

Inventario de emisiones de contaminantes atmosféricos convencionales en la zona de Cali-Yumbo

*Mauricio Jaramillo, María Eugenia Núñez, William Ocampo, Diego Pérez y Gloria Portilla**

(Recibido el 3 de junio de 2003. Aceptado el 6 de agosto de 2003)

Resumen

En este artículo se presenta el resultado de la cuantificación y cualificación de contaminantes atmosféricos convencionales (COV, MP_{10} , CO, NO_x y SO_x) emitidos por fuentes antropogénicas para el año 1997 en la zona urbana de Cali-Yumbo (Colombia). Se consideraron fuentes de área, puntuales y móviles. Para las fuentes puntuales se utilizó información en las declaraciones entregadas a las autoridades ambientales por 108 empresas del área. Se utilizó además el método de factores de emisión para relacionar el nivel de actividad productiva con la emisión de contaminantes, y se aplicó el modelo MOBILE 6.0 para calcular las emisiones de fuentes móviles.

El trabajo será de utilidad para generar proyectos en áreas de gestión ambiental urbana, desarrollar modelos para la dispersión de contaminantes y aportar criterios para mejor monitoreo y predicción de la calidad del aire en la zona de interés.

----- *Palabras clave:* inventario de emisiones, contaminación atmosférica, factores de emisión.

Inventory of conventional atmospheric pollutant emissions in the Cali-Yumbo zone

Abstract

This work presents the results of the emission inventory of criteria pollutants (VOC's, PM_{10} , CO, NO_x and SO_x) from anthropogenic sources for the Cali-Yumbo urban area in Colombia in 1997. Area, point and mobile sources, were considered in the study. Four point sources, reports to environmental authorities

* Grupo de Producción Más Limpia. Facultad de Ingeniería. Pontificia Universidad Javeriana, Sede Cali. Cali, Colombia. mjaramil@puj.edu.co, mnunez@puj.edu.co, willocam@puj.edu.co, diegop@puj.edu.co, gportilla@puj.edu.co.

from 108 industries in the area were analyzed. The method of emission factors was employed to relate production activity with pollutant emissions, and the MOBILE 6.0 model was applied to calculate vehicular emissions.

This analysis will be useful to generate urban environmental management projects, to develop pollutant dispersion models, and to contribute criteria for improved air quality monitoring and prediction in the zone of interest.

----- *Key words:* air pollution, emission inventories, emission factors.

Introducción

En el presente estudio se realizó un inventario aproximado de las emisiones anuales de contaminantes atmosféricos convencionales o criterio, los cuales constituyen la mayor parte de emisiones atmosféricas indeseables y sus niveles de descarga son objeto de regulaciones ambientales vigentes. Los contaminantes considerados son: compuestos orgánicos volátiles [COV], material particulado con diámetros menores que $10\ \mu\text{m}$ [MP10], monóxido de carbono [CO], óxidos de nitrógeno [NO_x] y óxidos de azufre [SO_x]. A las partículas suspendidas totales (PTS) se les daba bastante importancia años atrás y de hecho, el valor de PTS determinaba si la zona tenía problemas ambientales; sin embargo, con el correr del tiempo se ha demostrado que partículas más pequeñas como las PM10 y aún inferiores como las PM2,5, son las que presentan riesgo real para la salud de la población por la mayor probabilidad de ingresar a los alvéolos pulmonares y por esto son las que se deben tener en cuenta en estudios de este tipo.

El alcance del inventario ha sido delimitado al área de la zona urbana de Cali-Yumbo y a un intervalo de tiempo de un año (1997). Se tomó el año 1997 como base para el inventario, por ser el año más reciente para el cual el DANE [1] ha reportado datos completos de producción industrial. En este año las estadísticas oficiales muestran una población de 2.032.000 habitantes para la zona metropolitana objeto del estudio. El inventario considera únicamente fuentes antropogénicas, es decir, aquellas emisiones causadas directamente por actividades humanas.

El inventario de emisiones en una localidad es útil para determinar los tipos y cantidades de contaminantes emitidos, para verificar tipos de procesos y de tecnologías existentes en el área, e identificar los niveles de contaminación por sector industrial. Este tipo de estudios permite tomar decisiones, planear estrategias tendientes a la reducción de la contaminación, prevención o

corrección de problemas, y pueden servir como indicadores de cambio en la calidad del aire.

Metodología

El método utilizado en este inventario se fundamenta en los factores de emisión o factores y variables de actividad. Este tipo de método es el de uso más generalizado en la elaboración de inventarios.

Para la elaboración del inventario de emisiones se consideraron tres tipos de fuentes de emisiones de contaminantes atmosféricos: fuentes móviles, fuentes de área y fuentes puntuales.

Las fuentes móviles son esencialmente vehículos de transporte terrestre, aéreo, fluvial y marítimo, e instalaciones móviles. Las emisiones de fuentes móviles fueron estimadas utilizando los factores de emisión determinados con el modelo MOBILE 6.0 proporcionado por la EPA [2], junto con datos del parque automotor, tiempos de operación y kilómetros recorridos por los vehículos reportados por el Ministerio de Transporte.

MOBILE 6.0 calcula los factores de emisión para veintiocho tipos de vehículos diferentes, en regiones localizadas en altitudes altas o bajas. La estimación de los factores de emisión depende de condiciones, como la temperatura ambiente, velocidad de viaje, modos de operación, volatilidad del combustible y la proporción de distancias recorridas por cada tipo de vehículo. Muchas de las variables que afectan las emisiones vehiculares pueden ser especificadas por el usuario. El programa puede estimar factores de emisión para cualquier año calendario entre 1952 y 2050, para los vehículos con no más de veinticinco años de antigüedad y para tres tipos de combustible, gasolina, diesel y gas.

Los datos de entrada deben ser incluidos en un archivo de texto (ASCII DOS), el cual contiene una serie de comandos que deben seguir un formato determinado, que es explicado claramente en el manual del usuario de MOBILE 6.0 [2] y

deben contener información referente al número de vehículos por tipo y modelo, distancia recorrida por tipo de vehículo y modelo, y distancia recorrida por los diferentes tipos de vehículos en cada hora del día, todos ellos dados en porcentaje.

Número de vehículos por tipo y modelo. Para generar este archivo, al cual se le dio el nombre MODVEH.D, se utilizó la información suministrada por el Ministerio de Transporte [3], cuya clasificación no es muy amplia y se tomaron los registros que se tienen para el período comprendido entre los años 1973 a 1997. La información contenida en este archivo se muestra en la figura 1, para lo cual se consideraron los siguientes tipos de vehículos, según la clasificación establecida por la EPA [2]:

- LDV: vehículos livianos (de pasajeros), donde se incluyen los automóviles y camperos.
- LDT3: camiones livianos tipo 3 (0 a 2.721 kg), donde se incluyen busetas, camionetas y microbuses.
- HDV2B: vehículos pesados clase 2b (3.856 a 4.535 kg), donde se incluyen los camiones.

- HDV7: vehículos pesados clase 7 (11.794 a 16.329 kg), donde se incluyen las volquetas.
- HDV8B: vehículos pesados clase 8b.
- HDBT: buses de tránsito urbano, donde se incluyen los buses reportados por el Ministerio de Transporte, que no están discriminados por el tipo de servicio que prestan.
- MC: motocicletas, donde se incluyen las motocicletas y los moto-carros.

Con la aparición reciente de los vehículos a gas y los programas de conversión, en el año base establecido para el cálculo de los factores de emisión, no se reporta la existencia de este tipo de vehículos, ni se considera en la distribución vehicular.

Distancia recorrida anualmente por tipo de vehículo y modelo. Esta base de datos requiere de un estudio, el cual determine la cantidad de kilómetros recorridos durante el año por cada tipo de vehículo y modelo. En este caso, se toma la información obtenida en los concesionarios de vehículos de la ciudad, donde se lleva un registro del kilometraje recorrido por los vehículos que

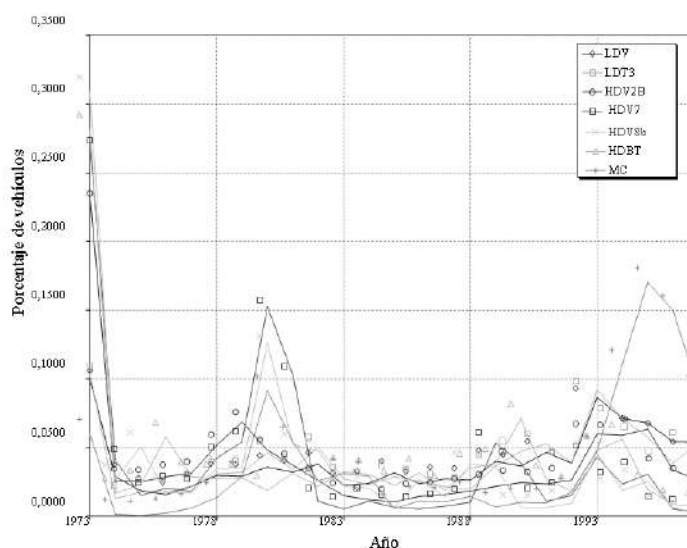


Figura 1 Porcentaje de vehículos, distribuidos por tipo y modelo en la ciudad de Cali

han asistido a sus talleres para hacer las revisiones de mantenimiento que establece la garantía del vehículo.

Infraestructura vial de la ciudad de Cali. MOBILE 6.0 considera cuatro tipos de vía: autopista, rampas, vías arterias y vías locales. La infraestructura vial de la ciudad de Cali sólo cuenta con vías arterias y vías locales, por lo que el tránsito vehicular considerado para desarrollar el cálculo de los factores de emisión, se limita a estos dos tipos de vías.

Distancia recorrida por los diferentes tipos de vehículos. Para determinar la distancia recorrida por los diferentes tipos de vehículos se tomó el número total de cada tipo de vehículo y se multiplicó por la distancia que se espera recorran en el año, obteniendo la distancia total recorrida por la totalidad de vehículos en cada clase, como se ve en la figura 2. Este valor se dividió por la suma total de las distancias, lo que permite determinar la proporción de distancia que recorren los vehículos de cada clase durante un año.

Información climática [4]. Para lograr la descripción de las condiciones climáticas promedio

de la ciudad de Cali, se consideran las siguientes variables:

- Temperatura máxima = 35 °C
- Temperatura mínima = 20 °C
- Humedad absoluta = 0,0192
- Nubosidad media = 62%
- Salida del sol: 6 a. m.
- Puesta del sol: 6 p. m.
- Horas de intensidad solar alta: 10 a. m. a 3 p. m.

Características del combustible [5]. La gasolina regular es una mezcla compleja donde puede haber de 200 a 300 hidrocarburos distintos, formada por fracciones combustibles provenientes de diferentes procesos de refinamiento del petróleo, tales como destilación atmosférica, ruptura catalítica, ruptura térmica, alquilación, reformado catalítico, polimerización, y otros. La información de las características de combustible, suministrada a MOBILE 6.0 son:

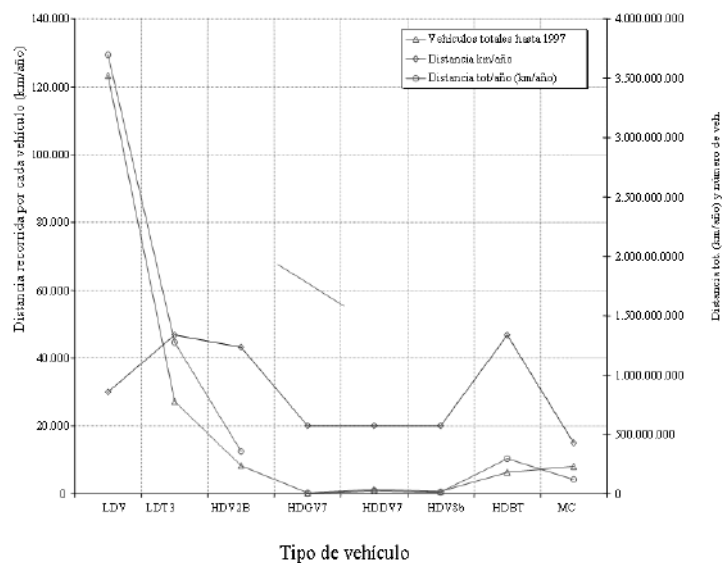


Figura 2 Número de vehículos y distancia recorrida por cada tipo de vehículo

- Presión de vapor de Reid a 37,8 °C = 58 kPa
- Azufre total: 0,1 g/100 g

Los factores de emisión facilitan la estimación de las emisiones para varias fuentes contaminantes del aire. En la mayoría de los casos, esos factores son simples promedios de todos los datos disponibles de calidad aceptable y que generalmente se consideran representativos del promedio de todas las fuentes de la categoría (ejemplo, población promedio).

La ecuación general para el cálculo de las emisiones es [6]:

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

Donde:

E = emisión

A = proporción de la actividad

EF = factor de emisión

ER = factor de reducción (%)

ER se define como el producto de la eficiencia del mecanismo de remoción y la eficiencia del sistema de control. En nuestro caso no contamos con sistemas de control y en la mayoría de los casos tampoco se cuenta con mecanismos de reducción, por lo cual ER tiende a cero y la ecuación para el cálculo de los volúmenes de emisión se puede reducir a

$$E = A \times EF \quad (2)$$

Para seleccionar las condiciones más adecuadas de uso de las vías y velocidad promedio, se determinó el porcentaje de error de los factores de emisión promedio, reportado por MOBILE 6.0 (aplicable a cualquier tipo de vehículo) obteniéndose un error del 18,8% para COV, 1,24% para CO y 1,24% para NOx. Por su parte, el error registrado en el cálculo de las emisiones presenta una diferencia porcentual entre el

valor máximo total y mínimo total de 18,89 para COV, 1,90 para CO y 1,90 para NOx. Esto nos permite observar, que el error cometido en el cálculo al considerar diferentes valores de velocidad promedio, afecta considerablemente los valores de COV, pero es aceptable en el caso de CO y NOx.

Teniendo en cuenta estos resultados y entendiendo que las vías arterias de la ciudad mueven un volumen de tránsito mayor que las vías locales, se considera más adecuado hacer el cálculo de factores de emisión para un tránsito desarrollado en un 70% en las vías arterias y un 30% en las vías locales, con lo cual MOBILE 6.0 restringe las velocidades promedio a 44,64 km/h.

Las fuentes fijas se dividen en dos clases: fuentes puntuales y fuentes de área. *Fuentes puntuales* son aquellas instalaciones que por su tamaño o actividad emiten grandes cantidades de contaminantes a la atmósfera. En teoría están sujetas a inspecciones periódicas de las autoridades ambientales y deben reportar regularmente los niveles de emisiones de contaminantes. *Las fuentes de área*, en cambio, las constituyen pequeñas fuentes distribuidas en un área particular, que aunque individualmente tengan un nivel de emisiones relativamente pequeño (y por lo tanto pueden no estar sujetas a una supervisión directa de las autoridades ambientales), colectivamente pueden tener un efecto significativo.

La distinción entre fuentes puntuales y fuentes de área es particularmente importante para la metodología de la estimación de las emisiones correspondientes en el inventario. Por lo general, para las fuentes puntuales existen datos directos, bien sea como resultado de los informes presentados por ellas a las autoridades ambientales, o bien por el monitoreo que éstas realizan periódicamente. En la práctica muy pocas empresas reportan mediciones directas de emisión de contaminantes, y por ello para la mayoría de las fuentes puntuales se utilizó la metodología de factores de emisión junto con datos de combustible utilizado, teniendo en cuenta análisis de

procesos y operaciones llevados a cabo en cada una de las empresas del sector evaluado. En el caso de las fuentes de área, los niveles de emisión deben estimarse por medio de información indirecta. En este caso se utilizaron factores de emisión para un sector industrial particular junto con los volúmenes de producción correspondientes y el tipo más general de tecnología empleada. Las emisiones que no son ocasionadas por combustión, como el recubrimiento de superficies y otros procesos, se trataron también como fuentes de área.

Para el inventario de emisiones de fuentes puntuales para 1997 se evaluaron las emisiones de 50 empresas en el área de Yumbo y 58 en el área de Cali. Este número corresponde a las declaraciones ambientales disponibles de las autoridades ambientales pertinentes: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) para el municipio de Yumbo y el Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) para la ciudad de Cali, en el período 1996-2001.

A partir de la información presentada por las empresas sobre sus procesos, consumo de materias primas, consumo de combustibles y productos, se calcularon las emisiones generadas en la fuente puntual (empresa) aplicando factores de emisión, extraídos del compendio AP-42 [7], publicado por la agencia de protección ambiental EPA de los Estados Unidos. Dado que muy pocas empresas reportan mediciones directas de contaminantes, la estimación de las emisiones se basó en la consideración de los combustibles empleados, según el tipo y cantidad reportada por la empresa, y los controles existentes (si los hay). Para el cálculo de emisiones en empresas que tiene procesos de combustión, se tuvo en cuenta la capacidad del equipo, el consumo y tipo de combustible y el sistema de control para gases de combustión instalado (precipitadores electrostáticos, lavadores, filtros, etc.).

Los combustibles más utilizados en el sector industrial de la zona Cali-Yumbo son:

- Fuel-oil No. 6
- Gas Licuado de Petróleo (GLP)
- Gas natural
- Crudo de Castilla
- Licor negro
- Fuel-oil No. 4 (ACPM)
- Carbón (granulado, bituminoso)
- Aserrín

Los factores de emisión para el crudo de Castilla se adecuaron teniendo en cuenta su composición. El factor de emisión de SO_x para el carbón se ajustó según el contenido de azufre, cuando éste es reportado por las empresas; en caso contrario, se utilizó un valor promedio del contenido de azufre en el carbón utilizado en la región.

Resultados

La zona de Cali-Yumbo emite a la atmósfera un gran total de 461.794 t al año de contaminantes criterio. Las fuentes móviles registran el mayor aporte total [8] (80,4%), seguida de las fuentes de área [9] (12,4%) y de las fuentes puntuales [10] (7,2%).

Las tablas 1, 2 y 3 presentan los consolidados de las emisiones de contaminantes convencionales de acuerdo con los tres tipos de fuentes. Las emisiones totales se resumen en la tabla 4 y en la figura 3.

En la tabla 1 se observa que, del total de contaminantes del sector industrial, la industria del papel y artes gráficas tiene los mayores, seguido por la industria de minerales no metálicos. La mayor emisión de SO_x (43,07%), NO_x (38,88%) y MP_{10} (55,63%) también se da por la industria papelera, mientras que la industria química contribuye en mayor proporción con CO (48,56%) y COV (70,35%).

La tabla 2 muestra que, en las emisiones por fuentes de área, el mayor aporte de contaminantes de SO_x , NO_x , CO y MP_{10} , corresponde a la combustión de carbón con un 62,56% del total.

Tabla 1 Emisiones en fuentes puntuales por sector industrial en la zona Cali-Yumbo

Número de empresas	Sector industrial	Emisiones (t/año)						
		SOx	NOx	CO	COV	MP10	Total	%
22	Alimentos y bebidas	1.741,13	301,43	33,06	5,81	90,36	2.571,79	7,78
4	Textiles y confecciones	2.685,48	337,77	15,56	0,69	1.408,36	4.447,86	13,46
2	Madera y derivados	0,29	4,00	60,33	1,54	135,56	201,72	0,61
12	Papel y artes gráficas	7.057,35	1.471,04	369,62	5,28	6.378,12	15.281,41	46,25
26	Industria química	41,48	765,40	625,42	81,61	59,78	1.573,69	4,76
6	Minerales no metálicos	4.784,20	582,49	28,38	0,36	2.548,54	7.943,97	24,05
2	Minerales metálicos	0,61	0,39	0,09	0,01	407,89	408,99	1,24
19	Productos metálicos	12,27	124,82	101,40	13,27	10,25	262,01	0,79
14	Servicios	10,06	192,43	54,00	7,80	8,45	272,74	0,83
1	Generación de energía	51,92	4,20	0,18	0,00	19,11	75,41	0,23
Total (108)		16.384,79	3.783,97	1.288,04	116,37	11.466,42	33.039,59	100

Es de notar que el CO (85,82%) y COV (7,88%) presentan los mayores valores de emisión.

Respecto a las emisiones totales en la zona de Cali - Yumbo, la información condensada en la

Tabla 2 Emisiones por fuentes de área en la zona Cali-Yumbo

Fuente de área	Emisiones (t/año)						
	SOx	NOx	CO	COV	MP10	Total	%
Recubrimiento industrial de superficies				4.300		4.300	5,21
Recubrimientos asfálticos en vías				4.300		4.300	5,21
Distribución de gasolina				3.700		3.700	4,48
Limpieza de superficies o desengrasado				3.200		3.200	3,87
Almacenamiento doméstico de GLP				1.600		1.600	1,94
Recubrimiento de superficies arquitectónicas				1.200		1.200	1,45
Distribución de GLP				860		860	1,04
Artes gráficas				700		700	0,85
Otros*				221		221	0,27
Almacenamiento masivo de gasolina				150		150	0,18
Combustión de GLP		489	67	18	15	589	0,71
Combustión de carbón	24.762	4.812	201	0	21.904	51.679	62,56
Vías no pavimentadas					10.105	10.105	12,23
Total	24.762	5.301	268	20.253	32.024	82.604	100

* Incluye: Combustión de residuos vegetales urbanos, combustión de gas natural, distribución de ACPM, lavado en seco, recubrimiento de carrocerías, panaderías, almacenamiento industrial de GLP y pintura de tránsito.

Tabla 3 Emisiones por fuentes móviles en la zona de Cali-Yumbo

Contaminante	Emisiones	
	(t/año)	%
CO	318.053	85,62
COV	29.260	7,88
NO _x	18.966	5,11
SO _x	4.133	1,11
MP ₁₀	1.052	0,28

tabla 4 y figura 3 indican que el mayor aporte de SO_x proviene de las fuentes puntuales (52,33%), que las fuentes móviles aportan una cantidad mayor de NO_x (73,23%), CO (99,55%) y COV (58,96%) y que las fuentes de área son las responsables del mayor aporte de PM₁₀ (64,70%)

por los procesos como la quema de combustibles fósiles, almacenamiento y molienda de materiales a granel, la construcción, procesos de condensación y evaporación, pero en nuestro estudio se debe a fenómenos de dispersión cónica del material presente en las vías destapadas o en mal estado o debido al tráfico vehicular e incremento de la velocidad en las vías principales.

La tabla 5 muestra los resultados de las emisiones de fuentes puntuales discriminados por municipio. Al observar estos datos se puede establecer que las empresas del municipio de Cali generan las más altas emisiones de compuestos orgánicos volátiles (90,52%) y de monóxido de carbono (62,03%) y que el sector de Yumbo presenta las emisiones más altas de óxidos de azufre (90,83%, debido principalmente a la combustión de carbón), óxidos de nitrógeno (66,68%) y material particulado (95,06%).

Tabla 4 Emisiones totales para Cali-Yumbo (1997)

Fuentes	Emisiones (t/año)											
	SO _x	%	NO _x	%	CO	%	COV	%	PM10	%	Total	%
De área	10.791	34,47	3.148	12,16	158	< 0,50	20.249	40,80	22.946	64,70	7.292	12,41
Puntuales	16.385	52,33	3.784	14,61	1.288	< 0,5	116	< 0,50	11.465	32,33	33.038	7,15
Móviles	4.133	13,20	18.966	73,23	318.053	99,55	29.260	58,96	1.052	2,97	371.464	80,44
Total	31.309	100	25.898	100	319.499	100	49.625	100	35.463	100	461.794	100

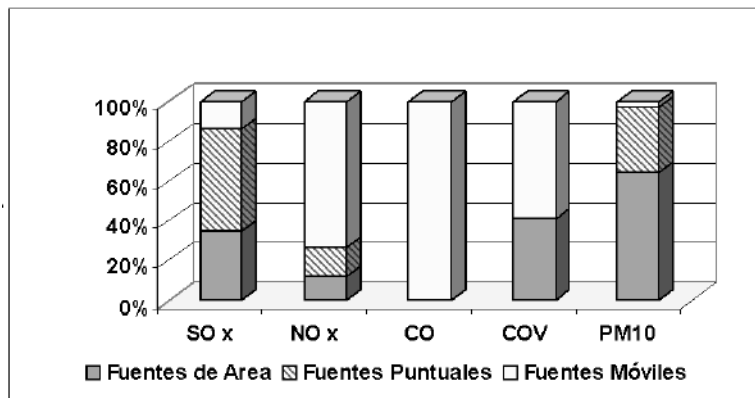


Figura 3 emisiones totales para Cali-Yumbo

Tabla 5 Emisiones de fuentes puntuales por municipio

Ciudad	Emisiones (t/año)											
	SOx	%	NOx	%	CO	%	COV	%	MP10	%	Total	%
Cali	1.503	9,17	1.261	33,32	799	62,03	105	90,52	566	4,99	4.234	13
Yumbo	14.882	90,83	2.523	66,68	489	37,97	11	9,48	10.899	95,06	28.804	87
Total	16.385	100	3.784	100	1.288	100	116	100	11.465	100	33.038	100

Análisis de resultados

Teniendo en cuenta una población estimada de 2.032.000 habitantes para el año 1997, según el DANE [11], y de acuerdo con los resultados anteriores, las emisiones totales por habitante-año se presentan en la figura 4.

Las fuentes móviles son las responsables de la mayoría de las emisiones de los contaminantes considerados, como puede apreciarse en la tabla 6, donde se muestra la contribución porcentual de los dos grandes tipos de fuentes fijas y móviles. Las fuentes móviles contribuyen con el 73% de las emisiones anuales de NO_x, casi el 100% de CO, y alrededor del 59% de los compuestos orgánicos volátiles.

Dada la creciente utilización del gas natural en la región y el proyecto de transporte masivo de pasajeros, la emisión por fuentes fijas y móviles debe disminuir significativamente en los próxi-

mos años; pero aun así, las fuentes móviles tendrán la contribución porcentual mayor. Por ello es importante estimular la adopción de combustibles alternativos como el gas natural vehicular y la implementación de regulaciones más estrictas al parque automotor.

Es difícil estimar las incertidumbres en las cantidades calculadas en este estudio. Los cálculos de fuentes puntuales deberían ser, en teoría, los de mayor confianza por su metodología, pero aun en este caso se encontró que la información entregada por algunas empresas a las autoridades ambientales es incompleta y en algunos casos inconsistente. Las estimaciones de emisiones de las fuentes de área incluyen datos de producción y factores de emisión, lo que las hace menos confiables. Finalmente, para el caso de las fuentes móviles si bien se contó con información satisfactoria sobre el parque automotor (número de vehículos por año-modelo), la falta de datos

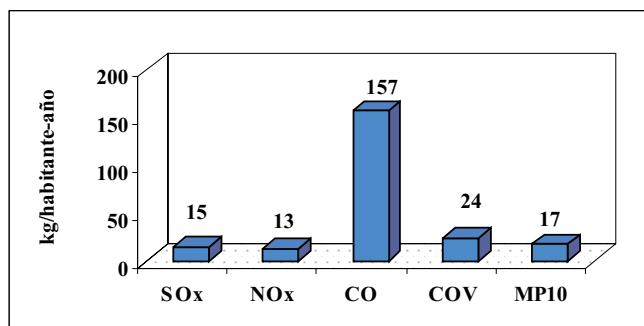


Figura 4 Emisiones totales por habitante por año

Tabla 6 Contribución porcentual de las emisiones por tipo de fuente

Fuente	Contribución porcentual de las emisiones				
	SO _x	NO _x	CO	COV	MP ₁₀
Fuentes fijas	86,8%	26,67%	< 1%	41,04%	97,03%
Fuentes móviles	13,2%	73,23%	> 99%	58,96%	2,97%

precisos sobre kilometraje recorrido y velocidades medias, reduce la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Los datos de fuentes puntuales disponibles por parte de las autoridades ambientales cubren el período entre 1996 a 2000, por lo que estrictamente no corresponden al año nominal escogido para el inventario (1997). Sin embargo, el bajo crecimiento económico en el país reflejado por el PBI en el año 1997 donde su crecimiento fue del 3,4, pasando por 0,5 en 1998 y -4,3 en 1999 permiten reducir la incertidumbre asociada con esta dificultad en la toma de datos. Un aspecto en el cual sí ha habido un cambio significativo desde 1997 hasta el presente es la reconversión industrial hacia el gas natural, dada a raíz de la puesta en marcha de la red de distribución de este combustible, que en la actualidad ha comenzado a reemplazar en gran medida a combustibles más contaminantes como son el carbón y el crudo de Castilla. En particular, la utilización de carbón en la región es la responsable de las emisiones de óxidos de azufre (SO_x).

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Pontificia Universidad Javeriana Cali, por la financiación y apoyo para este proyecto. De igual forma a la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), al Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente de Santiago de Cali (DAGMA) y al Centro de Diagnóstico Automotor del Valle Ltda., por el suministro de la información.

Referencias

1. Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). Anuario de la Industria Manufacturera. 1997.
2. U.S. Environmental Protection Agency. User's Guide to MOBILE 6.0, Mobile Sources Emission Factor Model. Doc. No. EPA 420-R-02-001. Enero de 2002.
3. Ministerio de Transporte, Dirección General de Tránsito y Transporte Terrestre Automotor, Informe Cantidad de Vehículos por Clase y Modelo. <http://www.mintransporte.gov.co/Servicios/Estadisticas>. Febrero de 2002.
4. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. <http://www.ideam.gov.co/>
5. ECOPETROL, Combustibles líquidos. <http://www.ecopetrol.com.co/ecop/catalogo/index.htm>
6. U.S. Environmental Protection Agency. *Compilation of Air Pollutant Emission Factors. AP-42. Fifth Edition. Vol. I: Stationary Point and Area Sources.*
7. U.S. Environmental Protection Agency. *Compilation of Air Pollutant Emission Factors. AP-42. Fifth Edition. Vol. I: Stationary Point and Area Sources.* 2001.
8. Jaramillo, M. *et al. Emisiones de Contaminantes Atmosféricos Convencionales por Fuentes Móviles en el Sector Urbano de Cali.* Informe final. Pontificia Universidad Javeriana, Cali. 2002.
9. Jaramillo, M. *et al. Emisiones de Contaminantes Atmosféricos Convencionales por Fuentes de Área en el Sector Urbano de Cali-Yumbo* (2002). *Epiciclos*, Vol. 1. No. 2. Diciembre de 2002. pp. 53-66.
10. Jaramillo, M. *et al. Emisiones de Contaminantes Atmosféricos Convencionales por Fuentes Puntuales en el Sector Urbano de Cali.* Informe final. Pontificia Universidad Javeriana, Cali. 2002.
11. Departamento Administrativo de Estadística. Colombia Estadística. 1993-1997. Bogotá. 2001.