
**ESTIMACION DE EMISIONES DE CONTAMINANTES ATMOSFERICOS DESDE
FUENTES MOVILES EN ZONAS URBANAS DE LAS REGIONES METROPOLITANA;
V; VI; VIII Y IX**

Roberto M. Corvalán, Mauricio Osses
Departamento de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas
Universidad de Chile
Casilla 2777 – Santiago de Chile
e-mail: rocorval@cec.uchile.cl, maosses@cec.uchile.cl

Cristian M. Urrutia
Comisión Nacional del Medio Ambiente
Dirección Regional Bío Bío - VIII Región
Lincoyán 145 – Concepción Chile
e-mail: currutia.8@conama.cl

RESUMEN

El diseño de estrategias y políticas de gestión ambiental pública, en lo relativo al sector transporte, requiere ser sustentado a través de inventarios de emisiones de contaminantes atmosféricos, con la mayor precisión posible, de manera de disponer de diagnósticos previos al diseño de tales políticas.

Para la elaboración de los inventarios de emisiones de fuentes móviles, se ha desarrollado en el país una metodología basada en la definición de tasas unitarias de emisión y la caracterización del nivel de actividad. Las tasas unitarias de emisión, denominados factores de emisión, son definidas para cada categoría vehicular presente en el parque vehicular de la zona en estudio y son función de la velocidad media de circulación y de variables tecnológicas. El nivel de actividad, por su parte, queda definido por la densidad de flujo y velocidades media y su distribución espacio-temporal, para cada categoría vehicular.

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos luego de aplicar la metodología antes señalada, en cinco grandes centros urbanos del país. Los centros urbanos considerados son: Región Metropolitana; Gran Valparaíso en la V Región; Rancagua en la VI Región; Gran Concepción en la VIII Región y la conurbanación Temuco – Padre Las Casas en la IX Región. Los resultados permiten identificar las responsabilidades de cada categoría vehicular sobre las emisiones totales en cada zona en estudio, además de detectar una muy buena correlación entre emisiones y nivel de actividad, lo que pone a disposición una metodología simplificada para estimar emisiones a nivel macro, para cualquier centro urbano del país.

1. INTRODUCCION

En la mayoría de las grandes ciudades industrializadas, el sector transporte es uno de los agentes emisores de contaminantes atmosféricos importantes dentro del sector productivo. Este sector está constituido por parques vehiculares compuestos por un conjunto de vehículos de todos los modelos y años, con diferentes tecnologías para el control de emisiones, características del combustible utilizado, nivel de mantenimiento, formas características de conducción y antigüedad, entre otros aspectos importantes a considerar.

En general las emisiones vehiculares pueden ser clasificadas en los siguientes tres tipos: emisiones por el tubo de escape, emisiones evaporativas y emisiones asociadas al levantamiento de polvo de calles debido a la circulación de los vehículos (Ntziachristos L. et al, 1999; Environmental Protection Agency, 1991). Las emisiones por el tubo de escape, a su vez, se clasifican en emisiones en caliente y partidas en frío. Las emisiones en caliente corresponden a aquellas que se verifican cuando el motor del vehículo tiene una temperatura normal de operación, mientras que las emisiones asociadas a partidas en frío, dan cuenta de las mayores emisiones que se verifican cuando el motor tiene una temperatura menor a la normal de operación.

Las emisiones por el tubo de escape tienen su origen en el proceso de combustión. Cuando éste corresponde a un proceso ideal y completo, los productos son, esencialmente, dióxido de carbono, vapor de agua y nitrógeno. En los motores reales el proceso de combustión no es completo ni ideal y se generan nuevos productos tales como, monóxido de carbono, hidrocarburos sin quemar, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre y material particulado, entre otros.

Las distintas estrategias y políticas de la gestión ambiental pública, en lo relativo a las emisiones producidas por el sector transporte, ha requerido disponer de herramientas para evaluar, con la mayor precisión posible, las emisiones provenientes de las distintas categorías vehiculares, en condiciones normales de operación en los flujos viales de las zonas urbanas. En este contexto, el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Chile en conjunto con el Centro Nacional del Medio Ambiente de la misma casa de estudio, desarrollaron una metodología para el cálculo de emisiones vehiculares, a partir de información vial generada por modelos estratégicos de transporte, la que debe ser adaptada y complementada para lograr el nivel de desagregación espacial y temporal requerida por la metodología. Esta metodología, que se traduce en un modelo de estimación de emisiones vehiculares denominado MODEM, permite obtener emisiones de contaminantes específicos asociados a distintas categorías vehiculares, generando resultados en base horaria o anual, a escala de arco vial (U. de Chile, 2001).

La metodología antes señalada ha sido utilizada para obtener los inventarios de emisiones vehiculares en la Región Metropolitana, así como también en zonas urbanas de la Regiones V, VI, VIII y IX (CENMA, 2000; CENMA, 2002), cuyos resultados se presentan y discuten en este trabajo. Los resultados obtenidos han constituido la base para elaborar los diagnósticos que sustentan la definición de políticas en el ámbito de la gestión ambiental pública que el Estado ha implementado en las regiones bajo análisis.

2. METODOLOGIA

2.1. Generalidades

La metodología de cálculo de emisiones vehiculares aquí utilizada, se basa en la determinación de factores de emisión y nivel de actividad característicos de las distintas categorías vehiculares (Corvalán, 2002). Los factores de emisión corresponden a la tasa unitaria de emisión, expresada en gramos de contaminante por kilómetro recorrido, la que depende, por una parte, de aspectos tecnológicos tales como, presencia o no de sistemas de control de emisiones, tipo de sistema de alimentación de combustible, características del combustible y estado de mantención y, por otra parte, de variables operacionales como velocidad media de circulación y modo de conducción (Corvalán, 2000). El nivel de actividad, por su parte, da cuenta de características de los flujos vehiculares, en términos de densidades de flujos para las distintas categorías vehiculares y su distribución espacial y temporal. De esta forma, la expresión general que se ha desarrollado para estimar las emisiones por el tubo de escape de fuentes móviles en ruta, es:

$$E_{hora\ ijk} = F_{jk} \cdot L_j \cdot FE(v)_{ik} \cdot PF_{jk} \cdot C_{jk} \quad (1)$$

donde:

- $E_{hora\ ijk}$: Emisiones [gr] del contaminante considerado i en un arco j para la categoría vehicular k en una hora determinada.
- F_{jk} : Flujo vehicular [veh/h] total en el arco j a la hora en que se establecieron los parámetros por arco bajo el modelo de transportes utilizado como base (ej. punta mañana)
- L_j : Largo del arco evaluado [km].
- $FE(v)_{ik}$: Factor de emisión en función de la velocidad [gr/km] del contaminante i para la categoría k evaluada.
- PF_{jk} : Perfil de flujo o fracción del flujo total correspondiente a la hora evaluada.
- C_{jk} : Composición o fracción del flujo total en el arco j perteneciente a la categoría k para la hora evaluada.

2.2. Zonas Urbanas Bajo Estudio

Las zonas geográficas que se estudiaron en cada región, quedaron determinadas según la información base disponible, en particular aquella que dice relación con la determinación del nivel de actividad. Consecuente con lo anterior, las zonas urbanas consideradas son las siguientes, en las regiones que se indica:

- *Región Metropolitana*: Considera la zona denominada Gran Santiago con sus 34 comunas
- *Quinta Región*: Zona denominada Gran Valparaíso, que incluye las comunas de Valparaíso, Viña del Mar, Con Con, Quilpue y Villa Alemana
- *Sexta Región*: Rancagua
- *Octava Región*: Zona denominada Gran Concepción incluyendo nueve comunas de la Zona Pencopolitana
- *Novena Región*: Conurbanación compuesta por Temuco y Padre Las Casas

2.3. Clasificación de Fuentes Móviles

Las fuentes móviles en ruta, considerando las características de las flotas locales en cada una de las ciudades en estudio y la información disponible, pueden ser clasificadas en las siguientes categorías:

- *Buses de Transporte Público Tipo*: Buses urbanos de transporte público de pasajeros, desagregados en tantas subcategorías como tecnología y tipos de servicios estén presentes en la zona en estudio. Las tecnologías son definidas en función de la normativa de emisiones que cumplen y los tipos de servicios considera los servicios urbanos licitados y no licitados, los servicios interurbanos y los servicios particulares.
- *Camiones Livianos*: Camiones cuyo peso bruto vehicular es inferior a 7.5 toneladas, los que a su vez se subdividen en diversas subcategorías en función del año de fabricación lo que implica el cumplimiento de diversas normas de emisión.
- *Camiones Medianos*: Camiones cuyo peso bruto vehicular está en el rango de 7.5 a 10 toneladas, subdivididos en diversas subcategorías según el año de fabricación y en consecuencia, diversas normas de emisión.
- *Camiones Pesados*: Camiones cuyo peso bruto vehicular es superior a 10 toneladas, subdivididos en subcategorías en función del año de fabricación y cumplimiento de diversas normas de emisión.
- *Vehículos Particulares Livianos*: Vehículos livianos de pasajeros privados, que se subdividen en aquellos que poseen convertidor catalítico y aquellos que no lo poseen. A su vez los primeros, es decir los vehículos catalíticos, se subdividen en dos categorías que dan cuenta de la normativa de emisión que éstos cumplen.
- *Vehículos de Alquiler*: Corresponde a taxis tanto básicos como colectivos, que se subdividen en catalíticos y no catalíticos, pudiendo ser los primeros de dos tipos según norma de emisión que cumplen.
- *Vehículos Comerciales*: Corresponden a los vehículos livianos de pasajeros o carga liviana, privados o comerciales que pueden ser a gasolina o diesel, además de cumplir diversas normas de emisión en función del año de fabricación, lo que da origen a diversas subcategorías.
- *Motocicletas*: Motocicletas desagregadas según tipo de motor (dos y cuatro tiempos) además por la normativa de emisión que cumplen.

2.4. Factores de Emisión

Para determinar las tasas de emisión unitarias por categoría vehicular o factores de emisión, se requiere realizar ensayos experimentales en dinamómetro de chasis, donde se simulan ciclos de conducción representativos de los flujos vehiculares en las zonas geográficas en estudio. Lo anterior implica llevar a cabo campañas experimentales de caracterización de modos de conducción, lo que da origen a ciclos de marcha con distintas velocidades medias y la realización de ensayos en dinamómetro de chasis aplicando dichos ciclos de marcha, obteniendo de este modo, factores de emisión para los distintos contaminantes, en función de la velocidad.

Entre los años 1997 y 1999, se llevó a cabo un programa experimental, aplicado a vehículos livianos a gasolina, consistente en la determinación de ciclos de marcha representativos para los

flujos viales de la Región Metropolitana de Santiago, los que posteriormente fueron utilizados en ensayos realizados en dinamómetro de chasis para obtener las correspondientes curvas de factores de emisión en función de la velocidad (CENMA, 1998; CENMA, 1999). Para la obtención de los ciclos de marcha, se instrumentó un vehículo que desarrolló circuitos predefinidos a lo largo de la red vial metropolitana. Las trazas velocidad-tiempo obtenidas fueron procesadas obteniéndose como resultados los ciclos de conducción cuyas características se resumen en la Tabla 1. Estos ciclos de conducción fueron luego utilizados en los ensayos en dinamómetro de chasis, a una muestra 166 vehículos livianos a gasolina, obteniéndose los factores de emisión correspondientes. Para el resto de las categorías vehiculares, ante la ausencia de programas experimentales locales, se recurrió a información de la literatura internacional (Ntziachristos L. et al, 1999).

De esta forma se logró definir los factores de emisión para cada categoría vehicular, en función de la velocidad media de circulación, los que se presenta en un anexo al presente documento, donde se indica su origen. Estos factores, si bien los correspondientes a vehículos livianos proceden de programas experimentales desarrollados en la Región Metropolitana, fueron aplicados a todas las otras zonas urbanas bajo estudio. Lo anterior lleva implícito la hipótesis de que los ciclos de conducción y las variables tecnológicas que influyen en la determinación de factores de emisión, son representativas de cualquier centro urbano del país, lo que no resulta ser menos riguroso que la consideración de factores de emisión de la literatura, para aquellas categorías vehiculares en las que no existe información experimental local. Cabe destacar que los factores de emisión mostrados en el anexo, corresponden a factores nominales para las categorías definidas para el cálculo de emisiones en las ciudades bajo estudio. Sin embargo, existen diferencias en la asignación de factores de emisión en la categoría de camiones livianos y medianos, ya que éstos fueron ponderados de acuerdo la distribución existente de este tipo de vehículos en cada ciudad en estudio.

Tabla 1
Ciclos de Conducción para Vehículos Livianos en la Región Metropolitana

CICLO	VELOCIDAD MEDIA [km/h]	VELOCIDAD MÁXIMA [km/h]	DURACIÓN [s]	TIEMPO EN ACELERACIÓN [%]	ACELERACIÓN MÁXIMA [km/h ²]	TIEMPO RALENTI [%]
STD 05	3.0	25.2	239.0	14.2	2.0	67.1
STD 10	11.1	36.0	239.0	32.5	1.5	25.4
STD 20	19.6	57.6	249.0	32.4	2.0	25.6
STD 30	29.7	61.9	244.0	42.9	2.1	14.3
STD 40	38.4	72.1	249.0	48.8	1.8	6.4
STD 50	46.3	73.3	274.0	42.2	2.3	4.0
STD 60	55.3	77.1	274.0	49.1	3.5	1.5
STD 70	66.4	84.7	274.0	38.2	2.3	0.7
STD 80	72.9	94.8	279.0	43.6	2.8	1.8

Fuente: CENMA (1998)

2.5. Nivel de Actividad

El nivel de actividad asociado a los flujos vehiculares en centros urbanos, queda determinado, como se desprende de lo expuesto en párrafos precedentes, por las características de dichos

flujos, en términos de la composición del parque vehicular, densidades de flujo en cada uno de los arcos constitutivos de las redes viales urbanas y parámetros operacionales, tales como velocidad media del flujo por arco y su distribución temporal. En cada una de las localidades bajo análisis, la información de nivel de actividad es recopilada a partir de resultados de modelos estratégicos de transporte, administrados por la unidad zonal respectiva de la Secretaría Interministerial de Planificación de Transporte, SECTRA. Dado el carácter de estratégicos de estos modelos, distinguen sólo algunos tipos de flujos que agregan varias categorías vehiculares. Por otra parte, los modelos entregan información para solo dos horas de días hábiles de la semana, que corresponden a punta y fuera de punta. Dado lo anterior fue necesario complementar esta información a través de campañas de conteo de flujo en terreno para determinar la composición según categorías de los flujos vehiculares y además desarrollar una expansión de los perfiles de flujos a las 24 horas del día, a partir de los resultados correspondientes a las horas de punta y fuera de punta. Las campañas de caracterización de composición de flujos fueron realizadas en cada una de las localidades bajo análisis, con lo que fue posible obtener el parámetro C_{kj} de la ecuación (1), para las 24 horas del día en los cuatro tipos de días considerados.

En la Tabla 2, se resumen algunas características de las redes viales y parámetros básicos que entregan los modelos de transportes en las zonas bajo análisis, además de los correspondientes niveles de actividad expresado éste como vehículo-kilómetro por año. En la Figura 1, se muestran algunos ejemplos de perfiles de flujo normalizados al valor punta mañana en día de semana, para las ciudades en estudio, obtenidos a través de las campañas en terreno de caracterización de composición de flujos viales.

3. ANALISIS DE RESULTADOS

Si bien la metodología antes expuesta permite estimar las emisiones horarias por arco de la red vial, asociada a cada categoría vehicular, se presentarán y analizarán aquí los resultados más agregados, que permiten elaborar los inventarios de emisiones anuales en cada localidad. Uno de los aspectos más relevante de identificar y discutir, lo constituyen las responsabilidades que sobre las emisiones totales (considerando la totalidad de las fuentes móviles en ruta) de los distintos contaminantes tienen las diferentes categorías vehiculares definidas y la comparación de estas responsabilidades en cada localidad, lo que eventualmente puede hacer recomendable distintas estrategias de gestión ambiental para distintos sectores geográficos. En las Figuras 2; 3 y 4, se representan, a modo de ejemplo, las distribuciones de responsabilidades sobre las emisiones de CO; MP y NO_x, respectivamente, en las cinco localidades en estudio.

En la Figura 2 se puede apreciar que la mayor proporción de emisiones de CO provienen, en las cinco localidades, de vehículos livianos no catalíticos. Es posible, además, visualizar que estas responsabilidades son similares en la Región Metropolitana y Gran Concepción, siendo entre un 10 a 15% superior en el resto de las localidades, lo puede estar dando cuenta de una mayor presencia de vehículos no catalíticos.

Tabla 2
Características de las Redes Viales de las Zonas Urbanas en Estudio

LOCALIDAD	N° VEH [unid]	LONG RED [km]	N° ARCOS [unid]	V Media Punta [km/h]	Nivel de Actividad [Veh-km/año] x 10 ³
REGION METROPOLITANA	800.259	3.604	7.560	26	19.312.024
GRAN VALPARAISO	107.451	1.104	2.070	37	1.248.118
RANCAGUA	31.145	238	580	31	453.602
GRAN CONCEPCIÓN	103.662	1.001	2.207	30	1.053.147
TEMUCO – PADRE LAS CASAS	41.676	287	1.110	27	369.892

Fuente: Elaboración propia

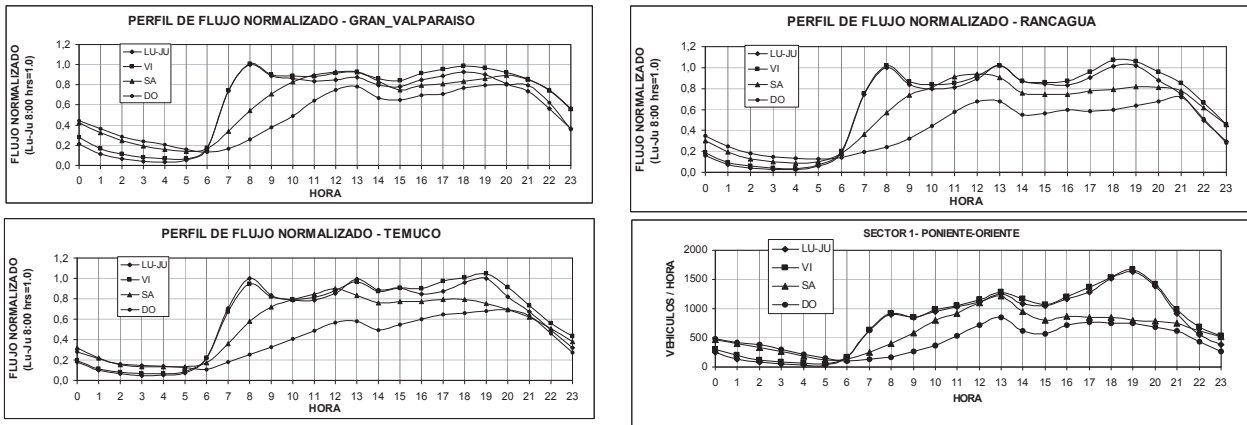


Figura 1: Perfiles de Flujo Normalizados

Las emisiones de material particulado, por su parte, provienen fundamentalmente, según lo indica la Figura 3, de buses de transporte de pasajeros, en todas las ciudades analizadas. No obstante, mientras que la participación de los buses en la Región Metropolitana es casi el 50% de las emisiones totales de todas fuentes móviles en ruta, esta participación relativa es bastante mayor en el resto de las ciudades. Esto puede estar dando cuenta del traslado de buses más antiguos desde la Región Metropolitana hacia regiones, a medida que éstos alcanzan la vida útil establecida por la reglamentación que rige al transporte público metropolitano. Cabe destacar que este resultado adolece de una incertidumbre respecto de la evaluación hecha sobre las emisiones de camiones, la que puede estar sub-evaluada, en función de la información a que se tuvo acceso, lo que sobre-estimaría la contribución de buses. Un resultado similar es posible apreciar respecto a las emisiones de NO_x, donde, según la Figura 4, a excepción de Rancagua, las participación de buses en estas emisiones es mayor en regiones que en la Región Metropolitana.

En la Figura 5 se presenta un análisis de las emisiones totales de CO; HC; NO_x y MP, en función del tamaño del parque vehicular de cada zona en estudio. Se aprecia una muy buena correlación entre las emisiones y tamaño del parque considerando todas las categorías vehiculares en forma agregada. Si se efectúa el análisis ahora en función de los vehículos-kilómetro por año totales, se obtienen las curvas de tendencia que se muestran en la Figura 6. El buen nivel de correlación obtenido, constituye un importante resultado, ya que, a nivel agregado, sería posible estimar emisiones sólo a partir del nivel de actividad de las fuentes móviles, lo que constituye una metodología bastante más simple, válida para análisis donde no se requiere mayor precisión.

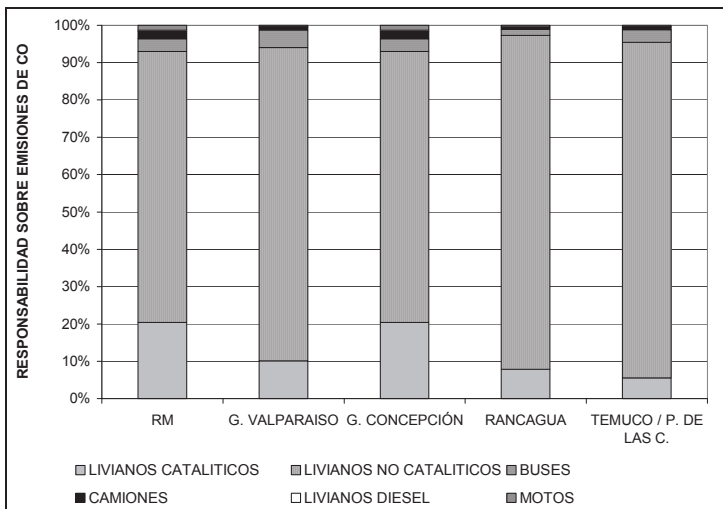


Figura 2: Distribución de Responsabilidades Sobre las Emisiones de CO

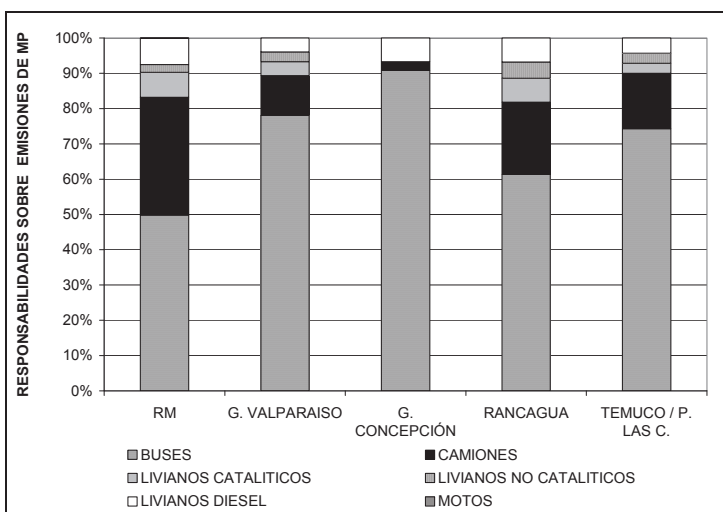


Figura 3. Distribución de Responsabilidades Sobre las Emisiones de MP

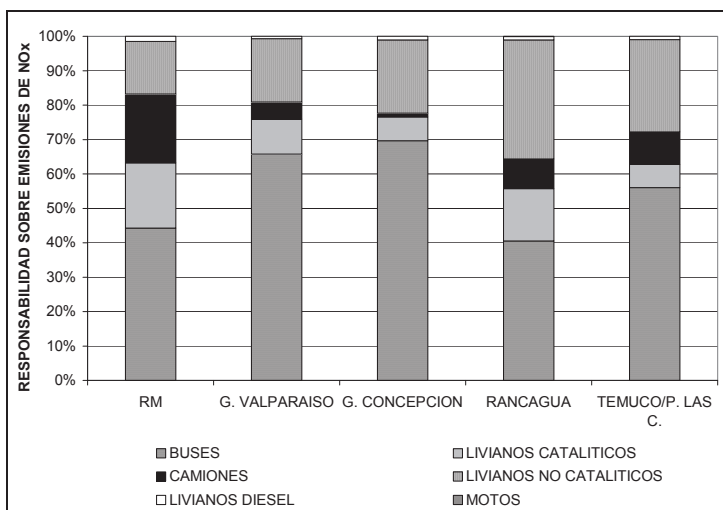


Figura 4: Distribución de Responsabilidades Sobre las Emisiones de NOx

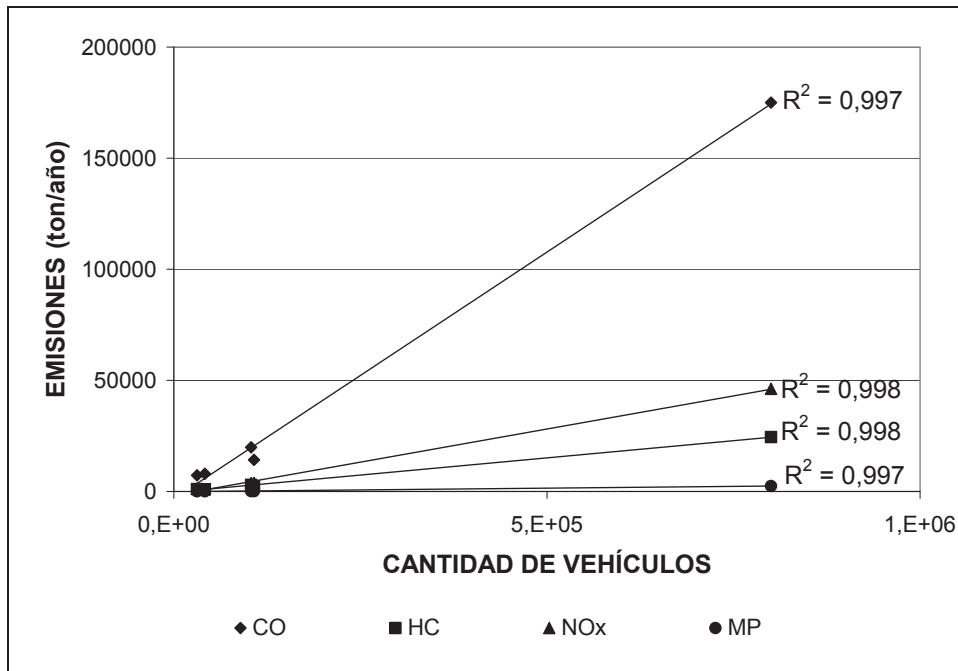


Figura 5: Emisiones Totales en Función del Tamaño del Parque Vehicular

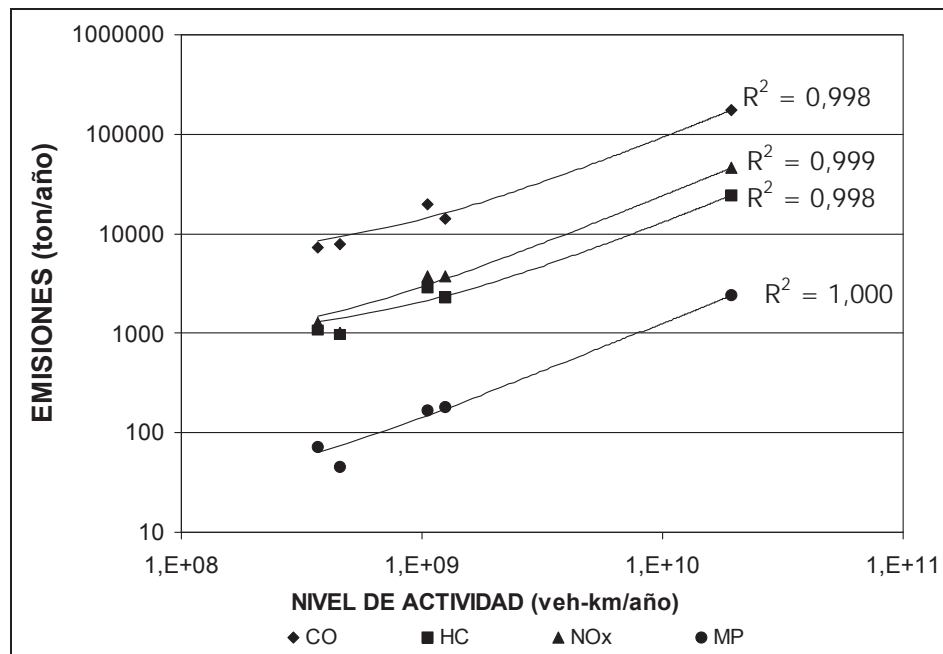


Figura 6: Emisiones Totales en Función del Tamaño del Nivel de Actividad

4. DISCUSION

La metodología de cálculo de emisiones vehiculares aquí utilizada requiere disponer, por una parte, de información relativa a tasas unitarias de emisión (factores de emisión), representativos

de las tecnologías y formas de conducción presentes en el parque vehicular de la zona en estudio y, por otra parte, de información que permita representar el nivel de actividad de las distintas categorías vehiculares del parque. En cuanto a los factores de emisión, en este estudio se han utilizado resultados experimentales locales sólo para vehículos livianos a gasolina y de la literatura internacional para el resto de las categorías vehiculares, lo que sin duda constituye un aspecto a mejorar en futuras investigaciones. En lo relativo a la caracterización del nivel de actividad de las fuentes móviles, en las ciudades analizadas en este estudio, a excepción de Rancagua, se cuenta con modelos de transporte que entregan parámetros básicos, los que fueron complementados con campañas de caracterización de la composición de flujos viales. El caso de Rancagua se abordó a través de aproximaciones basadas en información del parque vehicular, provenientes de las bases de datos de plantas de revisiones técnicas y conteos de flujos y caracterización de la composición de éstos en terreno. Cabe mencionar, además, que el modelo de transporte utilizado para la zona Gran Valparaíso, se encontraba en una fase preliminar de implementación, razón por la cual los resultados de emisiones obtenidos deben ser considerados con igual carácter.

Para extender este análisis a otras ciudades del país, con el objeto de sustentar adecuadamente las políticas de gestión ambiental pública en lo relativo al sector transporte, es necesario disponer de al menos igual cantidad y calidad de información que la utilizada en la presente investigación. Desde el punto de vista de la modelación del transporte urbano en nuestro país, la Secretaría Interministerial de Planificación de Transporte, SECTRA, distingue 20 centros urbanos de ciudades intermedias, 14 de los cuales ya cuentan con algún grado de desarrollo de modelos que permiten caracterizar los flujos viales.

La buena correlación obtenida entre emisiones de todos los contaminantes considerados con el número de vehículos que conforman el parque vehicular y, especialmente, con el nivel de actividad de las zonas estudiadas, permite concluir que es posible hacer estimaciones de emisiones a nivel macro en zonas donde no existen aún modelos de transporte, a través de la información de nivel de actividad, es decir, conociendo los vehículos-kilómetros al año asociados a cada categoría vehicular.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a la Comisión Nacional del Medio Ambiente, por el financiamiento de los estudios que dieron origen a los resultados utilizados en el presente trabajo. Asimismo se extienden los agradecimientos a la Secretaría Interministerial de Planificación de Transporte, SECTRA, por la puesta a disposición del estudio de los resultados de modelos de transporte y aportar con el financiamiento para el desarrollo del modelo de cálculo de emisiones utilizados en esta investigación y a DICTUC S.A. que fuera responsable de la ejecución de las campañas de caracterización de flujo en las ciudades analizadas en este trabajo.

REFERENCIAS

CENMA (1998) **Actualización del inventario de emisiones de la Región Metropolitana I Etapa**. Informe Final para la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

CENMA (1999) **Actualización del inventario de emisiones de la Región Metropolitana II Etapa**. Informe Final para la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

CENMA (2000) **2ª Fase Estudio de la Calidad del Aire en Regiones Urbano Industriales de Chile**. Informe Final para la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

CENMA (2002) **Elaboración del Inventario de Emisiones Atmosféricas en la Zona Denominada Gran Concepción**. Informe Final para la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

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**.

Corvalán R.M., M. Osses, Urrutia C.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**.

Environmental Protection Agency. (1991) *US-AP42. Supplement A to Compilation of Air Pollutant Emission Factors. Volume II: Mobile Sources*. (<http://www.epa.gov/orcdizux/models/>).

Ntziachiristos L; Samaras Z; Eggleston S.; Gori N.; Hassel D.; Hickman A.J.; Joumard R.; Rijkeboer R.; Zierock K.H.. (1999) Computer Program to Calculate Emission from Road Transport. **Copert III** (Draft Report). **European Environmental Agency**. (<http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm>).

U. de Chile (2001) **Actualización del Modelo de Cálculo de Emisiones Vehiculares**. Informe Final para MIDEPLAN/SECTRA.

ANEXO

Factores de emisión para cada categoría vehicular

CATEGORIA	CONT.	FACTOR DE EMISIÓN, FE[g/km]; V[km/h]	ORIGEN
Livianos catalíticos	CO	$28.884 V^{-0.8384}$	CENMA
	HC	$1.1851 V^{-0.616}$	CENMA
	NOx	$3 \times 10^{-6} V^3 - 0.0003 V^2 + 0.0068 V + 0.4941$	CENMA
Livianos no catalíticos	CO	$0.0203 V^2 - 2.2662V + 77.661$	CENMA
	HC	$11.589 V^{-0.5595}$	CENMA
	NOx	$9.5 \times 10^{-6} V^3 - 0.0016 V^2 + 0.0738 V + 1.2586$	CENMA
Comerciales catalíticos <3.5 ton	CO	$0.00060 V^2 - 0.0475 V + 2.2195$	COPERT
	HC	$0.00007V^2 - 0.0067V + 0.2406$	COPERT
	NOx	$0.0000575V^2 - 0.00548V + 0.4880$	COPERT
Comerciales no catalíticos <3.5 ton	CO	$0.01104 V^2 - 1.5132 V + 57.789$	COPERT
	HC	$0.000677V^2 - 0.1170V + 5.4734$	COPERT
	NOx	$0.00009V^2 - 0.0079V + 1.9391$	COPERT
Comerciales diesel <3.5 ton	MP	$0.0000125 V^2 - 0.000577 V + 0.2880$	COPERT
	CO	$0.00020 V^2 - 0.0256 V + 1.8281$	COPERT
	HC	$0.000066 V^2 - 0.0113 V + 0.6024$	COPERT
	NOx	$0.00014 V^2 - 0.01592 V + 1.4921$	COPERT
Buses tipo 1	MP	$12.09253 * V^{(-0.7360)}$	COPERT
	CO	$59.003 * V^{(-0.7447)}$	COPERT
	HC	$43.647 * V^{(-1.0301)}$	COPERT
	NOx	$89.174 * V^{(-0.5185)}$	COPERT
Buses tipo 2	MP	$5.109585 * V^{(-0.7360)}$	COPERT
	CO	$29.5015 * V^{(-0.7447)}$	COPERT
	HC	$32.73525 * V^{(-1.0301)}$	COPERT
	NOx	$62.4218 * V^{(-0.5185)}$	COPERT
Buses tipo 3	MP	$3.14436 * V^{(-0.7360)}$	COPERT
	CO	$23.6012 * V^{(-0.7447)}$	COPERT
	VOC	$30.5529 * V^{(-1.0301)}$	COPERT
	NOx	$44.587 * V^{(-0.5185)}$	COPERT
Otros Buses tipo 1	MP	$9.2934 * V^{(-0.7373)}$	COPERT
	CO	$63.791 * V^{(-0.8393)}$	COPERT
	HC	$44.217 * V^{(-0.8870)}$	COPERT
	NOx	$125.87 * V^{(-0.6562)}$ (0 a 60 km/h) $0.001 * V^2 - 0.1608 * V + 14.308$ (>60 km/h)	COPERT
Otros Buses tipo 2	MP	$6.04071 * V^{(-0.7373)}$	COPERT
	CO	$35.08505 * V^{(-0.8393)}$	COPERT
	HC	$22.1085 * V^{(-0.8870)}$	COPERT
	NOx	$69.2285 * V^{(-0.6562)}$ (0 a 60 km/h) $0.00055 * V^2 - 0.08844 * V + 7.8694$ (>60 km/h)	COPERT
Camiones Liv./Med. tipo 1	MP	$7.118 V^{-0.7197}$	COPERT
	CO	$37.280 V^{-0.6945}$	COPERT
	HC	$40.120 V^{-0.8774}$	COPERT
	NOx	$71.7142 V^{-0.7495}$ (0 a 60 km/h) $0.001 V^2 - 0.1333 V + 7.6664$ (>60 km/h)	COPERT
Camiones Liv./Med. tipo 2	MP	$4.6267 V^{-0.7197}$	COPERT
	CO	$18.64 V^{-0.6945}$	COPERT
	HC	$30.09 V^{-0.8774}$	COPERT
	NOx	$50.199 V^{-0.74595}$ (0 a 60 km/h) $0.0007 V^2 - 0.09331 V + 5.36648$ (>60 km/h)	COPERT
Camiones Pesados tipo 1	MP	$11.028 V^{-0.696}$	COPERT
	CO	$37.280 V^{-0.6945}$	COPERT
	HC	$40.12 V^{-0.8774}$	COPERT
	NOx	$132.88 V^{-0.5581}$	COPERT
Camiones Pesados tipo 2	MP	$7.1682 V^{-0.696}$	COPERT
	CO	$20.504 V^{-0.6945}$	COPERT
	HC	$20.06 V^{-0.8774}$	COPERT
	NOx	$73.084 V^{-0.5581}$	COPERT

Factores de emisión para cada categoría vehicular (Continuación)

CATEGORIA	CONT.	FACTOR DE EMISIÓN	ORIGEN
Motos 2 tiempos	CO	$-0.0063V^2 + 0.715V - 6.9$	COPERT
	HC	$-0.01V^2 + 0.097V + 3.9$	COPERT
	NOx	$0.00002V^2 - 0.001V + 0.032$	COPERT
Motos 2 tiempos	CO	$0.0076V^2 - 0.73V + 23.5$	COPERT
	HC	$0.0007V^2 - 0.0755V + 2.63$	COPERT
	NOx	$0.00005V^2 - 0.0007V + 0.137$	COPERT

Fuente: Elaboración propia.

Nota: CENMA: Centro Nacional del Medio Ambiente, U. de Chile (CENMA, 1998; 1999)

COPERT: Ntziachristos L. et al, 1999