tereftalato de polietileno (PET, por sus siglas en inglés) es una resina de poliéster termoplástica, que puede ser clasificada como de baja o alta densidad. Es usada en la fabricación de fibras sintéticas como fibras de poliéster para la producción de empaques de comidas, cosméticos, medicamentos, entre otros.

El PET es producido a partir de etilenglicol (EG) y dimetil tereftalato (DMT) o ácido tereftalico (TPA). Con ambos compuestos se producen PET de alta y baja viscosidad, la cual es determinada por las condiciones de polimerización (nivel de vacío, temperatura, tiempo de residencia y grado de agitación). El proceso son DMT es el más antiguo de los procesos, pero el metanol como subproducto crea la necesidad de operaciones de recuperación y purificación de este alcohol, por lo que este proceso puede producir mayores cantidades de VOC.

Un esquema general para la producción de PET a partir de EG y DMT se muestra en la figura 7.6.

Figura 7.6 - Esquema general para producción de PET



Las emisiones de compuestos orgánicos volátiles dependen del tipo de sistema usado para la recuperación del etilenglicol en los prepolimerizadores y en el reactor de polimerización. Estas emisiones están compuestas principalmente por etilenglicol, pequeñas proporciones de metanol e impurezas volátiles en la materia prima.

Los factores de emisión para el proceso de producción de PET a partir de EG y DMT se muestran en la tabla 7.6.

Otras fibras sintéticas producidas en el Valle de Aburrá son el poliéster y el nylon, los factores de emisión para compuestos orgánicos volátiles se muestran en la tabla 7.7.

Tabla 7.6 - Factores de emisión para la producción de PET

Fuente	VOC (kg/Mg de producto)
Materia prima	0.1
Sistema de recuperación de metanol	0.3
Almacenamiento del metanol recuperado	0.09

Reacción de polimerización	
Prepolimerizador al vacío	0.009
Reactor de polimerización al vacío	0.005
Torre de enfriamiento	0.2* 3.4**
Tanque de almacenamiento de EG y otros hidrocarburos	0.0004
Sistema de recuperación de etilenglicol (condensadores)	0.01
Sistema de recuperación de etilenglicol (al vacío)	0.0005
Carga y almacenamiento de lodos	0.02
Total del proceso	0.7* 3.9**

*Con condensadores tipo spray. **Sin condensadores tipo spray

Tabla 7.7 - Factores de emisión para la producción de fibras sintéticas

Tipo de fibra	VOC (kg/Mg de producto)
Poliéster	
Grano	0.6
Hilo	0.05
Nylon 6	
Grano	3.93
Hilo	0.45
Nylon 66	
Grano	2.13
Hilo	0.31

Otros procesos

Aunque existen otros procesos con emisiones importantes de VOC, aun no se han elaborado factores de emisión para ellos, por ejemplo para el curtido de pieles, la

elaboración de productos del tabaco, y algunos sectores de la industria química (producción de resinas, adhesivos, tintas, desengrasantes, entre otros). Para estimar estas emisiones serían necesarias mediciones en campo, empleando algunas técnicas en área fuente como cámaras de flujo aisladas, túneles de viento y encerramiento de la fuente.

La especiación de VOC provenientes de las emisiones evaporativas consideradas anteriormente se presenta en el Anexo F.

7.1.2. Recolección de Datos

Se seleccionaron 12 grandes industrias cuyos procesos se describieron anteriormente; a estas empresas se les envió una comunicación por medio del Área Metropolitana del Valle de Aburrá solicitando información sobre producción y otras especificaciones requeridas. El número de empresas por cada proceso productivo se detalla en la tabla 7.8.

Tabla 7.8 - Cantidad de empresas seleccionadas para la estimación de emisiones evaporativas

Proceso	Cantidad de empresas
Tostado de café	1
Fabricación de papas fritas y pasabocas	1
Producción de cerveza	1
Producción de bebidas destiladas	1
Producción de pinturas y barnices	5
Recubrimiento de rollos metálicos y latas	2
Producción de Tereftalato de Polietileno (PET)	1
<i>Total</i>	12

Además del comunicado oficial, se enviaron varios correos electrónicos a las empresas que no respondieron recordando la importancia de suministrar la información para el proyecto "Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas", sin embargo varias empresas no proporcionaron la información.

7.1.3. Resultados de Emisiones Evaporativas en la Industria

De las 12 empresas a las que se requirió información 8 respondieron, y corresponden a los resultados que se muestran a continuación.

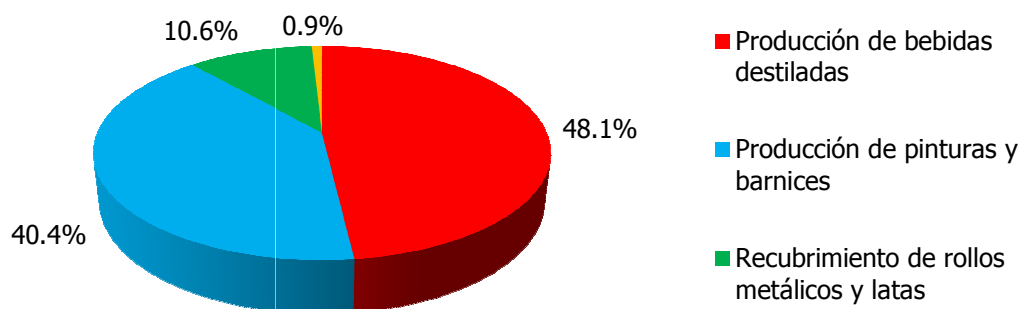
Tabla 7.9 – Emisiones evaporativas industriales, año 2009

Proceso	VOC (ton/año)
Tostado de café	Sin información
Fabricación de papas fritas y pasabocas	0,3
Producción de cerveza	Sin información
Producción de bebidas destiladas	1.251,2
Producción de pinturas y barnices	1.050,1
Recubrimiento de rollos metálicos y latas	275,6
Producción de Tereftalato de Polietileno (PET) y Nylon	22,2
<i>Total</i>	2.599,4

Como puede observarse las 8 empresas que proporcionaron información emiten un total de 2.599 ton/año de compuestos orgánicos volátiles, una cantidad representativa si se compara con las emisiones del inventario de fuentes fijas (1.808 ton/año provenientes de procesos de combustión) y considerando que corresponden a tan solo 8 empresas asentadas en el Valle de Aburrá.

La distribución porcentual de estas emisiones se muestra en la figura 7.7. Puede verse como el 48,1% de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles provienen de la producción de bebidas destiladas, el 40,4% de la producción de pinturas y barnices, el 10,6% al recubrimiento con capas orgánicas de rollos metálicos y latas y tan solo el 0,9% corresponde a la producción de Tereftalato de Polietileno, Nylon y fabricación de papas fritas y pasabocas.

Figura 7.7 - Distribución de emisiones de VOC causadas por emisiones evaporativas industriales, año 2009



Desafortunadamente no fue posible obtener información para los procesos de tostado de café, producción de cerveza, y producción de papas fritas y pasabocas, por lo que no se cuantificaron sus emisiones, además solo respondió una empresa del sector de pinturas y barnices.

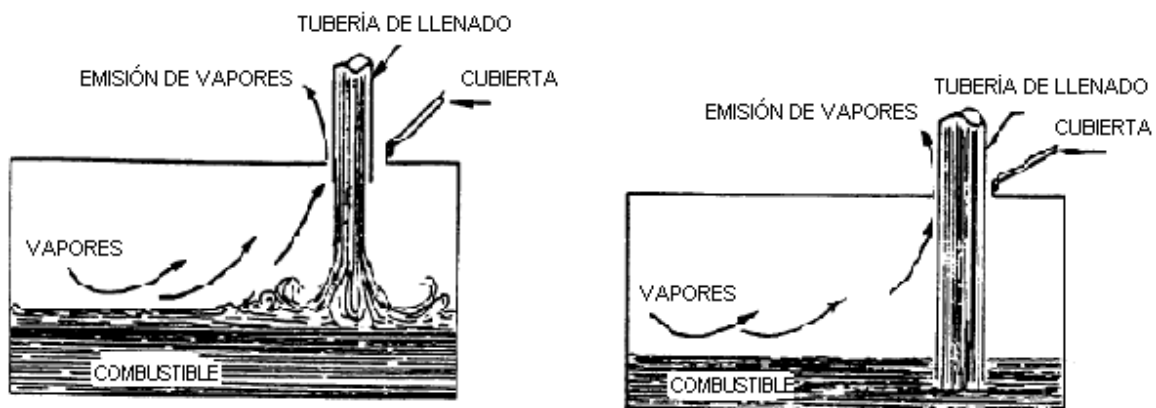
7.2. ESTACIONES DE SERVICIO DE COMBUSTIBLES

Las estaciones de servicio proveen gasolina, diesel y productos relacionados con los vehículos de carretera. Las emisiones son generadas en la descarga del combustible desde los carro-tanques hasta los tanques de almacenamiento subterráneos, por la expansión y contracción del líquido debido a los cambios diarios de temperatura y presión, y en la recarga de los vehículos.

La gasolina y el diesel son una mezcla de hidrocarburos; las sustancias típicamente emitidas por el almacenamiento y manejo de estos combustibles son: benceno, n-hexano, tolueno, ciclohexano, etilbenceno, estireno, xilenos y compuestos orgánicos volátiles totales.

Para la recarga del tanque de almacenamiento se introduce una tubería que va desde el carro-tanque hasta el tanque de almacenamiento, y se produce la descarga del combustible, que puede hacerse de dos formas: 1) consiste en dejar la tubería sobre la superficie del líquido y dejar que el combustible caiga por gravedad tal como se observa en la primera imagen de la figura 7.8, este método aumenta la turbulencia del fluido lo que facilita la transferencia de masa de la fase líquida a la fase vapor; 2) consiste en disponer la tubería por debajo de la superficie del líquido como se muestra en la segunda imagen, este método produce 36% menos pérdidas de vapor ya que no se producen salpicaduras del combustible.

Figura 7.8 - Métodos para llenado del tanque de almacenamiento



Fuente: USEPA, AP-42 - Transportation and marketing of petroleum liquids

Durante la recarga del tanque subterráneo los vapores son desplazados, si estos se liberan libremente 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.

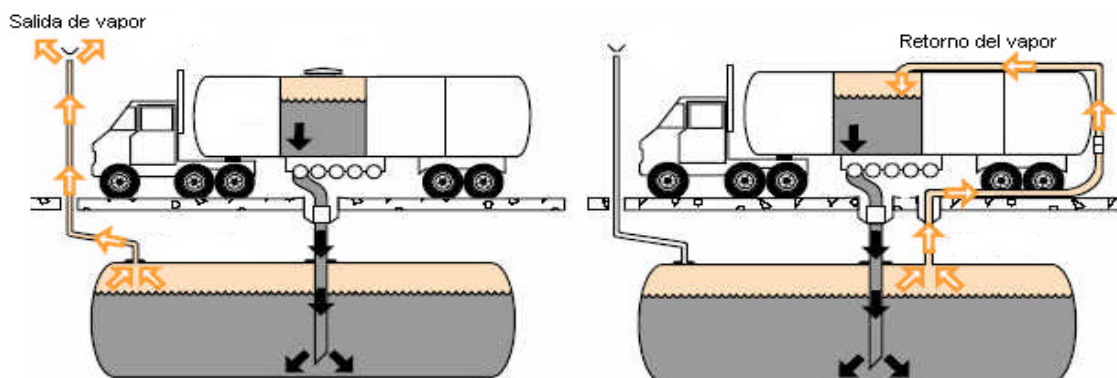
Durante la recarga de los vehículos, las emisiones de combustible escapan directamente a la atmósfera, además se producen derrames cuando se sobrecarga el tanque de combustible y ocurren goteos de las pistolas del dispensador.

El control de emisiones en las estaciones de servicio incluye:

- Hacer recarga con la tubería sumergida.
- Usar líneas de retorno de vapor durante la recarga del tanque subterráneo.
- Buenas prácticas de limpieza, educación en nuevas tecnologías a los empleados de las estaciones y adecuado manejo de derrames y goteos.
- Educación a los usuarios de vehículos sobre las técnicas de recarga de combustible.
- Reducir la presión de vapor del combustible, especialmente durante los periodos de verano.

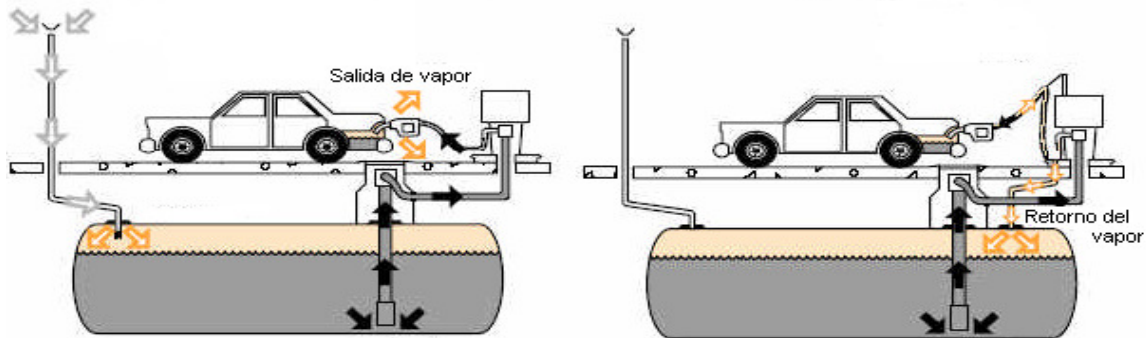
Las figuras 7.9 muestran la emisión de vapores durante el llenado del tanque de almacenamiento y la manera de evitar estas evaporaciones por medio de un sistema de recuperación; de manera similar la figura 7.10 muestra las emisiones durante el llenado del tanque vehicular.

Figura 7.9 - Llenado de tanque de almacenamiento



Fuente: Expansion of Vapour Recovery at Petrol Service Stations

Figura 7.10 - Llenado del tanque vehicular



Fuente: Expansion of Vapour Recovery at Petrol Service Stations.

7.2.1. Metodología para la Estimación de Emisiones en Estaciones de Servicio

La técnica descrita a continuación se basa en documentos de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA) y del Departamento de Ambiente, Agua, Patrimonio y Artes de Australia.

Una técnica para estimar las emisiones de compuestos orgánicos volátiles es aplicando la ecuación 7.1 que relaciona las cantidades de los diferentes tipos de combustible vendidos en la región, la composición de los combustibles, las prácticas de manejo del mismo y los tipos de control de emisiones empleados.

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

$$E_i = E_{Fi} \times V_i \times 10^{-6} \quad (\text{Ecuación 7.1})$$

Donde

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

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

V_i = Ventas anuales del combustible, l/año

Los factores de emisión de VOC provenientes de la distribución de gasolina y diesel se tabulan en la tabla 7.10.

Tabla 7.10 - Factores de emisión para estaciones de servicio

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>Diesel</i>	
(Incluye el llenado de tanques subterráneos, el llenado de los vehículos y la contracción y expansión de vapores en el tanque subterráneo)	176

7.2.2. Especiación de las Emisiones de Compuestos Orgánicos Volátiles

La especiación de compuestos orgánicos volátiles por la distribución de gasolina en estaciones de servicio se basa en los perfiles de SPECIATE 4.2 de la EPA. En la tabla 7.11

se muestran las principales sustancias emitidas, el CAS (identificador numérico único para sustancias químicas) y su porcentaje en peso respecto a los VOC.

Tabla 7.11 - Especiación de VOC provenientes de la distribución de gasolina en estaciones de servicio

Sustancia	CAS	Porcentaje en peso (%)
2,4-dimetilpentano	108-08-7	0,34
2-metil-1-buteno	563-46-2	0,1
2-metil-2-buteno	513-35-9	2,84
2-metilpentano	107-83-5	2,87
3-metilhexano	589-34-4	0,57

Tabla 7.11 - Especiación de VOC provenientes de la distribución de gasolina en estaciones de servicio - Continuación

Sustancia	CAS	Porcentaje en peso (%)
3-metilpentano	96-14-0	1,78
Benzeno	71-43-2	0,92
Cis-2-buteno	590-18-1	2,91
Etilbenzeno	100-41-4	0,09
Isobutano	75-28-5	15,21
Isopentano	78-78-4	19,17
M & P xilenos	108-38-3; 106-42-3	0,47
Metilciclopentano	96-37-7	1,09
N-butano	106-97-8	30,85
N-hexano	110-54-3	1,68
N-pentano	109-66-0	7,75
O-xileno	95-47-6	0,13
Propano	74-98-6	1,59
Tolueno	108-88-3	1,07
Trans-2-buteno	624-64-6	0,05

N-penteno	25377-72-4	1,38
Otros	N/A	7,14

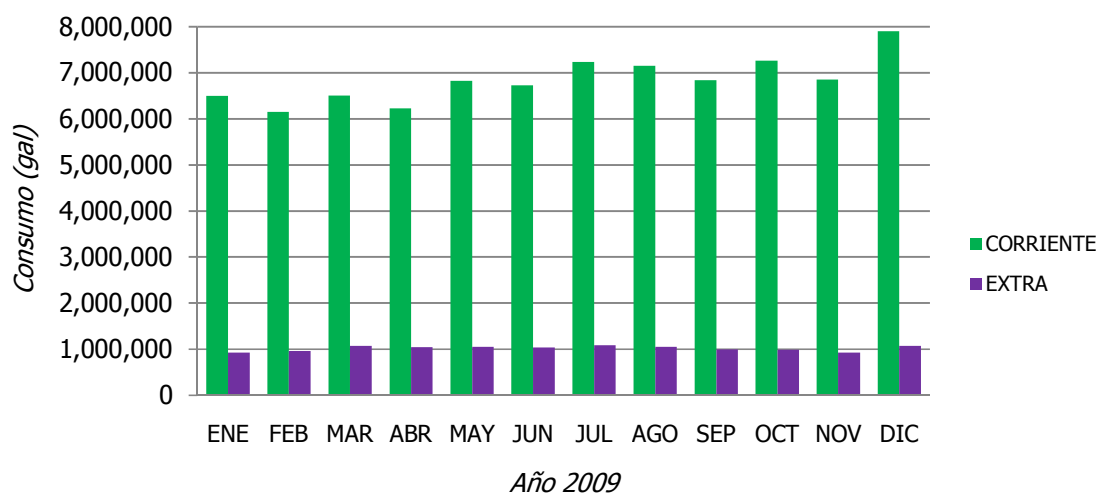
La confiabilidad de la estimación de emisiones en las estaciones de servicio depende de la calidad de los datos de composición del combustible, del manejo del mismo y del método de llenado del tanque. Además se debe procurar el desarrollo de bases de datos con la localización, tamaño y prácticas de control de emisiones en las estaciones.

7.2.3. Recolección de Datos

La recolección de datos sobre cantidad, ubicación y venta de combustibles en las estaciones de servicio fue obtenida a partir de la búsqueda en directorios especializados y consultado a la Subsecretaría de Rentas Municipales de Medellín y a la organización gremial Fendipetroleo, seccional Antioquia – Choco.

En la Subsecretaría de Rentas Municipales de Medellín se obtuvo un consolidado global de distribuidores mayoristas, a saber: Chevron Petroleum Company, Comercializadora Proxon S.A., ExxonMobil de Colombia S.A., Organización Terpel S.A. y Zeuss Petroleum S.A. Los datos obtenidos corresponden a las ventas mensuales de gasolina para el municipio de Medellín. En la figura 7.11 se pueden observar los resultados para el año 2009, tanto para gasolina corriente como para gasolina extra.

Figura 7.11 - Distribución de gasolinas en el municipio de Medellín por parte de mayoristas, año 2009



De esta gráfica puede concluirse que la distribución de gasolinas por parte de mayoristas permanece casi constante mes a mes, con un promedio mensual de 6'847.654 galones para gasolina corriente y 1'020.486 galones para gasolina extra. Desafortunadamente esta dependencia solo cuenta con datos para la gasolina, pues los mayoristas son responsables de declarar la sobretasa de este combustible.

En Fendipetroleo seccional Antioquia - Choco se obtuvieron datos de consumo de gasolina y diesel entre los meses de enero y junio de 2009 para cerca de cien estaciones de servicio ubicadas en los municipios del Valle de Aburrá.

Teniendo en cuenta que la distribución mensual de gasolina para el municipio de Medellín se mantiene casi constante a lo largo de todo el año, se asumió que ocurría lo mismo con la distribución de minoristas y se calculó un promedio de consumo de combustible por municipio. Así en el caso en que no se tienen datos de la estación de servicio se usa el consumo promedio del municipio. Para el municipio de La Estrella no se tenían datos, por lo que se usaron los consumos de Sabaneta, ya que tienen el mismo número de

estaciones de servicio y un número de habitantes similar. En la tabla 7.12 se muestra el número de estaciones de servicio por municipio y el consumo promedio mensual de gasolina y diesel.

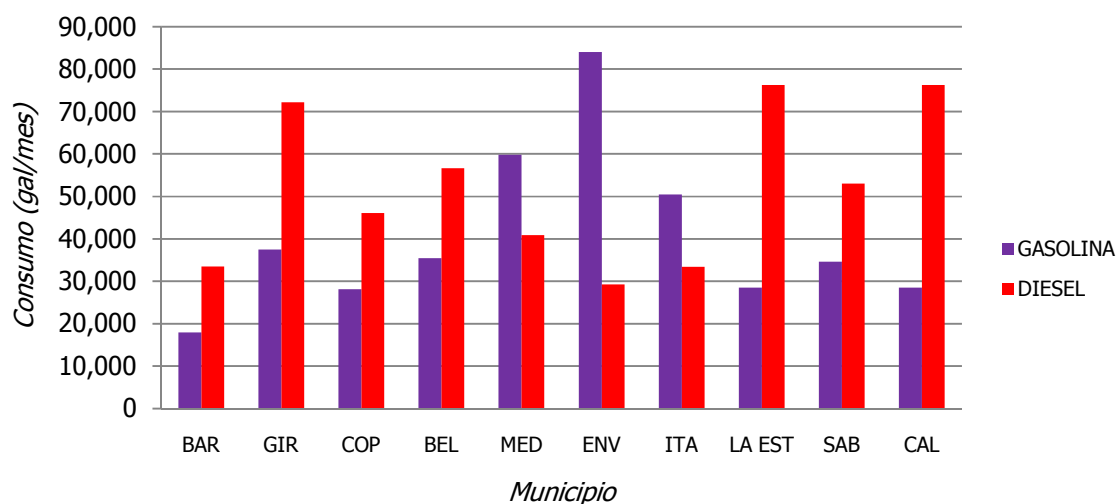
Tabla 7.12 - Consumo mensual promedio de combustible por estación de servicio en los municipios del Valle de Aburrá en el año 2009

Municipio	No. EDS*	gal/mes	
		Gasolina	Diesel
<i>Barbosa</i>	4	17.956	33.438
<i>Girardota</i>	4	37.504	72.248
<i>Copacabana</i>	5	28.178	46.064
<i>Bello</i>	14	35.437	56.689
<i>Medellín</i>	136	59.782	40.890
<i>Envigado</i>	7	50.911	14.194
<i>Itagüí</i>	13	50.482	33.361
<i>La Estrella</i>	5	34.640	53.076
<i>Sabaneta</i>	5	34.640	53.076
<i>Caldas</i>	6	28.545	76.254
<i>Total</i>	199	378.073	479.290

*EDS: Estaciones de Servicio

En la figura 7.12 se observa la distribución mensual de combustibles por parte de minoristas para los diferentes municipios del área metropolitana.

Figura 7.12 - Distribución de combustibles en los municipios del Valle de Aburrá, año 2009



Puede verse como el diesel se distribuye en mayor cantidad que la gasolina; los municipios con mayor venta de gasolina son Envigado, Medellín e Itagüí, mientras en los municipios que más se comercializa diesel son Caldas, Girardota y Sabaneta, los municipios ubicados en los límites del Valle.

7.2.4. Resultados de Emisiones en Estaciones de Servicio de Combustible

La emisión de compuestos orgánicos volátiles por municipio se muestra en la tabla 7.13, allí se encuentran discriminadas las emisiones por tipo de combustible.

Tabla 7.13 - Emisión de VOC en estaciones de servicio discriminadas por municipio, año 2009

Municipio	ton/año	
	VOC emitidos por la distribución de gasolinas	VOC emitidos por la distribución de diesel
<i>Barbosa</i>	9	1
<i>Girardota</i>	20	2
<i>Copacabana</i>	19	2
<i>Bello</i>	65	6
<i>Medellín</i>	1.068	45
<i>Envigado</i>	47	1

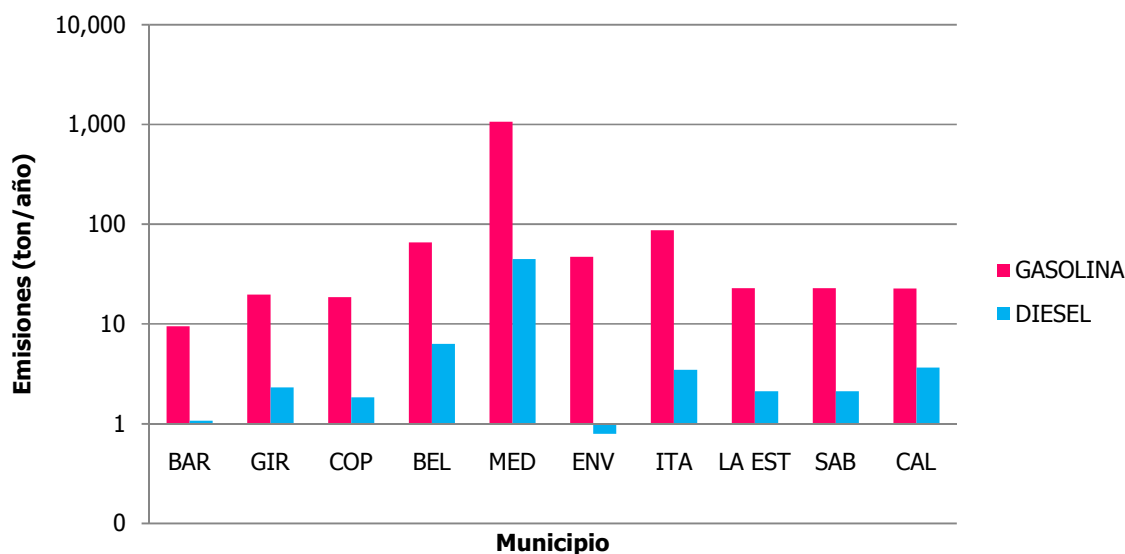
Tabla 7.13 - Emisión de VOC en estaciones de servicio discriminadas por municipio, año 2009 -
Continuación

Municipio	ton/año	
	VOC emitidos por la distribución de gasolinas	VOC emitidos por la distribución de diesel
<i>Itagüí</i>	86	3
<i>La Estrella</i>	23	2
<i>Sabaneta</i>	23	2
<i>Caldas</i>	23	4
<i>Total</i>	1.383	68

El municipio con mayor cantidad de emisiones es Medellín, emitiendo 1.068 ton/año y 45 ton/año por la distribución de gasolina y diesel, respectivamente.

En la figura 7.13 puede verse la distribución de emisiones de compuestos orgánicos volátiles causadas por la distribución de gasolina y diesel en los diferentes municipios del Valle de Aburrá.

Figura 7.13 - Emisión de compuestos orgánicos volátiles causadas por la distribución de gasolina y
diesel, año 2009



De esta gráfica puede concluirse que aunque el diesel se distribuye en mayor cantidad que la gasolina, es esta última la responsable de la mayor cantidad de emisiones, con un valor importante en el municipio de Medellín.

Debido al llenado de los tanques subterráneos (tubería no sumergida), la contracción y expansión de vapores en los tanques, el llenado de vehículos (sin control de emisiones) y los derrames, se estima que se emiten un total de **1.451 ton/año** de compuestos orgánicos volátiles en el Valle de Aburrá.

7.3. TANQUES DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES

A continuación se evalúan las pérdidas por evaporación de gasolina, diesel 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.

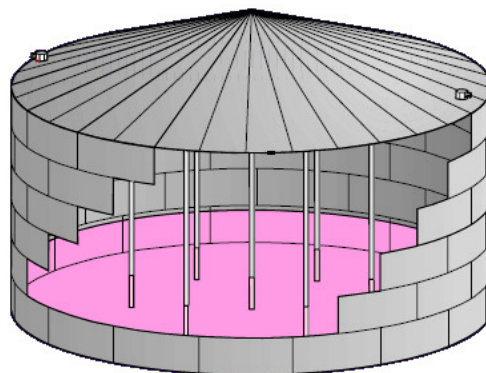
Las pérdidas de combustible por evaporación dependen del tipo de almacenamiento (son mínimas en tanques subterráneos), el combustible (son mayores para la gasolina debido a que es más volátil) y las prácticas para prevenir la evaporación. El calor del sol sobre los tanques hace que el combustible se 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.

7.3.1. Tipos de Tanques de Almacenamiento

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

- *Tanques de techo fijo*: Un cilindro vertical cubierto con un techo que no se mueve, este puede tener forma de cono, domo o ser plano. En la figura 7.14 se muestra un tanque de techo fijo típico.

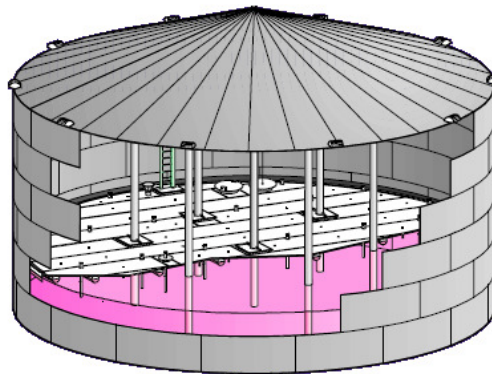
Figura 7.14 - Tanque de techo fijo



Fuente: USEPA, AP-42 - Organic liquid storage

- *Tanques de techo interno flotante*: Un cilindro vertical cubierto con un techo fijo y una cubierta que flota sobre la superficie del líquido.

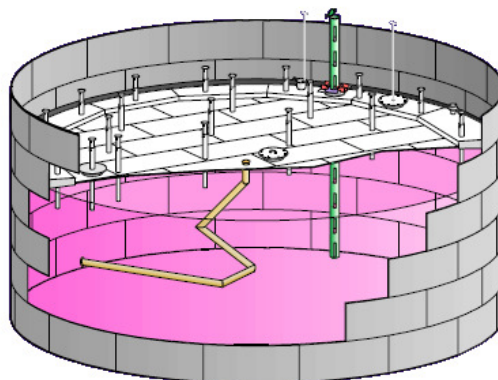
Figura 7.15 - Tanque de techo interno flotante



Fuente: USEPA, AP-42 - Organic liquid storage

-*Tanques de techo externo flotante:* Un cilindro vertical y un techo flotante que sube y baja con el nivel del líquido (no tiene techo estacionario).

Figura 7.16 - 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 del 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/panel)
(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)

La especiación de compuestos orgánicos volátiles para tanques de almacenamiento de combustibles se presenta en el Anexo G.

7.3.2. Recolección de Datos

Inicialmente las pérdidas por evaporación de combustibles en tanques de almacenamiento se iba a hacer en la empresa Ecopetrol S.A (Planta Medellín), empresa nacional que participa en la mayor parte de la producción de crudo y gas en el país, obtenida mediante la operación directa y asociada, incluyendo la extracción, recolección, tratamiento, almacenamiento y bombeo o compresión de hidrocarburos. Sin embargo, al consultar a la planta Ecopetrol sede Medellín, estos informaron que no poseen tanques, ellos en cambio pertenecen a los distribuidores mayoristas que son abastecidos por Ecopetrol S.A., por lo que se procedió a consultar a los mayoristas.

Como se mencionó en la sección de estimación de emisiones en estaciones de servicio de combustibles, 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 a tres mayoristas sobre el tipo, condiciones y sustancias almacenadas en los tanques.

De los tres mayoristas dos entregaron la información solicitada; en la tabla 7.14 se tabulan algunas características de los tanques.

Tabla 7.14 - Características de los tanques de almacenamiento de combustibles ubicados en el Valle de Aburrá

Combustible almacenado	Tipo de tanque	Número de tanques
------------------------	----------------	-------------------

Gasolina motor	Techo fijo	3
	Techo interno flotante	1
Gasolina extra	Techo fijo	3
Diesel	Techo fijo	3
	Techo interno flotante	2
Biodiesel	Techo fijo	2
Etanol	Techo fijo	2
<i>Total</i>		16

7.3.3. Resultados de Emisiones Evaporativas en Tanques de Almacenamiento de Combustibles

A continuación se muestran los resultados de emisiones de compuestos orgánicos volátiles en tanques de almacenamiento de combustibles, las emisiones se consideran para la gasolina motor, la gasolina extra, el diesel y el etanol (el biodiesel no se considera ya que sus propiedades físicas y químicas no están disponibles en el programa TANKS 4.0). Además se muestra la capacidad acumulada según el tipo de tanque y el combustible almacenado.

Tabla 7.15 - Emisión de VOC en tanques de almacenamiento de combustible, año 2009

Combustible almacenado	Tipo de tanque	Capacidad (gal)	VOC (ton/año)
Gasolina motor	Techo fijo (3)	861.836	103,94
	Techo interno flotante (1)	1.428.084	3,76
Gasolina extra	Techo fijo	532.876	44,27
Diesel	Techo fijo (3)	1.025.100	0,40
	Techo interno flotante (2)	1.185.282	0,09
Etanol	Techo fijo	192.454	2,78
<i>Total</i>		5.225.632	155,23

Puede verse como los 16 tanques pertenecientes a los dos distribuidores mayoristas que aportaron información emiten **155 ton/año** de compuestos orgánicos volátiles. Sobresalen las altas emisiones de la gasolina y también se aprecia que los tanques de techo interno flotante son más eficientes al momento de retener los vapores de los líquidos almacenados. Tal es el caso de la gasolina motor donde el tanque de techo interno flotante con una capacidad mucho mayor (1.428.084 galones) emite el 2% de las emisiones totales mientras que los tres tanques de techo fijo juntos (861.836 galones) emiten el 67% de las emisiones.

7.4. RELLENOS SANITARIOS

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".

Dentro de los principales impactos que un relleno sanitario causa al medio ambiente están las emisiones de contaminantes atmosféricos, los cuales merecen especial atención con el objeto de ser manejados y controlados adecuadamente para evitar daños tanto a la salud del hombre como al ecosistema general.

La composición y cantidad de los gases producidos depende de una serie de factores específicos como su antigüedad, extensión, temperatura, pluviosidad, material, tipo de cobertura, densidad de compactación, entre otros. Los gases encontrados en un relleno sanitario son dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), hidrogeno (H_2), sulfuro de hidrogeno (H_2S), metano (CH_4), nitrógeno (N_2) y oxígeno (O_2), así como compuestos orgánicos no metánicos (NMOC). El CO_2 y el CH_4 son los principales gases producidos y la combinación de estos dos gases se conoce como biogás, el cual por lo

general es una mezcla de 60% de CH₄, 35% de CO₂, 1% de H₂S y trazas de N₂, O₂, H₂, y CO, es casi inodoro y arde con una llama azul sin humo. El CH₄ y el CO₂ se producen por la descomposición anaerobia de la celulosa y las proteínas (los residuos en un relleno sanitario producen gas por un espacio de treinta años)¹⁰.

El biogás es generalmente conocido por representar riesgos para la salud personal debido a su carácter explosivo y los daños a la vegetación circundante a los sitios donde este se genera, pues su principal componente, el metano, es inflamable y en determinadas proporciones con el oxígeno es explosivo. Sin embargo, el aspecto que más atención debería tener es el hecho de que el biogás contiene compuestos orgánicos volátiles peligrosos que son una significativa amenaza para la salud pública.

Una distribución típica de los gases que se encuentran en un relleno sanitario de residuos sólidos urbanos se muestra en la tabla 7.16.

Tabla 7.16 - Constituyentes típicos encontrados en los gases de un relleno sanitario de residuos sólidos urbanos

Componente	Porcentaje (Base volumen seco)
Metano	45 – 60
Dióxido de carbono	40 – 60
Nitrógeno	2 – 5

¹⁰ GARCÍA RENTERÍA, Francisco Fernando: Determinación cuantitativa y cualitativa de los contaminantes atmosféricos emitidos por la disposición de residuos en rellenos sanitarios, estudio de caso: relleno sanitario Curva de Rodas. Medellín, 2003. Trabajo de grado (Magister en Ingeniería Ambiental). Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Sanitaria.

Oxígeno	0,1 – 1,0
Sulfuros, disulfuros, mercaptanos, etc.	0,0 – 1,0
Amoniaco	0,1 – 1,0
Hidrógeno	0,0 – 0,2
Monóxido de carbono	0,0 – 0,2
Constituyentes en cantidades trazas	0,01 – 0,6
Características	Valor
Temperatura (°C)	37 – 67
Densidad específica (kg/m ³)	1,02 – 1,06
Contenido de humedad	Saturado
Poder calorífico superior (Kcal/m ²)	890 – 1.223

Algunos de los gases que se encuentran en cantidades traza son acetona, benceno, clorobenceno cloroformo, diclorometano, bromuro de etileno, etilbenceno, tolueno, estirenos, xilenos, acetato de vinilo, entre otros.

7.4.1. Relleno Sanitario Curva de Rodas

El sitio donde se depositaron los residuos sólidos urbanos producidos en el Valle de Aburrá y parte del oriente cercano (Medellín, Bello, Barbosa, Girardota, Itagüí, Sabaneta, Caldas, Copacabana, Envigado, La Estrella, El Retiro, Guarne, Fredonia y Rionegro) por casi 20 años está localizado sobre la margen izquierda de la Autopista Medellín-Bogotá, en la cuenca de la quebrada Rodas, de la cual toma su nombre, aproximadamente un kilómetro aguas arriba de la comunidad de Machado y Fontidueño, en jurisdicción de los municipios de Bello y Copacabana.

Las principales características de este relleno son:

- Inicio de operación: Noviembre de 1984
- Área: 73 hectáreas
- Área de disposición efectiva: 36 hectáreas
- Toneladas dispuestas: 8'700 000

-Fecha de cierre: Junio de 2003

-Estado: Post clausura

Figura 7.17 - Relleno sanitario de Curva de Rodas



En la etapa actual (post clausura) se adelanta el proyecto de aprovechamiento de los gases de efecto invernadero enmarcado en el Protocolo de Kioto, iniciado por Empresas Varias de Medellín con la ejecución de la empresa alemana Green Gas. Con la captura y combustión del biogás generado se pretende disminuir las emisiones de CH_4 , el cual tiene un potencial de calentamiento 21 veces mayor que el del CO_2 , el sistema extrae el gas y lo conduce a un proceso de limpieza para finalmente llevarlo a un sistema de combustión de alta eficiencia.

Los componentes del sistema de tratamiento de gases emitidos en el relleno sanitario Curva de Rodas son:

- 84 pozos de gas
- 10 estaciones de regulación y medición
- 1 estación de aspiración con antorcha de alta temperatura
- Tuberías de captura de gas que conducen el gas de los pozos a las estaciones de regulación y medición, y tuberías principales que conducen el gas de las estaciones de regulación y medición hasta la estación de aspiración con antorcha de alta temperatura.

La cantidad de residuos dispuestos en el relleno sanitario Curva de Rodas y su composición se muestran en la tabla 7.17 y en la figura 7.18.

Tabla 7.17 - Cantidad de residuos depositados en el relleno sanitario Curva de Rodas

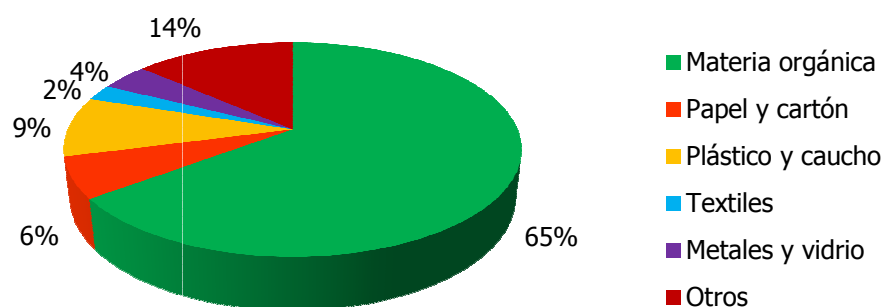
Año	Total de residuos (ton)	Total acumulado (ton)
1984	14.426	14.426
1985	185.756	200.182
1986	217.684	417.866
1987	234.170	652.036
1988	264.570	916.606
1989	284.858	1.201.464
1990	287.479	1.488.943
1991	317.739	1.806.682
1992	372.739	2.179.421
1993	434.856	2.614.277
1994	533.767	3.148.044
1995	581.110	3.729.154
1996	598.773	4.327.927
1997	629.674	4.957.601

Tabla 7.17 - Cantidad de residuos depositados en el relleno sanitario Curva de Rodas - Continuación

Año	Total de residuos (ton)	Total acumulado (ton)
1998	713.530	5.671.131
1999	732.189	6.403.320
2000	716.790	7.120.110
2001	699.106	7.819.216
2002	658.165	8.477.381
2003	251.066	8.728.447

Fuente: Empresas Varias de Medellín.

Figura 7.18 - Composición de los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario Curva de Rodas



Fuente: Empresas Varias de Medellín, 2006.

Actualmente la disposición final de los residuos se realiza en el relleno sanitario La Pradera ubicado en inmediaciones de los municipios de Don Matías y Santo Domingo, fuera del área urbana del Valle de Aburrá.

7.4.2. Metodología de Cálculo para la Estimación de Emisiones en Rellenos Sanitarios

Para estimar la cantidad de gases emitidos en el relleno sanitario Curva de Rodas se usa el modelo LanGEM (Landfill Gas Emissions Model), versión 3.02, desarrollado en el año 2005

por el Centro de Control de la Tecnología (CTC) de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US EPA). Este modelo es una herramienta en Microsoft Excel que permite calcular las emisiones totales de biogás, CH₄, CO₂, NMOC y otros contaminantes individuales emitidos en rellenos sanitarios municipales.

El modelo LandGEM utiliza la ecuación 7.2 para el cálculo de la generación anual de metano.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 k L_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}} \quad (\text{Ecuación 7.2})$$

Donde

Q_{CH_4} = Generación anual de metano en el año de cálculo, m³/año

i = Incremento de tiempo de 1 año

n = (año de cálculo) – (año de apertura)

j = Incremento de tiempo de 0.1 años

k = Velocidad de generación de metano, año⁻¹

L_0 = Potencial de generación de metano, m³/Mg

M_i = Masa de residuos sólidos dispuestos en el año i

t_{ij} = Edad de la sección j de la masa de residuos M_i en el año i , años decimales (por ejemplo 3.2 años)

El modelo asume que el biogás es aproximadamente mitad CH₄ y mitad CO₂ con relativamente bajas concentraciones de otros contaminantes. La información necesaria para estimar la emisión de contaminantes es:

- Capacidad de diseño del relleno sanitario: 12'000.000 Mg
- Cantidad de residuos dispuestos anualmente (ver tabla 7.17)
- Velocidad de generación de metano, k
- Potencial de generación de metano, L_0
- Especiación y concentración de NMOC

-Año de apertura del relleno sanitario

LandGEM tiene valores por defecto para algunos parámetros de entrada del modelo si el relleno sanitario debe cumplir requerimientos de la autoridad ambiental, estos valores se muestran en la tabla 7.18 y son los usados para la estimación de emisiones en el relleno sanitario Curva de Rodas, debido a que no se han calculado parámetros locales.

Tabla 7.18 - Parámetros de entrada para el modelo LandGEM

Parámetro	Valor
Velocidad de generación de metano, k	0,05 año ⁻¹
Potencial de generación de metano, L_0	170 m ³ /Mg
Concentración de NMOC (ppmv de hexano)	4.000
Contenido de metano (% en volumen)	50

7.4.3. Resultados de Emisiones en el Relleno Sanitario Curva de Rodas

Después de entrar la información base al modelo LandGEM y simular la cantidad de contaminantes emitidos, se obtienen los resultados tabulados en la segunda columna de la tabla 7.19. Sin embargo, debe tenerse en cuenta la cantidad de CH₄ que está siendo tratado (combustión), es decir debe restarse el CH₄ quemado y sumarse el CO₂ producto de la reacción.

Para el año 2009 se estimó una reducción de 83.560 toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) en el relleno sanitario Curva de Rodas¹¹. Es decir, se dejaron de emitir

¹¹ Proyecto de captura y producción de biogás de los rellenos sanitarios Pradera y Curva de Rodas. Erika Mazo. Grupo Delta Climático. Universidad de Antioquia.

3.979 toneladas de CH₄ (el potencial de calentamiento del metano es 21 veces mayor que el del dióxido de carbono, CH₄ = 21 CO₂). Suponiendo que los productos de la combustión de CH₄ son CO₂ y H₂O, y que el proceso de limpieza del biogás es altamente eficiente, se habrían producido 10.942 toneladas adicionales de CO₂ y el resto de NMOC permanecería invariable.

Los resultados obtenidos sobre sustancias emitidas al aire en el relleno sanitario Curva de Rodas durante el año 2009 son los tabulados en la tabla 7.19.

Tabla 7.19 - Contaminantes emitidos en el año 2009 por la disposición de residuos en el relleno sanitario Curva de Rodas

Sustancia	Modelo LandGEM (ton/año)	Gases tratados (ton/año)	Total (ton/año)
Metano, CH ₄	26.988	-3.979	23.009
Dióxido de carbono, CO ₂	74.047	+10.942	84.989
Compuestos orgánicos no metánicos, NMOC	1.160		1.160

Aproximadamente el 99% de las emisiones corresponden a contaminantes responsables del efecto invernadero, y tan solo el 1% a compuestos orgánicos no metánicos, que aunque no tienen un impacto directo sobre este fenómeno si tienen efectos sobre la salud.

En la tabla 7.20 se muestra la cantidad de algunos contaminantes emitidos clasificados como Contaminantes Peligrosos del Aire (HAP, por sus siglas en inglés) y Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC, por sus siglas en inglés).

Tabla 7.20 - Contaminantes clasificados como HAP/VOC emitidos en el año 2009 por la disposición de residuos en el relleno sanitario Curva de Rodas

Sustancia	ton/año	Sustancia	ton/año
1,1,1-Tricloroetano – HAP	0,215	Diclorofluorometano - VOC	0,900
1,1,2,2-Tetracloroetano - HAP/VOC	0,621	Diclorometano - HAP	4,002
1,1-Dicloroetano - HAP/VOC	0,799	Dimetil sulfuro - VOC	1,631

1,1-Dicloroetano - HAP/VOC	0,065	Etano	90,056
1,2-Dicloroetano - HAP/VOC	0,137	Etanol - VOC	4,187
1,2-Dicloropropano - HAP/VOC	0,068	Etil mercaptano - VOC	0,481
2-Propanol - VOC	10,114	Etilbenceno - HAP/VOC	1,643
Acetona	1,368	Etilen dibromuro - HAP/VOC	0,001
Acrlonitrilo - HAP/VOC	1,125	Fluorotriclorometano - VOC	0,351
Benceno - HAP/VOC	2,891	Hexano - HAP/VOC	1,914
Bromodiclorometano - VOC	1,709	Sulfuro de hidrogeno	4,128
Butano - VOC	0,978	Mercurio (total) - HAP	0,000
Disulfuro de carbono - HAP/VOC	0,149	Metil etil cetona - HAP/VOC	1,723

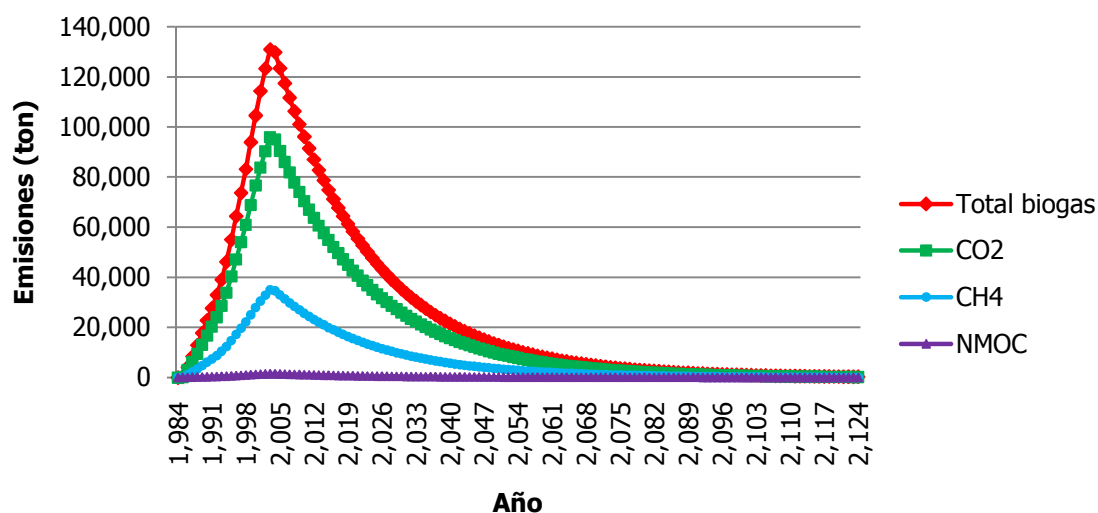
Tabla 7.20 - Contaminantes clasificados como HAP/VOC emitidos en el año 2009 por la disposición de residuos en el relleno sanitario Curva de Rodas - Continuación

Sustancia	ton/año	Sustancia	ton/año
Monóxido de carbono	13,196	Metil isobutil cetona - HAP/VOC	0,640
Tetracloruro de carbono - HAP/VOC	0,002	Metil mercaptano - VOC	0,405
Sulfuro de carbonilo - HAP/VOC	0,099	Pentano - VOC	0,801
Clorobenceno - HAP/VOC	0,095	Percloroetileno - HAP	2,065
Clorodifluorometano	0,378	Propano - VOC	1,632
Cloroetano - HAP/VOC	0,282	1,2-Dicloroetano - VOC	0,913
Cloroformo - HAP/VOC	0,012	Tolueno - HAP/VOC	52,703
Clorometano - VOC	0,204	Tricloroetileno - HAP/VOC	1,238
Diclorobenceno - HAP/VOC	0,104	Vinil cloruro - HAP/VOC	1,535
Diclorodifluorometano	6,510	Xilenos - HAP/VOC	4,287

Los contaminantes emitidos en mayor proporción son etano (90 ton/año), tolueno (53 ton/año), monóxido de carbono (13 ton/año) y 2-propanol (10 ton/año).

En la figura 7.19 se gráfica la cantidad de CH₄, CO₂ y NMOC producidos desde la apertura del relleno.

Figura 7.19 - Emisión de CH₄, CO₂ y NMOC desde la apertura del relleno sanitario Curva de Rodas



Como puede observarse en esta figura, durante el año 2005 se presentaron las mayores emisiones de contaminantes al aire y se espera que para el año 2.100 las emisiones en el relleno sanitario Curva de Rodas sean mínimas.

7.5. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se dan una serie de procesos físicos, químicos y biológicos para eliminar los contaminantes con estas mismas características, con el fin de producir agua limpia o reutilizable, un residuo sólido y un biogás, que también pueden ser reusados.

El tratamiento de aguas residuales tiene tres etapas básicas que se describen a continuación:

1. Tratamiento primario: Asentamiento de sólidos
2. Tratamiento secundario: Tratamiento biológico de materia orgánica disuelta presente en el agua residual, transformándola en sólidos suspendidos que se eliminan fácilmente.
3. Tratamiento terciario: Pasos adicionales como lagunas, microfiltración, desinfección.

Si durante el tratamiento secundario se dan condiciones anaeróbicas y altas demandas biológicas de oxígeno (DBO) los gases predominantes emitidos son CH_4 y CO_2 , con pequeñas cantidades de H_2S y NH_3 . Se pueden encontrar trazas de H_2 , N_2 , O_2 , hidrocarburos halogenados, material particulado y siloxanos (compuestos que se generan después de la fermentación de las siliconas provenientes de productos como shampoos, detergentes y cosméticos, entre otros); además el gas se encuentra saturado con vapor de agua¹².

7.5.1. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) San Fernando

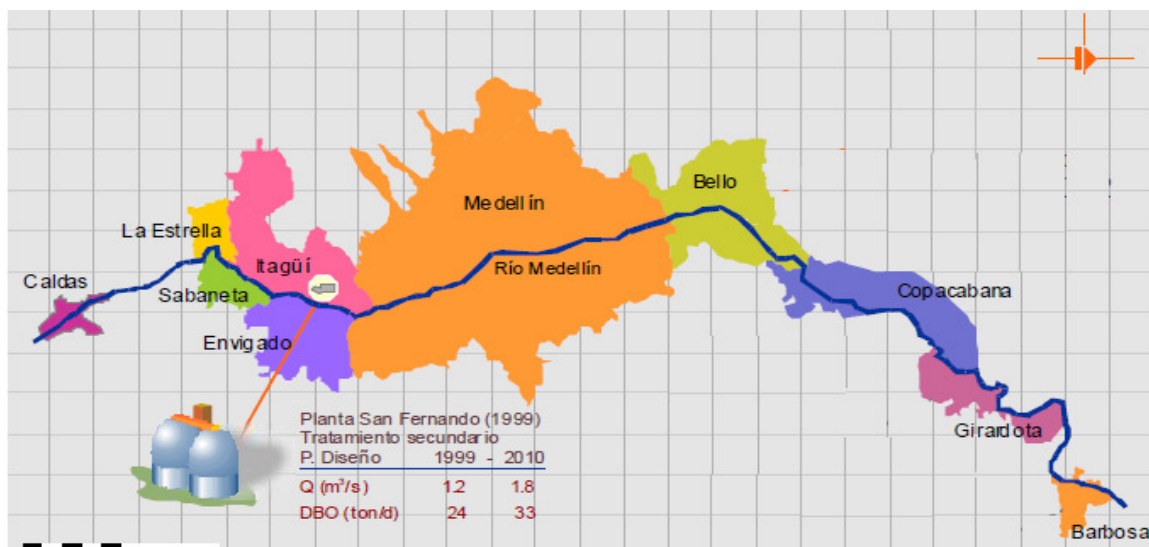
El proceso de contaminación del río Aburrá empezó con la descarga directa de aguas residuales de zonas residenciales, comerciales e industriales hasta llegar a una alta carga de contaminación. Su saneamiento, a cargo de Empresas Públicas de Medellín (EPM), contempla tres procesos: recolección, transporte y tratamiento de las aguas residuales, para este último proceso se construyó la PTAR San Fernando, ubicada en el municipio de Itagüí (ver figura 7.20) que presta sus servicios desde el año de 1999 y trata alrededor del 20% de las aguas residuales generadas en el área metropolitana del Valle de Aburrá.

Entre los principales componentes de la PTAR San Fernando se cuenta con desarenadores tipo Vórtice, tanques de aireación o reactores biológicos en los que se utiliza el sistema de lodos activados en configuración de alimentación por pasos, sedimentadores y digestores

¹² ESTUDIO DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA EL ENRIQUECIMIENTO DEL BIOGÁS PROVENIENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SAN FERNANDO Y ANÁLISIS DE LA POTENCIALIDAD EN SU USO. Informe final, preparado para EPM por UPB, CNPML y TEPESA. Medellín, Julio de 2009.

anaeróbicos cuyo objeto es estabilizar los sólidos, es decir, reducir el contenido de organismos patógenos, contenido orgánico y potencial de olores (en esta etapa se producen gran cantidad de gases).

Figura 7.20 – Ubicación de la PTAR San Fernando



Fuente: Empresa Públicas de Medellín

7.5.2. Resultado de Emisiones en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales San Fernando

Para la estimación de estas emisiones se consultó el estudio hecho por la Universidad Pontificia Bolivariana, el Centro de Producción Más Limpia y TEPESA para las Empresas Públicas de Medellín, informe: "Estudio de la Viabilidad Técnica y Económica para el Enriquecimiento del Biogás Proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de San Fernando y Análisis de la Potencialidad en su Uso".

Según este informe en el año 2009 se procesaron aproximadamente 40 millones de metros cúbicos de aguas residuales que removieron más de 8 mil toneladas de DBO₅ con un crecimiento vegetativo de 2 al 3% que representan aproximadamente 5'475.000 m³ de

biogás, 3'558.750 m³ de CH₄ y 1'806.750 m³ CO₂. La composición característica del biogás en la PTAR San Fernando se muestra en la tabla 7.21¹³.

Tabla 7.21 - Densidad y composición del biogás de la PTAR San Fernando

Compuesto	Densidad (kg/m ³)*	Porcentaje (v/v)
Metano, CH ₄	0,65	65,13
Dióxido de carbono, CO ₂	1,75	33,99
Otros	-	0,97

*A 1 atm de presión y 35 °C de temperatura.

Conociendo el volumen de gases generado y la densidad de los mismos puede conocerse la masa de estos contaminantes emitida a la atmosfera durante el año 2009. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el CH₄ generado en la PTAR San Fernando es quemado, si se supone que todo el CH₄ se convierte en CO₂ y H₂O se obtienen los resultados mostrados en la tabla 7.22.

Tabla 7.22 - Emisión de contaminantes en la PTAR San Fernando

Compuesto	Volumen (m ³ /año)	Masa (ton/año)	Gases tratados (ton/año)	Total (ton/año)
Metano, CH ₄	3'558.750	2.313	-2.313	0
Dióxido de carbono, CO ₂	1'806.750	3.161	+8.693	11.854
Otros	109.500	-	-	-

Al desconocer la densidad de los gases que se generan en cantidades traza no es posible calcular la emisión en masa de estos contaminantes que son una mezcla de H₂S, NH₃, H₂,

¹³ Ibid. p. 122.

N₂, O₂, entre otros. Según esta estimación durante el año 2009 se arrojaron 11.854 toneladas de dióxido de carbono, que se considera poco comparado con las emisiones de este mismo contaminante (84.989 toneladas) en el relleno sanitario Curva de Rodas.

7.6. RESULTADO DE EMISIONES EN FUENTES DE ÁREA

En la tabla 7.23 se muestran los resultados finales de emisiones de compuestos orgánicos volátiles, metano y dióxido de carbono en las fuentes de área consideradas en este estudio.

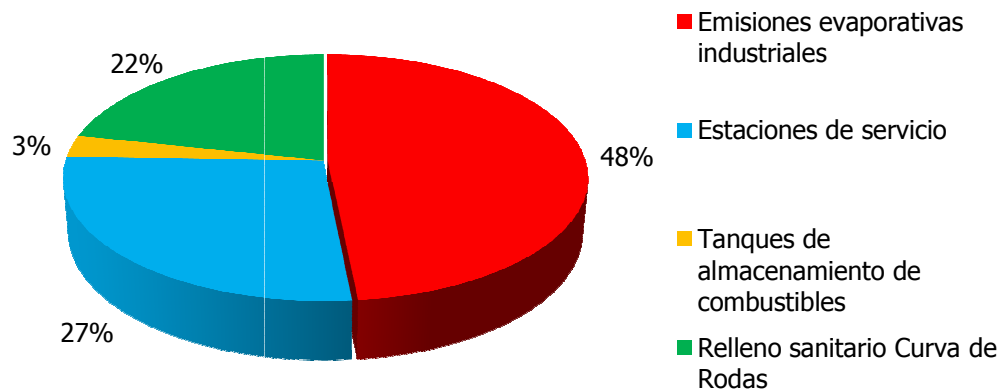
Tabla 7.23 - Emisiones en fuentes de área

Fuente de Área	ton/año		
	VOC	CH ₄	CO ₂
Emisiones evaporativas industriales	2.599	-	-
Estaciones de servicio	1.451	-	-
Tanques de almacenamiento de combustibles	155	-	-
Relleno sanitario Curva de Rodas	1.160	23.009	84.989
Planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando	*	-	11.584
<i>Total</i>	5.365	23.009	96.573

*No se encontró información suficiente para estimar la emisión de VOC en la PTAR San Fernando.

En el año 2009 las fuentes de área produjeron un total de 5.365 toneladas de VOC, 23.009 toneladas de CH₄ y 96.573 toneladas de CO₂. La figura 7.21 muestra la distribución de emisiones de compuestos orgánicos volátiles según el tipo de fuente de área.

Figura 7.21 - Distribución de emisiones de fuentes de área, año 2009



En esta figura puede observarse que el 48% de las emisiones de VOC corresponden a emisiones evaporativas industriales, el 27% a las estaciones de servicio de combustible en las que se distribuye gasolina y diesel, el 22% al relleno sanitario Curva de Rodas y tan solo el 3% al almacenamiento de combustibles en tanques pertenecientes a distribuidores mayoristas.

8. FUENTES BIOGÉNICAS

La información mostrada a continuación es tomada del informe final: Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas, con Georeferenciación de éstas: Inventario de Emisiones de Fuentes Biogénicas -EBIOAM-. Convenio 323 de 2005: Área Metropolitana del Valle de Aburrá – Universidad Pontificia Bolivariana. Los resultados han sido actualizados.

La vegetación emite naturalmente compuestos orgánicos volátiles, estas emisiones forman parte de los ciclos propios del planeta, ayudando a regular la temperatura a escala global y propiciando el balance químico de la atmósfera. La caracterización de este tipo de emisiones es compleja por la gran variedad de especies vegetales. En varias investigaciones se ha encontrado que las emisiones de la masa foliar están centradas en compuestos como los hemiterpenos (poseen cinco carbonos en su estructura) y monoterpenos (poseen diez carbonos en su estructura) y sobre árboles dominantes como los pinos y los encinos del bosque templado.

En algunas plantas los VOC son acumulados en órganos especializados en tallos y hojas, que pueden ser desprendidos como mecanismos de defensa contra patógenos y herbívoros o pueden ayudar a la cicatrización después del daño que estos organismos han producido. Otras posibles funciones de los VOC son la alteración de la floración de las plantas vecinas, la protección de las membranas vegetales contra las altas temperaturas, o pueden estar implicadas en el desarrollo de incendios forestales.

8.1. FUENTES BIOGÉNICAS EN EL VALLE DE ABURRÁ

La información sobre uso del suelo se obtuvo de mapas locales para un dominio de 40 x 40 km² con resolución de 1 km²; en cada celda se identificó el uso del suelo determinando el porcentaje ocupado por bosques (coníferas y eucaliptos), cultivos (maíz, frijol, café, caña, papa y frutales) y matorrales. El porcentaje y área ocupada por cada tipo de

vegetación se muestra en la tabla 8.1, donde puede verse que un gran porcentaje está cubierto por matorrales o bosques altos.

Tabla 8.1 – Área vegetativa del Valle de Aburrá

Tipo se uso del suelo	Área (km ²)	Porcentaje (%)
Bosques	105	6.6
Cultivos	423	26.4
Matorrales	770	48.0
Otros	302	19.0

Con esta información se procedió a realizar la malla de distribución de usos del suelo para calcular la emisión de cada uno de los tipos de vegetación.

8.2. RESULTADO DE EMISIONES EN FUENTES BIOGÉNICAS

Para el cálculo de las emisiones se aplicó el modelo G93 desarrollado por Alex Guenther en el año 1993, en el cual las emisiones varían con la temperatura y la radiación fotosintéticamente activa (PAR, por sus sigla en inglés). De esta manera, las emisiones son estimadas a partir de la biomasa específica, factores de emisión y algoritmos que describen la dependencia de diferentes variables (temperatura, radiación solar, humedad, precipitación, intensidad del viento, entre otros). El modelo muestra las especies químicas agrupadas en cuatro categorías: isopreno, monoterpenos, otros VOC y monóxido de nitrógeno. Los resultados encontrados se muestran en la tabla 8.2.

Tabla 8.2 - Emisiones biogénicas en el Valle de Aburrá, año 2009

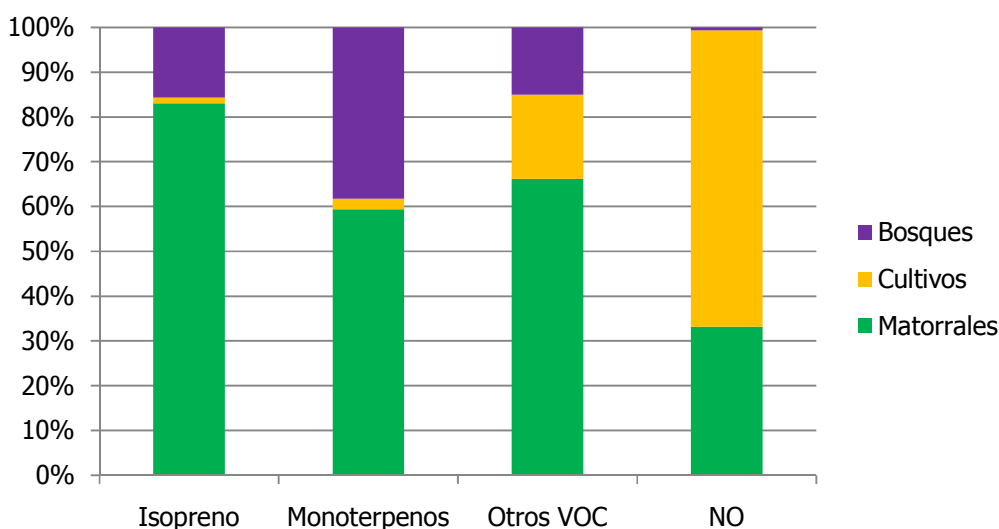
Contaminante	Emisión (ton/año)			
	Bosques	Cultivos	Matorrales	Total
Isopreno, C ₅ H ₈	643	55	3.407	4.104
Monoterpenos, C ₁₀ H _x	644	40	999	1.683

Otros VOC	422	529	1.864	2.815
Monóxido de nitrógeno, NO	2	211	106	319

En la tabla 8.2 puede verse que las fuentes naturales consideradas emiten **8.602 ton/año** de compuestos orgánicos volátiles (isopreno, monoterpenos y otros VOC) y **319 ton/año** de monóxido de nitrógeno.

La figura 8.1 muestra la distribución de emisiones de las fuentes biogénicas. Los resultados obtenidos para las diferentes especies forestales y agrícolas permiten concluir que los matorrales emiten una mayor cantidad de VOC, una de las causa es que este tipo de vegetación cubre el 48% de la zona de estudio. Aproximadamente el 70% de las emisiones de NO provienen de los cultivos, mientras los bosques aportan un 20% de las emisiones de VOC (isopreno, monoterpeno y otros VOC)

Figura 8.1 - Distribución de emisiones de fuentes biogénicas, año 2009



Los compuestos liberados por las fuentes biogénicas en consideración se concentran en su mayoría en el corregimiento de Santa Elena (Piedras Blancas). En los municipios de



Actualización del Inventario de Emisiones
Atmosféricas



Medellín, Envigado, Itagüí y Sabaneta no se evidenciaron emisiones biogénicas de monóxido de nitrógeno.

9. INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

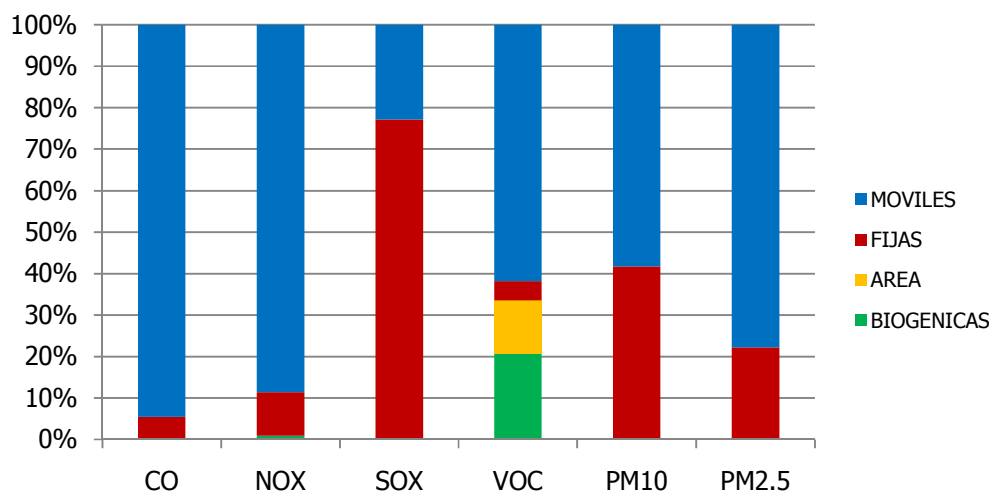
A continuación se muestra una tabla resumen con el resultado de emisiones atmosféricas para el Valle de Aburrá con año base 2009. Se incluyen las cuatro categorías que han sido tratadas en el estudio, a saber: fuentes móviles, fuentes fijas, fuentes de área y fuentes biogénicas.

Tabla 9.1 - Emisiones atmosféricas en el Valle de Aburrá, año 2009

Emisiones (ton/año)						
Fuente	CO	NO _x	SO _x	VOC	PM10	PM2.5
Móviles	166.899	29.324	1.669	25.652	2.377	2.075
Fijas	9.584	3.472	5.647	1.808	1.700	592
Área	-	-	-	5.365	-	-
Biogénicas	-	319	-	8.602	-	-
<i>Total</i>	176.483	33.115	7.316	41.427	4.077	2.667

Puede verse que a excepción de los óxidos de azufre las emisiones se encuentran dominadas por el parque automotor (fuentes móviles). Esto se aprecia claramente en la figura 9.2.

Figura 9.1 - Distribución de emisiones atmosféricas, año 2009



Las fuentes móviles aportan aproximadamente el 95% del CO, el 90% de NO_x, el 60% del PM10 y el 80% del PM2.5, contaminantes producidos en la combustión de gasolina, diesel y gas natural para generar la energía necesaria que da movimiento a los vehículos.

En cuanto a las fuentes fijas hacen un aporte importante de SO_x, producido durante la combustión del carbón y fuel oil No. 2 y No. 6. El carbón, que en su gran mayoría es producido en los municipios antioqueños de Amagá, Nechí y Angelópolis contiene 0.56% de azufre y se considera uno de los carbones con más bajo contenido de este elemento en el mundo. El fuel oil No.2 durante el año 2009 tuvo un contenido de azufre promedio de 2.500 ppm y el fuel oil No. 6 contiene 15.400 ppm de azufre.

Por su parte, las fuentes de área aportan cerca del 13% de las emisiones de VOC, producto de emisiones evaporativas industriales, distribución y almacenamiento de combustibles, y por degradación de materia orgánica en el relleno sanitario del área metropolitana.



Actualización del Inventario de Emisiones Atmosféricas



Por último, las fuentes biogénicas emiten un 20% de VOC producidos por la vegetación propia del Valle de Aburrá, como bosques, matorrales y cultivos de maíz, frijol, café, caña, papa y frutales.

10. CONCLUSIONES

Fuentes Móviles

El parque automotor del Valle de Aburrá está compuesto en un 55% por automóviles y camperos, en un 39% por motos, en un 4% por camiones y en un 2% por buses. Aproximadamente el 20% de los buses y el 35% de los camiones tienen más de 30 años, mientras que el 60% de los camperos y el 50% de los automóviles tienen más de 10 años; solo las motocicletas pueden considerarse como la categoría con la tecnología más actualizada de la flota vehicular.

En este inventario de emisiones se estimó que durante el año 2009 las fuentes móviles emitieron 166.899 toneladas de CO, 29.324 toneladas de NO_x, 1.669 toneladas de SO_x, 25.652 toneladas de VOC, 2.377 toneladas de PM10 y 2.075 toneladas de PM2.5, donde los vehículos livianos fueron los principales responsables de las emisiones de CO y VOC (debido al uso de gasolina), mientras los buses hacen mayor aporte de NO_x, SO_x, PM10 y PM2.5 (debido al uso de diesel).

Fuentes Fijas

La industria del Valle de Aburrá fue dividida en varios sectores de los cuales se resaltan el sector textil, el sector cerámico, vítreo y ladrillero, el sector metalmecánico, el sector de bebidas, alimentos y tabaco y el sector químico, siendo los dos primeros los más predominantes en el Valle de Aburrá.

Dentro de las fuentes fijas en consideración, el sector textil y el sector cerámico, vítreo y ladrillero son los que mayor cantidad de contaminantes arrojan a la atmósfera, esto debido a que cuentan con el mayor número de chimeneas, y al uso continuo de carbón y materia orgánica en calderas y hornos.

Los municipios con mayor emisión de contaminantes son Itagüí, Medellín, Bello y Barbosa, los dos primeros reportan gran número de chimeneas (580 fuentes, 257 empresas) mientras los dos restantes tienen pocas fuentes pero de gran tamaño (64 fuentes, 23 empresas).

Para el año 2009, se estimó que las fuentes fijas emitieron 9.584 toneladas de CO, 3.472 toneladas de NO_x, 5.647 toneladas de SO_x, 1.808 toneladas de VOC, 1.700 toneladas de PM10 y 592 toneladas de PM2.5. Aproximadamente el 90% de las emisiones de SO_x, el 70% de NO_x y el 60% de PM10 son emitidas por el 14% de las empresas (51 empresas, 83 fuentes).

El carbón y el gas natural son los combustibles más usados por la industria del Valle de Aburrá, con un 42% y 32%, respectivamente, siendo el carbón el combustible responsable de la mayor cantidad de emisión de contaminantes, aunque la materia orgánica hace un aporte importante a la emisión de VOC.

Fuentes de Área

Se estimó que las emisiones evaporativas industriales liberaron un total de 2.599 toneladas de VOC en el año 2009. Los contaminantes considerados en esta categoría se produjeron durante la elaboración de bebidas destiladas, la producción de fibras sintéticas, pinturas, barnices, papas fritas y pasabocas, y el recubrimiento de láminas metálicas.

Para las 199 estaciones de servicio de combustibles inventariadas en este estudio se encontró una emisión de 1.451 toneladas de VOC, 95% de ellas provenientes de la gasolina y el porcentaje restante del diesel.

Se tuvieron en cuenta 16 tanques de almacenamiento de combustibles localizados al norte del Valle de Aburrá, encontrando que debido al trasvase del líquido y al almacenamiento permanente se produjeron un total de 155 toneladas VOC en el año 2009.

El Relleno Sanitario Curva de Rodas localizado entre los municipios de Bello y Copacabana y clausurado en el año 2003, emitió 23.009 toneladas de CH₄, 84.989 toneladas de CO₂ y 1.160 toneladas de compuestos orgánicos no metánicos en el año 2009.

La planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando, la cual trata cerca del 20% de las aguas de desecho producidas en el área metropolitana del Valle de Aburrá emitió 11.854 toneladas de CO₂ producidos por la descomposición de materia orgánica y por la combustión del CH₄ generado en este mismo proceso (este gas es quemado para evitar arrojarlo directamente a la atmosfera ya que tiene un potencial de calentamiento 21 veces mayor que el del CO₂). No fue posible estimar la emisión de VOC, pues se desconocía la densidad del gas en la mezcla y la composición de cada contaminante para su posterior especiación.

Fuentes Biogénicas

Las fuentes de emisión naturales consideradas en el Valle de Aburrá fueron bosques, cultivos y matorrales, encontrando que emiten 8.602 toneladas de VOC y 319 toneladas de NO_x, cuya generación se da principalmente en el parque ecológico Piedras Blancas en el corregimiento de Santa Elena.

En el inventario de emisiones atmosféricas del Valle de Aburrá con año base 2009, se estimó una emisión de 176.483 toneladas de CO, 33.115 toneladas de NO_x, 7.316 toneladas de SO_x, 41.427 toneladas de VOC, 4.077 toneladas de PM₁₀ y 2.667 toneladas de PM_{2.5}, donde las fuentes móviles son las principales responsables de la emisión de la mayoría de contaminantes, exceptuando las fuentes fijas que aportan gran cantidad de SO_x. Por su parte las fuentes de área y las fuentes biogénicas emiten más del 30% de los VOC.

11. RECOMENDACIONES

Centralizar y consolidar la información relacionada con el parque vehicular que circula por el Valle de Aburrá, pues se apreciaron diferencias entre la información manejada por las Secretarías de Tránsito y Transporte y el RUNT del Ministerio de Transporte.

Realizar campañas de monitoreo para determinar y/o actualizar los flujos vehiculares en las principales vías de los municipios que conforman la región metropolitana del Valle de Aburrá.

Dirigir el control de emisiones vehiculares hacia la actualización del parque automotor, evitando el crecimiento desmesurado del mismo y hacia el uso de dispositivos de control de emisiones, teniendo en cuenta que el Valle de Aburrá cuenta desde el mes de julio de 2010 con diesel de 50 ppm de azufre.

Hacer seguimiento constante a las fuentes fijas existentes y nuevas que se asienten en el Valle de Aburrá, con un análisis riguroso de sus procesos para identificar posibles emisiones evaporativas, equipos de combustión o cualquier otro fenómeno que pueda arrojar contaminantes al aire. Algunos variables a las que deberá hacerse seguimiento son: producción mensual, tipo de equipo de combustión (en caso de ser una caldera es muy importante especificar el tipo de alimentación), combustibles usados y cantidad, frecuencia de trabajo del equipo o proceso, entre otros.

Actualizar constantemente el modulo de fuentes fijas, de manera tal que las empresas o equipos que no funcionen se retiren o en el caso de nuevas fuentes introducirlas en la base de datos. Estas actualizaciones deberán hacerse con la mayor frecuencia posible.

Enfocar el control y vigilancia de las fuentes fijas en las 51 empresas que emiten la mayor cantidad de contaminantes, de esta manera los esfuerzos concentrados en unas pocas empresas lograrán mejores y mayores resultados sobre la calidad del aire.

Requerir jurídicamente a las empresas que no proporcionaron la información solicitada para el cálculo de las emisiones evaporativas industriales y las emisiones en tanques de almacenamiento.

Solicitar información sobre venta mensual y/o anual de combustibles en las estaciones de servicio ubicadas en el Valle de Aburrá, de manera tal que la información esté centralizada en los expedientes archivados en la Entidad. La base de datos sobre número y ubicación de estaciones de servicio también deberá ser actualizada constantemente.

Caracterizar los combustibles líquidos usados en la región, para lograr una especiación de compuestos orgánicos volátiles lo más cercana posible a la realidad local.

Usar un modelo de dispersión para simular la migración de contaminantes producidos en el relleno sanitario Curva de Rodas y monitorear las emisiones atmosféricas originadas por la descomposición de los residuos, pues en muchos estudios se ha encontrado migración de gases considerados como tóxicos.

Continuar con la combustión o aprovechamiento de metano tanto en el relleno sanitario Curva de Rodas como en la planta de tratamiento de aguas residuales San Fernando, ya que este gas tiene gran impacto sobre el fenómeno de calentamiento global.

Incluir en inventarios de emisiones futuros mayor número de fuentes; algunas de esas fuentes tal vez fueron pasadas por alto en las primeras etapas o no fueron incluidas por no ser suficientemente relevantes frente a las que se consideraban en el momento. Tal es el caso de las emisiones por tránsito aéreo en el aeropuerto Olaya Herrera, de las fuentes móviles fuera de ruta, de la combustión de gas natural residencial, del uso de solventes domésticos, los incendios forestales, entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

ACTUALIZACIÓN DEL INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFERICAS EN EL VALLE DE ABURRÁ, CON GEORREFERENCIACIÓN DE ESTAS. INVENTARIO DE EMISIONES BIOLÓGICAS -EBIOAM- Convenio 323 de 2005: Área Metropolitana del Valle de Aburrá – Universidad Pontificia Bolivariana.

AIR POLLUTION MANAGEMENT (2008:Norrköping). Sweden's Informative Inventory Report 2008, Submitted under the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. Swedish Environmental Protection Agency, 2008. 148 p.

ENVIRONMENTAL MANUAL FOR ALBERTA FARMSTEADS: Beneficial Management Practices. Fuel Storage and Handling, 2005. 10 p.

ECOPETROL, Productos. En línea <<http://www.ecopetrol.com.co>> [citado en agosto de 2009]

EMEP/CORINAIR. Atmospheric Emissions Inventory Guidebook. Octubre 2002.

ENVIRONMENT AUSTRALIA, Emissions Estimation Technique Manual for Aggregated Emissions from Service Stations. First versión. 1999. 19 p. En línea: www.npi.gov.au [citado en febrero 4 de 2010]

ENVIRONMENT AUSTRALIA, Expansion of Vapour Recovery at Petrol Service Stations in the NSW Greater Metropolitan Region. Noviembre de 2009. En línea: www.npi.gov.au [citado en febrero 4 de 2010]

ESTUDIO DE LA VIABILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA EL ENRIQUECIMIENTO DEL BIOGÁS PROVENIENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE SAN FERNANDO Y ANÁLISIS DE LA POTENCIALIDAD EN SU USO. Informe final, preparado

para Empresas Públicas de Medellín por la Universidad Pontificia Bolivariana, el Centro de Producción Más Limpia y TEPSA. Medellín, Julio de 2009.

LA ENCICLOPEDIA DE ANTIOQUIA. En línea <
<http://www.lea.org.co/DesktopModules/Articulos/DetallesArticulo.aspx?id=6841>> [citado
en diciembre 17 de 2009]

LENTS, James M. et al. Air Quality Management: The framework - the inventory –
estimating emissions from mobile sources. En línea. <<http://www.issrc.org/>> [citado en
septiembre 5 de 2009]

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SAN FERNANDO. Revista de Obras
Públicas. Mayo de 2001. No 3.410.

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. Guía de elaboración y usos
de inventarios de emisiones. Primera edición. México, D.F: Instituto Nacional de Ecología
(INE-SEMARNAT). 2005. 506 p. ISBN 968-817-569-2

SEINFELD, John H. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change.
Second edition. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2006. 1203 p. ISBN 978-0-
47172017-1

SHULZE, Heino. Captage des emissions diffuses des COV. Office Fédéral de
l'environnement, 2009. 55 p.

TORO GÓMEZ, María Victoria. Simulación numérica de transporte y la transformación de
contaminantes fotoquímicos en un caso de contaminación por ozono en los Andes
colombianos. Barcelona, 2004. 134 p. Tesis de doctorado. Universidad Politécnica de
Cataluña. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona. Departamento
de Procesos Químicos.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. La Cadena del Carbón: El Carbón colombiano, fuente de energía para el mundo. Ministerio de Minas y Energía, 2005. 53 p. ISBN 958-97750-0-4

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. La Cadena del Petróleo. Ministerio de Minas y Energía, 2009. 140 p. ISBN 978-958-8363-05-9

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA. La Cadena del Gas Natural en Colombia. Ministerio de Minas y Energía, 2009. 111 p. ISBN 978-97885-9-1

US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, Technology transfer network clearinghouse for inventories & emissions factors. Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Stationary Point and Area Sources, AP-42 En línea <<http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/>> [citado en agosto de 2009]

WEI, Wei et al. Emission and speciation of non-methane volatile organic compounds from anthropogenic sources in China. En: Atmospheric Environment. No. 42 (2008).

WONGWISES, S. et al. An evaluation of evaporative emissions of gasolina from storage sites and service stations. En: Science Technology. No. 2 (1997).