

Balance energético y estimación de contaminantes atmosféricos emitidos en el Valle de Aburrá, 1999: una aproximación inicial

*Francisco Molina Pérez**, *Mercelena Saavedra Duque*** y *Mauricio Obregón Cardona****

(Recibido el 10 de octubre de 2002)

Resumen

A partir de la aplicación del análisis de flujo de materiales, el trabajo realizado presenta la composición de la canasta energética del Valle de Aburrá durante 1999 y las emisiones atmosféricas generadas por el consumo de dichas sustancias. Globalmente, se encontró que el sistema consumió 43,2 tercalorías diarias y generó 716 toneladas de contaminantes al día. Los resultados obtenidos indican la participación mayoritaria de los energéticos consumidos por el sector transporte (gasolina y ACPM) en el metabolismo del sistema, por tanto el sector transporte aporta la mayor carga contaminante representada por el monóxido de carbono, el cual corresponde al 77,6% de toda la contaminación emitida.

----- *Palabras clave:* contaminación atmosférica, fuentes fijas, fuentes móviles, análisis de flujo de materiales, energía.

Energy balance and air pollutant emissions estimates in the Aburra valley, 1999: a preliminary approach

Abstract

Based on the application of Material Fluxes Analysis, this paper presents the composition of the energetic basket in Valle de Aburrá during 1999 and the atmospheric emissions caused by the consumption of those energetic materials. Basicaly, it was found that the daily energetic consumption of the system was 43,2 Tcal, that generated 716 ton. by day of atmospheric contaminants as an

* Ingeniero Sanitario. MSc Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Profesor Asociado Universidad de Antioquia. Director Corporación Ambiental Universidad de Antioquia. fmolina@udea.edu.co.

** Ingeniera Química. Especialista en Gestión Ambiental. Coordinadora del Laboratorio de Higiene y Toxicología Industrial. Protección Laboral Seguro. mercelenas@hotmail.com.

*** Antropólogo. Especialista en Gestión Ambiental. Profesor Departamento de Antropología. Universidad de Antioquia. mapana@hotmail.com.

output. The results shows that the main energetic materials that participate in the global metabolism of the system, was those consumed in the transportation sector (gasoline and diesel). Therefore transportation sector contributes with the principal load of contaminants represented by carbon monoxide that overtake the 77,6% of the whole emissions.

----- *Key words:* atmospheric emissions, stationary sources, mobile sources, Analysis of Material Fluxes, energy.

Introducción

En este artículo se presenta una síntesis de los resultados de la aplicación de la herramienta del análisis de flujo de materiales (AFM) al caso específico del consumo de carbón, hidrocarburos y energía eléctrica en el conjunto de municipios que se localizan en el Valle de Aburrá, con el fin de estimar las cantidades de las diversas sustancias emitidas a la atmósfera como producto de la combustión de dichos energéticos durante el año 1999.

La aplicación de esta herramienta permitió el conocimiento de la composición de la canasta energética por sectores de consumo, identificando de esta forma las dependencias y puntos críticos del sistema; adicionalmente permitió evidenciar las conexiones entre los principales contaminantes atmosféricos emitidos y los energéticos y actividades que los generan.

Metodología

El AFM tiene como base “el análisis de la entrada de energía y materiales a la antropósfera para predecir su salida al medio ambiente [1]; combina la información de estudios de mercado, es decir, las “entradas”, representadas por el consumo de sustancias (insumos, bienes) y energía; con las “salidas”, es decir, con información relativa a los productos y residuos generados en su aprovechamiento y transformación. El AFM permite caracterizar la dinámica de los flujos o el “metabolismo” de una ciudad o una región.

Secuencia de aplicación del AFM

El análisis de flujo de materiales se desarrolla mediante la aplicación de una serie ordenada de pasos [1, 2], que pueden sintetizarse de la siguiente forma:

El análisis del sistema. Comprende la definición de los límites del sistema, de los materiales y procesos que incluye, así como la lista de entradas y salidas. Esta etapa tiene como base la inquietud específica que busca ser respondida, y por tanto es diferente para cada problema. En el

presente estudio enfatizamos específicamente sobre los productos de combustión generados y emitidos a la atmósfera a partir del consumo de combustibles fósiles en el Valle de Aburrá, durante el año 1999. Los elementos o parámetros elegidos, en este caso, las cantidades y tipos de sustancias energéticas y sus productos de combustión, se constituyen en indicadores de la actividad o el problema que está siendo analizado (contaminación atmosférica).

El cálculo de los flujos de masa de entradas y salidas por unidad de tiempo. Para llevar a cabo este paso, se partió de los datos sobre el suministro y consumo de las siguientes sustancias y fuentes energéticas sobre las que se basa principalmente el metabolismo del Valle de Aburrá: gasolina (corriente y extra), ACPM, carbón, crudo de Castilla, gas licuado de petróleo (GLP), gas natural y energía eléctrica. La información fue recopilada a partir de fuentes secundarias, tales como registros de distribución, ventas y consumo, suministrados por instituciones oficiales y privadas durante el lapso definido.

A su vez, para el desarrollo de los cálculos sobre la cantidad de las sustancias contaminantes emitidas a partir de la combustión de los energéticos considerados, recurrimos a los factores de emisión utilizados internacionalmente [3] y algunas adaptaciones desarrolladas a condiciones locales por diferentes autores [4, 5]. Estos factores de emisión representan las relaciones cuantitativas básicas entre diversas sustancias energéticas y sus productos de combustión en condiciones que pueden considerarse típicas, o por lo menos representativas de las tendencias dominantes.

Presentación de resultados

Análisis cualitativo del sistema: flujos energéticos y procesos

El análisis del sistema en cuanto a sus flujos energéticos y a sus procesos, reveló las siguientes fuentes que alimentaron *principalmente* el metabolismo de la antropósfera del Valle de Aburrá durante el año 1999: la energía eléctrica, la gaso-

lina, el aceite combustible para motores (ACPM), el gas natural, el GLP, el crudo de Castilla, el carbón mineral, y el aceite quemado en medianas y pequeñas fundiciones. Los flujos energéticos representados por la entrada de estas sustancias a la antroposfera del Valle de Aburrá, se distribuyen en cuatro procesos o subsistemas que denominamos sector industrial, comercial, sector doméstico o residencial y sector de transporte. Lo anterior se ilustra en la figura 1.

Tanto los antecedentes investigativos en este campo para el Valle de Aburrá [4], como los registros de distribución y consumo consultados para 1999, indican que el área de estudio presenta una clara dependencia de las anteriores fuentes energéticas. Al comparar la información recolectada con los datos para 1996 [4], las principales variaciones identificadas durante el análisis del sistema, se refieren al cambio porcentual en la participación de los energéticos en los sectores doméstico y de transporte, fundamentalmente por introducción del gas natural en el

primero y por la operación del sistema de transporte masivo accionado por energía eléctrica (metro) en el segundo. La distribución porcentual y las cantidades consumidas por cada sector se presentan en la figura 2. Así mismo se presentan en la tabla 1 el poder calorífico y la composición de los energéticos que influyen en la determinación de las emisiones generadas por su consumo.

Energía eléctrica

Los consumos de energía eléctrica para el período de estudio se obtuvieron de la información reportada en el Anuario Estadístico de Antioquia [6].

Aunque la energía eléctrica puede considerarse, en general, como una forma limpia de energía, pues no se emiten sustancias contaminantes a la atmósfera al momento de su consumo, es necesario señalar que su generación implica grandes impactos ambientales, muchos de ellos altamente negativos, en las zonas donde se localizan los

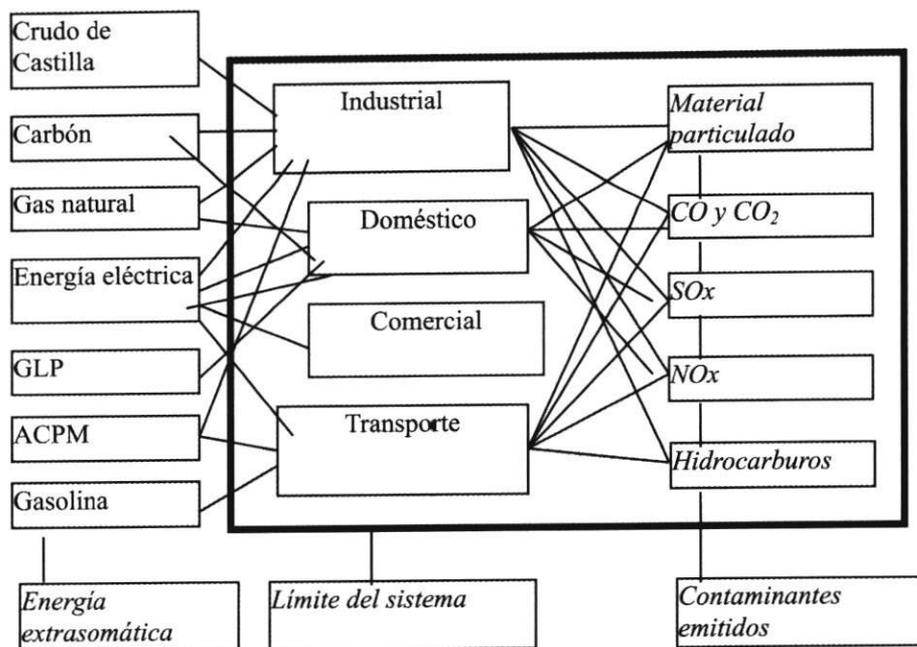


Figura 1 Flujos energéticos extrasomáticos en el Valle de Aburrá, 1999

embalses. De esta forma puede decirse que en lo que respecta a esta importante fuente energética, el Valle de Aburrá desplaza por fuera de los límites del sistema los efectos negativos de su requerimiento energético.

Gasolina

La información sobre el consumo de gasolina (corriente y extra) se obtuvo de Ecopetrol.

El accionar de los motores de combustión interna a gasolina, de los automóviles, genera emisiones tales como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC) y óxidos de nitrógeno (NOx), y que en buena medida están relacionadas con las características del parque automotor y de las condiciones propias del flujo vehicular local (estado de las vías, pendientes, cruces).

Aceite combustible para motor (ACPM)

La cantidad global de ACPM consumido en el sistema fue proporcionada por Ecopetrol. Para estimar la cantidad de ACPM consumida en la industria y la consumida en el subsistema o sector del transporte hemos recurrido a extrapolar los datos presentados en este sentido por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) [7], para el nivel nacional. Los valores utilizados son del 31,85% para la industria y del 68,15% para el sector transportador.

Crudo de Castilla

El dato de consumo de crudo de Castilla en el Valle de Aburrá fue proporcionado por Terpel Antioquia. Este energético se emplea exclusivamente en el sector industrial.

Gas natural

Los datos del consumo de gas natural fueron tomados de página *web* de la Comisión de Regula-

ción de Energía y Gas [8]. Aunque para el año 1999, el consumo domiciliario ya era un hecho, el programa de gas natural vehicular aún no había comenzado a aplicarse, por lo que en este trabajo sólo se considera uso industrial y doméstico.

GLP

Los datos del consumo de GLP fueron facilitados por la empresa estatal que para 1999 constituía el distribuidor mayoritario que abastecía a las cuatro empresas comercializadoras.

El consumo de gas licuado de petróleo GLP como combustible utilizado en el sector doméstico (gasodomésticos) ha sido impulsado en el Valle de Aburrá, especialmente en la segunda mitad de la década de los noventa.

Carbón

La información sobre consumo de carbón se obtuvo de las estadísticas oficiales departamentales, entre las cuales se seleccionaron aquellas correspondientes a industrias que operan en el Valle de Aburrá.

Caracterización cuantitativa de los flujos: balance energético y de materiales

Durante 1999 se consumieron en el ámbito nacional 199.491 teracalorías¹ en los sectores residencial, comercial, industrial y de transporte, de las cuales el 7,9% (15.785 teracalorías) se consumieron en el Valle de Aburrá. Lo anterior se presenta en la tabla 2.

Se observa una proporción constante en la participación del Valle de Aburrá, en el ámbito nacional, respecto a los energéticos de mayor consumo, alrededor del 11%, esto es para la energía eléctrica, el carbón mineral, la gasolina y el aceite combustible para motor (ACPM). Lo anterior

1 Para facilitar la comparación entre los consumos locales y los datos nacionales reportados por la UPME se utilizó como unidad de medida para el consumo energético las teracalorías (1 Tcal = $4,18 \times 10^9$ KJoule).

Tabla 1 Poder calorífico y composición de energéticos relevante para el cálculo de emisiones

<i>Energético</i>	<i>Poder calorífico</i>	<i>Composición</i>
Gasolina	0,00122 Tcal/barril	S: 0,15% Pb: 0,0%
Fuel oil	38.500 Kcal/galón	S: 2,5%
Crudo de Castilla	37.800 Kcal/galón	S: 2,2% Cenizas: 0,8%
ACPM	38.500 Kcal/galón	S: 0,6% Cenizas: 0,01%
Carbón	0,0065 Tcal/t	S: 0.645% Cenizas: 12%
Gas natural	1018,8 BTU/pie ³	<i>Guajira:</i> Metano: 98,05% Etano: 0,26% Propano: 0,05% <i>Cusiana:</i> Metano: 76,55% Etano:10,8% Propano: 5,3%
GLP	0,00095 Tcal/barril	S: 0,02%

Tabla 2 Consumo de energéticos en el ámbito nacional y local

<i>Energético</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Cantidad consumida</i>		<i>Participación local, %</i>
		<i>Nacional</i>	<i>V. Aburrá</i>	
Energía eléctrica	Giga vatios-hora	41.866	5.003	11,95
Carbón mineral	Miles de toneladas	2.772	348	12,56
Gas natural	Millones de pies cúbicos	185.416	93	0,05
GLP	Miles de barriles	8.510	267	3,13
Gasolina	Miles de barriles	42.321	4.488	10,60
Crudo de Castilla	Miles de barriles	4.111	167	4,06
ACPM	Miles de barriles	19.555	1.981	10,13

explica que la participación global del Valle de Aburrá mencionada antes (7,9%) se ve reducida por los bajos consumos de algunos energéticos tradicionales como el crudo de Castilla y de los energéticos sustitutos (gas natural y GLP) puesto que el plan de masificación del gas crece más rápidamente en otras zonas del país como la costa Atlántica.

Consumo de energéticos y participación por sectores en el Valle de Aburrá durante 1999

Para el cálculo de la participación de los distintos energéticos en la canasta por sectores, se transformaron las diferentes unidades de medida en unidades de poder calorífico (teracalorías), de tal forma que se posibilitara la estimación de

la participación porcentual de cada uno. En la figura 2 se ilustran los flujos de energéticos que alimentaron el sistema del Valle de Aburrá durante 1999 en los diferentes sectores de consumo.

Los porcentajes de los energéticos en cada sector (residencial, industrial, comercial y transporte) corresponden a su participación respecto al total de energía consumida en el sector respectivo.

Aunque el consumo de carbón presentó un mínimo para 1999, sigue representando la mayor fuente de energía para la industria en nuestro medio, principalmente para la generación de calor (en calderas y hornos industriales) y energía

eléctrica (en el sector textil: Fabricato y Coltejer) a un bajo costo en comparación con otros energéticos.

A pesar de que en el ámbito local para este período no se evidenció o no se reportaron consumos de GLP en la industria, la información obtenida para Colombia señala que su uso se ha venido incrementando, y para 1999 alcanzó el 9% del total de energía nacional consumida en este sector.

El uso del gas natural en el sector industrial se ha incrementado en los últimos años; según el informe presentado por Molina y Echeverri, para

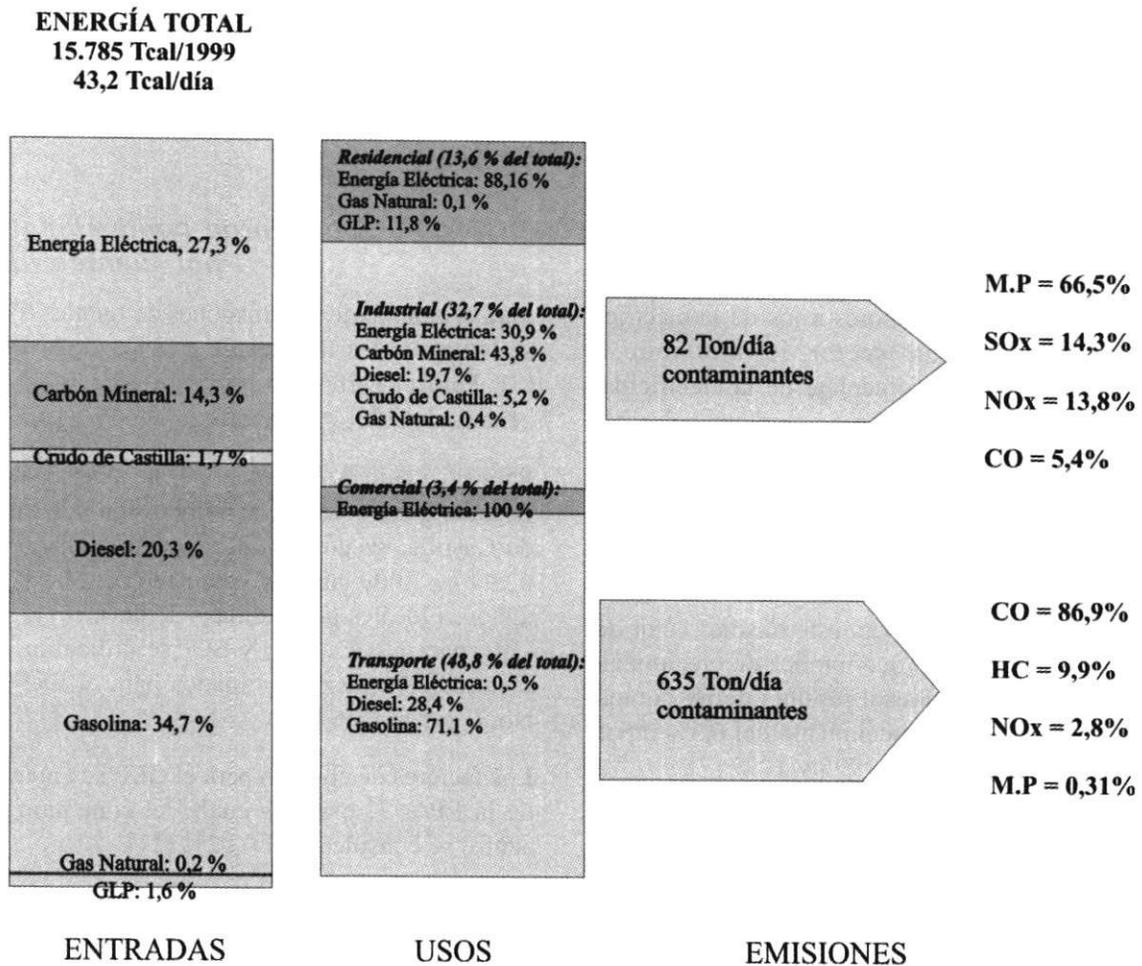


Figura 2 Aplicación del análisis de flujo de materiales al consumo energético en el Valle de Aburrá durante 1999

1996 [4] el gas natural no se encontraba entre las opciones de energéticos utilizadas en el ámbito industrial, para 1999 representa el 0,4% de la energía utilizada en este sector en el Valle de Aburrá y el 21,9% en el ámbito nacional en este mismo sector.

Debido a que el crudo de Castilla se consume exclusivamente en el sector industrial, su demanda está directamente relacionada con el comportamiento del sector, por lo que la crisis económica que tuvo lugar durante el año 1999, se refleja directamente en la reducción en el consumo de este combustible, tal como se hace evidente en los registros nacionales presentados por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME) [7]. Esta tendencia nacional se refleja de manera dramática en el Valle de Aburrá si se comparan los datos de consumo para 1996 [4] con el consumo para 1999, el cual resulta seis veces menor.

El hecho de que tanto el gas natural como el GLP se utilicen en el sector doméstico y comercial para cocción y calentamiento de agua y que tengan unos precios menores a los de la electricidad en ese mismo sector, ha motivado la sustitución de un porcentaje de la electricidad consumida en estos usos. La tendencia observada sugiere que cada vez los porcentajes de participación de estos dos energéticos aumentarán en el sector residencial. Es así como para 1996 se reportó [4] una participación del 3,21% del GLP en el sector residencial y para 1999 se encontraron consumos para este mismo sector del orden del 11,8%; lo que implica un crecimiento anual del 2,86%, el cual resulta inferior comparado con la tasa de crecimiento del 6,3% reportada para el país entre 1995 y 1999 [7].

En nuestro medio, el transporte sigue apoyándose mayoritariamente en el consumo de energéticos derivados del petróleo (diesel y gasolina) en un 99,5%. Del total de combustibles derivados del petróleo consumidos en Antioquia en el sector transporte, el 94% se consumieron en los municipios del Valle de Aburrá. Este sector consume la mayor cantidad de energía y aun cuan-

do el medio de transporte masivo (metro) llevaba, para 1999, cuatro años operando, su funcionamiento sólo representó el 0,5% del total de energía consumida en este sector, lo cual implica que la participación de este medio no ha sido suficiente como para introducir un cambio significativo en el comportamiento de la canasta energética para el sector transporte.

Emisión de contaminantes derivada del consumo de energéticos en el Valle de Aburrá durante 1999

Dado el carácter preliminar del estudio desarrollado, se calcularon las emisiones generadas por el consumo de combustibles en los diferentes sectores, sólo para fuentes fijas (que abarcan los sectores residencial, industrial y comercial) y para fuentes móviles (sector transporte), no se realizaron cálculos para fuentes de área ni para fuentes lineales.

Emisión de contaminantes por fuentes fijas

Para el cálculo de las emisiones de fuentes fijas, se utilizaron los factores de emisión de la EPA [3]. Para el carbón se tomó un porcentaje de cenizas del 12% y de azufre un 0,645% [9].

Para el cálculo de las emisiones de material particulado generadas por la combustión del crudo de Castilla, se utilizó un factor de emisión de 62,94 kg/1.000 galones, calculado para las condiciones locales por Molina y Echeverri (1995) [10], para el CO, NO₂ y SO₂ se utilizaron los factores de emisión estimados para el fuel oil No. 6 por la EPA [3].

Los factores de emisión para el GLP se tomaron de la EPA [3] para los cuales el contenido de azufre se consideró del 0,02% [11].

El cálculo de las emisiones de contaminantes (CO, material particulado, SO₂ y NO₂), por el consumo de energéticos en fuentes fijas, se realizó mediante la utilización de la siguiente fórmula en la que se relaciona el consumo de cada energético con el factor de emisión correspondiente.

$$E = C \times EF (1-ER/100)$$

En donde:

E: Emisión del contaminante.

C: Consumo del energético.

EF: Factor de emisión (cantidad del contaminante/unidad de consumo).

ER: Porcentaje de reducción de las emisiones por los sistemas de control.

Los cálculos se realizaron asumiendo que no existen sistemas de control para la reducción de emisiones en las fuentes puntuales, esto es ER = 0, lo cual puede introducir una sobreestimación en los resultados encontrados. Así entonces se calcularon las emisiones para cada tipo de energético, con la fórmula: $E = C \times EF$, cuyos resultados se presentan en la tabla 3.

Emisión de contaminantes por fuentes móviles

Para el cálculo de las emisiones provenientes de fuentes vehiculares se utilizaron los factores de emisión resultantes de la aplicación a Medellín del modelo EPA-MOBILE [5]. Dichos factores se expresan en términos de gramos de contaminante emitido por kilómetro recorrido y están dados para el monóxido de carbono, hidrocarburos y óxidos de nitrógeno.

Modelo de cálculo para la determinación de emisiones provenientes de fuentes móviles con motores de gasolina

Rendimiento ponderado para los vehículos operados con gasolina (R.P.G.):

$$R.P.G. = \sum_i (\text{rendimiento} \times \text{fracción de vehículos})_i$$

i: Cada categoría considerada en el modelo EPA-MOBILE

R.P.G.: En unidades de km/galón de gasolina

Distancia total recorrida (D):

Distancia total = R.P.G x Consumo de gasolina en el Valle de Aburrá (galones)

D: En kilómetros

Factor de emisión ponderado (F.E.P):

$$F.E.P._j = \sum_i (\text{factor de emisión}_j \times \text{fracción de vehículos}_i)$$

j: Tipo de contaminante (CO, HC, NOx)

i: Cada categoría considerada en el modelo EPA-MOBILE

F.E.P._j: En unidades de g/km

Emisión de contaminantes por fuentes vehiculares con motores a gasolina (E_j):

$$E_j = D \times F.E.P._j$$

E_j: En gramos de contaminante j

j: Tipo de contaminante (CO, HC, NOx)

El mismo tratamiento anterior se realiza para los vehículos que funcionan con diesel. Se calcula adicionalmente la emisión de material particulado utilizando el factor de emisión de material particulado, para el ACPM: 0,81 g/km, tanto para camiones como para buses [12].

Los resultados de la aplicación de este modelo de cálculo para el caso de consumo de gasolina se presentan en la tabla 4.

En la tabla 5 se presenta el consolidado de las emisiones de contaminantes por fuentes vehiculares movidas con gasolina y diesel en el Valle de Aburrá.

Tomando en cuenta las emisiones totales generadas por el parque automotor (fuentes móviles), tanto por el consumo de gasolina, como por el diesel, se ha estimado una cantidad total de 231.667 toneladas de contaminantes durante el año 1999 en el Valle de Aburrá, es decir, 635 toneladas diarias. De este monto el 98,3% correspon-

Tabla 3 Emisión de contaminantes por fuentes fijas

<i>Energético</i>	<i>Consumo</i>	<i>Factores de emisión</i>				<i>Emisión, t/año</i>			
		<i>MP</i>	<i>CO</i>	<i>SO₂</i>	<i>NO₂</i>	<i>MP</i>	<i>CO</i>	<i>SO₂</i>	<i>NO₂</i>
Crudo de Castilla (kg/1.000 gal.)	7.000 galones	62,9400	2,38	71,9800	28,380	440	0,017	10,2	
Carbón (kg/t)	384.000 toneladas	4,5300 C	0,22	17 S	10,000	18.917,000	76	3.815,000	3.840,0
Diesel (kg/1.000 gal.)	26.499.000 galones	18,5600	56,90	17,3700	23,000	491,180	1.507	460,000	609,5
Gas natural (kg/10 ³ PCS)	72.481 pies cúbicos	0,0034	0,18	0,0003	0,042	0,246	13	0,020	3,0
GLP (kg/1.000 gal.)	8.410.000 galones	0,8320	0,87	0,0370 S	3,020	7,000	7	0,060	25,0
Total						19.856	1.603	4.276	4.117

Tabla 4 Aplicación del modelo de cálculo para la estimación de emisiones de contaminantes generados por el consumo de gasolina

<i>Tipo de vehículo</i>	<i>Fracción de vehículos</i>	<i>R.P.G. (km/gal.)</i>	<i>Factores de emisión</i>		
			<i>HC</i>	<i>CO</i>	<i>NO_x</i>
Automóviles	0,387	12,384	1,850	16,060	0,730
Camiones-liviano	0,168	4,200	2,520	22,600	0,860
Camiones (2,7-3,9 t)	0,028	0,104	7,280	66,810	1,81
Vehículos 3,9 t-pesado	0,02	0,005	6,110	82,910	2,400
Motocicletas	0,415	33,200	2,370	22,200	0,350
<i>Factores de emisión ponderados</i>			2,338	21,622	0,627

Consumo de gasolina, 1999 = 188.497.176 galones

Distancia total recorrida = 9.404.689.602 km

de a las emisiones generadas por el consumo de gasolina. En la distribución de los contaminantes, el mayor aporte corresponde al monóxido de carbono (86,9%), seguido por los hidrocarburos no quemados (9,9%), por los óxidos de nitrógeno (2,8%) y el material particulado (0,31%). Las cantidades de los contaminantes emitidos por las fuentes móviles pueden observarse en la tabla 5.

El total de contaminantes atmosféricos generados por el consumo de combustibles, tanto por las fuentes fijas como por las fuentes móviles, en el Valle de Aburrá durante 1999, ascendió a 261.519 toneladas, lo que corresponde a 716 toneladas diarias. De este total el mayor aporte corresponde al monóxido de carbono con el 77,6%, el cual se genera mayoritariamente en el sector del transporte (fuentes móviles). Le siguen los hidrocarburos no quemados a los cuales les corresponde el 8,8% siendo generados en su mayoría por el sector transporte (fuentes móviles). En tercer lugar se encuentra el material particulado con una participación del 7,9% generado mayoritariamente por el sector indus-

trial (fuentes fijas) y específicamente por el consumo de carbón mineral; no obstante, es importante tener en cuenta que en el presente estudio no se consideraron las emisiones de material particulado por fuentes lineales (vías, calles, etc.). En cuarto lugar se encuentran los óxidos de nitrógeno con una participación del 4,1% (del cual le corresponde un 38,8% al sector industrial (fuentes fijas) y un 61,2% al sector transporte (fuentes móviles). En quinto lugar estarían los óxidos de azufre con una participación del 1,6%, aportados básicamente por el sector industrial (fuentes fijas).

Las cantidades de cada uno de los anteriores contaminantes, según tipo de fuente de generación se relacionan en la tabla 6, y en la figura 2 se esquematiza la relación entre los energéticos consumidos y los contaminantes emitidos en el Valle de Aburrá durante 1999.

En el presente estudio no se contó con referencias bibliográficas relacionadas con los factores de emisión para hidrocarburos generados por

Tabla 5 Emisión de contaminantes por fuentes vehiculares en el Valle de Aburrá, 1999

<i>Tipo de combustible</i>	<i>Emisiones vehiculares (t/año)</i>			
	<i>HC</i>	<i>CO</i>	<i>NOx</i>	<i>MP</i>
Gasolina	21.988	199.962	5.896	-
Diesel	1.188	1.384	609	710
Total	23.106	201.346	6.505	710

Tabla 6 Emisiones de contaminantes a la atmósfera por consumo de energéticos según el tipo de fuente

<i>Tipo de fuente</i>	<i>Toneladas de contaminantes, 1999</i>					<i>Totales por fuente, 1999</i>
	<i>HC</i>	<i>CO</i>	<i>NOx</i>	<i>SOx</i>	<i>MP</i>	
Fuentes fijas	—	1.603	4.117	4.276	19.586	29.852
Fuentes móviles	23.106	201.346	6.505	—	710	231.667
Total	23.106	202.949	10.622	4.276	20.566	261.519

fuentes fijas ni para óxidos de azufre generados por fuentes móviles.

Conclusiones

Según contaminantes emitidos.

Las emisiones de CO, que representan la mayor participación en los contaminantes atmosféricos emitidos dentro del sistema (77,6%), son aportadas en su gran mayoría (99%) por las fuentes móviles, están relacionadas con procesos de combustión incompleta (ineficiencia), los cuales son típicos de las condiciones de operación de los motores de gasolina y diesel que impulsan el parque automotor dentro del sistema.

Los hidrocarburos no quemados representan el 8,8% de la totalidad de los contaminantes emitidos a la atmósfera en el Valle de Aburrá, y son aportados fundamentalmente por el sector transporte.

Las emisiones de material particulado, que corresponden al tercer renglón de participación en la totalidad de los contaminantes emitidos (7,9%), provienen en su gran mayoría (96,5%) de las fuentes fijas, y están relacionadas principalmente con la combustión del carbón industrial, el cual aporta el 92% de la totalidad de las partículas emitidas a la atmósfera en el sistema.

Las emisiones de óxidos de azufre provienen en su mayor parte de la combustión de energéticos con altos contenidos de azufre, tales como el carbón y el crudo de Castilla utilizado en el sector industrial, el cual aporta el 89% de las emisiones totales de este contaminante.

Según sectores.

El sector transporte, que consumió 7.698 Tcal, generó casi ocho veces más contaminantes que el sector industrial que consumió 5.169 Tcal. La diferencia en los consumos energéticos de ambos sectores contrapuesta con el gran contraste observado en las cantidades de contaminantes generados, podría explicarse por la alta participación de energéticos "sucios" en el sector trans-

porte y por el aporte significativo de energéticos "limpios" en el sector industrial. De esta forma la energía eléctrica representa un 0,5% de la energía consumida en el sector transporte, mientras que en la industria asciende al 30,9%.

Para 1999 el aporte diario a la contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá generado por el sector de transporte fue de una magnitud de 635 toneladas, mientras que el del sector industrial sólo alcanzó las 81,8 toneladas. Consecuentemente las estrategias que se formulen para afrontar el problema de la contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá, deberían estar enfocadas prioritariamente hacia la prevención y el control en el sector del transporte.

Es importante tener en cuenta la influencia de las motocicletas en la contaminación generada en el sector transporte por diversas razones. En primer lugar por la deficiencia en el proceso de combustión en este tipo de vehículos, ya que buena parte de ellas funcionan con motores de dos tiempos que utilizan mezclas de gasolina y aceite lubricante en la cámara de combustión, en segundo lugar por su alta participación porcentual en el parque automotor (41,5%) y en tercer lugar por la ausencia de controles en las emisiones de este tipo de vehículos por parte de las autoridades ambientales. Consecuentemente una recomendación encaminada a la solución de esta problemática, es incluir a las motocicletas en las rutinas de control sobre las emisiones, que cubren al resto del parque automotor.

El metabolismo urbano del sistema del Valle de Aburrá depende fundamentalmente de combustibles fósiles para su funcionamiento: el energético con mayor participación es la gasolina con un 34,7% de la energía total consumida, le sigue la energía eléctrica con un 27,3%, el ACPM con un 20,3%, el carbón con el 14,3%, el crudo de Castilla y el GLP con un 1,7 y 1,6% respectivamente, y el gas natural con el 0,2%. Consecuentemente las estrategias para la prevención y el control de la contaminación atmosférica deberían orientarse a la sustitución de los energéticos "sucios" que tienen mayor participación, tales

como la gasolina, el ACPM y el carbón, los cuales podrían ceder una parte considerable de su aporte a energéticos más “limpios”, recientemente introducidos al sistema, tales como el gas natural y el GLP.

El metabolismo urbano del Valle de Aburrá consume la mayor parte de la energía que necesita en el sector transporte (48,8%), seguido por el sector industrial (32,7%), el sector residencial con el 13,6% y el sector comercial con el 3,4%.

Finalmente es importante considerar que el presente trabajo representa un aporte básico para futuros estudios que pretendan modelar los patrones de emisión y dispersión de los contaminantes atmosféricos en el Valle de Aburrá, con base en el conocimiento histórico de los consumos energéticos. En este sentido es preciso señalar que se requiere de la implementación de un sistema de información que facilite el acceso a datos actualizados, unificados, organizados y confiables sobre el consumo de energéticos en el ámbito local, tal como se da en el nacional con el sistema implementado por la UPME. Esta labor debería ser asumida, como prioridad, por entidades estatales de carácter ambiental y de planeación tales como las corporaciones ambientales, la contraloría y los departamentos de planeación. Las dificultades encontradas en este estudio para la recopilación de los consumos energéticos en el Valle de Aburrá testimonian claramente la inexistencia de dicho sistema.

Referencias

1. Díaz, Jaime *et al.* “Análisis de flujo de materiales para la predicción de problemas ambientales en zonas urbanas”. En: *Memorias del Seminario taller nacional Análisis de flujo de materiales para la predicción de problemas ambientales*. Tunja. Uniboyacá y EAWAC. 1995.
2. Bruner, P. *et al.* *Industrial metabolism at the regional and local level. A case-study on a Swiss region*. pp. 163-193.
3. Environmental Protection Agency (EPA). Air Chief. Emission Factor And Inventory Group. Emissions, Monitoring, And Analysis Division Office Of Air Quality Planning And Standards. U.S. Environmental Protection Agency. NC. 2000.
4. Molina, Francisco y Carlos Echeverri. “El uso de la energía y la contaminación atmosférica en el Valle de Aburrá”. En: *Notas para el curso de evaluación y control de la contaminación atmosférica. Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería*. Medellín. 1996. pp. 7-14 s.p.
5. Petro, Sergio *et al.* *Cálculo de factores de emisión para tráfico vehicular en la ciudad de Medellín. Aplicación del programa US-EPA MOBILE 5A*. Medellín. 2000.
6. Anuario Estadístico de Antioquia. 2000. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Medellín.
7. Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). “Cuaderno UPME 003”. Ministerio de Minas y Energía-Unidad de Planeación Minero Energética. En: *Documento web* www.upme.gov.co. Diciembre, 2000.
8. <http://www.creg.com.co>. CREG (Comisión de Regulación de Energía y Gas).
9. Cárdenas, Carlos Mario *et al.* “Caracterización de las cenizas volantes de carbón emitidas en el proceso de combustión por algunas empresas del Valle de Aburrá y sus alrededores”. En: *Energética*. No. 17. Medellín. 1997. pp. 47-55.
10. Molina, Francisco y Carlos Echeverri. “Factores de emisión de material particulado para el carbón de Amagá y el crudo de Castilla. Evaluación preliminar”. En: *Revista AINSA*. Año XV. No. 3. Medellín. 1995. pp. 28-31.
11. <http://www.refidomsa.com>. Refidomsa.
12. Environmental Protection Agency (EPA). *Compilation of air pollutants emission factors*. 1977.
13. Agudelo, José. “Predicción de la formación de los principales contaminantes de la combustión del carbón”. Medellín. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Mecánica. 1997