

**ANEXO B**  
**INVENTARIO DE EMISIONES. MÓDULO DE**  
**TRÁFICO. FACTORES DE EMISIÓN.**





## ÍNDICE

B.1 INTRODUCCIÓN .....	5
B.2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE EMISIONES.....	7
B.3 INVENTARIO DE EMISIONES DE TRÁFICO VEHICULAR.....	9
B.3.1 Descripción del parque vehicular .....	9
B.3.2 Descripción de la red viaria .....	10
B.3.3 Estimación de las emisiones procedentes de tráfico rodado.....	11
B.3.4 Factores de emisión de tráfico.....	15
B.4 REFERENCIAS. ....	17





## B.1 INTRODUCCIÓN

En el presente anexo se pretende definir las características básicas del inventario de emisiones empleado para realizar la simulación de la calidad del aire en Catalunya el día 18 de junio de 2004. Prestando especial atención al módulo de tráfico vehicular en cuya modificación se basan los diferentes escenarios de estudio.

Se ha tomado como referencia el año 2004, por ser el año más reciente del que se disponía de toda la información necesaria (datos de calidad del aire, información meteorológica, inventario de emisiones, etc.) para el objetivo planteado.

Se determinó un episodio específico de contaminación atmosférica del año 2004 para llevar a cabo la simulación en base a dos criterios: (1) una situación de deficiente calidad del aire en el área de estudio y (2) una situación de tráfico normal (evitando fines de semana u operaciones de salida/retorno de vacaciones).

Tras analizar los datos de calidad del aire proporcionados por la *Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica de la Generalitat de Catalunya*, se estableció como episodio para realizar las simulaciones el 18 de junio de 2004. Según los datos analizados, supone el tercer episodio con peores parámetros de calidad del aire del año en el área de estudio, en lo que respecta a concentraciones de O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub> y corresponde a una situación de tráfico habitual.

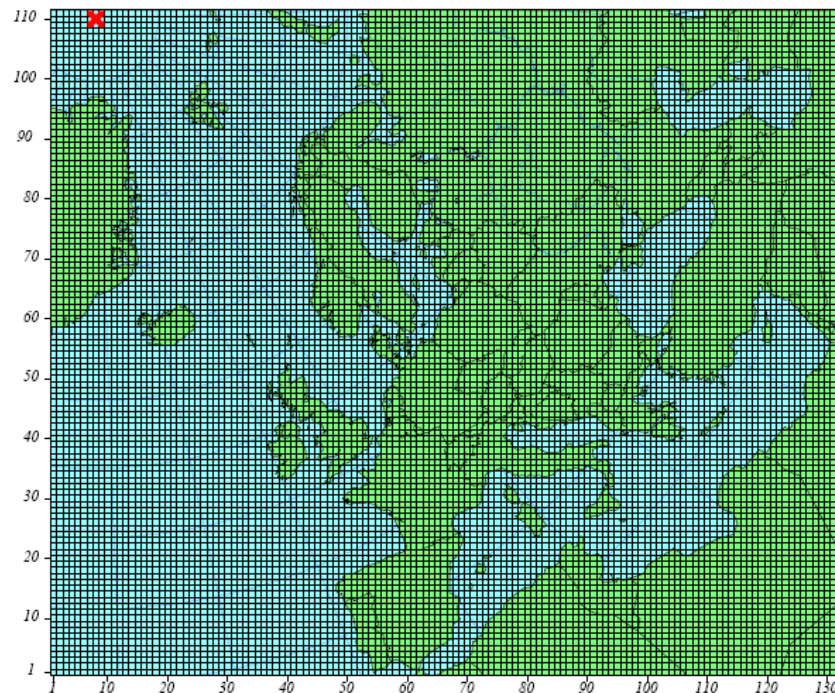




## B.2 DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE EMISIONES

A fin de obtener las condiciones iniciales y de contorno del dominio de estudio se emplean dominios de simulación anidados, para ello se utilizan dos inventarios de emisiones.

El primero se trata de un inventario de baja resolución espacial, utilizado para el dominio peninsular. Obtenido a partir del inventario EMEP ([www.emep.int](http://www.emep.int)) para Europa, cuyo dominio se presenta en la Figura 0.1, que tiene una resolución de 50 km<sup>2</sup>, con las emisiones nacionales de España y Portugal, etc., correspondientes al año 2003. Este inventario permite la simulación de toda la península Ibérica, al objeto de determinar las condiciones de contorno e iniciales sobre el dominio específico de trabajo (zona de Catalunya).



**Figura 0.1. Dominio y resolución espacial de la malla de emisiones EMEP para Europa.**  
([www.emep.int](http://www.emep.int))

Para la estimación de las emisiones de los dominios específicos de trabajo con elevada resolución espacial (correspondientes a Catalunya) se emplea el modelo de emisiones HERMES con alta resolución espacial (1 km<sup>2</sup>) y temporal (1h) e implantado en un sistema de información geográfica (GIS).



El modelo de emisiones parte de un enfoque bottom-up (estima las emisiones para cada una de las celdas en las que se ha dividido el área de estudio, a partir de los parámetros característicos de cada celda en particular. El valor total de la emisión se obtiene por la agregación de las estimaciones efectuadas para cada celda); y considera las emisiones atmosféricas provenientes de once sectores emisores (equivalentes a EMEP): tráfico vehicular, industrias, generación energética, vegetación, consumo de combustibles fósiles y disolventes en el sector residencial y comercial, aeropuertos, residuos, etc. del área de estudio.

Principalmente, el modelo de emisiones se centra en la estimación de los contaminantes fotoquímicos en fase gas y material particulado, incluyendo los precursores de ozono troposférico, empleando una alta resolución espacial y temporal. Para ello se ha empleado información como usos del suelo (CORINE Land Cover Map de alta resolución, 100m), densidad de población, ubicación industrial, etc.

El modelo de emisiones es esencial para poder proporcionar datos al modelo de calidad del aire con una periodicidad horaria, diaria, mensual y anual.

Las emisiones de cada fuente se han especiadas según las categorías del mecanismo químico Carbon Bond IV, necesario para el funcionamiento del modelo fotoquímico (CMAQ).





## **B.3 INVENTARIO DE EMISIONES DE TRÁFICO VEHICULAR.**

El módulo de HERMES empleado para estimar las emisiones de tráfico consta de una definición detallada del parque vehicular del área de estudio, que se divide en categorías con un determinado factor de emisión asociado (dependiente de la velocidad) y una descripción la red viaria de la zona de estudio, detallada e implantada en un GIS.

### **B.3.1 Descripción del parque vehicular**

El número de categorías contempladas en la definición del parque vehicular se corresponde con las empleadas por la EEA (Environmental European Agency) basada en la metodología de Ntziachristos and Samaras (2000), que discrimina los vehículos en función del tipo de combustible, la cilindrada del motor, la antigüedad del vehículo y el peso del mismo. Cada una de ellas lleva asociado un determinado factor de emisión para cada tipo de contaminante, que es función de la velocidad de circulación.

El parque de vehículos se clasifica en función de cuatro factores:

- Categoría de vehículo (72 categorías)
- Tipo de día de circulación: laborable/festivo
- Tipo de vía: urbana, carretera y autopista.
- Zona de circulación dentro de Barcelona.

En función de estas características se asocia un número de vehículos determinado a cada categoría y se obtiene el porcentaje de vehículos que corresponde a cada una de ellas respecto del total. HERMES cuenta actualmente con una distribución del parque nacional de vehículos que se aplica a toda España y con una distribución específica para la ciudad de Barcelona.

En el caso de Barcelona, además, se ha realizado una diferenciación por zonas de la composición del parque vehicular con el objetivo de reflejar la distinta composición de los vehículos que circulan en diferentes puntos de la ciudad.

A partir de datos obtenidos del Ayuntamiento de Barcelona, se han dividido la ciudad en las zonas representadas en la Figura 3.1 y se ha considerado la composición específica del parque circulante.





Figura 0.1. Distribución de las zonas de circulación en Barcelona.

### B.3.2 Descripción de la red viaria

Los mapas de tráfico para 2004 se obtienen del Ministerio de Fomento, se distinguen Rondas, Carreteras, Autovías y Autopistas. La red de vías está dividida en un número finito de tramos. En la figura 3.1 se pueden ver las celdas de 1 km<sup>2</sup> para la ciudad de Barcelona y los tramos de vía que quedan dentro de ella. En cada tramo hay asociados una serie de atributos, estos son los principales:

- Velocidad Media de Circulación específica para el tipo de vía
- IMD (intensidad media diaria), en base anual (nº de vehículos/día)
- Perfil de desagregación temporal (ciclos horarios y mensuales)
- Longitud del tramo
- Tipo de vía: urbana, carretera, autopista.
- En el caso de la ciudad de Barcelona, zona de circulación a la que pertenece el tramo.

En la Figura 0.3 se observan los puntos de la ciudad de Barcelona en los que existe dicha información. Para Barcelona son más de 2700 puntos con datos de IMD (Intensidad Media Diaria) y VMC (Velocidad Media de Circulación) situados en las principales vías urbanas e interurbanas. Se dispone además de 12 ciclos horarios para días laborables y festivos, en función del mes. Esta información se obtuvo a partir de la Direcció de Serveis de Mobilitat de l'Ajuntament de Barcelona y el Ministerio de Fomento.



Las emisiones se calculan para cada celda de 1 km<sup>2</sup> sumando la aportación de cada uno de los tramos comprendidos dentro de la celda (se tiene en cuenta la longitud real del tramo).



Figura 0.2. Celdas 1 km x 1 km para la ciudad de Barcelona.



Figura 0.3. Puntos en los que existe información disponible para Barcelona.

### B.3.3 Estimación de las emisiones procedentes de tráfico rodado

Para estimar las emisiones procedentes de cada tramo de vía se aplica la distribución del parque vehicular al número medio de vehículos que circulan por ese tramo (IMD característico del tramo) de acuerdo con la desagregación temporal estimada (ciclo horario determinado para cada mes y tipo de día: en este caso laborable). Así se obtiene el número de vehículos de cada tipo que circulan en cada hora por tramo de vía. Por otro lado cada tramo de vía lleva asociada una velocidad horaria de circulación (datos obtenidos a partir de los datos cedidos por el RACC (de 6:00 a 22:00 h) y cumplimentados con los valores de Teletlas) a partir de la cual se estima el factor de emisión para cada una de las categorías de vehículos establecidas.



Se describe a continuación el enfoque del modelo europeo COPERTIII (*Ntziachristos y Samaras, 2000*) para la estimación de las emisiones de tráfico rodado tomado como base en HERMES. Esta metodología considera las emisiones generadas en las siguientes condiciones:

- Emisiones en caliente (*hot exhaust emissions*): aquellas que provienen del tubo de escape de los vehículos, cuando los motores alcanzan estabilidad en su temperatura de funcionamiento; es decir, cuando la temperatura del agua de refrigeración es superior a 70 °C.
- Emisiones en frío (*cold exhaust emissions*): aquellas que provienen del tubo de escape antes de que el agua de refrigeración del motor haya alcanzado los 70 °C.
- Emisiones evaporativas (*evaporative emissions*): las emisiones de COV que proceden de la evaporación del combustible (esencialmente de la gasolina) desde otros dispositivos diferentes del tubo de escape (tanque de almacenamiento de combustible y carter, principalmente).

Las emisiones en caliente se calculan según la Ecuación 1:

$$E_r^{\text{icaliente}}(k, t) = E_r^{\text{icaliente}}(k, \text{laborablefestivo}) = \sum_{j=1}^n \text{Clf.Crd.} \cdot \text{IMD}_{ij}(k) \cdot L_r(k) \cdot F_j^{\text{icaliente}}(v_r) \quad (1)$$

Donde:

Parámetros:

- r : sección de la vía (tipo urbana, carretera, autopista) en la celda k.
- i : contaminante (NO<sub>x</sub>, COV, CO, SO<sub>2</sub>, PST, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O).
- j : categoría de vehículo (en función del tipo, peso, edad y cilindrada).
- n : número de tipos de vehículos que circulan por la sección de la vía r por unidad de tiempo.

Término:

- $E_r^{\text{icaliente}}(k, t)$  : emisión en caliente del contaminante i por unidad de tiempo (t = diario laborable o festivo) debido al tráfico en la sección de la vía tipo r que se encuentra en la celda k (g d<sup>-1</sup>).



**Datos:**

- $F_j^{\text{icaliente}}(v_r)$  : factor de emisión del contaminante i, para el vehículo de categoría j (es función de la velocidad típica de circulación en la vía de tipo r) ( $\text{g km}^{-1}$ ).
- $v_r$  : velocidad de circulación típica en la vía de tipo r ( $\text{km h}^{-1}$ ).
- $L_r(k)$  : longitud de la sección de la vía de tipo r en la celda k (km).
- $\text{IMD}_{rj}(k)$  : intensidad media diaria (base anual) de tráfico de vehículos de la categoría j que circula por la vía de tipo r ( $\text{vehículos d}^{-1}$ ).
- $\text{Crd}$  : relación entre la intensidad de tráfico diario con respecto a la IMD.
- $\text{Clf}$  : coeficiente de tráfico diario (laborable o festivo).

El perfil de emisiones horarias se determina mediante la Ecuación 2:

$$E_r^{\text{icaliente}}(k, \text{th}) = E_r^{\text{icaliente}}(k, \text{horario}) = \left( \frac{\text{Crh}}{100} \right) \cdot E_r^{\text{icaliente}}(k, \text{laborable/festivo}) \quad (2)$$

**Parámetro:**

th: hora del día (0,1,.....23).

**Término:**

$E_r^{\text{icaliente}}(k, \text{th})$  : emisión en caliente del contaminante i durante la hora th, debido al tráfico en la sección de la vía tipo r que se encuentra en la celda k ( $\text{g} \cdot \text{h}^{-1}$ ).

**Dato:**

$C_{rh}$  : porcentaje de la intensidad de tráfico vehicular durante la hora th con respecto a la intensidad media diaria.



Es decir, las emisiones en caliente de las distintas categorías de vehículos son función de la velocidad de circulación (específica para cada tramo de vía en el modelo) y del factor de emisión para cada contaminante (específico de la categoría de vehículo que depende del tipo de vehículo, de la cilindrada del motor, del combustible empleado, de la antigüedad y del peso).

Las emisiones en frío se contabilizan como emisiones adicionales a las emisiones en caliente, y se estiman mediante la ecuación 3 (Delgado, 1997):

$$E_r^{\text{frío}}(k, t) = E_r^{\text{frío}}(k, \text{horario}) = \sum_{j=1}^n E_r^{\text{caliente}}(k, \text{horario}) \cdot \beta(\text{lviaje}, t_a) \cdot \left( \frac{F_j^{\text{frío}}}{F_j^{\text{caliente}}}(t_a) - 1 \right) \quad (3)$$

Parámetros:

- r : sección de una vía (sólo urbana) que se encuentra en la celda k.
- i : contaminante (NO<sub>x</sub>, COV, CO, SO<sub>2</sub>, PST, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O).
- j : categoría de vehículo .
- n : número de tipos de vehículos por unidad de tiempo que circulan por la vía urbana, que se encuentra en la celda k.

*Término:*

$E_r^{\text{frío}}(k, t)$  : *emisión en frío del contaminante i por unidad de tiempo (t = horario) debido al tráfico en la sección de la vía tipo r (urbana) que se encuentra en la celda k (g·h<sup>-1</sup>).*

*Datos:*

$\beta$ : *porcentaje del trayecto urbano desarrollado en frío. Se establece como función de la longitud típica de cada viaje (lviaje) y de la temperatura ambiente (ta).*



$\frac{F_j^{\text{frío}}}{F_j^{\text{caliente}}}$  : relación entre los factores de emisión en frío y caliente; del contaminante  $i$ , del vehículo de tipo  $j$ . Se establece como una función de la temperatura ( $t_a$ ).

Las emisiones evaporativas constituyen emisiones de COVs. Debido a la falta de información, hasta la fecha se dispone de metodologías para la estimación de las emisiones evaporativas para los turismos de gasolina, vehículos de carga liviana a gasolina y motocicletas (EEA, 2001; Ntziachristos y Samaras, 2000).

Además se estiman las emisiones de partículas no derivadas de la combustión, fundamentalmente producidas por desgaste de pavimento, de frenos y de neumáticos, que son independientes del tipo de combustible empleado por el vehículo y se calculan para vehículos pesados en función del peso y del recorrido.

### **B.3.4 Factores de emisión de tráfico.**

Uno de los puntos fundamentales del módulo de estimación de las emisiones de tráfico es la determinación de los factores de emisión para las diferentes categorías de vehículos.

Para estimar los factores de emisión de las 72 categorías de vehículos diesel y a gasolina se ha seguido la metodología de Ntziachristos y Samaras, 2000 y la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA-EMEP/CORINAIR, 2005). Estas 72 categorías no incluyen vehículos con tecnologías de propulsión alternativas.







## B.4 REFERENCIAS

1. EEA - EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 2005 - Technical Report N°30
2. Nztzachristos and Samaras - Methodology and emission factors (Version 2.1) - 2000 - Technical Report N°49
3. Delgado R. (1997). *Elaboració d'un inventari d'emissions procedents del tràfic rodat en l'àrea de Catalunya durant l'any 1994*. Projecte de Màster en Enginyeria i Prevenció Ambiental. ITEMA-UPC, (Espanya).
4. EEA - EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 2005 - Technical Report N°30
5. Eudy L., 2000. SuperShuttle CNG Fleet Evaluation Final Report. National Renewable Energy Laboratory US Department of Energy.
6. Hickmann, 1998. Methodology for calculating transport emissions and energy consumption (MEET). Project Report SE/491/98 Transport Research Laboratory.
7. Nylund N and Erkkilä K, 2005. Bus emission evaluation: 2002-2004 Summary Report, VTT processes.
8. Nztzachristos and Samaras - Methodology and emission factors (Version 2.1) - 2000 - Technical Report N°49
9. Samaras, 1998. Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport. Emission factors for future road vehicles. MEET Project. Deliverable N° 26



