

CÁLCULO DE LA EMISIÓN VEHICULAR DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN MEDIANTE FACTORES DE EMISIÓN CORINAIR*

M. Victoria Toro G.¹, John J. Ramírez B.¹, Raúl A. Quiceno G., César A. Zuluaga T.¹.

¹ Grupo de Investigaciones Ambientales – GIA mvtoro@logos.upb.edu.co
Universidad Pontificia Bolivariana – A.A 65006
Medellín - Colombia

Abstract

The hot emissions of CO, NO_x, SO₂, TSP, and VOC's were estimated for the traffic in Medellín city (Colombia). The VOC emissions was grouped into 5 categories: methane, alkanes, alkenes, aromatics and aldehydes. The total study area was 360 km², involving a traffic net with its main avenues, streets and highways. For the estimation of the emissions we developed a model that calculate the emission with a spatial resolution of 1km² and generates hourly average emissions. The datas used for the calculation were: the vehicular flux evaluated in several places in Medellín in the period 1997 to 2000, number of cars by hour, type of vehicles, longitude of the tram of a way and emission factor for heat emission (we use a emission factor of CORINAIR study). As a result of the model, it was possible to determine the emission hour by hour of the pollutants analyzed in the each cells. A picture of the emission intensity shows that the downtown of Medellín represents the area more affected by the vehicular traffic, on-going in importance, the center-western region of the city. Likewise, for the analyzed area, the biggest emissions were evidenced in the hours of the day, with marked picks at 8:00 in the morning and 19:00 in the night. Future studies that involve local emission factors, obtained from own data of the region, become necessary to reach more representative results to the conditions of vehicular traffic in the Aburrá valley.

RESUMEN

Se determinaron las emisiones en caliente de CO, NO_x, SO₂, TSP, y COV's para el tráfico en la ciudad de Medellín (Colombia). Las emisiones de COV's fueron agrupadas en 5 categorías: metano, alcanos, alquenos, aromaticos y aldehidos. El área total de estudio fue de 360 km², en la que se encuentra la red de tráfico que incluye las principales avenidas, calles y autopistas. Para la estimación de las emisiones, se desarrolló un modelo que calcula la emisión en celdas con una resolución espacial de 1 km² y genera promedios de emisiones cada hora.

Los datos utilizados para el cálculo fueron: flujo vehicular en varios sitios de Medellín durante el periodo 1997- 2000, número y tipo de vehículos en cada hora, longitud del tramo de las vías y los factores de emisión en caliente (se utilizaron los factores de emisión del estudio CORINAIR).

Como resultado del modelo, fue posible el cálculo hora a hora de los contaminantes analizados en cada una de las celdas. Gráficas de intensidad de emisión mostraron que, en general, el centro de la ciudad de Medellín representa el área más afectada por el tránsito vehicular, siguiendo en importancia, la región centro-occidental. Así mismo, para la zona analizada, se evidenciaron las mayores emisiones durante las horas pico que se presentan a las 8:00 horas en la mañana y a las 19:00 horas en la noche.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, un gran número de investigadores han divulgado que la emisión de contaminantes de origen vehicular, constituye

una de las causas más relevantes en el deterioro de la calidad del aire. De acuerdo con Toll (1999), el parque automotor en la ciudad de Barcelona (España) aporta aproximadamente el 83,5% del total de compuestos indeseables liberados a la atmósfera, aspecto que evidencia su importancia con relación a los otros tipos de fuentes contaminantes. Para el caso particular de la ciudad de Medellín y los municipios del valle del Aburrá, aún no se han realizado estudios que hayan alcanzado objetivos más allá del cálculo de factores de emisión (Delgado et al., 1994; Petro y Robledo, 2000), o de emisiones vehiculares parciales (Álvarez y Santander, 1997). Estos trabajos, sin embargo, constituyen un valioso punto de partida para determinar la magnitud de la emisión atribuida al tránsito vehicular.

Según informe de la Contraloría General de Medellín, citado por Alvarez y Santander (1997), la región del valle del Aburrá viene registrando un crecimiento anual del parque automotor cercano al 9,5%, en comparación con el 5% promedio mundial. Esta situación, sumada al bajo índice de renovación de la flota vehicular, así como, a los deficientes programas de mantenimiento y control de emisiones gaseosas, implica la necesidad de establecer escenarios espacio - temporales críticos que fundamenten y/o justifiquen acciones de control por parte de la autoridad ambiental competente. En el presente estudio, se realiza un primer acercamiento hacia este objetivo en la ciudad de Medellín.

* Revista ACODAL No. 191. Bogotá D.C. 2001. pp. 42-49

METODOLOGÍA

Para la determinación de las emisiones vehiculares en la ciudad de Medellín, fueron considerados los aspectos pertinentes al escenario físico, tránsito vehicular y procedimiento de cálculo. La Figura 1 muestra un esquema de la secuencia metodológica desarrollada.

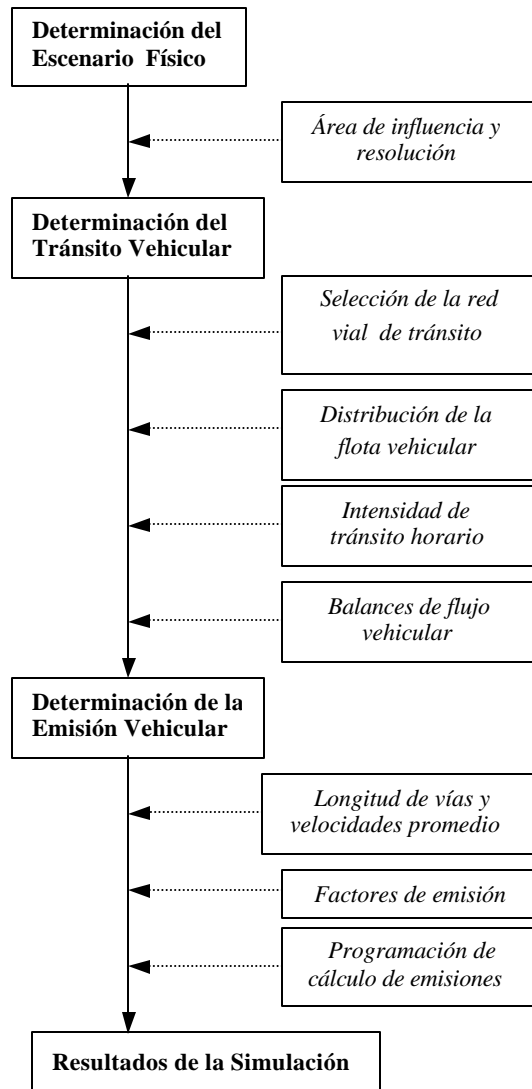


Figura 1. Flujograma para el cálculo de emisiones vehiculares.

A continuación, se describe el esquema anteriormente planteado, al igual que los procedimientos necesarios involucrados.

Determinación del Escenario Físico. El escenario objeto de estudio fue seleccionado buscando la mayor representatividad en el flujo vehicular, siendo considerada, toda el área

geográfica de la ciudad de Medellín y otras zonas de sus municipios aledaños. El área escogida tiene una superficie de 360 km², (15 km x 24 km), cuya esquina inferior izquierda se ubica en la coordenada geográfica UTM 1'171.000 N y 1'158.000 E.

De acuerdo con el procedimiento empleado por Toll (1999), el escenario fue dividido en cuadrículas o celdas de 1 km² de superficie, estableciéndose con ello, la resolución espacial para las emisiones vehiculares.

Determinación del Tránsito Vehicular. Inicialmente, fue construida una red vial urbana en el escenario físico seleccionado, involucrando las principales calles y avenidas de acceso. En la malla de carreteras se destacan, entre otras, la zona amarilla de servicio público, localizada en el centro de la ciudad de Medellín; la autopista norte-sur, que atraviesa dicha ciudad; y las avenidas de ingreso y salida al valle del Aburrá (Las Palmas, Medellín-Bogotá y la carretera al mar). En la Figura 2, se ilustra el escenario físico de estudio y la red vial correspondiente.

A partir de la información suministrada por las oficinas de tránsito municipal de la región y, con base en los procedimientos de la metodología europea CORINAIR, (Eggleston et al., 1989), se determinó la distribución por categoría y modelo del parque automotor en el valle del Aburrá. Los porcentajes obtenidos, presentados en la Tabla 1, corresponden al análisis realizado sobre los 499460 vehículos (incluyendo motocicletas) matriculados hasta diciembre de 1999.

Tabla 1. Distribución de la flota vehicular en el valle del Aburrá.

Categoría vehículo	Porcentaje
Autos cilindrada < 1,4 l.	29,8
Autos cilindrada 1,4 l - 2,0 l.	21,6
Autos cilindrada > 2,0 l.	17,1
Buses	2,1
Camiones	5,2
Motos	24,2
Modelo Vehículo	Porcentaje
x ≤ 1970	6,2
1970 < x < 1979	12,9
1979 ≤ x < 1986	18,9
x ≥ 1986	62,0

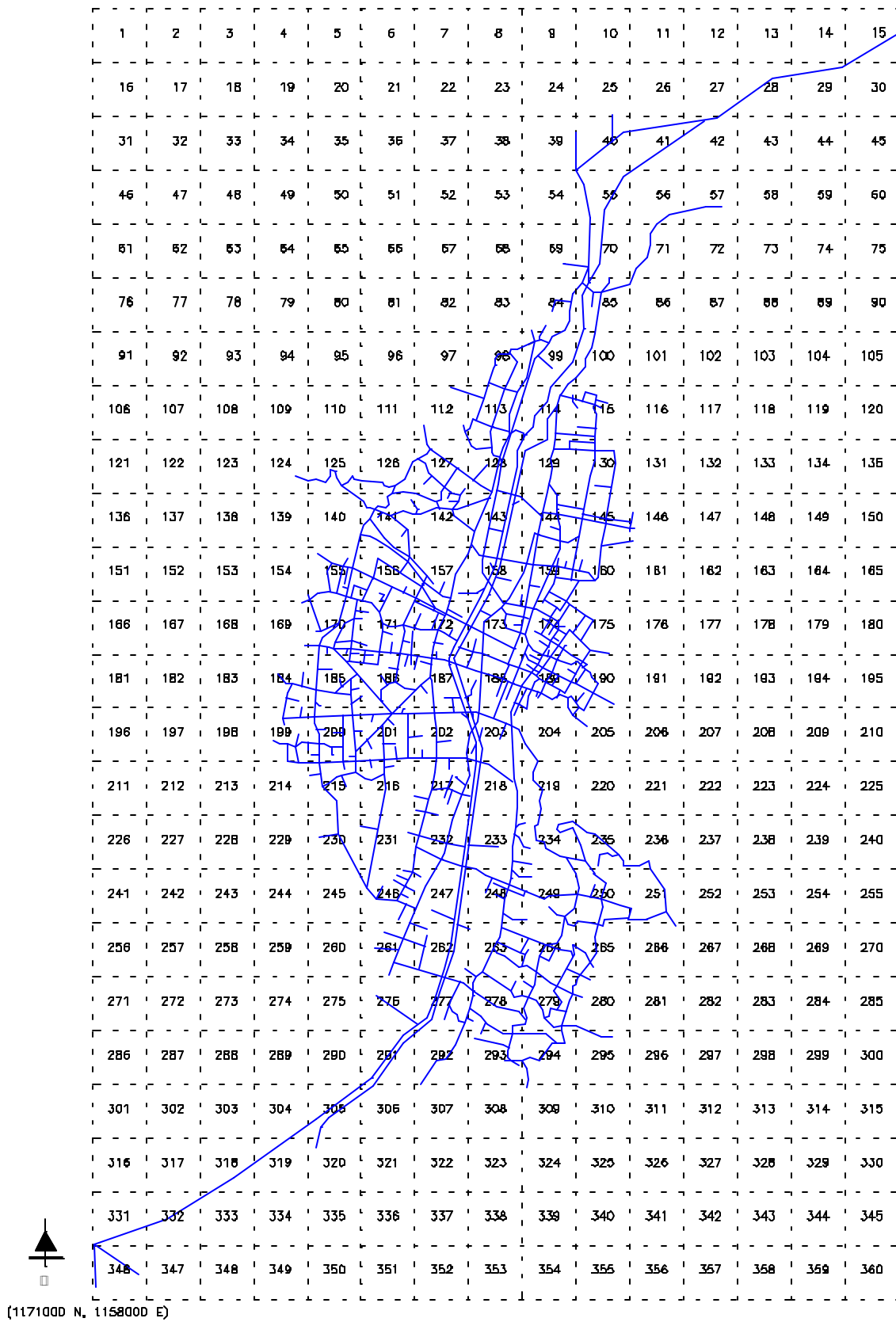


Figura 2. Escenario físico y red vial de estudio.

Una vez identificada la malla de tránsito en el escenario simulado, se determinó la intensidad del flujo vehicular en cada una de las vías. Para esto, se utilizó la información contenida en la Red de Aforos de Tránsito para los años 1997 a 2000, suministrada por la Secretaria de Transportes y Tránsito de la ciudad de Medellín. Con estos datos fue posible conocer, de forma directa, la intensidad vehicular horaria en 498 tramos o vías.

La red vial establecida y, en la que se analizó el flujo vehicular, posee un total de 788 tramos. En cada uno de estos se realizó un balance de masa, obteniéndose las intensidades vehiculares deseadas.

Determinación de la Emisión Vehicular. La tasa a la cual un conjunto de vehículos N , libera por el exhosto el contaminante i , en la celda j , durante la hora h , fue calculada mediante la combinación de los parámetros referenciados en la ecuación 1. Esta ecuación considera 4 modelos (antigüedad del vehículo) y 6 categorías de vehículos, distribuidos según la Tabla 1. Así mismo, involucra 3 tipos de vías, clasificadas de acuerdo con el valor de la moda para la velocidad de tránsito (30 km/h, 45 km/h y 60 km/h, respectivamente), según análisis de datos de la Red de Aforo Vehicular de 1997.

$$\sum_{m=1}^{m=4} \left\{ f_m \cdot \left[\sum_{k=1}^{k=6} \left(f_k \cdot \left(\sum_{v=1}^{v=3} (L_{v,j} \cdot N_{v,h,j} \cdot F_{v,k,m,i}) \right) \right) \right] \right\} \quad (1).$$

La longitud de las vías, $L_{v,j}$ fue obtenida directamente sobre el mapa de carreteras, mientras que los valores de $N_{v,h,j}$ fueron calculados a partir de los balances de intensidad vehicular horaria. Los factores de emisión vehicular, $F_{v,k,m,i}$, se determinaron de acuerdo con el procedimiento europeo CORINAIR, a partir de las relaciones sugeridas por Eggleston et al. (1989), Veldt - Bakkum (1988) y Obermeier et al. (1991), citados por Toll (1999). Estas ecuaciones consideran el contaminante analizado, la velocidad de tránsito, el perfil de VOC's y el modelo y la categoría del vehículo. La Tabla 2 muestra los valores de los factores de emisión vehicular en caliente (condición a la cual el agua de refrigeración del vehículo alcanza más de 70°C) para CO, NOx, SO₂, TSP y VOC's, (CH₄, no-metanos, alquenos, aromáticos y aldehidos), aplicados a la región del valle del Aburrá.

Debido a la magnitud de los cálculos requeridos para determinar la tasa de emisión vehicular liberada a la atmósfera, fue desarrollado el modelo ETROME (Emisión de Tráfico Rodado para Medellín) esquematizado en la Figura 3.

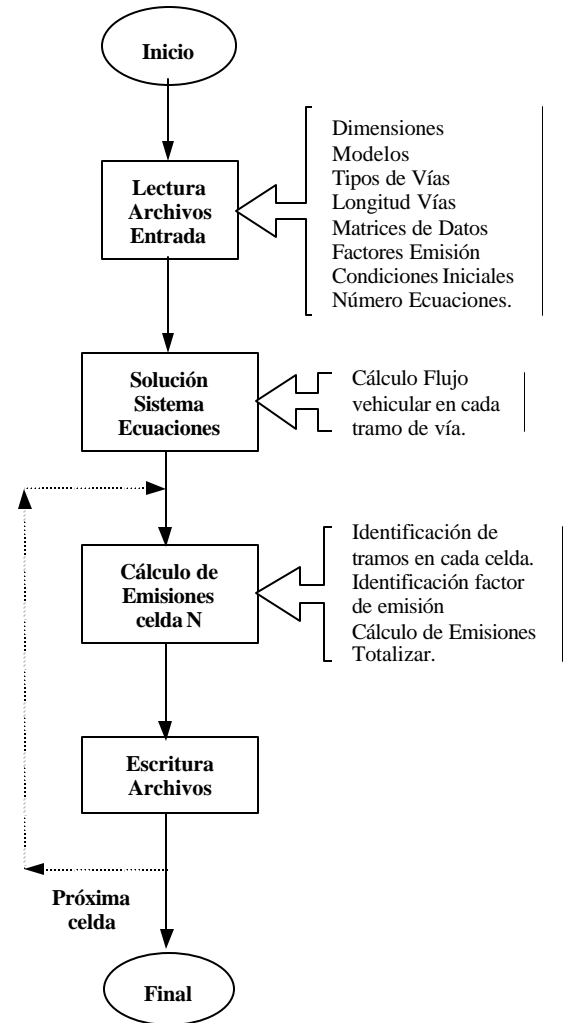


Figura 3. Diagrama de flujo del modelo ETROME de emisión vehicular.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 4, se ilustra la distribución porcentual promedia de la intensidad horaria del flujo vehicular, correspondiente a las 788 vías del escenario simulado en un período de 24 horas. El perfil obtenido muestra que cerca del 74% del tránsito total diario se presenta entre las 8:00 horas (mañana) y 19:00 horas (noche).

Tabla 2. Factores de emisión CORINAIR

TIPO DE VÍA	MODELO VEHÍCULO	CATEGORÍA VEHÍCULO	FACTOR DE EMISION VEHICULAR EN CALIENTE (g/km recorrido)									
			CO	NOx	VOC's	TSP	SO2	MET	NMET	ALQ	ARO	ALD
1. (30 km/h)	Año ≤ 1970	Autos < 1,4 l.	32.97	1.72	2.87	0.06	0.015	0.276	0.952	0.460	1.125	0.061
		1,4 l. <Autos< 2,0 l.	32.97	1.98	2.87	0.08	0.018	0.276	0.952	0.460	1.125	0.061
		Autos > 2,0 l.	32.97	2.49	2.87	0.10	0.022	0.276	0.952	0.460	1.125	0.061
		Buses	4.69	15.29	1.31	0.90	1.720	0.063	0.699	0.259	0.146	0.146
		Camiones	3.51	11.21	2.03	0.90	1.720	0.097	1.080	0.400	0.226	0.226
		Motos	22.36	0.03	10.98	0.25	0.008	1.056	3.637	1.757	4.298	0.233
	1970 < Año < 1979	Autos < 1,4 l.	23.60	1.72	2.28	0.06	0.013	0.219	0.755	0.365	0.892	0.048
		1,4 l. <Autos< 2,0 l.	23.60	1.98	2.28	0.08	0.016	0.219	0.755	0.365	0.892	0.048
		Autos > 2,0 l.	23.60	2.49	2.28	0.10	0.017	0.219	0.755	0.365	0.892	0.048
		Buses	4.69	15.29	1.31	0.90	1.720	0.063	0.699	0.259	0.146	0.146
		Camiones	3.51	11.21	2.03	0.90	1.720	0.097	1.080	0.400	0.226	0.226
		Motos	22.36	0.03	10.98	0.25	0.008	1.056	3.637	1.757	4.298	0.233
	1979 ≤ Año < 1986	Autos < 1,4 l.	20.91	1.59	2.27	0.06	0.012	0.218	0.752	0.363	0.889	0.048
		1,4 l. <Autos< 2,0 l.	20.91	1.74	2.27	0.08	0.014	0.218	0.752	0.363	0.889	0.048
		Autos > 2,0 l.	20.91	2.71	2.27	0.10	0.018	0.218	0.752	0.363	0.889	0.048
		Buses	4.69	15.29	1.31	0.90	1.720	0.063	0.699	0.259	0.146	0.146
		Camiones	3.51	11.21	2.03	0.90	1.720	0.097	1.080	0.400	0.226	0.226
		Motos	22.36	0.03	10.98	0.25	0.008	1.056	3.637	1.757	4.298	0.233
	Año ≥ 1986	Autos < 1,4 l.	11.81	1.61	1.81	0.06	0.010	0.174	0.598	0.289	0.707	0.038
		1,4 l. <Autos< 2,0 l.	11.81	1.94	1.81	0.08	0.013	0.174	0.598	0.289	0.707	0.038
		Autos > 2,0 l.	11.81	2.25	1.81	0.10	0.015	0.174	0.598	0.289	0.707	0.038
		Buses	4.69	15.29	1.31	0.90	1.720	0.063	0.699	0.259	0.146	0.146
		Camiones	3.51	11.21	2.03	0.90	1.720	0.097	1.080	0.400	0.226	0.226
		Motos	22.36	0.03	10.98	0.25	0.008	1.056	3.637	1.757	4.298	0.233
2. (45 km/h)	Año ≤ 1970	Autos < 1,4 l.	25.54	1.90	2.17	0.04	0.011	0.209	0.719	0.347	0.849	0.046
		1,4 l. <Autos< 2,0 l.	25.54	2.26	2.17	0.06	0.013	0.209	0.719	0.347	0.849	0.046
		Autos > 2,0 l.	25.54	3.05	2.17	0.08	0.016	0.209	0.719	0.347	0.849	0.046
		Buses	3.47	12.39	0.86	0.90	1.650	0.042	0.460	0.170	0.096	0.096
		Camiones	2.65	8.72	1.42	0.90	1.650	0.068	0.756	0.280	0.156	0.159
		Motos	23.82	0.03	8.78	0.10	0.008	0.845	2.909	1.405	3.437	0.186
	1970 < Año < 1979	Autos < 1,4 l.	17.34	1.90	1.71	0.04	0.009	0.165	0.568	0.274	0.671	0.036
		1,4 l. <Autos< 2,0 l.	17.34	2.26	1.71	0.06	0.010	0.165	0.568	0.274	0.671	0.036
		Autos > 2,0 l.	17.34	3.05	1.71	0.08	0.014	0.165	0.568	0.274	0.671	0.036
		Buses	3.47	12.39	0.86	0.90	1.650	0.042	0.460	0.170	0.096	0.096
		Camiones	2.65	8.72	1.42	0.90	1.650	0.068	0.756	0.280	0.156	0.159
		Motos	23.82	0.03	8.78	0.10	0.008	0.845	2.909	1.405	3.437	0.186
	1979 ≤ Año < 1986	Autos < 1,4 l.	14.95	1.74	1.70	0.04	0.009	0.164	0.563	0.272	0.665	0.036
		1,4 l. <Autos< 2,0 l.	14.95	2.01	1.70	0.06	0.010	0.164	0.563	0.272	0.665	0.036
		Autos > 2,0 l.	14.95	2.88	1.70	0.08	0.013	0.164	0.563	0.272	0.665	0.036
		Buses	3.47	12.39	0.86	0.90	1.650	0.042	0.460	0.170	0.096	0.096
		Camiones	2.65	8.72	1.42	0.90	1.650	0.068	0.756	0.280	0.156	0.159
		Motos	23.82	0.03	8.78	0.10	0.008	0.845	2.909	1.405	3.437	0.186
	Año ≥ 1986	Autos < 1,4 l.	8.16	1.76	1.36	0.04	0.008	0.131	0.452	0.218	0.534	0.029
		1,4 l. <Autos< 2,0 l.	8.16	2.22	1.36	0.06	0.010	0.131	0.452	0.218	0.534	0.029
		Autos > 2,0 l.	8.16	2.34	1.36	0.08	0.007	0.131	0.452	0.218	0.534	0.029
		Buses	3.47	2.39	0.86	0.90	1.650	0.042	0.460	0.170	0.096	0.096
		Camiones	2.65	8.72	1.42	0.90	1.650	0.068	0.756	0.280	0.156	0.159
		Motos	23.82	0.03	8.78	0.10	0.008	0.845	2.909	1.405	3.437	0.186
3. (60 km/h)	Año ≤ 1970	Autos < 1,4 l.	21.30	2.02	1.78	0.04	0.013	0.171	0.589	0.284	0.696	0.038
		1,4 l. <Autos< 2,0 l.	21.30	2.52	1.78	0.06	0.016	0.171	0.589	0.284	0.696	0.038
		Autos > 2,0 l.	21.30	3.66	1.78	0.08	0.018	0.171	0.589	0.284	0.696	0.038
		Buses	2.80	10.67	0.64	0.90	1.650	0.031	0.342	0.127	0.072	0.072
		Camiones	2.17	7.30	1.10	0.90	1.650	0.053	0.588	0.218	0.123	0.123
		Motos	24.14	0.07	8.54	0.06	0.008	0.821	2.827	1.366	3.341	0.181
	1970 < Año < 1979	Autos < 1,4 l.	14.38	2.02	1.32	0.04	0.009	0.127	0.437	0.211	0.516	0.028
		1,4 l. <Autos< 2,0 l.	14.38	2.52	1.32	0.06	0.010	0.127	0.437	0.211	0.516	0.028
		Autos > 2,0 l.	14.38	3.66	1.32	0.08	0.014	0.127	0.437	0.211	0.516	0.028
		Buses	2.80	10.67	0.64	0.90	1.650	0.031	0.342	0.127	0.072	0.072
		Camiones	2.17	7.30	1.10	0.90	1.650	0.053	0.588	0.218	0.123	0.123
		Motos	24.14	0.07	8.54	0.06	0.008	0.821	2.827	1.366	3.341	0.181
	1979 ≤ Año < 1986	Autos < 1,4 l.	10.69	2.01	1.13	0.04	0.009	0.109	0.376	0.181	0.444	0.024
		1,4 l. <Autos< 2,0 l.	10.69	2.34	1.13	0.06	0.010	0.109	0.376	0.181	0.444	0.024
		Autos > 2,0 l.	10.69	3.17	1.13	0.08	0.013	0.109	0.376	0.181	0.444	0.024
		Buses	2.80	10.67	0.64	0.90	1.650	0.031	0.342	0.127	0.072	0.072
		Camiones	2.17	7.30	1.10	0.90	1.650	0.053	0.588	0.218	0.123	0.123
		Motos	24.14	0.07	8.54	0.06	0.008	0.821	2.827	1.366	3.341	0.181
	Año ≥ 1986	Autos < 1,4 l.	5.64	1.96	1.03	0.04	0.008	0.099	0.342	0.165	0.404	0.022
		1,4 l. <Autos< 2,0 l.	5.64	2.53	1.03	0.06	0.010	0.099	0.342	0.165	0.404	0.022
		Autos > 2,0 l.	5.64	2.54	1.03	0.08	0.007	0.099	0.342	0.165	0.404	0.022
		Buses	2.80	10.67	0.64	0.90	1.650	0.031	0.342	0.127	0.072	0.072
		Camiones	2.17	7.30	1.10	0.90	1.650	0.053	0.588	0.218	0.123	0.123
		Motos	24.14	0.07	8.54	0.06	0.008	0.821	2.827	1.366	3.341	0.181

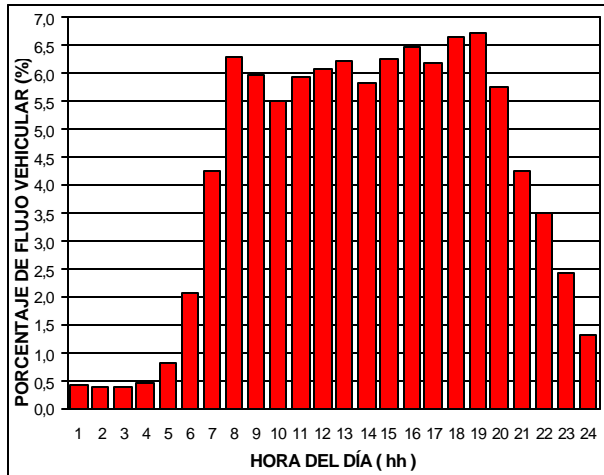


Figura 4. Perfil de la intensidad del flujo vehicular horario.

Al compararse el resultado anterior con el presentado por Toll (1999) para la ciudad de Barcelona-España, se observó que la distribución del flujo vehicular en dicha ciudad totaliza aproximadamente un 70% para el mismo período.

La emisión total media horaria de los contaminantes analizados se ilustra en la Figura 5. Estos valores representan la tasa a la cual el poluyente es liberado a la atmósfera por unidad de tiempo, debido a la presencia de tránsito vehicular en el dominio espacial establecido. Se observa que el comportamiento de las emisiones está acorde con el perfil de la Figura 4, ya que la expresión para el cálculo de las emisiones (ec. 1) incluye la dependencia lineal del flujo vehicular.

En la Figura 6, se presenta la emisión total diaria de los contaminantes estudiados. Para esta situación, se observa que el monóxido de carbono es el contaminante que más emite la flota vehicular en la ciudad de Medellín y parte del valle del Aburrá, representando más del doble de las cantidades obtenidas para los otros poluentes. Los resultados mostraron, adicionalmente, la relativa baja emisión de SO₂ y material particulado, lo cual se explica por los mínimos contenidos de azufre y cenizas del combustible.

Con el propósito de analizar las emisiones vehiculares en el escenario espacio-temporal, fueron construidos los diagramas de intensidad de los principales contaminantes (CO, NO_x y VOC's) para las horas de menor y mayor tránsito automotor en la zona de interés, tal como se ilustra en la Figura 7.

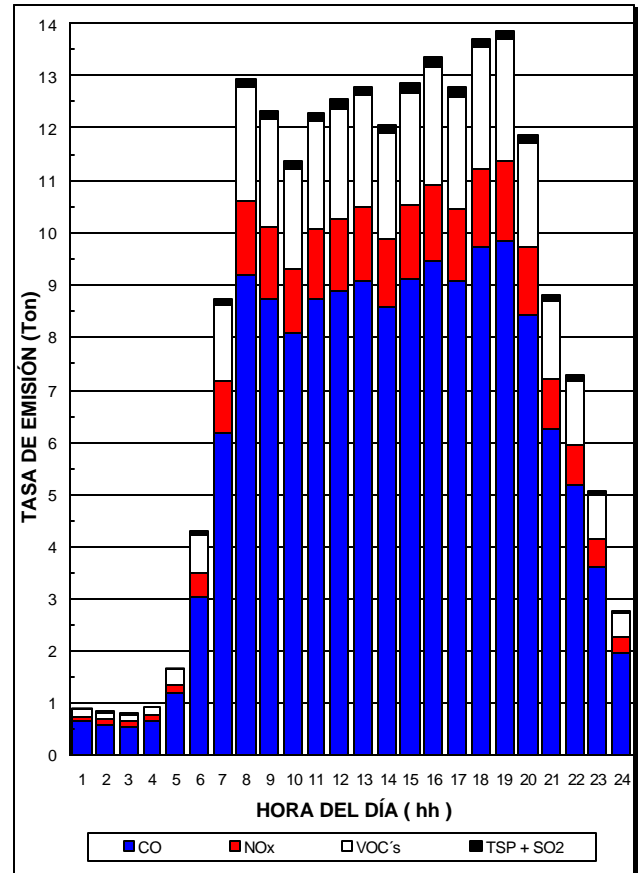


Figura 5. Emisión vehicular horaria de CO, NO_x, VOC's, SO₂ y TSP en la ciudad de Medellín y parte del valle del Aburrá.

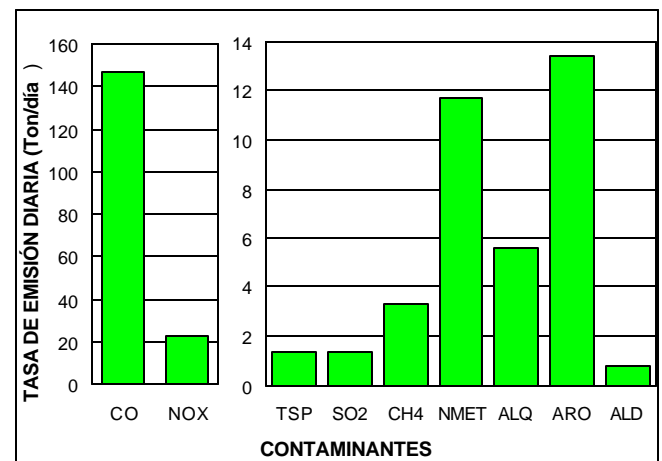
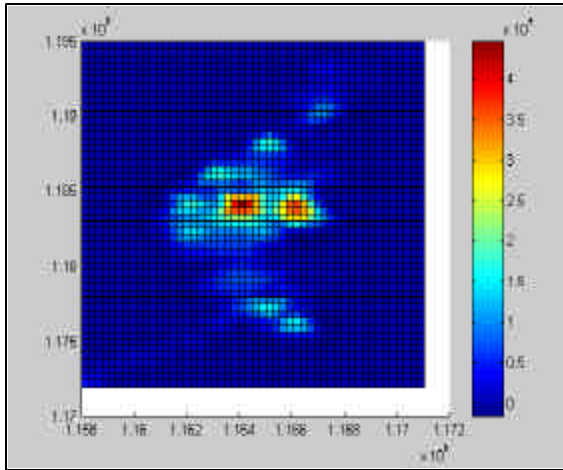
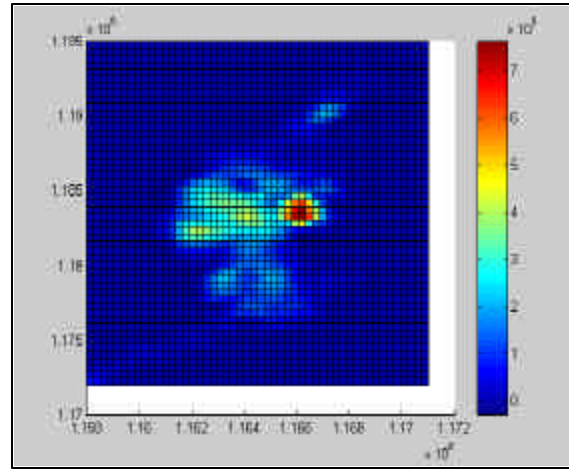


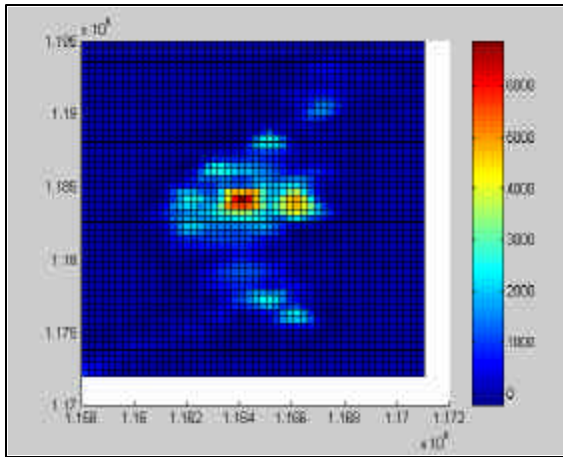
Figura 6. Emisión total diaria de CO, NO_x, SO₂, TSP y VOC's (CH₄, no-metanos, alquenos, aromáticos, aldehidos).



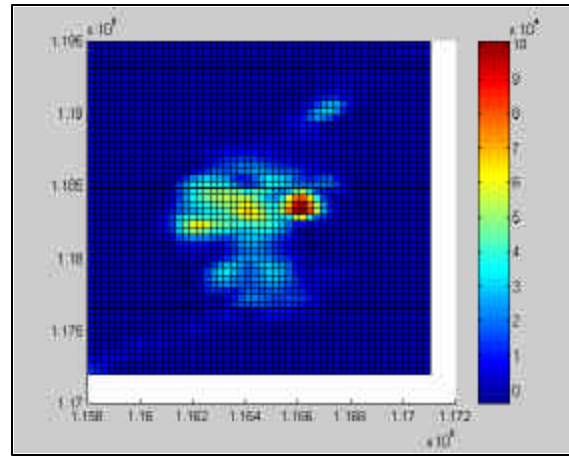
a) Monóxido de Carbono (CO)
Hora: 3 a.m.



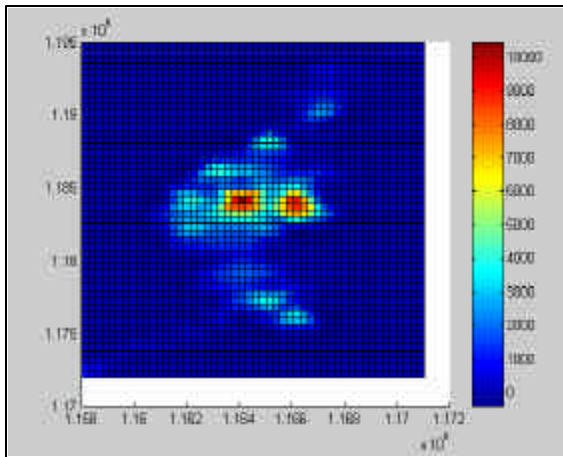
b) Monóxido de carbono (CO)
Hora: 7 p.m.



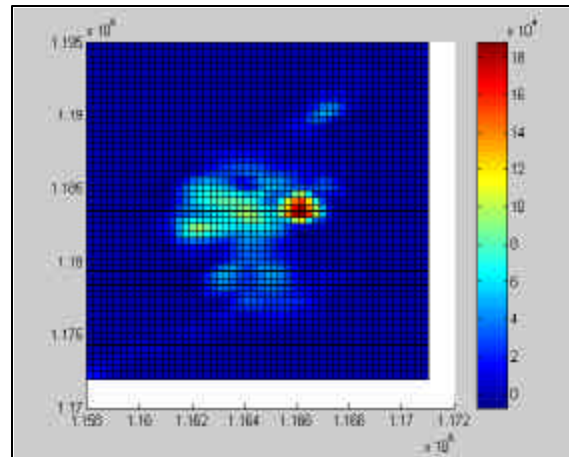
c) Óxidos de Nitrógeno (NOx)
Hora: 3 a.m.



d) Óxidos de Nitrógeno (NOx)
Hora: 7 p.m.



e) Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC's)
Hora: 3 a.m.



f) Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC's)
Hora: 7 p.m.

Figura 7. Intensidad espacio-temporal de la emisión vehicular de contaminantes atmosféricos en el Valle del Aburrá (g/h).

De los diagramas de la Figura 7 se observó que, durante el horario de la madrugada, la más alta emisión de contaminantes (400 kg/h para CO, 7 kg/h para NOx y 10 kg/h para VOC's) se produce en la zona centro-occidental de la ciudad de Medellín, siguiendo en importancia, la región de su centro urbano. En ambas zonas, las más altas emisiones cubrieron áreas de aproximadamente cuatro kilómetros cuadrados.

Durante el comienzo del horario nocturno, en el cual se registra la mayor circulación promedio del parque automotor, los resultados mostraron una apreciable diferencia con relación a la situación anteriormente descrita. En este caso, las emisiones promedio fueron mucho más intensas (7500 kg/h para CO, 10 kg/h para NOx y 190 Ton/h para VOC's) en el centro urbano de Medellín, mientras que en la zona centro-occidental, la superficie de influencia se expandió, cubriendo un área aproximada de 8 km² de altas emisiones (2500-4500 kg/h para CO, 35-65 kg/h para NOx y 60-110 kg/h para VOC's), sin la presencia de picos plenamente identificados.

Para los dos horarios analizados, se observó una franja de emisión de contaminantes en las vías de acceso al valle del Aburrá (norte-sur y sur-norte). Lo anterior verifica que los resultados arrojados por modelo ETROME están acordes con las características previamente establecidas de la malla vial simulada.

CONCLUSIONES

La emisión de contaminantes atmosféricos en el valle del Aburrá, debida a fuentes vehiculares, se presenta con mayor intensidad en la zona central urbana y centro-occidental de la ciudad de Medellín, con horario crítico correspondiente a las siete de la noche.

Los resultados obtenidos en la simulación, mostraron que el monóxido de carbono fue el contaminante con mayor tasa de emisión, representando más del doble de las cantidades calculadas para el resto de los poluentes estudiados.

El presente trabajo constituye un punto de partida para establecer el escenario espacio-temporal crítico en el valle del Aburrá y, por lo tanto, sirve como herramienta a las autoridades ambientales, de tránsito y de planeación urbana, para la construcción de mecanismos de prevención y control de las emisiones producidas por el parque automotor.

Las tasas de liberación de contaminantes pueden calcularse con mayor aproximación

utilizando factores de emisión representativos para la región de interés. El cálculo de estos constituye un nuevo campo de investigación a futuro.

Nomenclatura

Letras latinas

- F* factor de emisión vehicular, kg/km
f fracción de distribución vehicular
L Longitud de la vía, km.
N flujo vehicular horario, veh/h.

Subíndices

- h* relativo a la hora del día
i relativo al contaminante
j relativo a la celda
k relativo a la categoría del vehículo
m relativo al modelo del vehículo
v relativo al tipo de vía

Referencias Bibliográficas

- Álvarez, J., Santander, M. *Evaluación de las Emisiones Provenientes de Fuentes Móviles en la Ciudad de Medellín*. Tesis de Pregrado, U.P.B, 1997.
- Delgado, S., Henao, E., Rendón, N. *Metodología para la Determinación de los Factores de Emisión para el Monóxido de Carbono e Hidrocarburos en Medellín*. Tesis Especialización. U.P.B, 1994.
- Eggleston, H., Gorissen, N., Jourmard, R., Rijkeboer, R., Samaras, Z., Zierock, K. *Methodology and Emission Factors*. v.1.Group CORINAIR, Luxemburgo, 1989.
- Petro, S., Robledo, C. *Cálculo Preliminar de Factores de Emisión para Tráfico Vehicular en la Ciudad de Medellín: Aplicación del Programa US-EPA Mobile5*. Tesis de Pregrado. U.P.B, 2000.
- Secretaría de Transportes y Tránsito, Secretaría de Obras Públicas, Planeación Metropolitana, Fondo de Prevención Vial Nacional. *Red de Aforos de Tránsito*. Municipio de Medellín, 1997-2000.
- Toll, I. *Modelización de la Contaminación Atmosférica Fotoquímica en el Área de Barcelona*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña, 1999.