

Inventario de emisiones atmosféricas del tráfico vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito. Año base 2012

Dayana Vega¹, Lorena Ocaña¹, René Parra^{1*}

¹Colegio de Ciencias e Ingeniería - Universidad San Francisco de Quito, Diego de Robles y Vía Interoceánica, Quito - Ecuador

*Autor principal/Corresponding author, e-mail: rparra@usfq.edu.ec

Editado por/Edited by: Cesar Zambrano, Ph.D.

Recibido/Received: 2015/08/26. Aceptado/Accepted: 2015/08/28.

Publicado en línea/Published on Web: 2015/12/30. Impreso/Printed: 2015/12/30.

On-road traffic air pollutants emission inventory in the Distrito Metropolitano de Quito. Base year 2012

Abstract

On-road traffic is an important source of air pollutants in the Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Until today the emissions from this sector in the DMQ were performed mainly using emission factors from the international literature. This paper updates the atmospheric emission inventory from the on-road traffic in the DMQ, taking 2012 as the base year. The best available information of sales statistics and properties of fuels, the composition of the vehicular park, and traffic intensity were used. The emission factors were deduced using the emission records of the Vehicular Technical Control (VTC) from the DMQ. The on-road traffic emits 102.7 kt/y of CO, 20.9 kt/y of NO_x, 13.2 kt/y of NMVOC, 1.7 kt/y of PM₁₀, 1.2 kt/y of PM_{2.5} and 0.5 kt/y of SO₂. It was estimated that during 2012, in the DMQ circulated 519 111 vehicles, of which 94.4 % correspond to gasoline vehicles and 5.6 % to diesel vehicles. The analyses of the VTC's database shown that 390 326 vehicles were controlled during 2012. The difference in comparison with the estimated vehicle park that actually circulated in the DMQ, indicates that 25 % of vehicles not fulfilled the VTC. The gasoline vehicles emit 86.3 % of CO, 77.0 % of NMVOC and 75.3 % of SO₂. The diesel vehicles emit 82.5 % of PM_{2.5}, 76.4 % of PM₁₀ and 60.6 % of NO_x. The information used for this emission inventory implies a reduction in the level of uncertainty in relation to previous emission inventories. Hourly emission maps obtained from this inventory can be used to perform air pollutants chemical transportation studies, using last-generation numerical models.

Keywords. Vehicular Technical Control, emission factors, DMQ, gasoline vehicles, diesel vehicles.

Resumen

El tráfico vehicular es una fuente relevante de emisiones atmosféricas en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Hasta la fecha, la estimación de las emisiones de este sector en el DMQ ha sido elaborada principalmente en base de factores de emisión de la literatura internacional. Este artículo presenta una actualización del inventario de emisiones atmosféricas del tráfico vehicular en el DMQ, tomando como base el año 2012. Se utilizó la mejor información disponible sobre las estadísticas de venta y propiedades de los combustibles, la composición del parque vehicular y de la intensidad de tráfico. Se utilizaron factores de emisión deducidos en base de los registros de emisiones de la Revisión Técnica Vehicular (RTV) en el DMQ. El tráfico vehicular presenta un aporte de: 102.7 kt/año de CO, 20.9 kt/año de NO_x, 13.2 t/año de COVNM, 1.7 kt/año de MP₁₀, 1.2 kt/año de MP_{2.5} y 0.5 kt/año de SO₂. Se estimó que en el DMQ durante el año 2012 circularon 519 111 vehículos, de los cuales 94.4 % corresponden a vehículos a gasolina y 5.6 % a vehículos a diésel. Del análisis de la base de datos de la RTV 2012 se deduce que 390 326 vehículos se sometieron al control de emisiones. La diferencia con la cantidad estimada de vehículos que efectivamente circularon en el DMQ, indica que un 25 % de los vehículos no se sometieron a la RTV. Los vehículos a gasolina emiten el 86.3 % de CO, 77.0 % de COVNM y 75.3 % de SO₂. Los vehículos a diésel emiten el 82.5 % de MP_{2.5}, 76.4 % de MP₁₀ y 60.6 % de NO_x. La información utilizada para la elaboración de este inventario implica un menor nivel de incertidumbre de los resultados, en relación a inventarios de emisiones anteriores. Los mapas horarios que se obtengan a partir de este inventario pueden ser utilizados para estudios de transporte químico de los contaminantes del aire, por medio de modelos numéricos de última generación.

Palabras Clave. Revisión Técnica Vehicular, factores de emisión, DMQ, vehículos a gasolina, vehículos a diésel.

Introducción

La contaminación del aire constituye una de las amenazas más importantes para la salud pública [1]. En el año 2012 la contaminación atmosférica causó la muerte prematura de aproximadamente 3.7 millones de personas a nivel mundial [2].

Los inventarios de emisiones son elementos clave para la gestión y control de la calidad del aire [3]. Se definen como la estimación de la cantidad de contaminantes emitidos al aire, desde una o varias fuentes, en una región específica y en un tiempo determinado [4]. Los inventarios de emisiones se utilizan tanto para fines científicos y como instrumentos de gestión ambiental [4, 5]. En el ámbito científico, los inventarios proporcionan información detallada sobre la configuración de las emisiones, como información imprescindible para estudios de transporte químico de contaminantes del aire. Como instrumentos de gestión ambiental, los inventarios sirven para comprobar el cumplimiento de objetivos en términos de reducción de emisiones. Los inventarios de emisiones que se usan en estudios de dispersión atmosférica, presentan las siguientes características: 1) se establecen para un dominio rectangular conformado con una malla de celdas georeferenciadas, 2) presentan alta resolución espacial (mapas en celdas de 1 km) y alta resolución temporal (mapas de emisión horarios) [5].

Los inventarios de emisiones deben ser actualizados periódicamente, en razón del crecimiento poblacional, la variación del número de fuentes, los cambios en la operación de las fuentes emisoras, la vigencia de nuevas regulaciones, cambios en la calidad de los combustibles, así como por la mejora de los métodos de cálculo y factores de emisión [6]; teniendo presente como objetivo la reducción con el tiempo de los niveles de incertidumbre.

Las emisiones del tráfico vehicular comprenden las siguientes categorías [7]:

- Emisiones del tubo de escape, que a su vez se clasifican en emisiones en frío y caliente. Las emisiones en frío se producen antes de que el líquido de refrigeración alcance los 70°C, en tanto que las emisiones en caliente se presentan una vez que líquido refrigerante alcanzó y estabilizó su temperatura a los 70°C [8].
- Emisiones evaporativas, corresponden a compuestos orgánicos volátiles diferentes el metano (COVNM) que se emiten desde dispositivos como el tanque de gasolina y el carburador.
- Emisiones por abrasión, corresponden a material particulado que se genera por el desgaste de los neumáticos, frenos y de la superficie del pavimento.

Actualmente el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) cuenta con inventarios oficiales para los años 2003, 2005,

2007 y 2011 [9–12]. De acuerdo con los resultados del inventario del año 2007 [11] (el inventario más reciente y que diferencia las emisiones del tubo de escape, evaporativas y por abrasión) el tráfico vehicular aporta el 97.3 % del monóxido de carbono (CO) total emitido en el DMQ, el 52.3 % de óxidos de nitrógeno (NO_x), el 45.6 % del material particulado con diámetro aerodinámico menor de 2.5 micras (MP_{2.5}), el 39.4 % de COVNM, el 26.2 % del material particulado con diámetro aerodinámico menor de 10 micras (MP₁₀), y el 11.9 % del dióxido de azufre (SO₂).

Estos resultados sustentan la aplicación de la Revisión Técnica Vehicular (RTV) en el DMQ, como medida para controlar las emisiones de una de las fuentes más importantes de contaminación. Desde el año 1993, todos los vehículos que circulan en el DMQ deben someterse anualmente a un control de las condiciones mecánicas y de las emisiones del escape, a fin de garantizar condiciones mínimas de seguridad y comprobar el cumplimiento de las normas de emisión (CO e hidrocarburos para vehículos a gasolina, opacidad para vehículos a diésel). Cada vez que el propietario lleva su vehículo a este control los registros de las emisiones se almacenan en bases de datos anuales, cuyo procesamiento y análisis permite caracterizar el parque vehicular y los niveles de emisión, diferenciando el tipo de vehículo, el tamaño del motor y el año de fabricación.

Los factores de emisión de tráfico vehicular (cantidad de contaminante emitido por unidad de distancia recorrida por un vehículo) que se han utilizado hasta la fecha en el DMQ, provienen principalmente de inventarios de emisiones de México D.F. [11, 12]. Por ello, y con el fin de reducir los niveles de incertidumbre, es necesario promover el uso de factores de emisión locales.

Este artículo presenta los resultados de la actualización del inventario de emisiones atmosféricas del tráfico vehicular para el DMQ, tomando como base el año 2012. Para este propósito se utilizó la mejor información disponible sobre las estadísticas de venta y propiedades de los combustibles, composición del parque vehicular, intensidad de tráfico y factores de emisión deducidos de la RTV.

Método

Contaminantes y Gases de Efecto Invernadero

Se incluyeron los siguientes contaminantes primarios: CO, NO_x, COVNM, SO₂, MP₁₀, MP_{2.5}. Además se incluyeron los siguientes GEI: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).

Malla de emisiones

Se utilizó una malla de emisiones cuadrada (1.6 grados geográficos por lado), en la que se inscribe el DMQ (Fig. 1). La malla se compone de 200 celdas horizontales y 200 celdas verticales. Cada celda tiene una longitud de 30" geográficos (≈ 0.9 km). Aunque el inventario

se focaliza en las emisiones del DMQ, debido a la cercanía e interacción directa, también se cuantificaron las emisiones para el Cantón Rumiñahui.

Modelo de emisiones

Las emisiones atmosféricas totales se calcularon mediante los modelos propuestos en las guías de la Agencia Ambiental Europea (AAE) [7, 13, 14], y del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) [15], de acuerdo con los componentes de la Ecuación 1:

$$\text{Emisiones}_{\text{totales}} = \text{Emisiones}_{\text{tubodeescape}} + \text{Emisiones}_{\text{evaporativas}} + \text{Emisiones}_{\text{abrasion}} \quad (1)$$

La Tabla 1 indica los modelos utilizados para las emisiones del tubo de escape, evaporativas y de abrasión.

La distancia anual recorrida por tipo de vehículo constituye un parámetro básico en la estimación de las emisiones del tráfico vehicular. Para este inventario, la distancia recorrida se actualizó, a partir de las compilaciones y encuestas anteriores realizadas por la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito (Corpaire) [11]. Para estimar la cantidad de vehículos que circularon en el año 2012, se asumió que la cantidad total de combustible vendido en las gasolineras [16], es igual a la cantidad del combustible efectivamente consumido por los vehículos que circularon en el DMQ. En función del recorrido anual, de la composición porcentual del parque vehicular [17] y la distancia recorrida por unidad de combustible consumido, se iteraron los valores del parque vehicular, hasta que los resultados calculados del consumo de combustible sean similares a los valores de las estadísticas de venta de gasolina y diésel.

Los factores de emisión de NO_x , CO y COVNM, se definieron a partir de los coeficientes propuestos por Ocaña [17] y de los factores de emisión obtenidos por el Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares [18].

Resultados y Discusión

Parque vehicular del año 2012

Se estimó que durante el año 2012, en el DMQ circularon 519 111 vehículos (Tabla 2), de los cuales 490 027 (94.4 %) corresponden a vehículos a gasolina, y 29 084 (5.6 %) a vehículos a diésel. Entre los vehículos a gasolina, las categorías más numerosas corresponden a los automóviles (73.6 %) y camionetas (14.5 %). Entre los vehículos a diésel las categorías más numerosas corresponden a los vehículos de carga (50.5 %), buses (16 %) y furgonetas (15.3 %). El número de vehículos que se presentaron a la RTV en el mismo año fue de 390 326 [17], que corresponde a un 25 % del número estimado del parque vehicular que circuló en el año 2012.

Factores de emisión

Hay diferencias entre los factores de emisión deducidos para este inventario, en relación a los factores de emisión utilizados en inventarios anteriores (Fig. 2). Para los automóviles a gasolina fabricados hasta el año 2000, los factores de NO_x y CO del presente inventario son mayores (relación entre 1.6 y 3.6), y menores (relación entre 0.3 y 1) para modelos recientes (2007 en adelante). No obstante, los factores de emisión de COVNM del presente inventario (excepto para vehículos del año 1999), son menores o iguales (relación entre 0.3 y 1). En razón de que los factores de emisión de este inventario, provienen del análisis de los registros de la RTV en Quito, la presente estimación implica un menor nivel de incertidumbre en relación a los inventarios anteriores.

Emisiones del tráfico vehicular

Las mayores emisiones de contaminantes primarios corresponden al CO (102.7 kt/año, 73.3 %) (Tabla 3), NO_x (20.8 kt/año, 14.9 %) y COVNM (13.2 kt/año, 9.4 %). Estos porcentajes son comparables con lo indicados en los inventarios anteriores (CO: 70.9 - 72.4 %; NO_x : 11.7 - 13.2 %; COVNM: 11.4 - 13.0 %) [9-11]. Las emisiones de SO_2 representan el 0.3 %; menor al aporte indicado en los inventarios anteriores (0.9 - 2.5 %), en razón al menor contenido de azufre de los combustibles comercializados en el año 2012 (185.6 ppm para las gasolinas y 317.9 ppm para el diésel [19]), en relación a los años anteriores. La Tabla 3 indica adicionalmente las emisiones del DMQ y Cantón Rumiñahui.

Desde el tubo de escape se producen el 100 % de las emisiones de NO_x , CO y SO_2 , el 80 % de $\text{MP}_{2.5}$, el 72.7 % de MP_{10} y el 68.8 % de COVNM (Tabla 4). Estos porcentajes son coherentes con la literatura (un 55 % de los COVNM y casi la totalidad de CO y NO_x provienen del tubo de escape [8]). El principal aporte de las emisiones en frío corresponden al CO (13.9 %) y a los COVNM (8.2 %). Según Ntziachristos and Samaras [7], aunque las emisiones en frío ocurren en un periodo de tiempo limitado (entre 180 a 240 s), su aporte es significativo debido a que en este periodo la mezcla aire-combustible esta enriquecida (hay mayores emisiones de CO y COVNM) y el catalizador no funciona adecuadamente, al no haber alcanzado todavía su temperatura óptima de operación. Las emisiones evaporativas aportan con el 31.2 % de las emisiones de COVNM. Las emisiones por abrasión generan el 27.4 % y 20 % de las emisiones de MP_{10} y $\text{MP}_{2.5}$, respectivamente.

Los vehículos a gasolina, que representan el 94.4 % del parque vehicular del DMQ, son la principal fuente de CO (86.3 %), COVNM (77.0 %) y SO_2 (75.3 %). Los vehículos a diésel, que conforman el 5.6 % del parque vehicular, son los principales contribuyentes de $\text{MP}_{2.5}$ (82.5 %), MP_{10} (76.4 %) y NO_x (60.6 %) (Fig. 3). Estos porcentajes se explican al considerar que los motores a diésel trabajan comúnmente con mezclas pobres, que

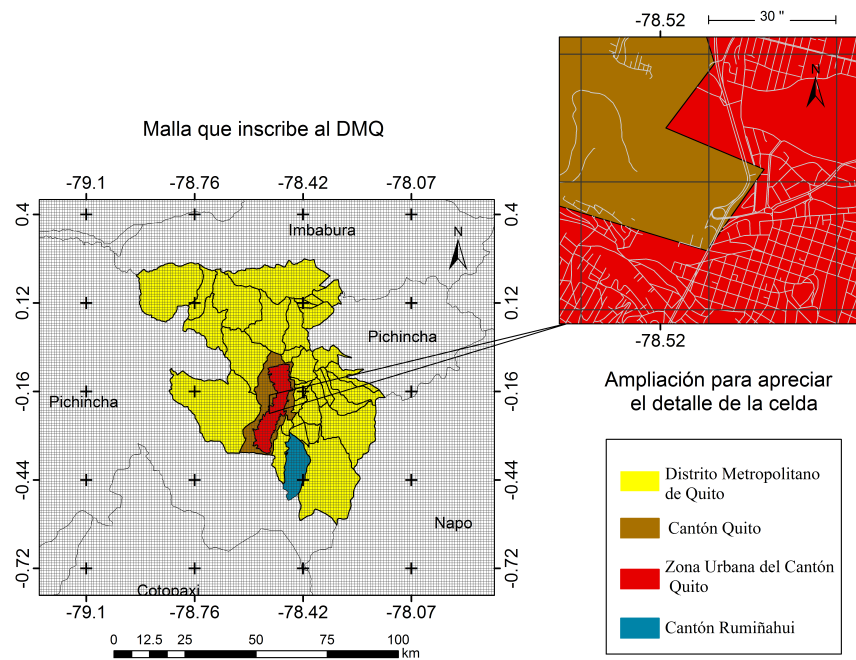


Figura 1: Malla para el inventario de emisiones atmosféricas del Distrito Metropolitano de Quito. Año base 2012.

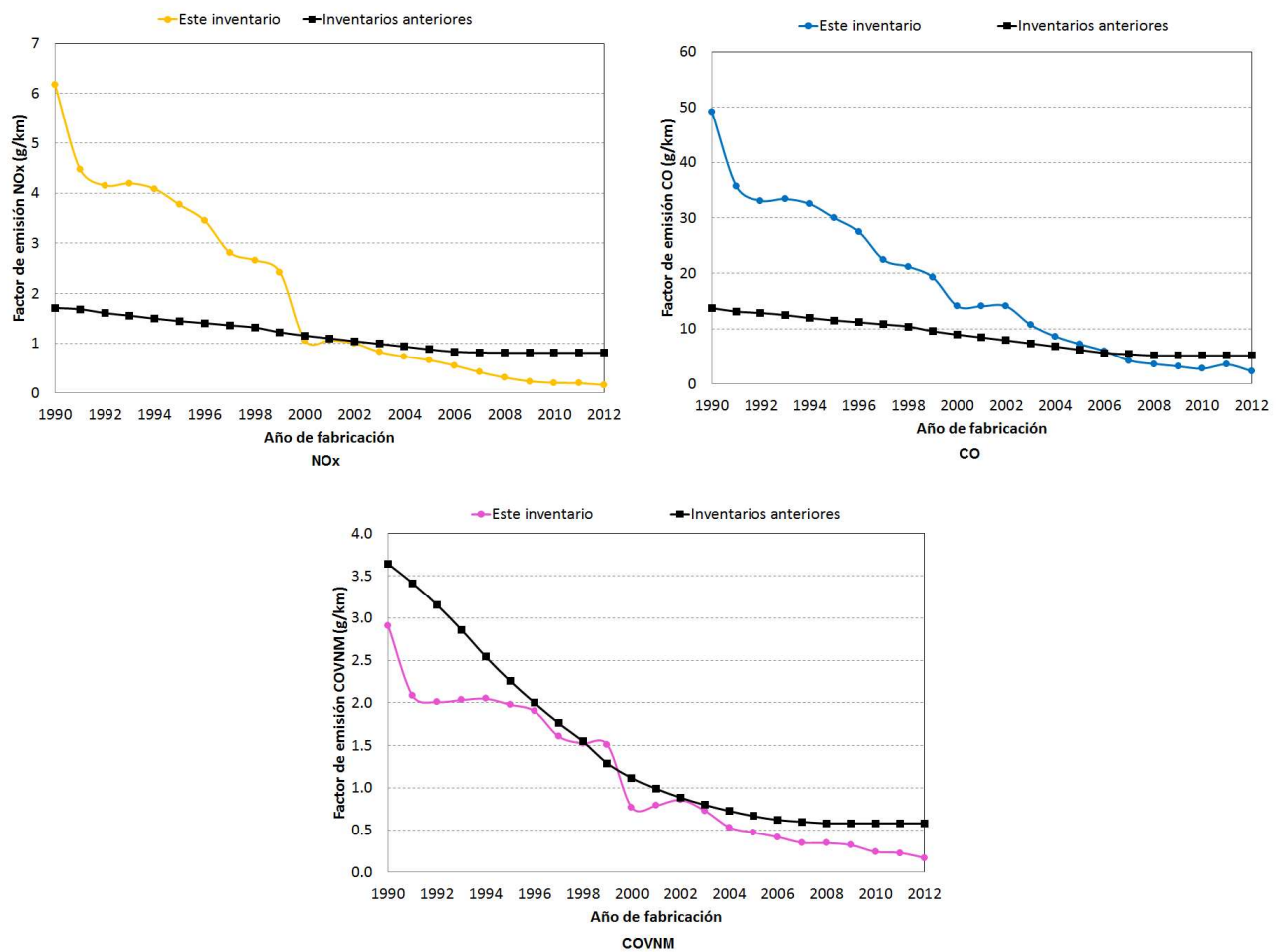


Figura 2: Comparación de factores de emisión de NO_x, CO y COVNM utilizados en el presente inventario en relación a los utilizados en inventarios anteriores. Automóviles livianos a gasolina.

Tipo de emisión		Compuestos emitidos	Modelos de emisiones
Emisiones del tubo de escape escape	En caliente	NO _x , CO, COVNM, MP ₁₀ y MP _{2.5}	$E_{caliente,r}^i = N_{veh\ r} \times D_{rec,r} \times FE_r^i$
	En frío	NO _x , CO, COVNM, MP ₁₀ y MP _{2.5}	$E_{frío,r}^i = \beta_{i,r,k} \times N_{veh\ r} \times D_{rec,r} \times e_{caliente;r,i,k} \times \left(e^{frío} / e^{caliente} \Big _{i,r,k} - 1 \right)$
Emisiones evaporativas		COVNM	$E_{evap,r}^i = D \times N_{veh-gas\ r} \times (e_{dr} + HS_r + RL_r)$
Emisiones de abrasión	Desgaste de neumáticos y frenos	MP ₁₀ y MP _{2.5}	$E_{abrasion\ r,j}^i = N_{veh\ r} \times D_{rec,r} \times FE_{i,r} \times f_{r,i} \times S_j(V)$
	Abrasión de superficie	MP ₁₀ y MP _{2.5}	$E_{super\ fr}^i = N_{veh\ r} \times D_{rec,r} \times FE_{i,r} \times f_{r,i}$
Emisiones de GEI		CO ₂ CH ₄ y N ₂ O	$E_r^1 = FE_r^{CO_2} \times Vol_{r,m}$ $E_r^i = D_{rec,r} \times N_{veh\ r} \times FE_r^i$

i: contaminante o GEI.

r: categoría de vehículo.

$N_{veh\ r}$: número de vehículos de categoría r (vehículos/año).

$D_{rec,r}$: distancia anual recorrida por el vehículo de categoría r (km/vehículo/año).

FE_r^i : factor de emisión en caliente de i, emitido por el vehículo de categoría r (t/km/vehículo).

m: tipo de combustible: gasolina o diésel.

$k_{s,m}$: contenido de azufre en el combustible m (t/m³)

$Vol_{r,m}$: volumen de combustible m consumido en un año por el vehículo r (m³/año).

k: tecnología vehicular, que depende del año de fabricación (modelo).

$\beta_{i,r,k}$: fracción de la distancia que el vehículo de categoría r y tecnología k, recorre con el motor en frío. Este parámetro depende de la temperatura ambiente (t_a) y de la longitud promedio de viaje (l_{viaje}).

$e_{caliente;r,i,k}$: emisiones en caliente el contaminante i emitidas por el vehículo r de tecnología k (t/km).

$e^{frío} / e^{caliente} \Big|_{i,r,k}$: fracción entre las emisiones en frío y caliente de i emitidas por el vehículo r de tecnología k.

Este parámetro depende de t_a y de la velocidad promedio de viaje.

D: número de días en los cuales se producen las emisiones evaporativas.

$N_{veh-gas\ r}$: número de vehículos a gasolina de categoría r (vehículos/año).

e_{dr} : emisiones diurnas para el vehículo de categoría r (t/día*vehículo).

HSr: emisiones por retención en caliente para el vehículo de categoría r (t/día*vehículo).

RLr: emisiones por funcionamiento para el vehículo de categoría r (t/día*vehículo).

j: emisiones por desgaste de neumáticos o desgaste de frenos.

$f_{r,i}$: fracción de la masa de material particulado que corresponde a i.

$S_j(V)$: factor de corrección en función de la velocidad media de viaje.

$FE_r^{CO_2}$: factor de emisión de CO₂ del vehículo de categoría r (t/TJ).

Tabla 1: Modelos de emisiones atmosféricas del tráfico vehicular utilizados para el Distrito Metropolitano de Quito.

generan menores emisiones de CO y COVNM con respecto a los vehículos a gasolina. Sin embargo, las emisiones de NO_x en los vehículos a diésel son elevadas, debido a las altas temperaturas y presión a las que trabajan [20, 21]. Además, la composición química del diésel promueve la formación de material particulado [20]. Por ello, aunque los vehículos a diésel representan sólo el 5.6 % del parque vehicular, su contribución en las emisiones de NO_x y material particulado es relevante.

Comparación con inventarios anteriores

Los resultados del presente inventario son coherentes respecto a los inventarios anteriores que presentan los mismos componentes de emisión para el tráfico vehicular (Tabla 5). Se observa una tendencia ascendente para la mayoría de los contaminantes (NO_x, CO, MP₁₀ y MP_{2.5}), que en parte corresponde al incremento del parque vehicular con el tiempo. En comparación con el inventario del año 2007, las emisiones de COVNM fue-

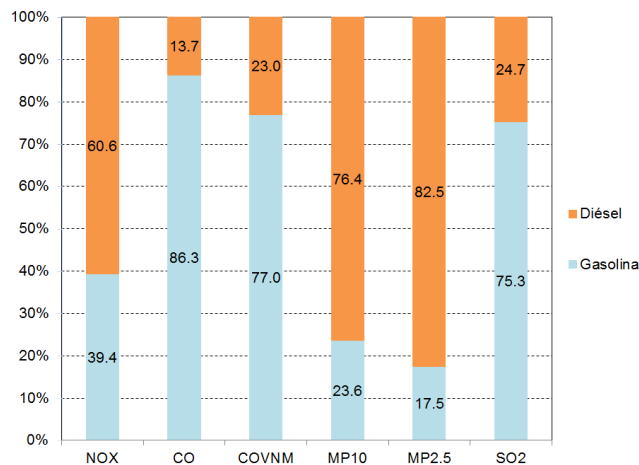


Figura 3: Porcentaje de emisiones de contaminantes primarios por tipo de combustible.

Categoría	Vehículos a gasolina		Vehículos a diésel		Vehículos a gasolina y diésel	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Automóviles	360 833	73.6	1622	5.6	362 455	69.8
Camionetas	70 947	14.5	2448	8.4	73 395	14.1
Motocicletas	31 671	6.5	-	-	31 671	6.1
Carga	15 059	3.1	14 685	50.5	29 744	5.7
Furgonetas	6988	1.4	4441	15.3	11 429	2.2
Buses	2524	0.5	4656	16.0	7180	1.4
Híbridos	1517	0.3	-	-	1517	0.3
Microbuses	488	0.1	1232	4.2	1720	0.3
Totales	490 027	100.0	29 084	100.0	519 111	100.0

Tabla 2: Composición del parque vehicular que circuló durante el año 2012 en el Distrito Metropolitano de Quito.

Compuestos	Distrito Metropolitano de Quito		Cantón Rumiñahui		Distrito Metropolitano de Quito y Cantón Rumiñahui		
	Total (t/año)	Porcentaje	Total (t/año)	Porcentaje	Total (t/año)	Porcentaje	
Contaminantes Primarios	NO _x	20 808.1	14.9	2 382.2	20.3	23 190.3	15.3
	CO	102 667.4	73.3	7 842.1	66.8	110 509.5	72.8
	COVNM	13 185.6	9.4	1 107.2	9.4	14 292.8	9.4
	MP ₁₀	1656.5	1.2	210.9	1.8	1 867.4	1.2
	MP _{2.5}	1211.2	0.9	160.2	1.4	1 371.4	0.9
	SO ₂	451.1	0.3	38.3	0.3	489.4	0.3
Total	139 979.9	100.0	11 740.9	100.0	151 720.8	100.0	
GEI	CO ₂	2 572 892.1	100.0	234 983.6	100.0	2 807 875.7	100.0
	CH ₄	680.9	0.0	44.9	0.0	725.8	0.0
	N ₂ O	163.3	0.0	11.0	0.0	174.3	0.0
	Total	2 573 736.3	100.0	235 039.6	100.0	2 808 775.9	100.0

Tabla 3: Emisiones del tráfico vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito y Cantón Rumiñahui, durante el año 2012.

Tipo de emisión	NO _x		CO		COVNM		MP ₁₀		MP _{2.5}		SO ₂	
	(t/año)	%	(t/año)	%	(t/año)	%	(t/año)	%	(t/año)	%	(t/año)	%
Tubo de escape Caliente	20 492.3	98.5	88 397.5	86.1	7990.3	60.6	1201.9	72.6	967.5	79.9	451.1	100.0
Evaporativa Frío	315.7	1.5	14 269.9	13.9	1077.5	8.2	1.5	0.1	1.4	0.1		
Abrasión					4117.9	31.2		0.0		0.0		
Total	20 808.1	100	102 667.4	100	13 185.6	100	1656.5	100	1211.2	100	451.1	100

Tabla 4: Emisiones del tráfico vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito durante el año 2012. Desglose por tipo de emisión.

ron menores, debido al uso de factores de emisión de menor magnitud para el presente inventario.

Mapas de emisión de contaminantes

Las emisiones anuales (Tabla 3) se repartieron espacialmente en la malla de la Figura 1, en base del mapa de intensidad de tráfico del año 2012 [22], que fue elaborado previamente a la actualización de este inventario de emisiones. Las emisiones se repartieron considerando además las longitudes de los ejes viales, y según su ubicación en las celdas de la malla de emisiones. Las Figuras 4, 5 y 6 presentan los mapas de emisión anual de CO, NO_x y MP_{2.5}, respectivamente.

Análisis de incertidumbre

El análisis de incertidumbre permite caracterizar la calidad de la información utilizada y los resultados de un inventario de emisiones [6]. Para el presente inventario se elaboró un análisis de la incertidumbre, aplicando un sistema cualitativo adaptado del método *Data Attribute*

Rating System (DARS), desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos [23]. Este enfoque ya ha sido aplicado en los inventarios anteriores [9–12], y califica tanto la información de los niveles de actividad y los factores de emisión, mediante una escala alfabética, que va desde la A (la información más fiable que se puede obtener, y por ende con la menor incertidumbre) hasta la E (la información menos fiable, y por ende con mayores niveles de incertidumbre). Las Tablas 6 y 7 indican la evaluación de incertidumbre para el presente inventario. Los niveles de actividad, relacionados con la distancia anual recorrida por los vehículos, fueron calificados como B. Los factores de emisión fueron calificados en categorías entre B, C y D. Las calificaciones globales de la incertidumbre de las emisiones fueron B y C.

Conclusiones

Se actualizó el inventario de emisiones atmosféricas del tráfico vehicular del DMQ, tomando el año 2012 como

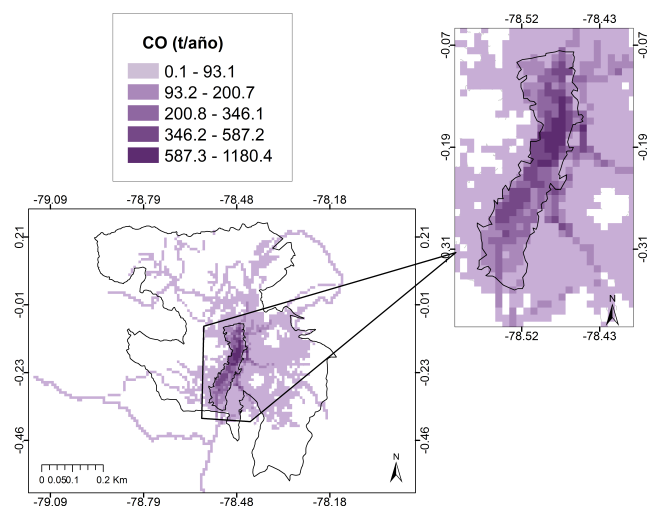


Figura 4: Distribución espacial de las emisiones de CO (t/año) en el Distrito Metropolitano de Quito producidas por el tráfico vehicular. Año base 2012.

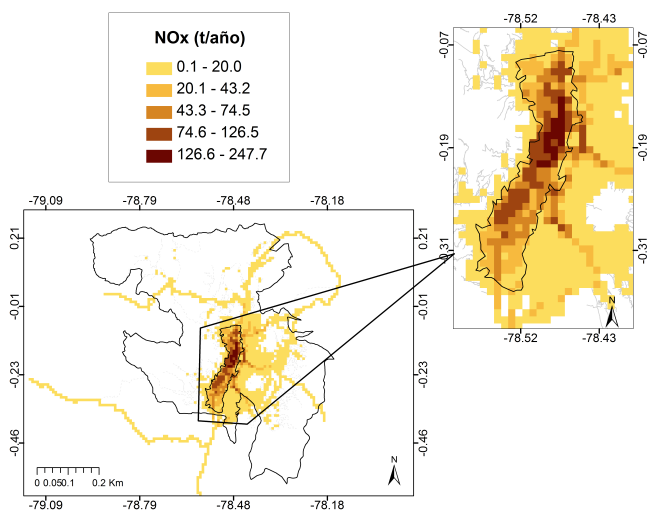


Figura 5: Distribución espacial de las emisiones de NO_x (t/año) en el Distrito Metropolitano de Quito producidas por el tráfico vehicular. Año base 2012.

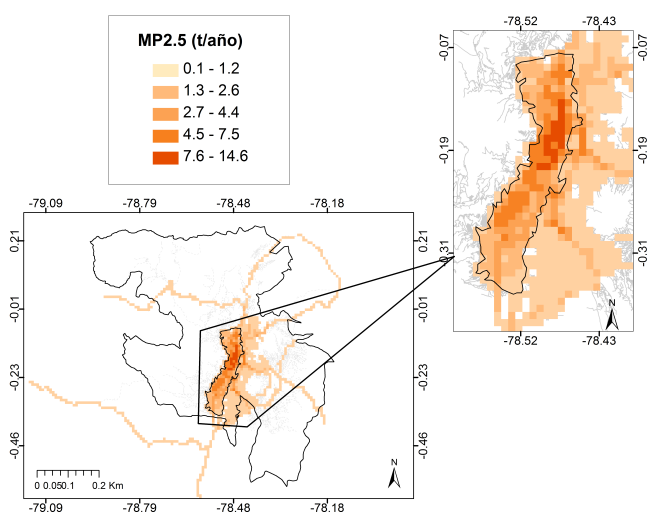


Figura 6: Distribución espacial de las emisiones de MP_{2.5} (t/año) en el Distrito Metropolitano de Quito producidas por el tráfico vehicular. Año base 2012.

		Inventario 2003 (t/año) [9]	Inventario 2005 (t/año) [10]	Inventario 2007 (t/año) [11]	Este Inventario (t/año) 2012	
Contaminantes	Primarios	NO _x	16 973	14 994	17 960	20 808
		CO	91 330	91 387	101 174	102 667
		COVNM	12 447	12 363	14 220	13 186
		MP ₁₀	1546	1867	859	1656.5
		MP _{2.5}	1093	1298	634	1211.2
		SO ₂	3173	2693	1218	451
GEI	CO ₂	1 696 803	1 927 388	2 198 932	2 572 892	
	CH ₄	749	745	655	681	
	N ₂ O	71	100	144	163	

Tabla 5: Comparación de resultados con anteriores inventarios de emisiones del tráfico vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito.

Tipo de vehículo	Actividad	NO _x			CO			COVNM			
		%	Factor de emisión	Estimación	%	Factor de emisión	Estimación	%	Factor de emisión	Estimación	
Livianos	Automóvil	B	23.6	C	B	57.1	C	B	54.9	D	C
	Camioneta	B	12.8	C	B	15.1	C	B	13.7	D	C
	Furgoneta	B	1.2	C	B	3.0	C	B	2.3	D	C
Híbridos	B	0.0	D	C	0.0	D	C	0.1	D	C	
Motos	B	0.5	D	C	6.8	D	C	5.5	D	C	
Pesados	Bus	B	27.9	D	C	6.7	D	C	10.3	D	C
	Carga	B	31.0	D	C	10.4	D	C	12.1	D	C
	Furgoneta	B	0.4	D	C	0.1	D	C	0.2	D	C
Microbús	B	2.6	D	C	0.7	D	C	0.9	D	C	
Total			100.0			100.0			100.0		

Tabla 6: Análisis de incertidumbre para las emisiones del tráfico vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito. Año base 2012. NO_x, CO y COVNM.

Tipo de vehículo	Actividad	MP ₁₀			MP _{2.5}			SO ₂			
		%	Factor de emisión	Estimación	%	Factor de emisión	Estimación	%	Factor de emisión	Estimación	
Livianos	Automóvil	B	17.6	D	C	12.8	D	C	60.9	B	B
	Camioneta	B	3.8	D	C	3.5	D	C	11.8	B	B
	Furgoneta	B	1.9	D	C	2.2	D	C	2.3	B	B
Híbridos	B	0.0	D	C	0.0	D	C	0.2	B	B	
Motos	B	0.8	D	C	0.6	D	C	3.0	B	B	
Pesados	Bus	B	20.2	D	C	21.6	D	C	5.4	B	B
	Carga	B	50.7	D	C	53.9	D	C	15.1	B	B
	Furgoneta	B	0.7	D	C	0.8	D	C	0.2	B	B
Microbús	B	4.3	D	C	4.6	D	C	1.2	B	B	
Total			100.0			100.0			100.0		

Tabla 7: Análisis de incertidumbre para las emisiones del tráfico vehicular en el Distrito Metropolitano de Quito. Año base 2012. MP₁₀, MP_{2.5} y SO₂.

base. La actualización se desarrolló utilizando la mejor información disponible sobre el consumo y contenido de azufre de los combustibles, la conformación del parque vehicular, información local de los registros de emisiones de la RTV y de la configuración espacial de la intensidad de tráfico. Por ello se puede afirmar que este inventario presenta menor incertidumbre con respecto a inventarios anteriores. La caracterización de los factores de emisión para este inventario, en base a los registros locales de la RTV, permitió una mejor asignación emisiones, en función del año de fabricación de los vehículos.

Se estimó que un 25 % de los vehículos que circularon en el DMQ durante el año 2012, no se sometieron al control de la RTV.

Del análisis de incertidumbre se concluye que para futuros inventarios, es prioritario mejorar la estimación de las emisiones de MP_{2.5}, MP₁₀ y NO_x de los vehículos pesados a diésel, en razón de que esta categoría emite el 76.3 %, 71.6 % y 59.3 % respectivamente, de estos contaminantes; y la calificación global de las respectivas emisiones es D. De la misma forma, se debe priorizar las

emisiones de COVNM de los automóviles livianos a gasolina, ya que esta categoría es responsable del 54.9 % de las emisiones de estos compuestos, y la calificación de la estimación es C.

Los mapas horarios que se obtengan a partir de los mapas anuales de este inventario pueden ser utilizados para estudios de transporte químico de los contaminantes del aire en el DMQ, por medio de modelos numéricos de última generación.

Agradecimientos

A la Secretaría de Movilidad del Municipio de Quito, por facilitar la base de datos de la RTV del año 2012.

Referencias

- [1] PNUMA. 2014. "UNEP Year Book 2014 emerging issues update". *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*.
- [2] OMS. 2014. "Calidad del aire exterior y salud. Nota descriptiva N°313". Organización Mundial de la Salud.

- <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>.
- [3] Webber, E. 1982. "Air Pollution. Assessment Methodology and Modeling". *Springer Science+Business Media*, 2: New York.
- [4] Van Aardenne, J. 2002. "Uncertainties in emission inventories", Wageniniger University - PhD thesis.
- [5] Pacyna, J.; Graedel, T. 1995. "Inventories: Status and Prospects". *Annual Review of Energy and Environment. Environment and Resources*, 20: 265-300.
- [6] US-EPA. 1997. "Introduction to the Emission Inventory Improvement Program". *Emission Inventory Improvement Program*: 122.
- [7] Ntziachristos, L.; Samaras, Z. 2014. "Exhaust emission from road transport". EMEP/EEA emission inventory guidebook 2013: 158.
- [8] Ntziachristos, L.; Samaras, Z. 2000. "COPERT II. Computer programme to calculate emissions from transport - Methodology and emission reactors//". Technical Report No 6. European Environmental Agency: 55.
- [9] CORPAIRE. 2006. "Inventario de Emisiones del Distrito Metropolitano de Quito. Año 2003". *Corporación Municipal para el Mejoramiento del Aire de Quito*: Quito.
- [10] CORPAIRE. 2008. "Inventario de Emisiones del Distrito Metropolitano de Quito. Año 2005". *Corporación Municipal para el Mejoramiento del Aire de Quito*: Quito.
- [11] CORPAIRE. 2009. "Inventario de Emisiones del Distrito Metropolitano de Quito". Año 2007. *Corporación Municipal para el Mejoramiento del Aire de Quito*: Quito.
- [12] Secretaría de Ambiente. 2014. "Informe Final Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio, DMQ 2011". *Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito*: Quito.
- [13] Ntziachristos, L.; Boulter, P. 2009. "Road, tyre and brake wear - Road surface wear". EMEP/EEA emission inventory guidebook 2009: 32.
- [14] Mellios, G.; Ntziachristos, L. 2013. "Gasoline Evaporation from vehicles". EMEP/EEA emission inventory guidebook 2013: 12.
- [15] IPCC. 2006. "Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero". *Panel Intergubernamental de Cambio Climático*.
- [16] ARCH. 2014. "Volumen de Venta de Combustibles en el año 2012, en la Provincia de Pichincha y sus Cantones". *Agencia de Regulación y Control Hidrocarbúrico*: Quito
- [17] Ocaña, L. 2014. "Cálculo de factores de emisión vehicular para el Distrito Metropolitano de Quito en base al análisis estadístico de los registros de la Revisión Técnica Vehicular del año 2012 y una ruta de campo establecida", Universidad San Francisco de Quito, Tesis de Ingeniería Ambiental. Quito: 97.
- [18] CICCEV; CAF; MAE. 2012. "Determinación de la línea base de factores de emisiones contaminantes en motores de combustión interna con el combustible de actual venta en el país". *Centro de Transferencia Tecnológica para la Capacitación e Investigación en Control de Emisiones Vehiculares*: Quito.
- [19] Secretaría de Ambiente. 2012. "Análisis de combustibles del Distrito Metropolitano de Quito: Campaña Septiembre 2012". Informe Técnico 2178-GCA-REC-12. Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito: 26.
- [20] Sher, E. 1998. "Handbook of Air Pollution from Internal Combustion Engines. Pollutant formation and Control". Academic Press, 663: San Diego.
- [21] De Nevers, N. 1998. "Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire". McGraw-Hill. 546: México.
- [22] Vega, D., Parra, R. 2014. "Caracterización de la intensidad media diaria y de los perfiles horarios del tráfico vehicular". *Avances en Ciencias e Ingenierías*, 6(2): C40-C45.
- [23] US-EPA. 1996. "Evaluating the Uncertainty of Emission Estimates - Final Report". *Emission inventory Improvement Program*: 55.