



CORRELACIONES ENTRE EMISIONES EN CALIENTE DE FUENTES MÓVILES EN RUTA Y PARÁMETROS SOCIOECONÓMICOS

ROBERTO M. CORVALÁN, MAURICIO OSSES,
CRISTIAN M. URRUTIA Y PATRICIO A. GONZÁLEZ

Departamento de Ingeniería Mecánica
Universidad de Chile
Casilla 2777 – Santiago – Chile
rocorval@cec.uchile.cl

Resumen: Se desarrolla una metodología del tipo macro-escala para estimar emisiones vehiculares en centros urbanos donde no existen modelos de transporte que entreguen la información necesaria para aplicar metodologías convencionales del tipo micro-escala, basadas en información relativa al nivel de actividad de las diferentes categorías vehiculares. Se obtienen, en primer término, correlaciones entre nivel de actividad y emisiones a partir de inventarios de emisiones desarrollados para 8 centros urbanos de Chile, donde se dispone de modelos de transporte que permiten aplicar los modelos de emisiones convencionales. Se obtienen luego funciones de correlación entre nivel de actividad y variables explicativas de tipo socio-económicas y demográficas, haciendo uso del método de mínimos cuadrados de Gauss-Newton. Se aplica la metodología a 17 centros urbanos obteniéndose inventarios de emisiones que permiten identificar las responsabilidades que sobre las emisiones de contaminantes atmosféricos tienen los diversos grupos de categorías vehiculares presentes en los parques vehiculares respectivos.

1. INTRODUCCIÓN

La magnitud de las emisiones de contaminantes atmosféricos asociadas al sector transporte en una zona urbana determinada, dependen, en términos generales, de variables tecnológicas y operacionales. Entre las primeras, se encuentran los tipos de categorías vehiculares presentes en el parque; edad, kilometraje y tecnología asociadas éstas; la existencia de sistemas de control de emisiones; el estado de mantención y las características de los combustibles, mencionando las más relevantes. Las variables operacionales, por su parte, corresponden a aquellas que caracterizan los flujos vehiculares en la red vial en estudio, entre las que se pueden mencionar, la densidad de flujo de cada categoría y sus distribuciones espaciales y temporales; los modos de conducción; velocidades medias de circulación y la capacidad de flujo de cada arco que constituye la red vial.

La mayoría de los modelos de cálculo de emisiones de fuentes móviles se basan en la estimación de factores de emisión y parámetros operacionales de flujo asociados a las categorías vehiculares presentes en la red vial de la región bajo análisis [1-5]. Los factores de emisión corresponden a las tasas unitarias de emisión obtenidas a través de ensayos experimentales en dinamómetro de chasis, utilizando ciclos de conducción representativos de la zona urbana en estudio, lo que conduce curvas que representan las emisiones en función de la velocidad para cada contaminante y categoría vehicular en estudio [6-7-8]. Los parámetros operacionales, consideran densidad de flujo en cada arco de la red vial, para distintos tipos de días de la semana y horas del día; velocidad media y nivel de actividad, expresado este último como los vehículos-kilómetro por año para cada categoría vehicular. Estos parámetros operacionales son normalmente obtenidos a través de estadísticas del parque automotriz, conteos de flujos en terreno y modelos de transporte [9-10].

En Chile se ha desarrollado un modelo de estimación de emisiones vehiculares del tipo bottom-up o micro-escala [11], que permite estimar emisiones con una alta desagregación espacio-temporal. Este

modelo se basa en la aplicación de factores de emisión obtenidos, en el caso de vehículos livianos a gasolina, a partir de ensayos realizados en el país, utilizando ciclos de conducción típicos de la Región Metropolitana de Santiago de Chile [12] y, en el caso del resto de las categorías vehiculares, obtenidos de la literatura [7]. Los parámetros operacionales asociados a la red vial han sido obtenidos de modelos de transporte [13-14] y campañas de conteo de flujos viales. Los modelos de transporte entregan densidades de flujo y velocidades medias por arco de la red vial y las campañas de conteos de flujos permiten obtener la composición de dichos flujos según categorías vehiculares. Esta metodología ha sido aplicada en ocho grandes centros urbanos del país, incluida la Región Metropolitana de Santiago, a través de lo cual ha sido posible elaborar los inventarios de emisiones de fuentes móviles que han constituido la base para el diseño de políticas de reducción de emisiones del sector [15-16]. Del análisis de los resultados que el modelo arroja para las ciudades estudiadas, ha sido posible detectar una muy alta correlación entre emisiones y nivel de actividad (veh-km/año), para todas las categorías vehiculares presentes en las flotas de las ciudades estudiadas, observación que coincide con los resultados obtenidos por otros autores [17]. Por otra parte de Zachariadis T. y Zamaras Z [3], es posible inferir una fuerte sensibilidad de la edad y parámetros tecnológicos, así como el deterioro de las emisiones a lo largo de la vida útil de los vehículos y la efectividad de los programas de inspección/mantenimiento, sobre las emisiones totales del sector transporte.

Bajo la hipótesis que las emisiones de contaminantes atmosféricos asociadas al sector transporte en zonas urbanas están correlacionadas con el nivel de actividad de las fuentes móviles y que este parámetro, a su vez está correlacionado con variables socio-económicas y demográficas, en la presente investigación se obtienen las correlaciones entre nivel de actividad y las variables socioeconómicas señaladas, a partir de las bases de datos disponibles en aquellas ciudades donde ha sido posible elaborar inventarios de emisiones con la metodología de micro-escala. Todo lo anterior con el objetivo fundamental de disponer de una metodología de cálculo aproximada y de macro-escala, para estimar emisiones en zonas urbanas donde no se cuenta con modelos de transporte o información relativa a parámetros operacionales ligados a los flujos viales.

2. METODOLOGÍA GENERAL

A partir de los inventarios de emisiones desarrollados en siete de las ocho zonas urbanas señaladas anteriormente, se obtienen correlaciones entre emisiones anuales de contaminantes atmosféricos y nivel de actividad, expresado este último en vehículos – kilómetro año. En este análisis se ha descartado la Región Metropolitana, ya que la información de esta zona puede llegar a introducir elevadas distorsiones en las correlaciones debido al notable mayor parque vehicular y nivel de actividad asociado a éste, en comparación con el promedio del resto de las ciudades del país.

Se busca luego, correlaciones entre variables de influencia y el parámetro conocido que representa el nivel de actividad, asumiendo que éstas son no lineales. Se utiliza para estos fines el método de Gauss-Newton para obtener regresiones mediante mínimos cuadrados para funciones no lineales del tipo:

$$y_i = f_i(\chi, \beta) \quad (1)$$

donde y_p es el vector respuesta u objetivo; χ , representa la matriz de variables independientes y β , son coeficientes por determinar. El método requiere de un valor inicial β^0 para comenzar las iteraciones. En cada iteración β^k se realiza una aproximación de primer orden de la función i-ésima de f_p , en torno al punto de iteración β^k , obteniéndose la siguiente ecuación:

$$f_i(\beta) \approx f_{lineal,i}(\beta) = f_i(\beta^k) + \nabla f_i(\beta^k)^T (\beta - \beta^k) \quad (2)$$

Luego se minimiza la suma de los residuos linealizados al cuadrado, obteniéndose el siguiente punto de iteración β^{k+1} , (ecuación 3), finalizando las iteraciones cuando la suma de estos residuos es inferior a una tolerancia predefinida ε .

$$\min_{\beta} = \sum_i f_{lineal,i}(\beta)^2 \quad (3)$$

La aplicación de esta metodología al problema particular en estudio, conduce al planteamiento de la siguiente expresión específica:

$$Y = \sum_i^n c_i \chi_i^{\beta_i} \quad (4)$$

donde Y , representa el vector que contiene los valores de nivel de actividad de una categoría vehicular determinada; χ_i , la matriz de variables independientes asociadas a la categoría vehicular en estudio y c_i, β_i , son coeficientes de ajuste.

3. CORRELACIONES ENTRE EMISIONES Y NIVEL DE ACTIVIDAD

Se analizaron los datos de emisiones de monóxido de carbono, CO; hidrocarburos totales, HCT; óxidos de nitrógeno, NOx y material particulado respirable, PM10, correspondientes a la flota de fuentes móviles en ruta de siete zonas urbanas de Chile. En el análisis se definieron seis grupos de categorías vehiculares que corresponden a vehículos de carga; vehículos de transporte público; vehículos livianos catalíticos de pasajeros; vehículos livianos no catalíticos de pasajeros, vehículos comerciales catalíticos y vehículos comerciales no catalíticos. En la Fig. 1 se muestra gráficamente el análisis de las emisiones en función del nivel de actividad total, considerando todas las categorías vehiculares, donde cada punto representa una ciudad. En esta figura se aprecia una gran linealidad de las emisiones con respecto del nivel de actividad. En la Tabla 1, se indican las expresiones lineales obtenidas para las emisiones anuales de los contaminantes considerados, en función del nivel de actividad x , de cada grupo de categorías vehiculares antes definidas.

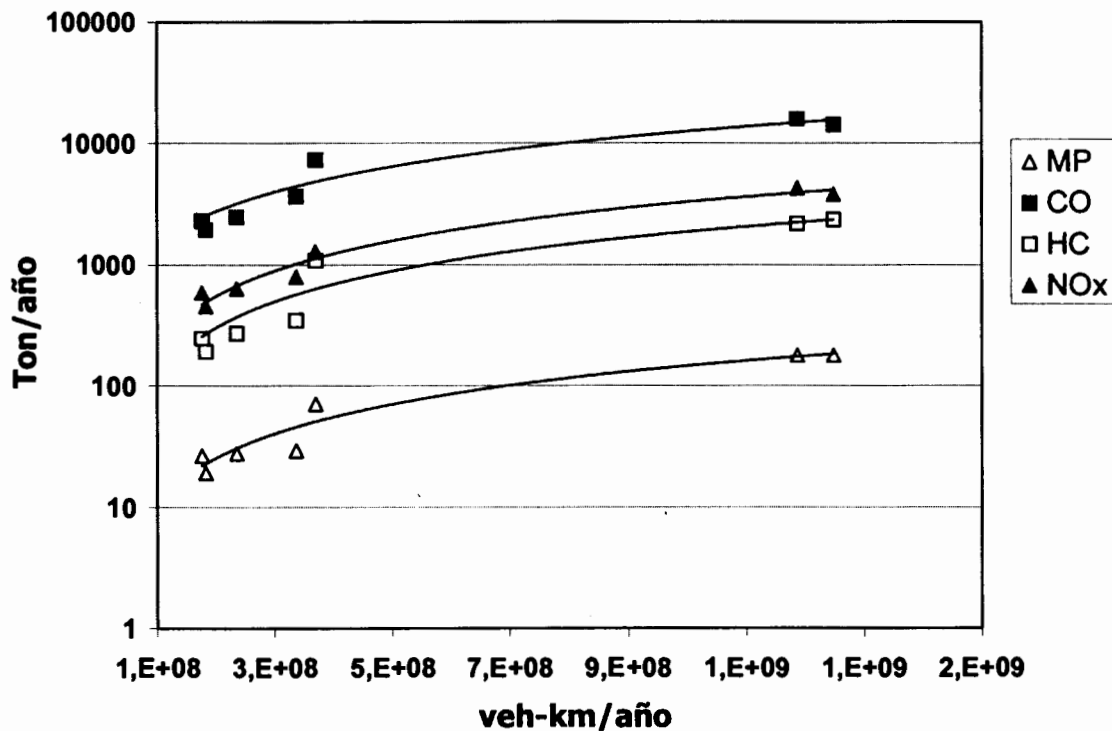


Fig. 1. Tendencias de emisiones en función del nivel de actividad total.

Tabla 1. Correlaciones entre emisiones y nivel de actividad.

Grupo modal	Contaminante	Emisiones (ton/año) en función del nivel de actividad "x" (veh-km/año)
Vehículos de Carga (camiones y comerciales diesel)	CO	$0.00000180793x + 8.004218426$
	HCT	$0.0000009014x + 5.2259716395$
	NO _x	$0.000005899x - 4.024829660$
	MP	$0.0000004736x + 0.6025591519$
Transporte Público (buses y taxis)	CO	$0.000011611x + 119.109629479$
	HCT	$0.0000011245x + 2.8304606921$
	NO _x	$0.00000496248x - 17.33700302$
	MP	$0.00000025006x - 1.336617873$
Livianos pasajeros Catalíticos	CO	$0.0000012653x + 0.3074161066$
	HCT	$0.0000001177x + 0.0095726900$
	NO _x	$0.00000042147x - 1.218863211$
Livianos Pasajeros No Catalíticos y Motocicletas	CO	$0.0000250749x - 120.97454481$
	HCT	$0.0000016592x - 0.2512135884$
	NO _x	$0.0000022648x - 7.4446732174$
Livianos Comerciales Catalíticos	CO	$0.0000015976x - 0.8828605372$
	HCT	$0.0000001045x + 0.0951588132$
	NO _x	$0.0000003775x + 0.0741079235$
Livianos Comerciales No Catalíticos	CO	$0.0000123284x + 162.32121493$
	HCT	$0.0000010700x + 35.222112974$
	NO _x	$0.0000018646x - 3.3071166460$

4. CORRELACIONES ENTRE NIVEL DE ACTIVIDAD Y VARIABLES SOCIO-ECONÓMICAS

A partir de un análisis preliminar de los datos disponibles para las siete ciudades que cuentan con inventarios de emisiones vehiculares, se seleccionaron las variables de influencia a ser incorporadas en la metodología. Este mismo análisis permitió determinar que el conjunto de variables explicativas seleccionadas para obtener el nivel de actividad no es el mismo en todos los grupos de categorías vehiculares definidos. Esto significa que el nivel de actividad de cada tipo de categoría vehicular puede ser mejor explicado con distintas variables socio-económicas, siendo solo un grupo de éstas las que pueden ser utilizadas para todas las categorías. En la Tabla 2 se presenta un resumen de variables explicativas que presentan mejor correlación individual con el nivel de actividad de los grupos de categorías vehiculares en estudio. Para efectuar el análisis los grupos de categorías vehiculares fueron desagregados en las categorías que se indican en la Tabla 3, las que toman en consideración la tecnología a través de la norma de emisión que cada una de éstas cumple.

Tabla 2. Variables explicativas seleccionadas para cada grupo de categorías vehiculares.

GRUPO DE CATEGORÍAS VEHICULARES	VARIABLE SELECCIONADA	UNIDADES
TRANSPORTE PÚBLICO	Cantidad de vehículos	unidades
	Consumo de combustible	m ³ /año
	Población	habitantes
	Producto Interno Bruto	MN\$(*)
	Ingreso familiar promedio	MN\$(*)
TRANSPORTE DE CARGA	Cantidad de vehículos	unidades
	Cantidad de vehículos	unidades
	Consumo de combustible	m ³ /año
	Población	habitantes
	Producto Interno Bruto	MN\$(*)
	Kilómetros de caminos construidos	km
	Superficie regional	km ²
VEHÍCULOS COMERCIALES LIVIANOS Y MEDIANOS	Cantidad de vehículos	unidades
	Consumo de combustible	m ³ /año
	Población	habitantes
	Producto Interno Bruto	MN\$(*)
	Ingreso familiar promedio	MN\$(*)
	Kilómetros de caminos construidos	km
VEHÍCULOS DE PASAJEROS LIVIANOS Y MEDIANOS	Cantidad de vehículos	unidades
	Consumo de combustible	m ³ /año
	Población	habitantes
	Ingreso familiar promedio	MN\$(*)
	Kilómetros de caminos construidos	km

MNS: miles de pesos chilenos (1 US\$ = 650 \$)

Tabla 3. Categorías vehiculares consideradas

GRUPO	CATEGORIAS VEHICULARES	AÑO-MODELO (Norma de emisión)
TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS	Buses tipo 1	Anterior a 1993 (sin norma de emisión)
	Buses tipo 2	1993-1996 (EPA91 ó EURO1)
	Buses tipo 3	Posterior 1996 (EPA94 ó EURO2)
	Taxis no Catalíticos	Anterior 1992 (sin norma de emisión)
	Taxis Catalíticos	Posterior 1992 (EPA 94)
CAMIONES	Camiones tipo 1	Anterior a 1993 (sin norma de emisión)
	Camiones tipo 2	Posterior 1993 (EPA 91)
VEHÍCULOS COMERCIALES	No catalíticos	Anterior 1992 (sin norma de emisión)
	Catalíticos	Posterior 1992 (EPA 94)
	Comercial diesel	Todos
VEHÍCULOS PARTICULARES DE PASAJEROS	Livianos No Catalíticos	Anterior 1992 (sin norma de emisión)
	Livianos Catalíticos	Posterior 1992 (EPA 94)
	Motocicletas	Todos

A modo de ejemplo, en las Figs. 2 a 7, se representan las correlaciones individuales obtenidas para diversas variables de tipos socio-económicas y demográficas, para vehículos de transporte público y vehículos livianos catalíticos, cuyos coeficientes de correlación R^2 , justifican la selección de éstas como variables explicativas del nivel de actividad de cada grupo de categoría vehicular.

Una vez seleccionadas las variables explicativas del nivel de actividad para cada categoría vehicular en estudio, se efectuó el análisis multi-variable a través de la función representada por la expresión (1), obteniéndose los coeficientes de ajustes c y β , que se muestran en la Tabla 4.

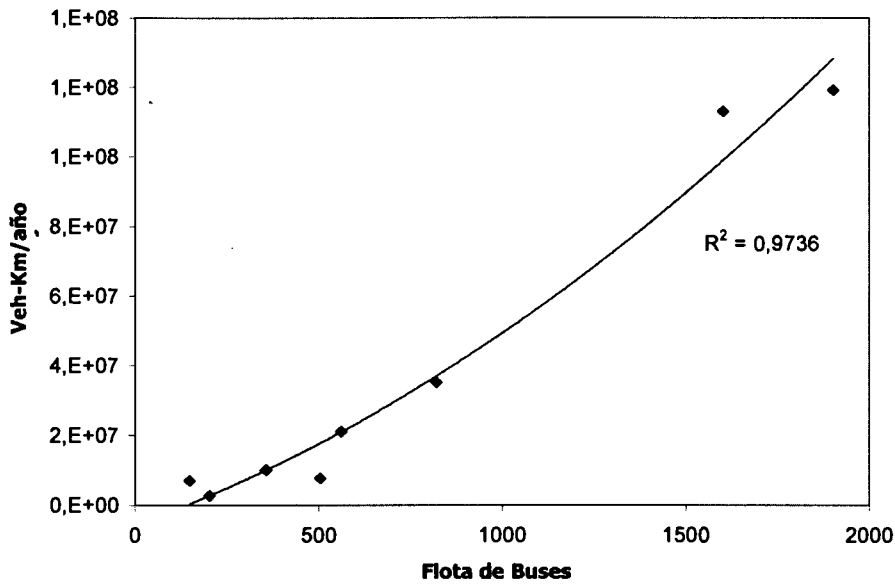


Fig. 2. Buses Tipo 1: Actividad v/s cantidad de vehículos.

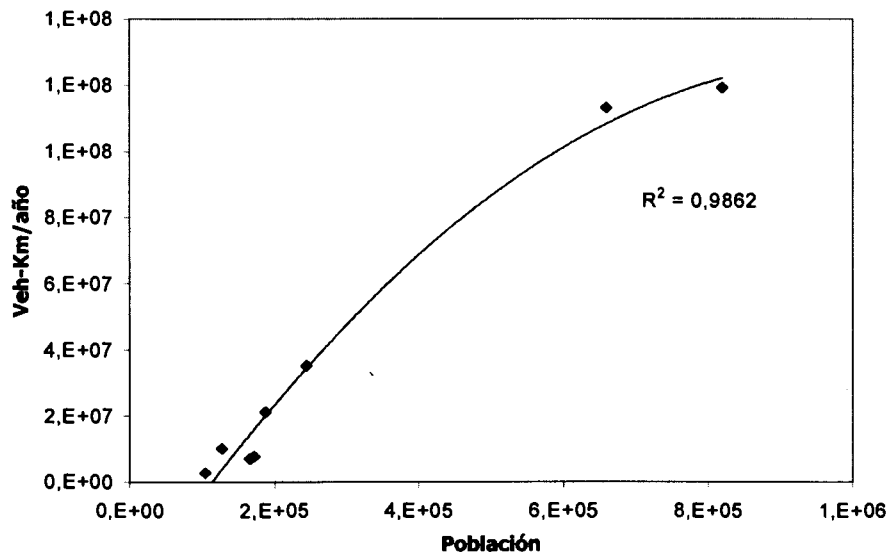


Fig. 3. Buses Tipo 1: Actividad v/s población.

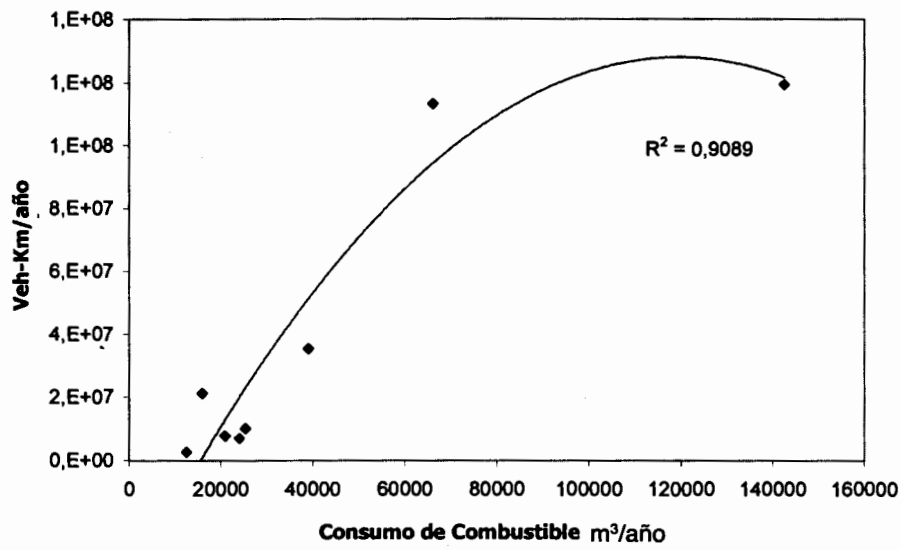


Fig. 4. Buses Tipo 1: Actividad v/s consumo anual de combustible.

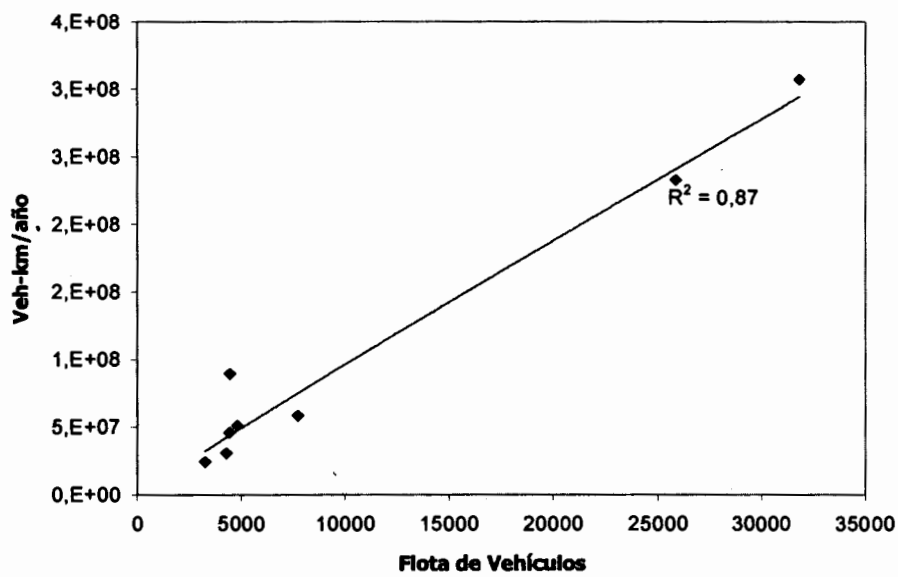


Fig. 5. Vehículos livianos catalíticos: Actividad v/s cantidad de vehículos.

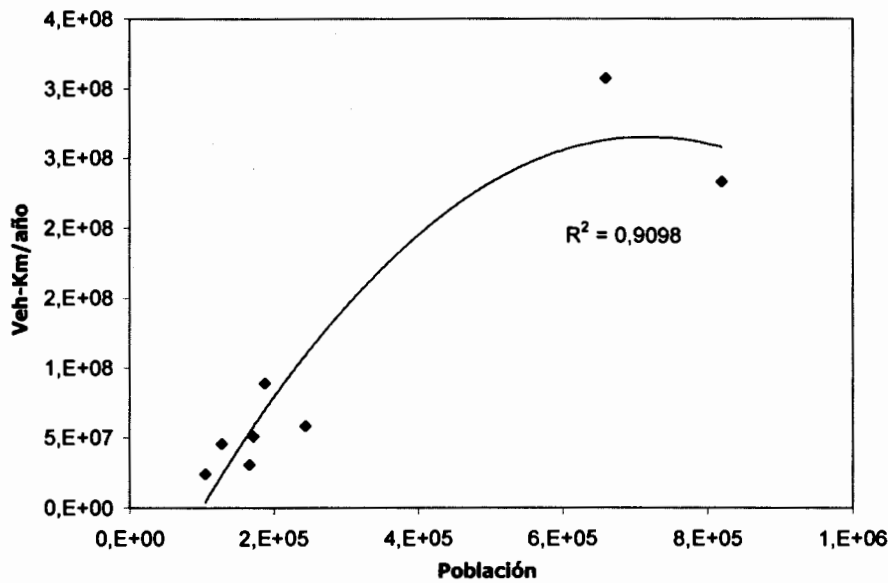


Fig. 6. Vehículos livianos catalíticos: Actividad v/s Población

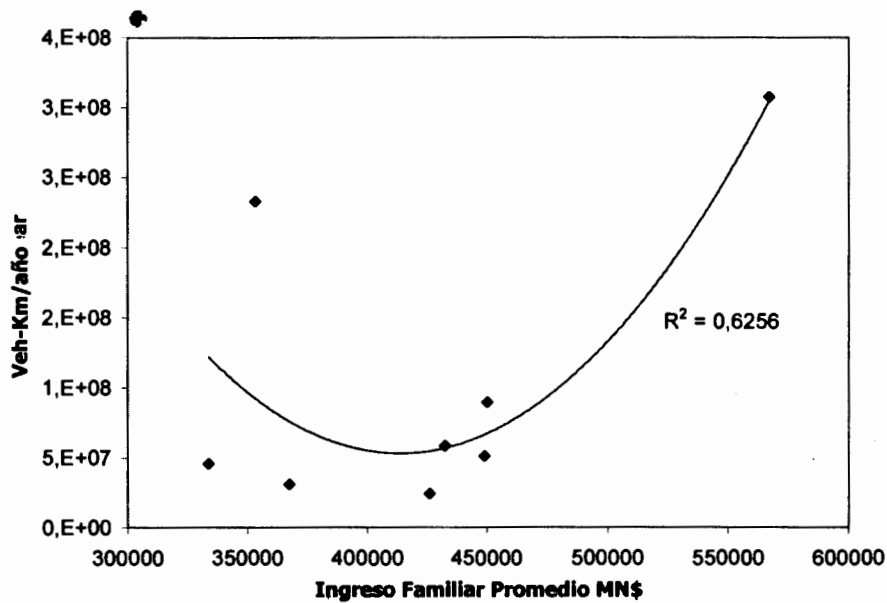


Fig. 7. Vehículos livianos catalíticos: Actividad v/s ingreso familiar anual promedio.

5. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

La metodología desarrollada fue aplicada a 17 centros urbanos, distribuidos a los largo del país. En la Figura 8 se aprecia la distribución geográfica de los 24 centros urbanos considerados en este estudio y los resultados que la metodología arroja para el nivel de actividad de cada uno de éstos, desagregados por grupos de categorías vehiculares. En la figura se diferencian las ciudades cuyo nivel de actividad ha sido calculado a partir de la metodología desarrollada en esta investigación, de aquellas cuya información fue utilizada para el desarrollo de ésta (ciudades base).

Tabla 4. Coeficientes c y β para la expresión (1)

CATEGORÍA	Coefficiente	Km Camino	N° Vehículos	Consumo Combustible	Población	PIB (*)Regional	Ingreso Familiar Promedio	Superficie Regional
BUSES TIPO 1	c_i	-	0,3987458	0,2508800	2,4726168	-	-0,1602294	-
	β_i	-	1,4082220	0,1049156	1,6235996	-	-0,5245965	-
BUSES TIPO 2	c_i	-	2,0639804	-0,5820782	0,2828456	-	-0,5805458	-
	β_i	-	1,1482420	1,9500242	1,1473887	-	0,0057353	-
BUSES TIPO 3	c_i	-	0,5512295	1,0899765	0,3082500	-	-0,0281529	-
	β_i	-	1,9308019	2,4950940	2,1046149	-	0,8149887	-
TAXIS	c_i	-	1,3056856	0,6472115	1,7515447	-	0,0559180	-
	β_i	-	3,4456977	5,5906613	2,4255015	-	6,6025490	-
CATALÍTICOS	c_i	-	0,0647105	0,4334450	2,1833672	-	0,7444804	-
	β_i	-	0,1548536	0,2263374	8,4092269	-	0,2810518	-
TAXIS NO CATALÍTICOS	c_i	-0,0149924	0,0682545	0,2044035	-	0,0539004	0,0000000	-0,0026695
	β_i	0,7470476	0,5334360	2,0283610	-	1,5915681	0,0000000	-0,4431909
CAMIÓN TIPO 1	c_i	-0,0057060	1,0837510	0,6186649	-	0,4863296	0,0000000	0,0476272
	β_i	0,3952583	4,6021116	1,5624688	-	6,5754192	0,0000000	2,2454333
CAMIÓN TIPO 2	c_i	-0,0120755	0,2854513	0,2197163	-0,0180749	-	0,0106660	-
	β_i	1,0148244	0,9957755	2,5812982	-0,1648786	-	-0,6054606	-
LIVIANOS CATALÍTICOS	c_i	-0,1237342	0,0917200	0,5280486	-0,3617444	-	0,0219732	-
	β_i	0,1407497	5,9986941	1,2643309	5,9147024	-	0,5937917	-
LIVIANOS NO CATALÍTICOS	c_i	-0,0078896	7,6511000	0,9113509	4,3022104	1,9931000	0,0006362	-
	β_i	1,2363532	2,8351684	1,7288416	6,4396055	5,8008563	10,6374115	-
COMERCIAL CATALÍTICO	c_i	-0,0011687	0,1624735	0,2971554	0,0603170	0,0498690	0,0431865	-
	β_i	-1,2950568	0,7944950	1,3976681	3,9241611	5,3312245	4,8698193	-
COMERCIAL NO DIESEL	c_i	-0,0011687	0,1624735	0,2971554	0,0603170	0,0498690	0,0431865	-
	β_i	-1,3930970	3,6989553	1,9342328	4,0427759	5,3555876	3,0208301	-
MOTOCICLETAS	c_i	-0,0144537	6,4537059	0,4638512	-3,0897701	0,0000000	-0,3935168	-
	β_i	5,9198815	1,0190298	0,9254871	1,0124034	0,0000000	0,9571222	-

(*): Producto Interno Bruto

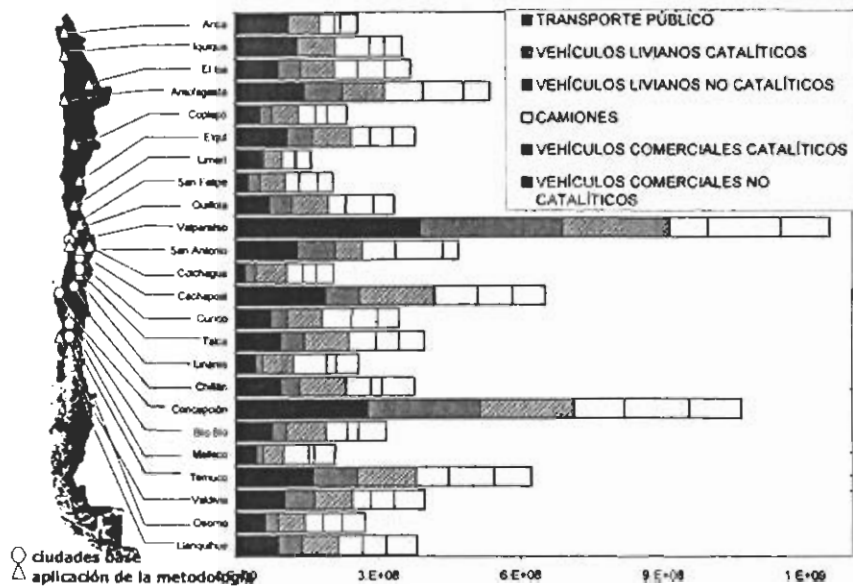


Fig. 8. Localización geográfica y nivel de actividad estimado en las 24 de ciudades estudiadas

En la Fig. 9 se representan las emisiones de material particulado estimadas para el grupo de categorías correspondientes a transporte público, en los 24 centros urbanos considerados y en las Figs. 10 a 12, se muestran las emisiones de CO; HC y NOx, respectivamente, desagregadas en los 6 grupos de categorías vehiculares definidos. Se aprecian dos máximos relativos, tanto en los resultados de nivel de actividad como de emisiones totales anuales de todos los contaminantes considerados, que corresponden a los dos centros urbanos que le siguen en tamaño, número de habitantes y parque vehicular, a la Región Metropolitana de Santiago. Se aprecia, por otra parte, que las mayores responsabilidades en las emisiones totales de cada contaminante recaen, en todas las localidades estudiadas en, transporte público, vehículos livianos de pasajeros no catalíticos y vehículos comerciales no catalíticos.

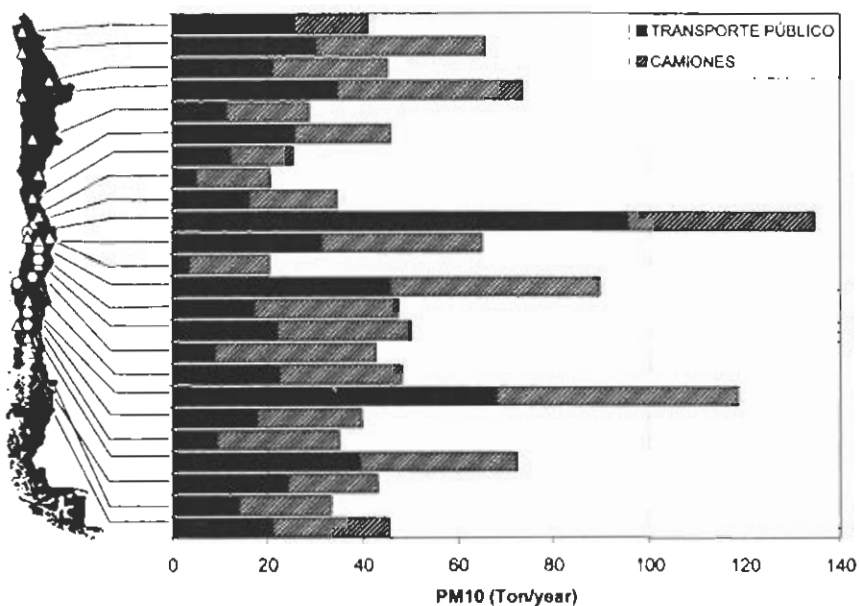


Fig. 9. Emisiones de MP estimadas para Transporte Público

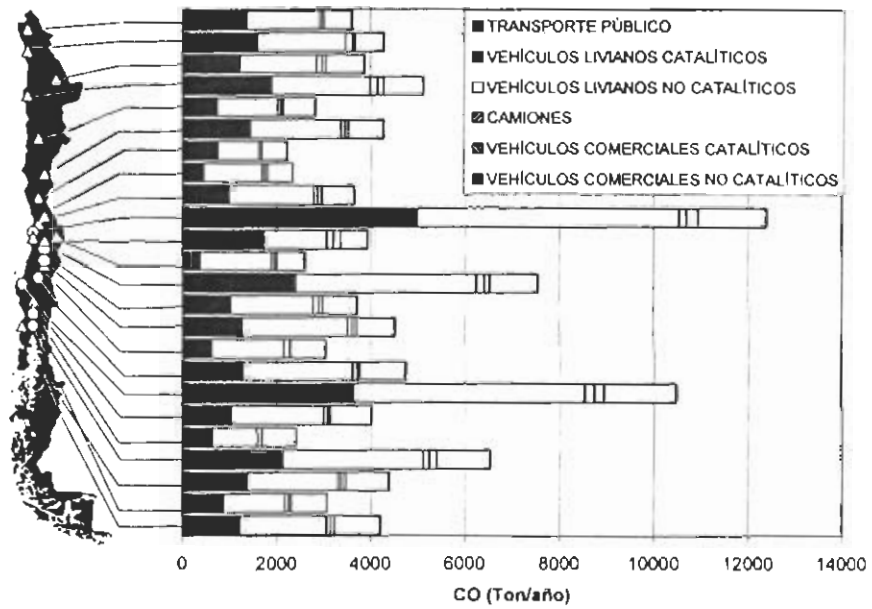


Fig. 10. Emisiones de CO estimadas para los grupos de categorías vehiculares consideradas

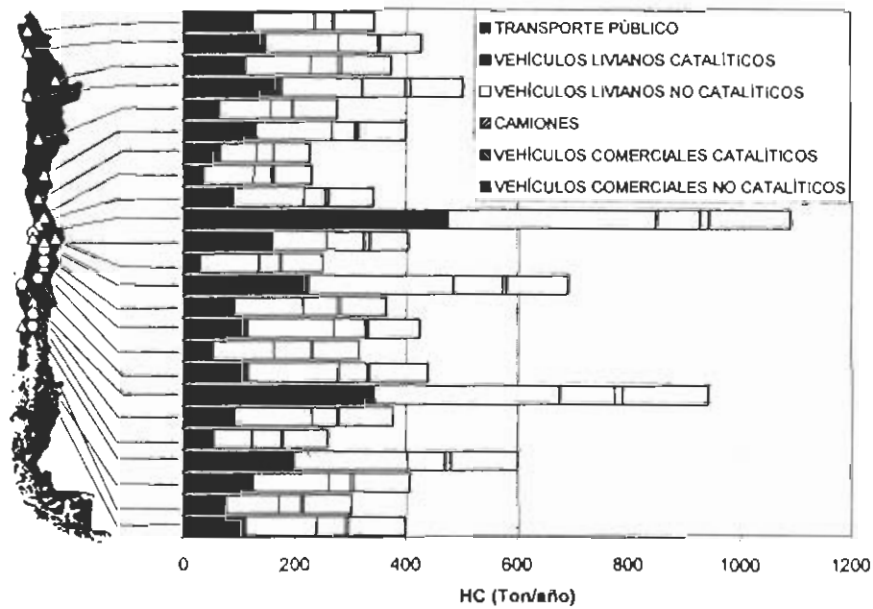


Fig. 11. Emisiones de HC estimadas para los grupos de categorías vehiculares consideradas

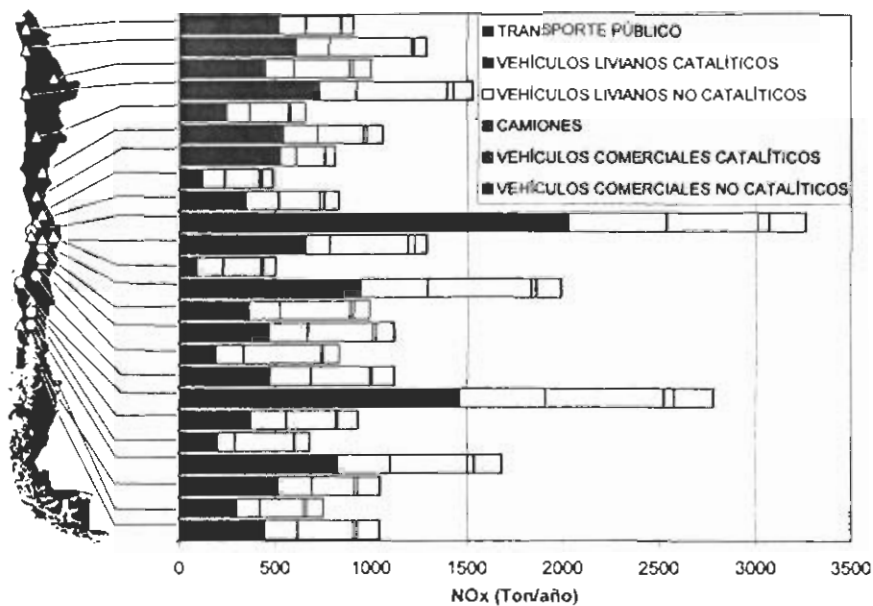


Fig. 12. Emisiones de NOx estimadas para los grupos de categorías vehiculares consideradas

6. DISCUSIÓN

La metodología desarrollada, sin lugar a dudas constituye una herramienta útil para la identificación de las responsabilidades que sobre las emisiones totales del sector transporte tienen las diversas categorías vehiculares en los distintos centros urbanos. Por otra parte, esta metodología hace uso sólo de información generalmente disponible relativa a variables socio-económicas y demográficas, sin necesidad de disponer de modelos de transportes que entreguen los parámetros necesarios para la metodología convencional de estimación de emisiones vehiculares.

Esta herramienta ha permitido extender la cobertura geográfica de los actuales inventarios de emisiones vehiculares de Chile de 8 centros urbanos, incluida la Región Metropolitana de Santiago, a 24 localidades, lo que pone a disposición de la autoridad ambiental, información suficiente para el diseño de estrategias y políticas de reducción de emisiones asociadas al sector transporte.

En las funciones de correlaciones obtenidas, tanto aquellas entre emisiones y nivel de actividad como entre nivel de actividad y variables explicativas de carácter socio-económicas y demográficas, se consideraron los datos correspondientes a todos aquellos centros urbanos en los que se han elaborado inventarios de emisiones haciendo uso de modelos de transporte, a excepción de la Región Metropolitana de Santiago. La no consideración de esta localidad se fundamenta en lo singular de ésta respecto a otros centros urbanos del país, dado que allí se concentra casi el 40% de la población total del país, ocupando tan solo el 2.1% de los 15.500 km² que constituye la superficie total del territorio nacional, con un parque vehicular que alcanza casi al 50% del total del país. Estas características hicieron aconsejable que esta ciudad no fuese considerada en el proceso de obtención de correlaciones dado que representaría una distorsión en las tendencias normales del resto de los centros urbanos, utilizándose finalmente 7 de las ocho localidades en las que se cuenta con información. No obstante lo anterior, los datos correspondientes a la Región Metropolitana fueron utilizados para normalizar las variables explicativas y nivel de actividad, con el objeto de reducir las diferencias en los órdenes de magnitud de éstas con lo que se consiguen mejores correlaciones.

REFERENCIAS

- [1] Sharma P., Khare M. (2001). «Modelling of Vehicular Exhaust – A Review». *Transportation Research Part D* **6**, 179-198.
- [2] Reynolds A.W., Broderick B.M. (2000). «Development of an Emission Inventory Model for Mobile Sources». *Transportation Research Part D* **5**, 77-101.
- [3] Zachariadis T., Zamaras Z. (1999). «An Integrated Modeling System for Estimation of Motor Vehicle Emissions». *Journal of the Air & Waste Management Association* **49**, 1010-1026.
- [4] Goyal P., Rama Krishna T.V. (1998). «Various Methods of Emission Estimation of Vehicular Traffic in Delhi». *Transportation Research part D* **5**, 309-317.
- [5] Sturm P.J., Almbauer R., Sudy C., Pucher K. (1997). «Application of Coputational Methods for the Determination of Traffic Emissions». *Journal of the Air & Waste Management Association* **47**, 1204-1210.
- [6] De Haan P., Keller M. (1999). «Emission Factors for Passenger Cars: Application to Instantaneous Emission Modeling». *8th International Symposium of Transport and Air Pollution, Graz, Austria*.
- [7] Ntziachristos L., Samaras Z., Eggleston S., Gorißen N., Hassel D. Hickman J., Joumard R., Rijkeboer R., Zierock H. (1999). «Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport, COPERT III. Methodology and Emission Factors». *European Environmental Agency. European Topic Centre on Air Emission*.
- [8] US EPA (1991). «Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Vol II Mobile Sources». *AP-42, Suppl. A, U.S. Environmental Protection Agency*.
- [9] Kim D., Kim J. (2000). «Development of a Speciated, Hourly and Gridded Air Pollutants Emission Modeling System. A case Study on the Precursors of Photochemical Smog in Seoul Metropolitan Area, Korea». *Journal of the Air & Waste Management Association* **50**, 340-347.
- [10] Cardelino C. (1998). «Daily Variability of Motor Vehicle Emissions Derived from Traffic Counter Data». *Journal of the Air & Waste Management Association* **48**, 637-645.
- [11] Corvalán R.M.; Osses M. (2002). «Hot Emission Model for Mobile Sources: Application to the Metropolitan Region of the City of Santiago, Chile». *Journal of the Air & Waste Management Association* **52**, 167-174.
- [12] Corvalán R.M., Urrutia C.M. (2000). «Emission Factors for Gasoline Light-Duty Vehicles: Experimental Program in Santiago, Chile». *Journal of the Air & Waste Management Association* **50**, 2102-2111.
- [13] De Cea J., Fernández J.E. (1993). «Transit Assignment Congested Public System. An Equilibrium Model». *Transport Sci.*, **27**(2) 133-147.
- [14] Fernández J.E., De Cea J. (1990). «An Application of Equilibrium Modeling to Urban Transport Planning in Developing Countries. The Case of Santiago of Chile». *Operational Research* **90**, Pergamon, Elmsford, NY.
- [15] CENMA (2000). «Mejoramiento del Inventario de Emisiones de la Región Metropolitana». *Informe Final. Centro Nacional del Medio Ambiente, CENMA, para la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA. <http://www.conama.cl/rm/568/article-2584.html>*.
- [16] CENMA (2002). «2ª Fase Estudio de la Calidad de Aire en Regiones Urbano Industriales». *Informe Final. Centro Nacional del Medio Ambiente, CENMA, para la Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA. <http://www.conama.cl/portal/12557article-28198.html>*.
- [17] Lyons T.J., Kenworthy J.R., Moy C., Dos Santos F. (2003). «An international Urban Air Pollution Model for the Transportation Sector». *Transportation Research Part D*, **8**, 159167.

CORRELATION BETWEEN HOT EMISSION OF ON ROAD MOBILE SOURCES AND SOCIAL-ECONOMICS PARAMETERS

Abstract: A macro-scale methodology to estimate the emission of vehicles in urban centers is developed and introduced in this article. This approach is based on transport activity level for different vehicle categories, for those cases where there are no transport models so as to provide the information required to apply conventional micro-scale methodology. The correlation between activity level and emission is obtained, using data from emission inventories developed for seven urban centers in Chile. For this country, results of transport models were available and the application of conventional micro-scale emission methodology was applicable. Also, correlation functions between activity level and social-economics and demographics explicative variables were worked out, employing a least square type Gauss-Newton method. The macro-scale methodology was applied to 17 urban localities, which allowed us to obtain mobile sources emission inventories, by identifying the responsibilities on pollutant emissions of the different vehicle categories due to vehicles fleets.