

Estimación de la emisión de contaminantes debida al tráfico urbano mediante modelos de asignación de tráfico

Jesús Racero Moreno, José David Canca Ortiz, Ricardo Galán de Vega, Gabriel Villa Caro

¹ Dpto. de Organización de Organización Industrial y Gestión de Empresas. Universidad de Sevilla. Camino de los descubrimientos s/n, 46092 Sevilla. jrm@esi.us.es , dco@esi.us.es, rdevega@us.es, gvilla@esi.us.es

Resumen

La emisión de contaminantes gaseosos, tanto de origen natural como antropogénico, se relaciona directamente con problemas ambientales como la acidificación, la degradación de la calidad del aire o el cambio climático. El transporte, y en concreto el tráfico vehicular es una de las principales fuentes de emisión de contaminantes cuyo efectos inciden no solo sobre la salud de los habitantes de una región sino que además inciden sobre la globalidad climática del planeta.

En los últimos años ha crecido el interés de mejorar la calidad medioambiental y las administraciones locales y centrales imponen normativas y restricciones sobre la circulación. En la mayoría de los casos estas medidas se toman sin haber realizado un estudio previo y sin conocer las consecuencias que puede tener. El siguiente trabajo presenta una metodología para acometer estudios de estimación de emisión de contaminantes que sirva de punto de partida ante la imposición de medidas restrictivas asociadas al tráfico.

Palabras clave: Modelos de Asignación, Contaminación, Tráfico

1. Introducción

El desarrollo de las sociedades modernas está estrechamente ligado a una creciente presión sobre el medio ambiente, principalmente por la creciente explotación y utilización extensiva de recursos naturales y energéticos muy relacionados con el incremento de nivel de vida.

La cantidad y topología de los contaminantes atmosférico dependen, entre otros factores, de la naturaleza de la fuente, tales como, plantas de generación, refinerías, incineradoras, fábricas o el transporte.

El transporte, y de manera específica el tráfico vehicular, produce una de las mayores cargas contaminantes hacia la atmósfera. Sus emisiones tienen efecto directo en los problemas de contaminación del aire tanto a escala local, regional y global. Actualmente la mayoría de los vehículos motorizados emplean combustibles fósiles, cuyo uso produce en general la emisión de un mismo grupo de contaminantes, aunque la proporción y cantidad difiera según el tipo de combustible y las condiciones de combustión.

Este trabajo tiene como objetivo la estimación de la emisión de contaminantes debida al tráfico urbano y metropolitano. La estimación de contaminantes es realizada mediante la adaptación de las recomendaciones desarrolladas por la EEA (European Environment Agency), en la guía de inventario de emisiones EMEP/CORINAIR, y la utilización de métodos de estimación de la intensidad de tráfico.

2. Contaminación debida al transporte por carretera

Existen una gran gama de contaminantes que afectan al medio ambiente. Los contaminantes debido al tráfico se pueden clasificar en dos grupos, contaminantes primarios y secundarios. Los contaminantes primarios son aquellos que se emiten directamente a la atmósfera desde las diferentes fuentes de emisión, en tanto que los contaminantes secundarios se forman como consecuencia de las reacciones y transformaciones que experimentan los contaminantes primarios una vez que se encuentran en el aire. Los contaminantes emitidos por el transporte son los óxidos de nitrógenos (NOx), Dióxido de Azufre (SO₂), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), Monóxido de Carbono (CO) y las partículas. Además se incluyen los gases de efecto invernadero que aunque no afectan a la salud influye sobre el clima como es el CO₂.

En la Unión Europea aunque los medios de locomoción son responsables únicamente de un 5 % de las emisiones de dióxido de azufre (SO₂), son responsables del 25 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), del 87 % de las de monóxido de carbono (CO) y del 66 % de las de óxidos de nitrógeno (NOx).

Estudios recientes realizados en Estados Unidos indicaban que el 45% de los agentes contaminantes lanzados al medioambiente eran consecuencia directa de las emisiones de los vehículos. Los vehículos de motor eran la fuente del 75% de las emisiones de CO que se producían en Estados Unidos y suponía cerca del 35% de las emisiones de HC y de NOx.

Los combustibles fósiles, que están formados por una mezcla de diferentes hidrocarburos, luego del proceso de combustión generan principalmente (1) CO, y vapor de agua, según lo indicado en la siguiente ecuación:



Siendo C_nH_m el combustible utilizado, (n + m/4)·O₂, indica la cantidad de oxígeno estequiométricamente necesario para la combustión completa. Sin embargo, el funcionamiento de los motores es complejo y debido a varios factores, la combustión no se desarrolla en su totalidad. Entre las causas más importantes se destacan la potencial falta de oxígeno y la variabilidad de la mezcla oxígeno/combustible, la baja temperatura cuando los motores inician su funcionamiento, los tiempos de residencia cortos de la mezcla A/C en la cámara de combustión. Como consecuencia, se producen emisiones de **CO**, además de hidrocarburos sin oxidar o parcialmente oxidados.

Adicionalmente, y debido a las altas temperaturas en la cámara de combustión, (estabilidad térmica del motor), se produce la combinación de N₂ y O₂ formando **NO_x**. (USEPA, 2005).

El azufre forma parte de las impurezas que contienen los combustibles fósiles. Su oxidación produce la formación y emisión de SO₂. Interfiere directamente en la eficiencia de los catalizadores, cuyo uso sólo es viable con combustibles con muy bajo contenido de azufre.

Las emisiones de partículas se producen por la combustión, el desgaste de los neumáticos, recubrimiento de frenos y superficies de rodadura, o por la suspensión de polvo. Las partículas que dan un color blanco al humo del escape, se asocian a condiciones frías de los

motores, en tanto que humos de color azulado y negro se asocian a la combustión incompleta de mezclas que pueden contener lubricante. La gran mayoría de las partículas finas (PM_{2,5}) se producen debido a la combustión. Los vehículos diesel producen de 10 - 100 veces más partículas de combustión que los vehículos a gasolina.

Además de las emisiones de COV por combustión, hay un porcentaje significativo de emisiones de COV desde otros dispositivos (*non-exhaust emission*), que tienen especial importancia para los vehículos de gasolina. A esta clase se le conoce como *emisiones evaporativas*. (Parra, 2004).

3. Modelos de emisión

Teóricamente las emisiones que se generan en una región podrían cuantificarse midiendo la cantidad de sustancias emitidas desde todas las fuentes, durante el periodo de interés. En la práctica, sin embargo, no es posible realizar medidas individuales, recurriendo más bien al uso de valores representativos por tipo de fuente o utilizando modelos de diferente complejidad, que relacionan la actividad en dicha fuente, con la cantidad y tipo de sustancias que se emiten hacia la atmósfera.

Un modelo de emisiones atmosféricas se puede definir como el modelo matemático (o el conjunto integrado de modelos matemáticos de diferente grado de complejidad) que sirven para estimar las emisiones hacia la atmósfera, desde diferentes fuentes ubicadas en una zona geográfica determinada, en un periodo de tiempo establecido.

La estimación de las emisiones de tráfico vehicular es bastante complejo. Interfieren una serie de factores como el peso de los vehículos, la capacidad, diseño y condiciones funcionamiento de los motores, el tipo y características de los combustibles, el rendimiento de los dispositivos de control de las emisiones del escape, la variabilidad de los ciclos reales de recorrido, o las características de la red vial (como la pendiente). Además debe ser un proceso adaptativo ya que las nuevas normativas sobre emisiones aplicadas a los fabricantes está en continua revisión.

A nivel europeo, se destaca el modelo de enfoque *top-down* EMEP/CORINAIR-COPERTIII (Ntziachristos and Samaras, 2000). En los Estados Unidos se dispone del modelo MOBILE6, que incorpora una serie de mejoras en relación a sus versiones anteriores.

4. Metodología

4.1. Descripción general

La mayoría de los trabajos realizados sobre estimación de contaminantes se centran en estudios puntuales o muy genéricos, no existiendo estudios que permita conocer la situación dependiendo de las condiciones del tráfico.

Los modelos de estimación de contaminantes dependen de la estimación de la velocidad, los niveles de emisión y consumo de un vehículo depende de la velocidad que el vehículo desarrolla. La metodología desarrollada consta de dos fases (Figura 1), la primera tiene como objetivo estimar las velocidades medias de circulación en cada calle del área en estudio. La velocidad es obtenida a partir de la información de intensidades de tráfico y tiempos proporcionada por el modelo de asignación de tráfico y las funciones volumen-retraso.

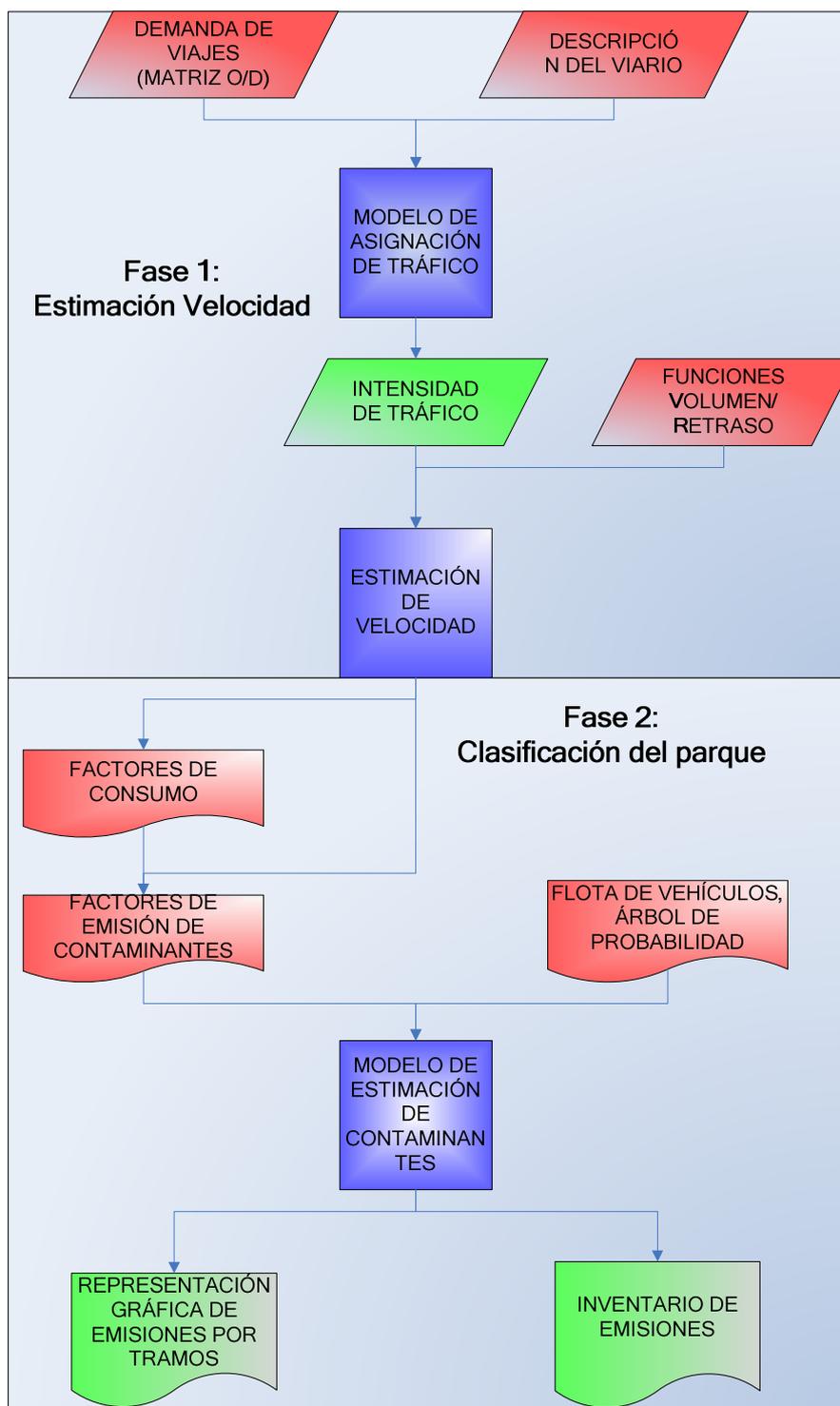


Figura 1. Metodología para la estimación de contaminantes

La segunda fase está destinada a conocer la composición del parque automovilístico de la zona donde se realiza el estudio. La guía EMEP/CORINAIR proporciona una caracterización según diferentes normativas exigidas a los fabricantes de vehículos. El resultado de esta fase es disponer de un árbol de porcentajes que indica para cada categoría y tipo de vehículo el porcentaje que circula.

Finalmente, a partir de las intensidades de tráfico, velocidad media y árbol de porcentajes se realiza una estimación de la emisión de contaminantes por cada calle o tramo del viario.

4.2. Estimación de la velocidad media

Determinar la velocidad media de circulación en cada calle del viario es una tarea complicada por lo que es necesario emplear modelos de estimación de intensidades de tráfico y partir de ellas calcular la velocidad.

Los modelos más utilizados en la estimación de intensidades son los modelos de asignación de tráfico o ampliaciones de los mismos. Un modelo de asignación de tráfico estima la intensidad de tráfico en cada calle, están basados en los dos principios de Wardrop, todo viajero selecciona aquella ruta que cree que es mínima y el tiempo total de viaje para todos los viajeros es mínimo.

El modelo matemático que resuelve el problema de asignación fue descrito por Beckmann M. J. (1956), que empleando teoría de optimización no lineal, permite cumplir las dos condiciones de Wardrop, ofreciendo una solución óptima al problema.

$$\text{Min} \sum_{a \in A} \int_0^{f_a} t_a(s) ds \quad (2)$$

sujeto a:

$$\sum_{r \in R_{pq}} h_{pqr} = d_{pq} \quad \forall (p, q) \in C \quad (3)$$

$$h_{pqr} \geq 0 \quad \forall r \in R_{pq}, \forall (p, q) \in C \quad (4)$$

$$\sum_{(p,q) \in C} \sum_{r \in R_{pq}} \delta_{pqra} h_{pqr} = f_a \quad \forall a \in A \quad (5)$$

Donde A es el conjunto calles o arcos definidos en el viario, C es un conjunto de pares origen y destino de viajes es decir la matriz de demanda de transporte, t_a función que describe el tiempo de viaje para cada calle del viario, h_{pqr} el flujo que circula por la ruta r que conecta el par $(p, q) \in C$, d_{pq} es la demanda para cada par $\forall (p, q) \in C$ y δ_{pqra} un parámetro que indica si un arco pertenece a la ruta que conecta el par $(p, q) \in C$. La función objetivo (2) busca minimizar el tiempo total de viaje en todos los tramos del viario, las restricciones asociadas al modelo imponen (3) que los viajes que discurren en cada ruta que conecta dos puntos del viario están asociado a la demanda de viajes entre esos dos puntos. Por último se imponen la no negatividad (4) de las variables asociadas a los viajes de las rutas que conectan dos puntos y (5) la expresión que determina el número de viajes que transcurre por cada tramo.

La resolución óptima del modelo está basada en un procedimiento iterativo de cálculo de rutas mínimas, entre cada par $(p, q) \in C$, y reparto de viajes entre ellas.

A partir de las intensidades de tráfico aplicadas a las funciones que describen el tiempo de viaje en cada calle, t_a , se obtiene las velocidades medias de circulación en cada calle del viario en un intervalo horario.

4.3. Estimación de la emisión de contaminantes

La estimación de emisión de contaminantes está basada en la guía europea EMEP/CORINAIR que incluye una sección destinada a modelar las emisiones producidas debido al tráfico vehicular.

Los factores de emisión de los distintos modelos contemplados en la guía son funciones que tienen como variable la *velocidad media* a la que se desplazan los vehículos al circular por un tramo del viario, o el *consumo de combustible* de los mismos. Para el caso que el factor de emisión dependa del consumo de combustible, la aplicación guía define una serie de *factores de consumo* para los distintos tipos de vehículos y los distintos tipos de contaminantes. De la misma forma que los factores de emisión, los factores de consumo se calculan a partir de la velocidad media a la que se desplazan los vehículos al circular por un tramo del viario.

Esta etapa es posible dividirla en dos fases. En la primera parte está destinada a la recogida y tratamiento estadístico del parque automovilístico involucrado en el estudio. En la segunda etapa se centra en la aplicación de los factores de emisión para la obtención de las emisiones en 6 tipos de contaminantes por cada calle.

4.3.1 Análisis y clasificación del parque automovilístico

La Guía EMEP/CORINAIR estima las emisiones de los diferentes contaminantes con diferente grado de análisis, de acuerdo con la siguiente clasificación (Ntziachristos and Samaras, 2000):

Grupo 1: contaminantes para los que se dispone de una metodología detallada de análisis, basada en factores de emisión que se definen en función de las condiciones de tráfico (velocidad de circulación) y del tipo de motor (cilindrada). Dentro de esta categoría se incluyen, NO_x, CO, COV.

Grupo 2: contaminantes cuyas emisiones se definen indirectamente en función del consumo de combustible. Se incluyen al CO₂ y SO₂.

Grupo 3: contaminantes para los que existe una metodología simple, en razón de la ausencia de información detallada. Se incluye al N₂O.

El objetivo perseguido en esta fase es disponer de un árbol de porcentajes para cada una de las categorías de vehículos. Las categorías de vehículos atienden a criterios como, Turismos a gasolina y diesel, Vehículos ligeros y pesados, Autobuses o Motocicletas y Ciclomotores.

A su vez los vehículos se subclasifican en categorías asociadas a diferentes periodos de vigencia de directivas que aparecieron desde el año 1970. Después de la normativa prosigue la clasificación por cilindradas

4.3.2 Factores de emisión

Un factor de emisión es un valor representativo de la cantidad de sustancia contaminante que se libera hacia la atmósfera con relación a la actividad asociada que la produce (USEPA, 1995).

Los factores de emisión usualmente se expresan como el peso de contaminante dividido por la unidad de peso, producción, volumen, distancia o duración de la actividad asociada (por

ejemplo; kilogramos de partículas emitidas por tonelada de carbón quemado). En muchos casos estos factores son valores medios de los datos disponibles y normalmente se asume que son representativos a largo plazo para todas las actividades clasificables dentro de una categoría específica, con la asunción de que existe una relación lineal entre las emisiones y el nivel de actividad asociada, dentro de un rango probable de actuación.

Tabla 1. Factores de emisión de CO (Fuente, EEA, 2001; Ntziachristos and Samaras, 2000)

Tipo de vehículo	Subcategoría	Rango de velocidad (km h ⁻¹)	Función / factor de emisión
Pre-ECE	Todas	10 – 100	281V ^{-0.630}
		100 – 130	0.112V+4.32
ECE 15/00 y 01	Todas	10 – 50	313V ^{-0.760}
		50 – 130	27.22-0.406V+0.0032V ²
ECE 15/02	Todas	10 – 60	300V ^{-0.797}
		60 – 130	26.26-0.440V+0.0026V ²
ECE 15/03	Todas	10 – 19.3	161.36-45.62ln(V)
		19.3 – 130	37.92-0.680V+0.00377V ²
ECE 15/04	Todas	10 – 60	260.788V ^{-0.910}
		60 – 130	14.653-0.22V+0.00116386V ²
Sin catalizador	1.4 - 2.0 l	< 1.4 l	14.577-0.294V+0.002478V ²
		1.4 - 2.0 l	8.273-0.1511V+0.000957V ²
Catalizador de oxidación	1.4 - 2.0 l	< 1.4 l	17.882-0.377V+0.002825V ²
		1.4 - 2.0 l	9.446-0.23012V+0.002029V ²
Catalizador de tres vías	> 2.0 l	< 1.4 l	2.913-0.085V+0.000873V ²
		1.4 - 2.0 l	9.846-0.2867V+0.0022V ²
Euro I (91/441/EEC)	1.4 - 2.0 l	5 – 130	9.617-0.245V+0.0017285V ²
		> 2.0 l	12.826-0.2955V+0.00177V ²
Euro II (94/12/EC)	1.4 - 2.0 l	< 1.4 l	68 % del correspondiente Euro I
		> 2.0 l	68 % del correspondiente Euro I
Turismos diesel	Todas	10 – 130	5.41301V ^{-0.574}
Camiones gasolina > 3.5 t		Urbano	70 g km ⁻¹
		Autopista	55 g km ⁻¹
		Carretera	55 g km ⁻¹
Camiones ligeros a diesel < 3.5t		10 - 110	20E-05V ² -0.0256V+1.8281
Camiones pesados 3.5 -7.5 t		0 - 100	37.280V ^{-0.6945}
Camiones pesados entre 7.5 -16 t		0 - 100	37.280V ^{-0.6945}
Camiones pesados > 16 t		0 - 100	37.280V ^{-0.6945}
Motocicletas		< 50 cc	15 g km ⁻¹
		> 50 cc 2t	-0.001V ² +0.1720V+18.1
		> 50 cc 2t	0.0001V ² +0.05V+21.5
		> 50 cc 4t	0.01930V ² -1.92V+68.3
		> 50 cc 4t	0.0017V ² +0.121V+9.5

Como los factores de emisión son valores medios, el cálculo de las emisiones mediante su aplicación será probablemente diferente a las emisiones reales. Las emisiones reales sólo se pueden conocer por medición directa en la fuente. De hecho, este es el procedimiento recomendable y preferido para la determinación de las emisiones. Sin embargo es el método más costoso y normalmente sólo es aplicable a grandes infraestructuras en donde exista el equipamiento necesario para efectuar las medidas.

Por cada contaminante, categoría de vehículo o elemento del árbol de porcentaje existe un factor de emisión que será el aplicado a cada vehículo en cada calle del viario.

La fórmula que define la metodología para la estimación de contaminantes emitidos en un tramo por una categoría de vehículos es la que sigue:

$$\text{Emisiones por periodo de tiempo [g]} = \text{Factor de emisión [g/km]} * \text{Número de vehículos [veh.]} * \text{Kilometraje por vehículo por periodo de tiempo [km/veh]}$$

Las emisiones de contaminantes de una categoría de vehículos en un tramo y en un periodo de tiempo (en gramos), es igual al producto del factor de emisión asociado a la categoría, por el número de vehículos de dicha categoría que circulan por el tramo, por la longitud del tramo.

5. Aplicación

La metodología descrita ha sido aplicada a la estimación de emisiones de contaminantes en un área metropolitana entre las 8 y 9 horas del día. En concreto el proyecto ha conestado de tres fases, en la primera recogida de información para la clasificación y adaptación del parque automovilístico a las categorías especificadas en CORINAIR, concluyendo con la obtención del porcentaje de vehículos de cada categoría (Tabla 2).

Tabla 2. Composición del parque automotor. Árbol de porcentajes

						Absolutas		
Turismos	0,769	Gasolina	0,6795	Hasta 1.599 c.c.	0,5274	Antes 1985	0,1776	0,0490
						1985-1990	0,2284	0,0630
						1991-1994	0,2092	0,0577
						1995-1997	0,1348	0,0372
						1998-2002	0,2499	0,0689
				1.600-1.999 c.c.	0,3872	Antes 1985	0,1776	0,0360
						1985-1990	0,2284	0,0462
						1991-1994	0,2092	0,0424
						1995-1997	0,1348	0,0273
						1998-2002	0,2499	0,0506
		Más de 1.999 c.c.	0,0853	Antes 1985	0,1776	0,0079		
				1985-1990	0,2284	0,0102		
				1991-1994	0,2092	0,0093		
				1995-1997	0,1348	0,0060		
				1998-2002	0,2499	0,0112		
Gasoil	0,3205	Hasta 1.999 c.c.	0,9147	0,2256				
		Más de 1.999 c.c.	0,0853	0,0211				
Camiones	0,168	Gasolina	0,1929	0,0324				
		Gasoil	0,8071	0,1357				
Motocicletas	0,062	Hasta 74 c.c.	0,1725	0,0108				
		Más de 74 c.c.	0,8275	0,0516				
						1,0000		

En la segunda fase se han adaptado los factores de emisión al parque automovilístico (Tabla 3). Los factores de emisión estimados corresponden a los contaminantes: NO_x, COV, CO, CO₂, SO₂, N₂O. Debido a la falta de información ha sido necesario reestructurar las diferentes categorías de la guía EMEP/CORINAIR adaptándola a la información disponible en el estudio.

La última fase ha consistido en la aplicación del modelo de asignación, previa revisión y actualización de datos de demanda, actualización del viario y análisis de las funciones de tiempos asociadas a los tramos. Las intensidades obtenidas de la asignación aplicada, a las funciones de tiempo, proporcionan el tiempo de viaje en el tramo que, junto a la longitud del mismo sirven para obtener la velocidad media.

La estimación de emisiones en cada tramo es realizada mediante el producto entre la intensidad del tramo por el porcentaje obtenido en la composición del parque automovilístico y posterior multiplicación por el factor de emisión.

Tabla 3. Factores de emisión de NOX

1. NOx

	TIPO	CLASE	LEGISL.	V (Km/h)	FACTOR DE EMISIÓN (g NO2 / Km)
1	Turismo	gasolina < 1.6 l	<1985	10-130	$1,42267-0,02173*V+0,00029*V^2$
2	Turismo	gasolina < 1.6 l	1985-1990	10-130	$1,432+0,026*V+0,000097*V^2$
3	Turismo	gasolina < 1.6 l	1991-1994	10-130	$-0,9235+0,6676*\ln(V)$
4	Turismo	gasolina < 1.6 l	1995-1997	5-130	$0,5595-0,01047*V+10,8E-05*V^2$
5	Turismo	gasolina < 1.6 l	1998-2002	5-130	$0,20142-0,003769*V+3,889E-05*V^2$
6	Turismo	gasolina 1.6-2.0 l	< 1985	10-130	$1,5115+0,00895*V+0,00016*V^2+0,43*e^{(0,0099*V)}$
7	Turismo	gasolina 1.6-2.0 l	1985-1990	10-130	$1,484+0,013*V+0,000074*V^2$

Los resultados obtenidos por cada tramo han sido posteriormente agrupados por zonas y de forma global (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados de emisión agregados por todos los tramos

Tipo	Clase	Legislación	NOx [Kg/h]	CO [Kg/h]	COV [Kg/h]	SO2 [Kg/h]	CO2 [Kg/h]	N2O [Kg/h]
Turismo	Gasolina < 1.6 l	antes de 1985	65,657	1364,829	138,587	1,220	12971,420	291,911
Turismo	Gasolina < 1.6 l	1985-1990	199,203	864,923	129,516	1,222	12990,800	375,661
Turismo	Gasolina < 1.6 l	1991-1994	99,534	557,399	84,524	0,621	6596,998	344,103
Turismo	Gasolina < 1.6 l	1995-1997	18,178	161,989	13,672	0,931	9896,378	1912,620
Turismo	Gasolina < 1.6 l	1998-2002	12,140	204,310	5,325	1,727	18355,730	3547,516
Turismo	Gasolina 1.6 -2.0 l	antes de 1985	125,882	1041,356	105,741	1,103	11722,904	222,726
Turismo	Gasolina 1.6 -2.0 l	1985-1990	122,525	658,124	98,549	1,159	12320,561	285,842
Turismo	Gasolina 1.6 -2.0 l	1991-1994	111,831	220,389	33,487	1,001	10636,689	262,174
Turismo	Gasolina 1.6 -2.0 l	1995-1997	13,790	140,700	11,423	0,936	9947,511	1456,736
Turismo	Gasolina 1.6 -2.0 l	1998-2002	9,209	177,607	4,453	1,737	18463,704	2703,870
Turismo	Gasolina > 2.0 l	antes de 1985	19,361	229,836	23,338	0,293	3112,539	49,158
Turismo	Gasolina > 2.0 l	1985-1990	36,839	145,318	21,760	0,320	3403,995	63,116
Turismo	Gasolina > 2.0 l	1991-1994	4,200	14,289	1,414	0,272	2888,384	57,654
Turismo	Gasolina > 2.0 l	1995-1997	3,888	42,822	3,888	0,256	2718,057	319,644
Turismo	Gasolina > 2.0 l	1998-2002	2,617	54,419	1,744	0,478	5079,652	597,367
Turismo	Gasoil < 2.0 l	Convencional	152,844	202,209	152,844	12,067	54176,564	7380,179
Turismo	Gasoil > 2.0 l	Convencional	22,854	19,305	22,854	1,152	5172,273	704,592
Camión	Gasol	Convencional	247,607	2805,172	247,527	2,643	28088,194	235,956
Camión	Gasoil	Convencional	2830,126	1024,015	733,827	37,443	168112,27	3417,694
Motocicletas	Hasta 74 c.c.	Convencional	0,402	201,208	120,725	0,101	1069,222	13,414
Motocicletas	Más de 74 c.c.	Convencional	3,912	194,500	524,086	1,754	18643,038	125,261
Total (t/h)			4,103	10,325	2,479	0,068	416,367	24,367

Las magnitudes de emisión de contaminantes son muy elevadas, especialmente de sustancias como NO_x, más de 4 toneladas/hora; CO₂, más de 400 toneladas/hora; o de CO, 10 toneladas/hora. Estos datos ratifican los datos de un informe que publicó la EEA en 2003 sobre la contaminación debida al tráfico vehicular. En la Unión Europea aunque los medios de locomoción son responsables únicamente de un 5 % de las emisiones de dióxido de azufre (SO₂), son responsables del 25 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), del 87 % de

las de monóxido de carbono (CO) y del 66 % de las de óxidos de nitrógeno (NOx).[EEA, 2003].

Los resultados obtenidos se han cotejado con un inventario de emisiones contaminantes debido al tráfico vehicular en la comunidad autónoma de Cataluña, con la diferencia que en los estudios realizados se basaba en datos de intensidad media diaria extrapolado a una hora del día, no teniendo en cuenta la intensidad de tráfico en grandes ciudades.

Tabla 2. Composición del parque automotor. Árbol de porcentajes

	NOx (t NO ₂ ·h ⁻¹)	CO (t·h ⁻¹)	COV (t Ch _{1,85} ·h ⁻¹)	SO2 (t·h ⁻¹)	CO2 (t·h ⁻¹)	Contaminantes Primarios
(A)Com. Aut. de Cataluña	15,8	60,1	10,6	0,3	2015,1	86.8
(B)Ciudad de Sevilla y área metropolitana	4,103	10,325	2,479	0,068	416,367	16,975
Relación (A/B)	3.9	5.8	4.3	4.4	4.8	5.1

Referencias

- BECKMANN, M. J., MCGUIRE C. B., WINSTEN C. B. (1956). Studies in the Economics of Transportation. New Haven, CT: Yale University Press
- DIRECCIÓN GENERAL DE TRÁFICO. Anuario Estadístico general 2002. I.S.B.N.: 84-8475-010-8
- EEA (2003). EMEP/CORINAIR Emissions Inventory Guidebook - 3rd edition September 2003 update. Technical report N° 30.
- Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía. Guía de Vehículos Turismo de venta en España, con indicación de consumos y emisiones de CO2. Directiva Europea 1999/94CE. Real Decreto 837/2002.
- INRETS (1999). Method of estimation of atmospheric emissions from transport: European scientist network and scientific state-of-art. Action COST
- IPCC (2001). Climate Change 2001: The scientific basis. Technical summary. (<http://ipcc-wgl.ucar.edu/index.html>, julio de 2003).
- Kyoungho Ahn (1998). Microscopic Fuel Consumption and Emission Modeling. Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University
- MEET (1999). Methodology to Calculating Transport Emissions and Energy Consumption. European Commission. Directorate General Transport, 362 p.
- Ntziachristos L. & Samaras Z. (2000). COPERTIII Computer programme to calculate emissions from road transport. Methodology and emission factors (Version 2.1). European Environment Agency. Technical report No 49.
- Parra Narváez, René Rolando (2004). Desarrollo de modelo EMICAT2000 para la estimación de emisiones contaminantes del aire en Cataluña y su uso en modelos de dispersión fotoquímica. Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Capítulos I, IV.
- Sociedad de Estudios Económicos de Andalucía, S.A. Anuario Estadístico de la Ciudad de Sevilla 2001.
- USEPA: US Environmental Protection Agency (2005). <http://www.epa.gov>. (marzo 2006)
- WARDROP, J. G. (1952). Some theoretical aspects of road traffic research. Proceedings of the Institute of Civil Engineers, Part II 1, 325-378.