

# Capítulo 4

## Emisiones del tráfico vehicular

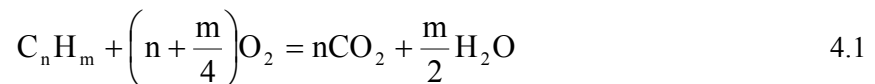
### 4.1 Introducción

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 gran mayoría de vehículos motorizados utilizan combustibles fósiles (gasolina y gasóleo, principalmente), cuyo uso produce la emisión en general de un mismo grupo de contaminantes, aunque en cantidades y proporciones diferentes según el combustible y las condiciones de combustión (Colville *et al.*, 2001).

La Figura 4.1 indica el funcionamiento de un motor a gasolina. Inicialmente, en la etapa de admisión, la mezcla *aire/combustible* (A/C) ingresa a la cámara de combustión, en donde el pistón la comprime y se produce la explosión por chispa. El pistón es impulsado con gran presión y luego se produce la evacuación de los gases de combustión. Estos gases se expulsan al exterior por medio del tubo de escape (*exhaust emission*).

En la etapa de admisión, los motores a diesel solamente absorben aire. El combustible ingresa directamente a la cámara de combustión, el aire comprimido incrementa su temperatura y se produce la autoignición.

Los combustibles fósiles, que están formados por una mezcla de diferentes hidrocarburos, luego del proceso de combustión generan principalmente CO<sub>2</sub> y vapor de agua, según lo indicado en la Ecuación 4.1.



Siendo C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> el combustible utilizado, (n + m/4)O<sub>2</sub> 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, a más de hidrocarburos sin oxidar o parcialmente oxidados.

Adicionalmente, y debido a las altas temperaturas en la cámara de combustión cuando el motor alcanza su estabilidad térmica, se produce la combinación de N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, formando NO<sub>x</sub>. Un segundo mecanismo de la formación de NO<sub>x</sub> comprende la oxidación del N contenido en los propios combustibles, pero la cantidad es muy inferior en comparación al primer mecanismo (USEPA, 2003a).

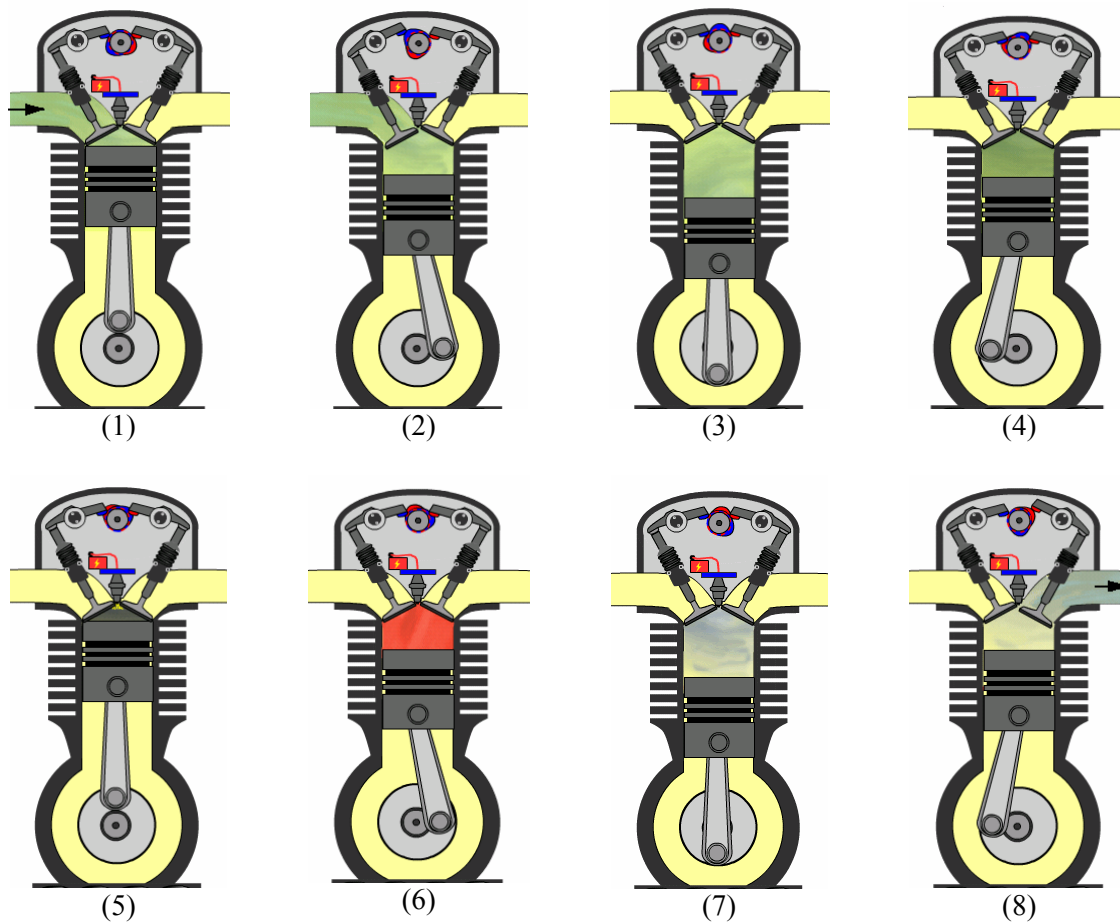


Figura 4.1: Etapas del funcionamiento de un motor de gasolina: (1-3) admisión de la mezcla aire/combustible, (4-5) compresión, (6, 7) explosión y expansión, (8) expulsión de gases de combustión.

La relación A/C es una variable determinante. La Figura 4.2 indica el comportamiento de las emisiones de  $\text{NO}_x$ , hidrocarburos y CO para diferentes valores de A/C de un motor típico de gasolina. Un valor de 14.7 proporciona la cantidad de oxígeno estequiométrico requerido para la combustión teórica completa. Valores más bajos corresponden a las denominadas mezclas ricas (más combustible del necesario), para las cuales y debido a una falta de oxígeno, hay mayores gases sin oxidar o parcialmente oxidados. Valores más altos de A/C estequiométrico corresponden a las denominadas mezclas pobres (hay un exceso de oxígeno), para las cuales hay suficiente oxígeno para la combustión y que les corresponde por tanto las mínimas emisiones de CO y COV. No obstante, para valores mayores a 18 se observa nuevamente un crecimiento de las emisiones de COV, en razón de que la cantidad de combustible empieza a ser insuficiente para producir la ignición. La Figura 4.2 indica que las mayores emisiones de  $\text{NO}_x$  ocurren para un valor cercano al A/C estequiométrico. Esto implica la imposibilidad de controlar las emisiones de los tres contaminantes únicamente controlando A/C.

El azufre forma parte de las impurezas que contienen los combustibles fósiles. Su oxidación produce la formación y emisión de  $\text{SO}_2$ . 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 resuspensión 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 ( $\text{PM}_{2.5}$ ) se producen debido a la

combustión. Los vehículos a diesel producen de 10 – 100 veces más partículas de combustión que los vehículos a gasolina (Jacobson, 2002).

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 a gasolina. A esta clase se le conoce como *emisiones evaporativas*.

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). Por tanto, el desarrollo de modelos es complejo. Estas herramientas se van adaptando continuamente con el objeto de obtener inventarios que se asemejen cada vez más a los verdaderos valores de emisión.

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

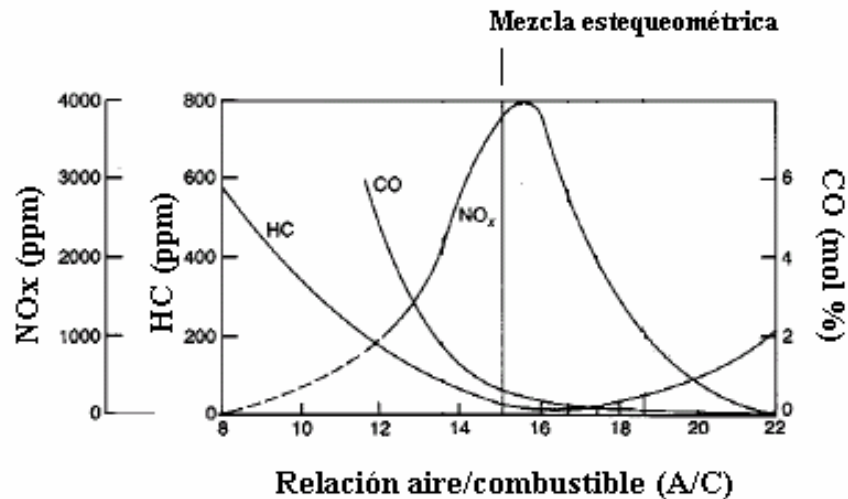


Figura 4.2: Emisiones de HC, CO y NO<sub>x</sub> en función de la relación aire/combustible para un motor de gasolina (Johnson, 1988).

## 4.2 Modelo de emisiones

Se tomó como referencia, el enfoque del modelo europeo COPERTIII (Ntziachristos *and* Samaras, 2000), que diferencia tres tipos de vías: 1) urbanas, 2) carreteras y 3) autopistas. Se consideraron 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).

### 4.2.1 Emisiones en caliente

Las emisiones diarias se valoran mediante la Ecuación 4.2:

$$E_r^{\text{icaliente}}(k, t) = E_r^{\text{icaliente}}(k, \text{laborable/festivo}) = \sum_{j=1}^n \text{Clf.Crd.IMD}_{ij}(k).L_r(k).F_j^{\text{icaliente}}(v_r) \quad 4.2$$

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) (g km<sup>-1</sup>).  
 $v_r$  : velocidad de circulación típica en la vía de tipo r (km h<sup>-1</sup>).  
 $L_r(k)$  : longitud de la sección de la vía de tipo r en la celda k (km).  
 $\text{IMD}_{ij}(k)$  : intensidad media diaria (base anual) de tráfico de vehículos de la categoría j que circula por la vía de tipo r (vehículos d<sup>-1</sup>).  
Crd : relación entre la intensidad de tráfico diario con respecto a la IMD.  
Clf : coeficiente de tráfico diario (laborable o festivo).

El perfil de emisiones horarias se determina mediante la Ecuación 4.3:

$$E_r^{\text{icaliente}}(k, \text{th}) = E_r^{\text{icaliente}}(k, \text{horario}) = \left(\frac{\text{Crh}}{100}\right) E_r^{\text{icaliente}}(k, \text{laborable/festivo}) \quad 4.3$$

Parámetro:

th: hora del día (0,1,.....23).

Término:

$E_r^{icliente}(k, th)$  : 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 ( $g\ h^{-1}$ ).

Dato:

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

Las emisiones mensuales y anual se calculan con las ecuaciones 4.4 y 4.5:

Mensual:

$$E_r^{icliente}(k, mensual) = \sum_{d=1}^8 E_r^{icliente}(k, festivo) + \sum_{d=1}^{22} E_r^{icliente}(k, laborable) \quad 4.4$$

Anual:

$$E_r^{icliente}(k, anual) = \sum_{m=1}^{12} E_r^{icliente}(k, mensual) \quad 4.5$$

#### 4.2.2 Emisiones en frío

Ocurren en las todas las condiciones de tráfico (urbana, carretera y autopista). Sin embargo, este tipo de emisiones se presentan fundamentalmente en las vías de tipo urbano (EEA, 2001; Ntziachristos and Samaras, 2000). Si bien las emisiones en frío se producen en todos los vehículos, actualmente se consideran viable la inclusión de los turismos de gasolina, turismos de diesel y vehículos que consumen gas licuado de petróleo GLP.

Las emisiones en frío se contabilizan como emisiones adicionales a las emisiones en caliente, y se estiman mediante con la ecuación 4.6 (Delgado, 1997):

$$E_r^{ifrio}(k, t) = E_r^{ifrio}(k, horario) = \sum_{j=1}^n E_r^{icliente}(k, horario) \cdot \beta(lviaje, ta) \cdot \left( \frac{F_j^{ifrio}}{F_j^{icliente}}(ta) - 1 \right) \quad 4.6$$

Parámetros:

r : sección de una vía (sólo urbana) que se encuentra en la celda k.

i : contaminante ( $NO_x$ , COV, CO,  $SO_2$ , PST,  $CO_2$ ,  $CH_4$  y  $N_2O$ ).

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:

$E_r^{ifrio}(k, t)$  : 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 ( $g\ h^{-1}$ ).

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 diarias, mensuales y anual; se obtuvieron mediante la aplicación de expresiones similares a las utilizadas para el caso de las emisiones en caliente.

#### 4.2.3 Emisiones evaporativas

Constituyen emisiones de COV y se generan principalmente mediante tres mecanismos (EEA, 2001; Ntziachristos *and* Samaras, 2000):

- *Emisiones diurnas (diurnal emissions)*: aquellas que se producen por la variación diaria de la temperatura ambiente, y se asocian con la expansión del vapor del combustible al interior del tanque de almacenamiento, a medida que se incrementa la temperatura con las horas del día. Si no existe un dispositivo de control, el vapor del combustible va hacia la atmósfera. Durante la noche, cuando desciende la temperatura, el vapor del combustible se contrae y se produce el ingreso de aire fresco al interior del tanque, disminuyendo la concentración de COV en fase gaseosa y produciéndose por tanto una evaporación adicional.
- *Emisiones por detención (soak emissions)*: aquellas que se producen después que se apaga el motor. El calor remanente del motor y del tubo de escape produce un incremento de la temperatura del combustible inmovilizado. Particularmente la cámara del carburador es una fuente importante de este tipo de emisiones. Se distinguen las emisiones por detención tibia (*warm soak emissions*) y las emisiones por detención caliente (*hot soak emissions*).
- *Emisiones durante el recorrido (running losses)*: aquellas que se generan por la emisión de vapor de combustible desde el tanque de almacenamiento durante la operación del vehículo. Se distinguen del mismo modo, las emisiones por recorrido en tibio (*warm running losses*) y las emisiones por recorrido en caliente (*hot running losses*).

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 *and* Samaras, 2000).

Las emisiones diurnas diarias totales (*diurnal emissions*) se calculan mediante la Ecuación 4.7, que corresponden al modelo estándar que presenta CORINAIR (Ntziachristos *and* Samaras, 2000):

$$E_m^{\text{evapd}}(t) = E_m^{\text{evapd}}(\text{diario}) = N_m \cdot (e_m^d(t_{\text{max}}, t_{\text{min}}, \text{RVP})) \quad 4.7$$

Parámetros:

$m$ : categoría de vehículos que producen emisiones evaporativas diurnas (turismos de gasolina controlados, turismos de gasolina no controlados, motocicletas).

Término:

$E_m^{\text{evapd}}(t)$ : emisión evaporativa diurna total de COV por unidad de tiempo ( $t = \text{diario}$ ) producidos por los vehículos de la categoría  $m$  ( $\text{g d}^{-1}$ ).

Datos:

$N_m$ : número de vehículos de la categoría  $m$  que producen emisiones evaporativas diurnas.

$e_m^d$ : factor de emisión ( $\text{g d}^{-1}$ ) para pérdidas diurnas de COV de los vehículos de tipo  $m$ . Es una función de las temperatura ambiental máxima ( $t_{\text{max}}$ ), temperatura ambiental

mínima ( $t_{\min}$ ), y de la volatilidad de la gasolina (medida por su *Reid Vapour Pressure, RVP*).

Como se indicará más adelante, los  $m$  tipos de vehículo obedecen a una clasificación específica para la valoración de las emisiones evaporativas diurnas, que es diferente del conjunto  $j$  categorías de vehículos indicadas anteriormente.

Las emisiones horarias totales se estiman mediante la Ecuación 4.8:

$$E_m^{\text{evapd}}(t) = E_m^{\text{evapd}}(\text{horaria}) = \frac{\text{temp}_{\text{th}}}{\text{temp}_m} \cdot \frac{E_m^{\text{evapd}}(\text{diaria})}{24} \quad 4.8$$

Término:

$E_m^{\text{evapd}}(\text{horaria})$ : emisión evaporativa diurna total de COV por unidad de tiempo ( $t = \text{horaria}$ ), de los vehículos de tipo  $m$  ( $\text{g h}^{-1}$ ).

Datos:

$\text{temp}_{\text{th}}$ : temperatura ambiente de la hora  $\text{th}$  (1, 2,.....24) ( $^{\circ}\text{C}$ ).

$\text{temp}_m$ : temperatura ambiente promedio diaria ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Para la desagregación espacial de las emisiones evaporativas diurnas, se desarrollan dos actividades:

1) desagregación por tipo de vehículo según la clasificación  $j$ .

Una vez calculada la emisión evaporativa diurna total horaria ( $E_m^{\text{evapd}}(\text{horaria})$ ), se efectúa la desagregación por tipo de vehículos  $j$  mediante la Ecuación 4.9:

$$E_j^{\text{evapd}}(\text{horaria}) = \frac{\sum_{r=1}^{nr} \text{IMH}_{jr}}{\sum_{j=1}^{nj} \sum_{r=1}^{nr} \text{IMH}_{jr}} \cdot E_m^{\text{evapd}}(\text{horaria}) \quad 4.9$$

Parámetros

$j$ : categoría de vehículo (en función del tipo, peso, edad y cilindrada).

$n_j$ : número de vehículos de la categoría  $j$  que producen emisiones evaporativas diurnas.

$r$ : sección de la vía (tipo urbana, carretera, autopista).

$nr$ : número total de tramos de la red vial de análisis.

Término:

$E_j^{\text{evapd}}(\text{horaria})$ : emisión evaporativa diurna total horaria de los vehículos de tipo  $j$ .

Dato:

$\text{IMH}_{jr}$ : intensidad media horaria de los vehículos  $j$ , en el tramo de vía  $r$ .

2) desagregación espacial:

Una vez establecida la emisión evaporativa diurna total horaria de los vehículos tipo  $j$  ( $E_j^{\text{evapd}}(\text{horaria})$ ), se efectúa la desagregación espacial utilizando la densidad poblacional, mediante la Ecuación 4.10:

$$E^{\text{evapd}}(k, t) = E^{\text{evapd}}(k, \text{horaria}) = \sum_{j=1}^n \frac{P_k}{P_{\text{ob}}} \cdot E_j^{\text{evapd}}(\text{horaria}) \quad 4.10$$

Parámetros:

- j: categoría de vehículo considerado en la estimación de las emisiones evaporativas diurnas.  
 n: número de categorías de vehículos.

Término:

- $E^{\text{evapd}}(k, t)$ : emisión evaporativa diurna horaria de COV por unidad de tiempo ( $t = \text{horaria}$ ) en la celda de orden  $k^{\text{th}}$ .

Dato:

- $P_k$ : población asignada a la celda de orden  $k^{\text{th}}$ .  
 $P_{\text{ob}}$ : población total. La población de Cataluña en el año 2000 fue de 6 361 365 habitantes (INE, 2003).

Las emisiones mensuales y anual se estiman mediante expresiones similares a las utilizadas en las emisiones en caliente.

Las emisiones por detención diarias totales (*soak emissions*) se estiman mediante la Ecuación 4.11 (modelo estándar de CORINAIR):

$$E_m^{\text{evaps}}(t) = E_m^{\text{evaps}}(\text{diario}) = N_m \cdot (p \cdot x_m \cdot e_m^{\text{shot}}(ta, \text{RVP}) + w \cdot x_m \cdot e_m^{\text{swarm}}(ta, \text{RVP})) \quad 4.11$$

Parámetros:

- m: categoría de vehículo (turismos de gasolina sin control, turismos de gasolina con control, motocicletas) que produce emisiones por detención.

Término:

- $E_m^{\text{evaps}}(t)$ : emisión evaporativa por detención total por unidad de tiempo ( $t = \text{diario}$ ) producida por los vehículos de la categoría m.

Datos:

- $N_m$ : número de vehículos de la categoría m que producen emisiones evaporativas por detención.  
 p: fracción de viajes que terminan el viaje con el motor en caliente (*hot*).  
 w: fracción de vehículos que terminan el viaje con el motor en frío o tibio (*warm*) ( $p + w = 1$ ).  
 $x_m$ : número promedio de viajes al año que efectúa cada vehículo de la categoría m.

- $e_m^{\text{shot}}(ta, \text{RVP})$ : factor de emisión por detención en caliente de los vehículos de tipo m ( $\text{g viaje}^{-1}$ ). Es una función de las temperatura ambiente  $ta$  y de la volatilidad de la gasolina (RVP).

- $e_m^{\text{swarm}}(ta, \text{RVP})$ : factor de emisión por detención tibio de los vehículos de tipo m ( $\text{g viaje}^{-1}$ ). Es una función de las temperatura ambiente  $ta$  y de la volatilidad de la gasolina (RVP).

Para estimar las emisiones horarias y para la desagregación espacial, se utiliza el mismo criterio indicado para las emisiones diurnas.



Las emisiones mensuales y anual se estiman mediante expresiones similares a las utilizadas en las emisiones en caliente.

Los factores de emisión para las emisiones evaporativas por recorrido (*running losses*), se establecen mediante la Ecuación 4.12:

$$F_j^{\text{evapr}} = (p \cdot x_j \cdot e_j^{\text{hot}}(ta, RVP) + w \cdot x_j \cdot e_j^{\text{warm}}(ta, RVP)) \quad 4.12$$

Término:

$F_j^{\text{evapr}}$  : factor de emisión evaporativa por recorrido por unidad de tiempo de la categoría de vehículo  $j$  ( $\text{g km}^{-1}$ ).

Datos:

$p$ : fracción de viajes que terminan con el motor en caliente.

$w$ : fracción de vehículos que terminan el viaje con el motor en frío ( $p + w = 1$ )

$x_j$ : número promedio de viajes al año que efectúa cada vehículo de la categoría  $j$

$e_j^{\text{hot}}(ta, RVP)$  : factor de emisión por recorrido en caliente de los vehículos tipo  $j$  ( $\text{g km}^{-1}$ ). Es una función de las temperatura ambiente  $ta$  y de la volatilidad de la gasolina (RVP).

$e_j^{\text{warm}}(ta, RVP)$  : factor de emisión por recorrido en tibio de los vehículos tipo  $j$  ( $\text{g km}^{-1}$ ). Es una función de las temperatura ambiente  $ta$  y de la volatilidad de la gasolina (RVP).

Las emisiones horarias evaporativas por recorrido se valoran mediante la Ecuación 4.13:

$$E^{\text{evapr}}(t) = E^{\text{evapr}}(\text{horario}) = \sum_{j=1}^n \text{Crh} \cdot \text{Clf} \cdot \text{Crd} \cdot \text{IMD}_{rj}(k) \cdot L_r(k) \cdot F_j^{\text{evapr}} \quad 4.13$$

Parámetros:

$j$ : categoría de vehículo.

$n$ : número de tipos de vehículos que circulan por la vía urbana que se encuentra en la celda  $k$ .

Término:

$E^{\text{evapr}}(t)$  : emisión evaporativa por recorrido horario.

Datos:

$F_j^{\text{evapr}}$  : factor de emisión evaporativa por recorrido por unidad de tiempo de la categoría de vehículo  $j$ .

$L_r(k)$  : longitud de la sección de la vía de tipo  $r$  en la celda  $k$ .

$\text{IMD}_{rj}(k)$  : intensidad media diaria de tráfico de vehículos de la categoría  $j$  que circula por la vía de tipo  $r$ .

$\text{Crd}$  : relación entre la intensidad de tráfico diario con respecto a la IMD.

$\text{Clf}$  : coeficiente de tráfico diario (laborable o festivo).

$\text{Crh}$  : fracción de la intensidad de tráfico vehicular durante la hora  $th$  con respecto a la intensidad media diaria.

Las emisiones diarias se estiman mediante agregación de las emisiones horarias. Las emisiones mensuales y anual se estiman mediante expresiones similares a las utilizadas en las emisiones en caliente.

### 4.3 Información Base

#### 4.3.1 Red de vías

Además de todas las autopistas, se incluyen las vías (carreteras y urbanas) que durante el año 2000 soportaron una *intensidad media diaria (IMD)* de tráfico mayor o igual 5 000 vehículos por día. La configuración de sus ejes fue digitalizada en el entorno SIG (Figura 4.3). También se incluye una parte de las carreteras con IMD entre 1 000 y 5 000, para las cuales fue posible conseguir esta información.

Las vías dividieron en tramos. Cada tramo tiene un sólo valor de la IMD. Actualmente, la red digital de EMICAT2000 incorpora más de 8 700 tramos.



Figura 4.3: Red de vías de Cataluña considerada para la valoración de las emisiones por tráfico vehicular durante el año 2000.

La Figura 4.4 indica el mapa de intensidad de tráfico estructurado con esta información. Las vías con mayor IMD corresponden a los cinturones y a determinados tramos de avenidas de Barcelona, así como varios segmentos de autopistas y carreteras que llegan al Área Metropolitana de Barcelona.

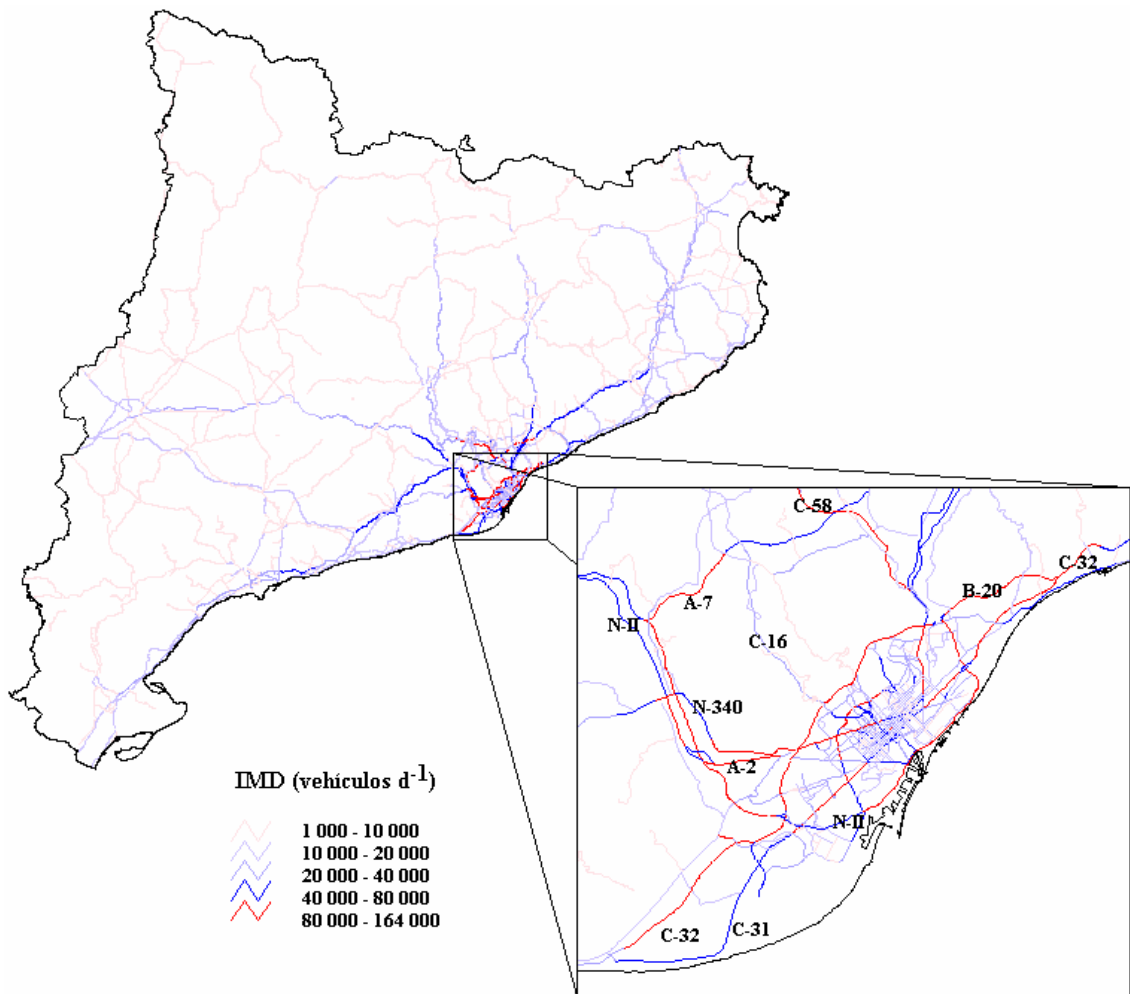


Figura 4.4: Mapa de tráfico vehicular utilizado para la valoración de las emisiones por tráfico vehicular de Cataluña durante el año 2000.

### 4.3.2 Mapa de tráfico

Se recopilieron los valores de la IMD desde diferentes fuentes, entre las que se destacan, el *Anuari Estadístic 2000 del Departament de Política Territorial i Obres Públiques de la Generalitat de Catalunya* (PTOP, 2003), el plan de aforamientos de la *Diputació de Barcelona* (DBAR, 2000), el *Anuari Estadístic 2001* del ayuntamiento de Terrassa (AJT, 2003), del ayuntamiento de Sabadell, la información facilitada por el *Àrea de Mobilitat, Transports i Circulació* del Ayuntamiento de Barcelona, el mapa de tráfico 2000 publicado por el Ministerio de Fomento (MFOM, 2001); y la información proporcionada por las entidades concesionarias que gestionan las autopistas en Cataluña.

### 4.3.3 Perfiles de tráfico mensual

Delgado (1997) presenta 47 perfiles (ver la Tabla 4.1) para caracterizar la fluctuación mensual del tráfico en los tramos de vía. Cada perfil asocia el coeficiente de relación entre la intensidad de tráfico diario con respecto a la IMD (Crd), coeficiente que multiplicado por el respectivo IMD, determina la intensidad media diaria promedio para un mes específico. Las concesionarias de las autopistas facilitaron información que permiten caracterizar la fluctuación mensual del tráfico en el año 2000 de los tramos indicado en la Tabla 4.2.

Tabla 4.1: Perfiles de tráfico mensual (coeficientes Crd) para las vías de Cataluña (Delgado, 1997).

Perfil	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0.7	0.7	0.9	1	0.9	0.9	1.5	1.8	1	0.9	0.8	0.9
2	0.7	0.7	0.9	1	0.9	1	1.5	1.7	1	0.9	0.8	0.9
3	0.7	0.7	0.9	1	0.9	1	1.5	1.6	1.1	0.9	0.8	0.9
4	0.8	0.8	1	1	1	1	1.3	1.3	1	0.9	0.9	0.9
5	0.77	0.81	0.94	0.97	1.04	1.09	1.38	1.31	1.02	0.92	0.86	0.87
6	0.84	0.93	1	0.96	1.01	1.06	1.14	0.99	1.05	1.03	1.01	0.97
7	0.8	0.9	1	1	0.9	0.9	1.2	1.3	1	1	1	1.1
8	0.8	1	1	0.9	1	1.1	1.1	0.8	1	1.1	1.1	1.1
9	0.88	0.92	1.02	0.96	0.86	0.93	1.18	1.3	1.08	0.95	0.9	1.01
10	0.8	0.9	1	0.9	1	1.2	1.4	1.3	1	0.9	0.8	0.9
11	0.99	1.1	1.1	0.99	1.04	1.05	0.99	0.54	1.01	1.04	1.08	1.02
12	1	1.1	1.1	0.9	0.9	0.9	1	0.9	1	1.2	1	1
13	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.1	1.5	1.3	1.2	1.1	1	1
14	0.9	1	1	1	1.1	1.1	1.1	0.8	1	1	1	1
15	0.86	0.93	1	1.02	1.05	0.93	1.38	1.21	0.95	0.93	0.84	0.92
16	0.87	0.93	0.96	1	0.99	1.07	1.12	1.03	1.06	1.03	0.98	0.94
17	0.92	0.92	0.97	0.97	0.99	0.99	1.09	1.09	1.01	1.01	1.03	1.03
18	0.89	0.82	1.07	0.97	0.81	0.83	1.26	2.31	0.82	0.79	0.7	0.64
19	0.84	0.84	1.1	1.1	1.05	1.05	1.07	1.07	1.01	1.01	0.92	0.92
20	0.93	0.93	0.97	0.97	0.99	0.99	1.11	1.11	1.05	1.05	0.96	0.96
21	0.88	0.82	0.88	0.99	0.88	0.97	1.19	1.4	0.98	0.85	0.82	1.31
22	1.05	1.05	0.95	0.95	0.97	0.97	1.08	1.08	1.01	1.01	0.94	0.94
23	0.97	0.93	1	1.02	1.25	0.99	1.07	1.1	0.99	1.1	0.82	0.74
24	0.9	0.9	0.99	0.99	0.95	0.95	1.06	1.06	1.01	1.01	1.09	1.09
25	0.93	0.93	0.98	0.98	1.04	1.04	1.02	1.02	0.98	0.98	1.06	1.06
26	0.89	0.89	1.01	1.01	1.04	1.04	1.04	1.04	0.95	0.95	1.08	1.08
27	0.99	1.04	1.07	1.06	1.07	1.05	1.02	0.96	0.94	0.92	0.91	0.98
28	0.91	0.95	0.98	1.06	1.08	1.06	1.12	1.18	0.98	0.92	0.88	0.88
29	0.82	0.86	0.93	0.97	0.99	1.04	1.1	1.39	1	0.95	0.95	0.95
30	0.67	0.95	1	1.02	1.03	1.05	1.11	1.12	1.05	0.99	0.99	0.98
31	0.81	0.81	0.95	0.95	0.99	0.99	1.34	1.34	0.93	0.93	0.98	0.98
32	0.94	0.99	0.93	1.04	1.11	1.02	1.19	1.04	0.95	0.86	0.96	0.96
33	0.83	0.83	0.68	0.68	0.73	0.73	1.85	1.85	0.74	0.74	1.16	1.16
34	0.29	0.29	0.63	0.63	0.82	0.82	2.67	2.67	1.35	1.35	0.25	0.25
35	0.94	0.94	0.94	0.94	1.01	1.01	1.07	1.07	1.02	1.02	1.01	1.01
36	0.71	0.71	1.03	1.03	1.03	1.03	1.37	1.37	1.1	1.1	0.76	0.76
37	0.74	0.82	0.96	0.99	1.05	1.1	1.47	1.32	1.02	0.88	0.82	0.82
38	1.07	1.07	1.07	1.02	1.02	1.02	0.87	0.63	1	1	1.12	1.12
39	1.04	1.04	1.04	1	1	1	0.96	0.7	1.01	1.01	1.11	1.11
40	1.02	1.02	1.02	1.03	1.03	1.03	0.99	0.77	0.98	0.98	1.06	1.06
41	1.05	1.05	1.05	1.02	1.02	1.02	0.9	0.58	1.02	1.02	1.13	1.13
42	1.07	1.07	1.07	0.99	0.99	0.99	1.03	0.79	0.97	0.97	1.03	1.03
43	1.12	1.12	1.12	0.98	0.98	0.98	0.88	0.67	0.99	0.99	1.09	1.09
44	1.06	1.06	1.06	1	1	1	0.89	0.6	1.01	1.01	1.17	1.17
45	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.02	0.94	0.76	1	1	1.07	1.07
46	1.09	1.09	1.09	0.96	0.96	0.96	0.92	0.67	1.01	1.01	1.12	1.12
47	1.08	1.08	1.08	1.14	1.14	1.14	0.55	0.36	1	1	1.21	1.21

Tabla 4.2: Perfiles de tráfico mensual (coeficientes Crd) de las autopistas de Cataluña en el año 2000.

Perfil	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
48	0.75	0.83	0.88	1.05	0.97	1.07	1.39	1.39	1.06	0.90	0.86	0.84
49	0.81	0.90	0.94	1.00	1.01	1.11	1.27	1.15	1.06	0.94	0.92	0.89
50	0.73	0.83	0.90	1.08	0.94	1.07	1.32	1.41	1.09	0.91	0.85	0.87
51	0.81	0.95	0.98	1.01	1.04	1.07	1.18	1.00	1.06	0.97	0.99	0.93
52	0.67	0.72	0.81	1.10	0.83	1.05	1.40	1.64	1.20	0.91	0.75	0.89
53	0.70	0.73	0.83	1.13	0.88	0.94	1.34	1.74	1.10	0.90	0.78	0.90
54	1.14	1.12	0.89	1.07	0.72	0.83	1.02	1.32	1.00	0.90	0.83	1.15
55	0.89	1.04	1.07	0.95	1.06	1.12	1.03	0.64	1.03	1.07	1.13	0.99
56	0.87	0.97	0.92	0.92	0.86	1.12	1.18	0.97	1.16	1.05	0.99	0.99
57	0.91	1.04	1.08	0.94	1.09	1.10	1.04	0.57	1.02	1.08	1.14	1.02
58	0.75	0.84	0.93	1.01	0.96	1.10	1.33	1.28	1.07	0.94	0.88	0.89
59	0.65	0.76	0.85	1.04	0.91	1.12	1.42	1.54	1.13	0.90	0.82	0.83

Perfil 48: Barcelona - La Jonquera (A-7). Perfil 49: Montgat - Matarò - Palafolls (C-32).

Perfil 50: Autopista A-2 Barcelona - Molins de Rei Tarragona Autopista A-7 Molins de Rei - Salou.

Perfil 51: Montmeló - Papiol (tramo A-7). Perfil 52: Saragossa - Mediterrani (A-2).

Perfil 53: Tarragona (Salou) - Amposta (A-7). Perfil 54: Túnel del Cadí (C-16/E-9).

Perfil 55: Sant Cugat - Terrasa (C-16/E-9). Perfil 56: Terrasa - Manresa (C-16/E-9).

Perfil 57: Túnel de Vallvidrera (C-16/E-9). Perfil 58: Castelldefels - Sitges (C-32).

Perfil 59: Sitges - El Vendrell (C-32)

La Figura 4.5 indica el perfil de tráfico mensual de las autopistas de la Tabla 4.2. Varias vías experimentan la mayor intensidad de tráfico en el mes de agosto (valores de Crd entre 1.4 – 1.8) como los tramos Tarragona (Salou) – Amposta de la vía A-7, Saragosa – Mediterrani de la vía A-2, Sitges – El Vendrell de la vía C-32; que corresponden a autopistas con influencia directa del turismo local y foráneo, y conectan con sitios de interés vacacional. Por el contrario, el tramo Sant Cugat – Terrasa de la autopista C-16 y el Túnel de Vallvidrera, experimentan un descenso importante de tráfico en el mes de agosto (Crd aproximado a 0.6).

Para las otras vías, y tomando como referencia la asignación realizada en Delgado (1997), se atribuyó a cada tramo, uno de los perfiles presentados, considerando su funcionalidad y características.

La Figura 4.6 indica los perfiles para algunas de las calles y avenidas de Barcelona. De la misma manera, y coincidiendo con la época de vacaciones, en el mes de agosto hay un descenso en el tráfico (valores de Crd entre 0.4 – 0.8).

#### 4.3.4 Perfiles de tráfico diario y horario

Los valores de IMD para días laborables y festivos se caracterizaron mediante coeficientes (Clf) específicos para cada mes. Para cada perfil mensual de la Tabla 4.1 y de la Tabla 4.2 se asocia un ciclo horario, según lo indicado en la Tabla 4.3 y en la Tabla 4.4. Hay un total de 20 ciclos horarios que describen la variación del porcentaje de tráfico horario (Crh), tanto para los días laborables y festivos, según lo indicado en la Tabla 4.5 y la Tabla 4.6.

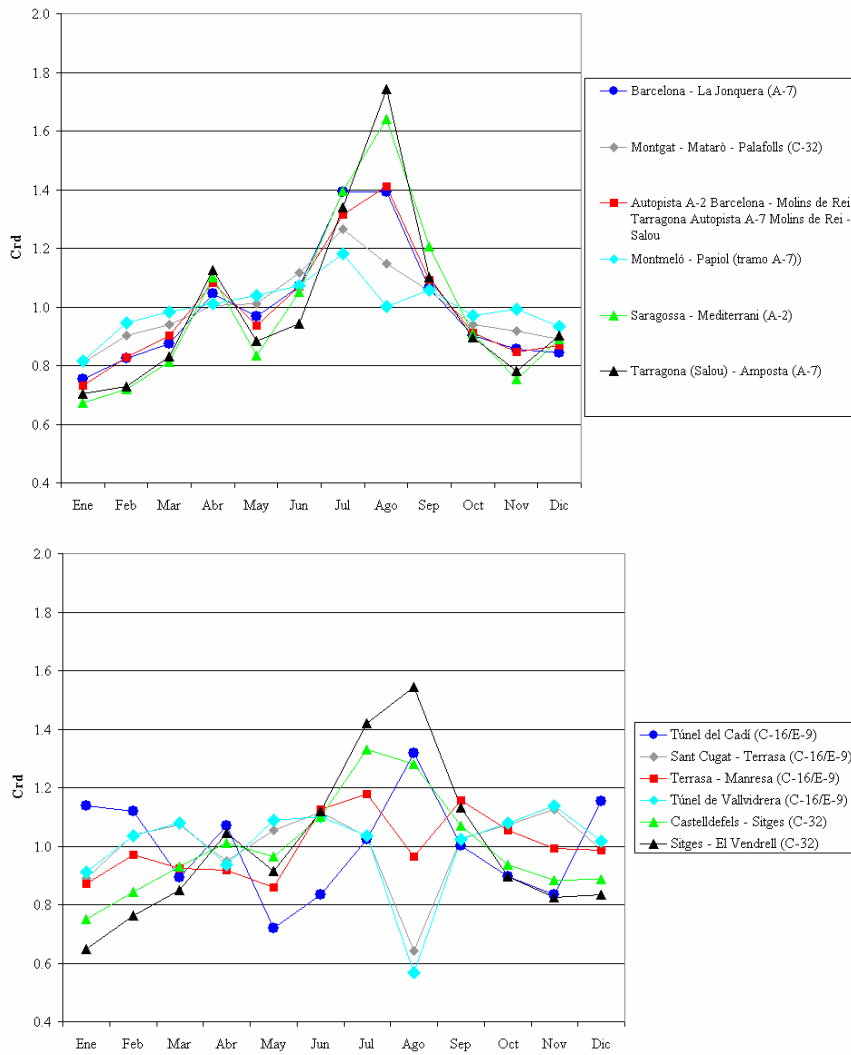


Figura 4.5: Perfiles de variación mensual del tráfico de las autopistas de Cataluña en el año 2000.

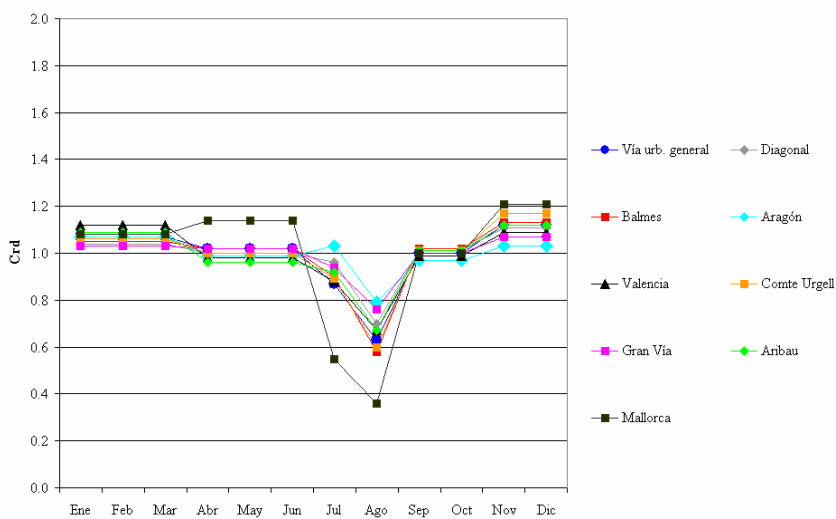


Figura 4.6: Perfiles de variación mensual del tráfico vehicular en algunas calles de Barcelona.

Tabla 4.3: Coeficientes de tráfico diario (Clf) y asignación de perfiles horarios (Delgado, 1997).

Perfil mensual	Coeficiente de día laborable	Coeficiente de día festivo	Ciclo horario asociado
1	0.97	1.03	2
2	0.97	1.03	2
3	0.97	1.03	3
4	0.96	1.04	4
5	0.92	1.08	5
6	1.05	0.95	6
7	0.99	1.01	7
8	1.03	0.97	7
9	1.02	0.98	9
10	0.81	1.19	7
11	1.24	0.76	14
12	1.25	0.75	14
13	1	1	13
14	1.04	0.96	14
15	1.04	0.96	2
16	0.99	1.01	3
17	1.01	0.99	4
18	0.94	1.06	2
19	1.04	0.96	2
20	1	1	2
21	0.98	1.02	2
22	1.05	0.95	9
23	1	1	9
24	1	1	6
25	1.02	0.98	6
26	1.04	0.96	6
27	1.01	0.99	13
28	0.99	1.01	13
29	0.98	1.02	5
30	1.02	0.98	5
31	1	1	5
32	0.98	1.02	7
33	0.92	1.08	5
34	0.99	1.01	5
35	0.97	1.03	5
36	1	1	5
37	1.13	0.87	37
38	1.15	0.85	38
39	1.13	0.87	39
40	1.1	0.9	40
41	1.12	0.88	41
42	1.09	0.91	42
43	1.18	0.82	43
44	1.18	0.82	44
45	1.07	0.93	45
46	1.15	0.85	46
47	1.28	0.72	47

Tabla 4.4: Coeficientes de tráfico diario (Clf) y asignación de perfiles horarios.

Perfil mensual	Coeficiente de día laborable	Coeficiente de día festivo	Ciclo horario asociado
48	0.92	1.08	5
49	1	1	13
50	0.97	1.03	2
51	1.13	0.87	37
52	0.97	1.03	2
53	0.99	1.01	7
54	0.92	1.08	5
55	1.25	0.75	14
56	1.25	0.75	14
57	1.24	0.76	14
58	0.98	1.02	7
59	0.98	1.02	7

Tabla 4.5: Perfiles de tráfico horario (porcentajes Crh) para días laborables (Delgado, 1997).

Ciclo	Hora																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1	2	1.4	1	0.9	0.9	1.4	2.4	4.5	6	6.8	6.6	6.3	5.8	5.3	4.7	4.8	5.4	6	6.4	6.3	5.4	4.2	3.1	2.4	2
2	3	1.2	0.9	0.7	0.8	1.3	2.4	4.7	6.3	7.1	6.9	6.4	5.8	5.4	4.8	4.8	5.5	6	6.4	6.2	5.4	4.1	2.9	2.2	1.8
3	4	1.2	0.8	0.7	0.8	1.4	2.9	5.2	6.5	6.9	6.6	6.1	5.7	5.2	4.7	4.9	5.6	6	6.4	6.3	5.5	4.1	2.8	2.1	1.6
4	5	1.1	0.9	0.7	0.7	1	2.1	5.1	6.5	6.9	7.1	6.9	6.2	5.6	5.1	5.1	5.5	6.1	6.4	6.2	5.4	4	2.5	1.7	1.2
5	6	0.7	0.5	0.4	0.5	1.4	2.7	6.6	7.8	6.7	6.2	6	5.7	5.6	5	5	5.6	6.5	6.8	6.3	5.2	3.9	2.5	1.4	1
6	7	1.4	1	0.8	1.1	1.5	2	3.3	4.6	5.3	5.1	5	5	4.9	4.5	5	6.3	6.9	8	7.6	7	5.2	3.7	2.7	2.1
7	9	1	0.7	0.7	0.8	1.2	1.9	3.3	5	6.8	6.8	6.4	5.8	5.6	5	5	6	6.4	7.2	6.6	6.1	4.9	3.3	2.2	1.3
8	13	0.7	0.4	0.3	0.3	0.5	1.8	6.2	7.2	7	6.3	6	5.6	5.4	4.6	5.2	5.6	6.4	7.2	7.3	6.6	4.7	2.2	1.4	1.1
9	14	0.6	0.4	0.3	0.2	0.8	2.2	7	8.7	7.3	6.1	5.6	5.3	5.3	4.6	4.9	5.3	6.5	7.7	7.4	5.9	3.8	2.1	1.2	0.8
10	37	0.8	0.6	0.6	0.6	1.1	2.2	6.5	8.8	7.7	7.1	7	6.5	5.6	4.7	5	5.5	6	6.5	5.9	4.3	2.7	1.8	1.4	1.1
11	38	1.5	1	0.6	0.5	0.4	0.8	1.5	4.9	6.5	6.2	5.9	6	6	6.1	5.2	5.5	6.6	6.6	6.7	6.3	6	4.6	2.7	1.9
12	39	1.3	0.9	0.6	0.5	0.5	0.9	1.9	5.2	7	5.9	5.4	5.3	5.4	6.1	5.9	5.7	5.9	6.4	6.7	6.8	6.3	5.1	2.7	1.6
13	40	1.2	0.8	0.6	0.5	0.5	1.3	2.8	5.6	6.2	5.7	5.6	5.6	5.5	5.9	5.4	5.6	5.8	6.3	6.7	6.6	6.2	4.8	3	1.8
14	41	1.4	1	0.6	0.5	0.5	0.6	0.9	3.6	5.7	6.4	6.8	7.1	7	6.9	5.3	5.1	6.6	6.8	7	6.6	5.8	4.2	2.1	1.5
15	42	1.5	0.9	0.7	0.6	0.7	1.5	3.1	6.4	6.7	6.2	5.8	5.6	5.4	5.3	5.1	6.1	6.5	6.2	6	5.6	5.1	4.4	2.9	1.7
16	43	1.6	1.1	0.7	0.5	0.4	0.4	1	3.5	5.9	6	5.9	6.1	6.3	6.3	5.2	5.6	6.4	6.7	6.8	6.8	6.7	5.1	3.1	1.9
17	44	1.7	1.2	0.7	0.6	0.4	0.7	1.5	5.1	6.5	5.8	5.4	5.8	5.9	6.6	6	5.3	6	5.9	6.1	6.4	6.4	5	2.7	2.3
18	45	1.6	0.9	0.6	0.5	0.6	1.3	2.7	5.3	6.2	5.9	5.6	5.7	5.6	5.7	5.2	5.7	6.2	6	6.2	6	5.8	4.9	3.6	2.2
19	46	2.4	1.5	0.8	0.5	0.4	0.5	0.8	3.7	5.8	5.7	5.8	6.1	6.1	6.6	5.5	5.2	6.3	6.4	6.4	6.7	6.5	5	3	2.3
20	47	0.6	0.4	0.2	0.2	0.1	0.3	0.9	6.6	8.9	7.7	5.8	5.9	5.5	5.1	3.8	5.4	8.3	8.5	8.2	6.3	5.7	3.3	1.4	0.9



Tabla 4.6: Perfiles de tráfico horario (porcentajes Crh) para días festivos (Delgado, 1997).

Ciclo	Hora																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1	2	1.4	0.9	0.8	0.8	1.2	1.6	2.4	3.3	4.4	5.5	6.3	6.3	5.6	4.5	4.4	5.8	7.3	7.9	7.6	6.7	5.3	4.3	3.4	2.3
2	3	1.3	0.9	0.7	0.8	1.2	1.5	2.2	3.1	4.2	5.4	6.1	6	5.2	4.4	4.2	5.8	7.5	8.2	8	7	5.6	4.7	3.7	2.3
3	4	1.5	0.8	0.6	0.7	1.2	1.4	1.8	2.7	4	5.3	5.9	5.7	5.1	4.2	4	5.6	7.7	8.4	8.2	7.4	6.2	5	3.9	2.7
4	5	1.3	0.7	0.5	0.4	0.8	0.8	1.4	2.5	4.4	6	6.9	6.7	5.9	4.6	3.9	5.3	7.2	8.5	8.5	7.6	6.1	4.6	3.4	2
5	6	1.3	0.7	0.6	0.6	1.5	1.6	2	3	4.2	5.5	6	5.8	5.6	5	3.9	5.4	7.3	8.1	8	7.2	6.2	4.9	3.5	2.1
6	7	1.6	0.9	0.6	0.7	0.9	0.5	0.8	1.3	1.9	2.4	3.2	4.1	4.5	3.9	4.5	6.3	8.9	10.6	10.7	9.6	7.9	6.5	4.6	3.1
7	9	1	0.6	0.5	0.5	0.7	1.2	2	2.6	3.7	4.4	5.1	5.7	5.6	4.8	4.4	5.8	7.1	8.7	9	9	7.2	5	3.3	2.1
8	13	1.1	0.5	0.3	0.3	0.6	1.3	1.4	2.5	3.8	5.3	6.6	6.8	6.9	6.2	4.1	5.4	7.2	8.3	7.9	7.3	6.2	4.7	3.3	2
9	14	1.1	0.5	0.3	0.3	0.8	0.8	1.3	2.2	3.4	4.8	5.7	5.7	5.5	4.9	3.6	5.1	7.8	9.6	9.8	8.8	7.3	5.3	3.6	1.8
10	37	1.4	1	0.8	1	1.7	2.1	2.9	3.9	5.3	6.4	7	6.6	5.6	4.9	4.7	5.7	6.7	7	6.8	5.8	4.6	3.4	2.6	2.1
11	38	4.1	3.8	2.9	2.5	1.9	1.7	1.6	2	2.6	3.3	4	5.1	5.7	6.3	5.3	3.6	4.9	6.1	6.7	6.6	6.2	5.6	4.2	3.3
12	39	2.8	2.9	2.4	2.2	1.9	2	1.7	1.8	2.7	3.5	4.6	5.6	5.9	6.3	5.9	4.1	5.1	6.1	6.7	6.6	6.5	5.6	3.8	3.3
13	40	2.7	2.6	2.1	1.9	1.7	1.7	1.8	2.2	3	3.9	4.9	5.8	5.9	6.3	6.2	4.1	4.9	6.2	6.6	6.4	6.2	5.5	4.1	3.3
14	41	3.9	3.9	3.2	2.8	2.2	1.9	1.5	1.8	2.3	3.1	4	5.2	6	6.5	4.8	3.2	4.2	5.6	7.3	7.3	6.8	6.2	3.6	2.7
15	42	3.5	3.1	2.4	2.2	1.8	2.1	2.1	2.7	3	3.7	4.3	5.5	5.6	5.7	5.3	3.9	5.3	6.6	7	6.3	5.4	5.3	4	3.2
16	43	4.4	4.2	3.5	3.3	2.2	1.8	1.4	1.5	2.3	3.2	4.2	5.1	6.1	6.9	5.1	3.5	4	5.2	6.4	6	5.4	5.9	4.8	3.6
17	44	4.2	4.1	3	2.6	2	1.7	1.6	2	2.7	3.4	4.2	5.5	6.4	6.9	5.7	3.6	4.4	5.2	5.6	6.5	6.5	5	4	3.2
18	45	3.7	3.3	2.6	2.2	1.8	1.7	2	2.3	2.8	3.5	4.3	5.4	5.9	6.2	5.9	3.8	4.5	5.7	6.4	6.1	6.1	5.8	4.4	3.6
19	46	6.1	5.4	4	3.1	2.3	1.9	1.4	1.6	1.9	2.4	2.8	3.5	4.2	5.5	5.5	3.3	3.9	5.5	6.7	6.9	6.9	5.9	4.9	4.4
20	47	3	2.5	1.7	1.3	1	1	1.1	2.2	2.8	3.6	4.4	5.3	6.1	6.3	5	3.6	8	8.7	7.9	6.8	6.4	5.3	3.4	2.6

La Figura 4.7 indica los perfiles de tráfico horarios, tanto de días laborables y festivos, para varios tramos de autopistas. En los perfiles de los días laborables se presentan los porcentajes de tráfico más altos hacia las 9:00 horas y 19:00 horas. Hay un descenso hacia el medio día y los porcentajes mínimos de circulación se presentan durante las últimas horas de la noche y las primeras de la madrugada. Los perfiles de los días festivos presentan una configuración similar, pero el máximo de la mañana se desplaza a las 11:00 horas y los porcentajes máximos de la tarde son mayores en relación con los correspondientes de los días laborables.

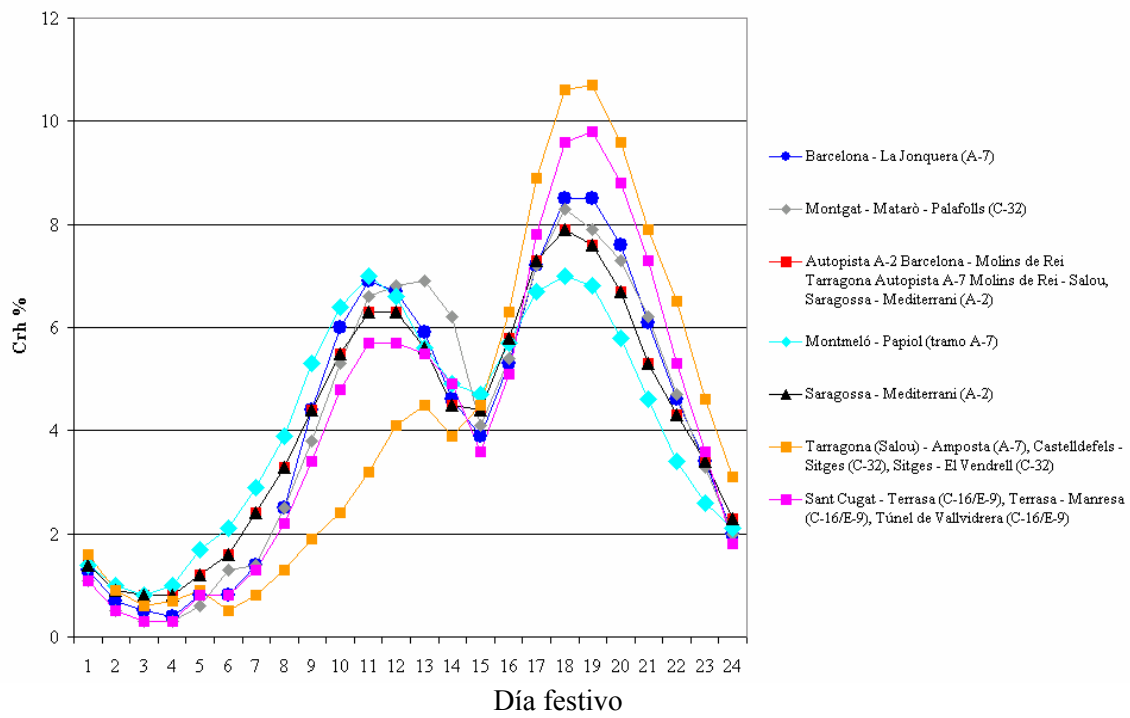
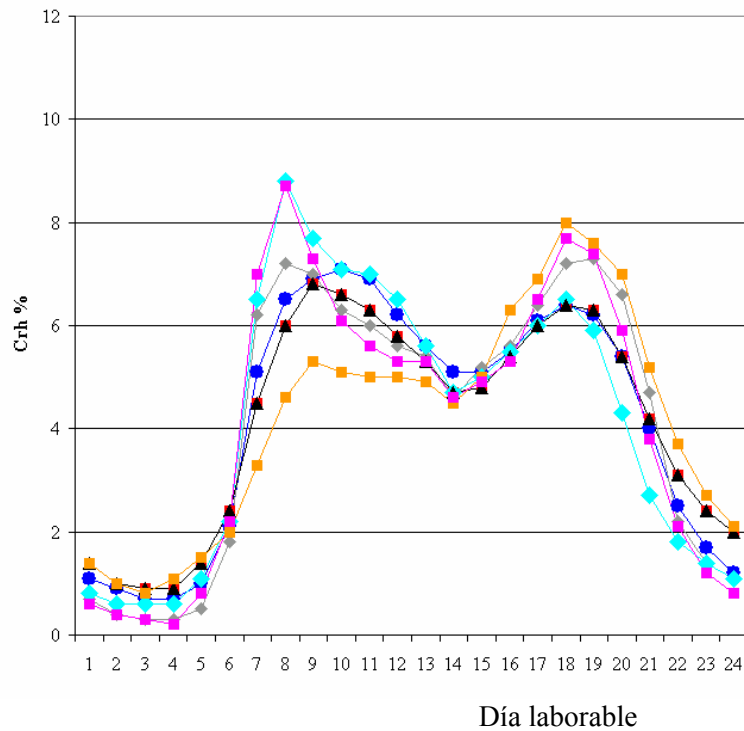


Figura 4.7: Perfiles de variación horaria del tráfico vehicular en autopistas de Cataluña.

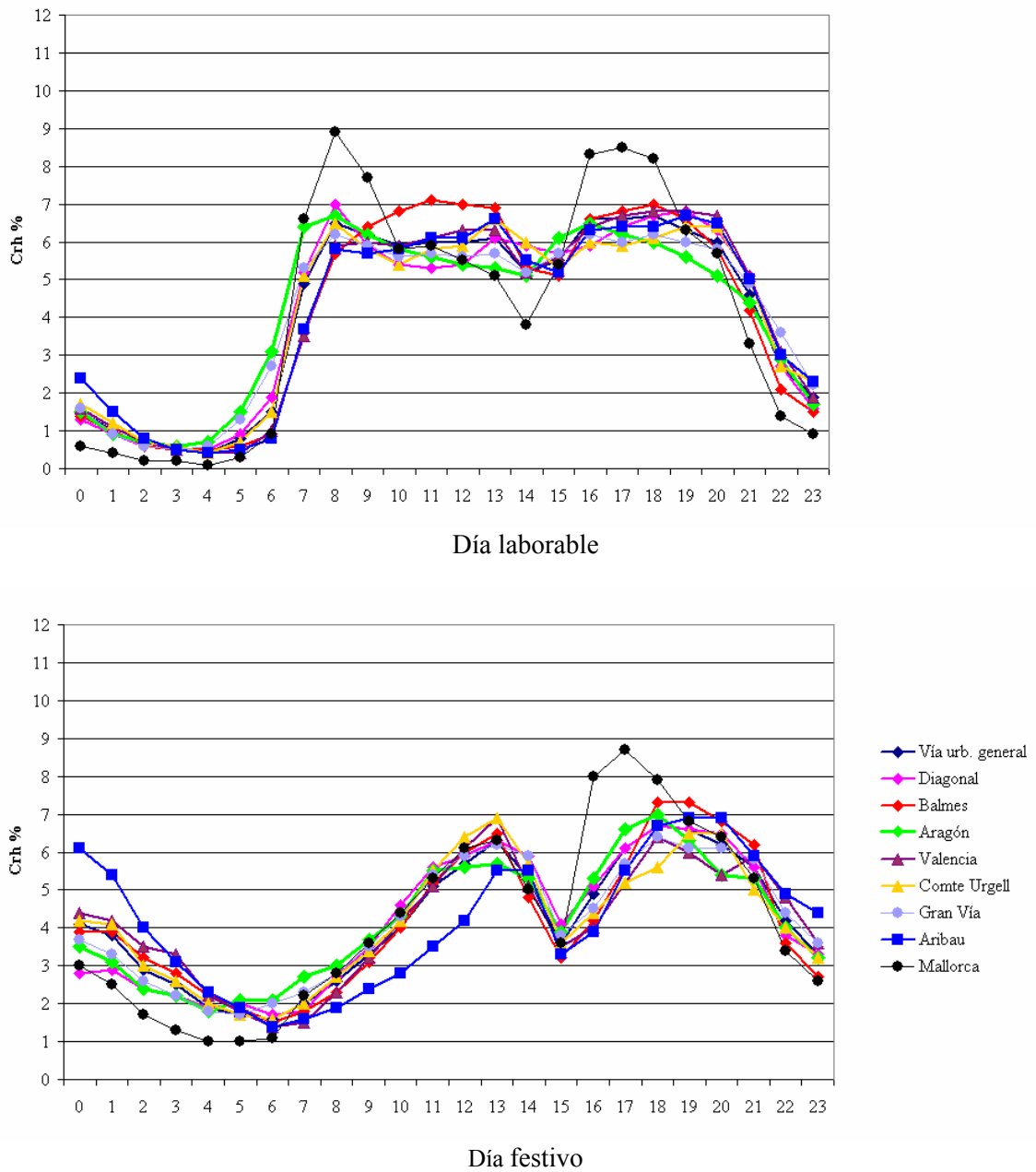


Figura 4.8: Perfiles de variación horaria del tráfico vehicular en algunas vías urbanas de Barcelona.

La Figura 4.8 indica el perfil horario del tráfico para varias avenidas y calles de Barcelona. Se destaca de estos perfiles que en los días festivos, hay porcentajes importantes de tráfico durante la noche y primeras horas de la madrugada.

#### 4.3.5 Composición del parque automotor

Según la información estadística de la *Generalitat de Catalunya* para el año 2000 (GCAT, 2002) y de la Dirección General de Tráfico (DGT, 2003), la composición del parque automotor en Cataluña en el año 2000 se conformó según lo indicado en la Figura 4.9.

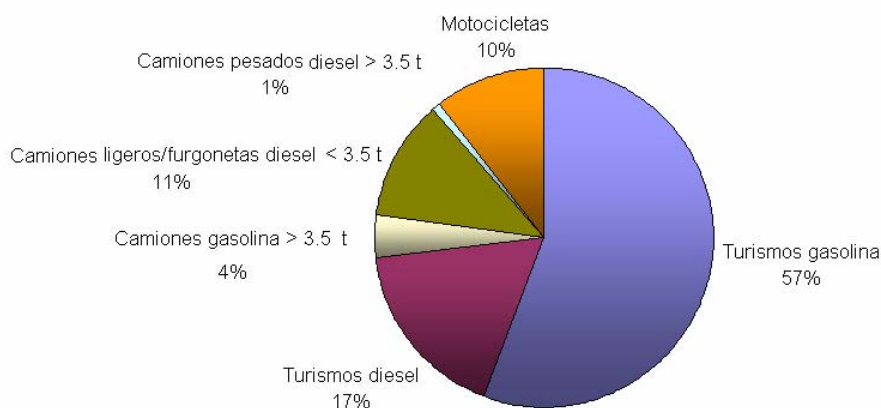


Figura 4.9: Composición del parque automotor de Cataluña para el año 2000.

Los turismos que usan gasolina constituyen el 57 % del número total de vehículos, seguido de los turismos de diesel (17 %), los camiones ligeros de carga y furgonetas a diesel (11 %), motocicletas (10 %), camiones que consumen gasolina (4 %) y camiones pesados a diesel (1 %).

Los turismos de gasolina, de acuerdo con la metodología de valoración de las emisiones EMEP/CORINAIR 2001, se subclasifican en categorías asociadas a diferentes períodos de vigencia de directivas que aparecieron desde el año 1970. Esta subdivisión se estructura en función de la normativa vigente sobre los límites de emisión para la homologación de los vehículos y es la siguiente:

- ❑ Pre-ECE: turismos homologados durante la año 1970 y anteriores (no estaban sometidos a ninguna disposición legal con respecto a sus emisiones).
- ❑ ECE 15/00 y 01: turismos homologados durante el período 1971 – 1977, que debían cumplir los límites de emisión establecidos en las directivas 70/220/CEE y 74/290/CEE).
- ❑ ECE 15/02: vehículos homologados entre los año 1978 – 1979, que debían cumplir los límites de emisión de la Directiva 77/102/CEE.
- ❑ ECE 15/03: turismos homologados durante el período 1980 – 1984, que debían cumplir con los límites de emisión de la Directiva 78/665/CEE.
- ❑ Dentro de estas cuatro primeras categorías, existe una diferenciación adicional en función del cilindrada de los motores: menor a 1.4 l, entre 1.4 l y 2 l, mayor a 2 l.
- ❑ ECE 15/04 (< 1.4 l): turismos de cilindrada menor a 1400 cm<sup>3</sup>, homologados entre los años 1985 y 1990, que debían cumplir con los límites de emisión de la Directiva 83/351/CEE.
- ❑ ECE 15/04 (1.4 - 2 l): turismos de cilindrada entre 1400 y 2000 cm<sup>3</sup>, homologados entre los años 1985 y 1991, que debían cumplir con los límites de emisión de la Directiva 83/351/CEE.
- ❑ ECE 15/04 (> 2 l): turismos de cilindrada mayor a 2000 cm<sup>3</sup>, homologados entre los años 1985 y 1988, que debían cumplir con los límites de emisión de la Directiva 83/351/CEE.
- ❑ Vehículos con sistema de inyección convencional, sin catalizador (< 1.4 l): turismos con cilindrada inferior a 1400 cm<sup>3</sup>, homologados durante el período 1991 y 1992, que debían cumplir los límites de emisión de la Directiva 88/76/CEE.

- ❑ Vehículos con sistema de inyección convencional, sin catalizador (1.4 - 2 l): turismos con cilindrada entre 1400 y 2000 cm<sup>3</sup>, homologados durante el año 1992, que debían cumplir los límites de emisión de la Directiva 88/76/CEE.
- ❑ Vehículos con catalizador de oxidación (< 1.4 l): turismos con cilindrada inferior a 1400 cm<sup>3</sup>, homologados durante el período 1993 - 1994, que debían cumplir los límites de emisión de la Directiva 91/441/CEE.
- ❑ Vehículos con catalizador de oxidación (1.4 – 2 l): turismos con cilindrada entre 1400 y 2000 cm<sup>3</sup>, homologados durante el período 1993 - 1994, que debían cumplir los límites de emisión de la Directiva 91/441/CEE.
- ❑ Vehículos con catalizador de tres vías (> 2 l): turismos con cilindrada inferior mayor a 2000 cm<sup>3</sup>, homologados durante el período 1989 - 1994, que debían cumplir los límites de emisión de la Directiva 88/76/CEE.
- ❑ Vehículos Euro I: turismos homologados durante el período 1995 – 1997, que deben cumplir los límites de emisión de la Directiva (91/441/EEC).
- ❑ Vehículos Euro II: turismos homologados durante el período 1998 - 2000, que deben cumplir los límites de emisión de la Directiva 94/12/CEE.

Esta subclasificación se estructuró en base de la actualización del parque automotor de Cataluña en 1994 (Delgado, 1997) para el año 2000, mediante información obtenida del Anuario Estadístico General del año 2000 de la Dirección General de de Tráfico (MIR, 2002) y de la *Generalitat de Catalunya* (GCAT, 2002).

El parque de los turismos de gasolina se conformó según lo indicado en la Figura 4.10. El mayor porcentaje (26 %) corresponde a los vehículos de la categoría ECE 15/04, seguido de la categoría Euro II (23 %), Euro I (16 %), vehículos con catalizador (11 %), vehículos sin catalizador (8 %). El porcentaje total de las otras categorías (Pre-ECE, ECE 15/00 y 01, ECE 15/02 y ECE 15/03) es también importante (16 %)

Los turismos de diesel se subclasifican en dos categorías, en función del cilindrada (< 2 l y > 2 l).

Se consideró una sola categoría para los camiones de gasolina (peso superior a 3.5 t).

Para los vehículos de carga a diesel se consideraron las siguientes subcategorías:

- ❑ Vehículos de carga ligera con peso menor a 3.5 t.
- ❑ Vehículos de carga pesada con peso entre 3.5 – 7.5 t.
- ❑ Vehículos de carga pesada con peso entre 7.5 – 16 t.
- ❑ Vehículos de carga pesada con peso mayor a 16 t.

Las motocicletas se subclasificaron de la siguiente manera:

- ❑ Motocicletas con cilindrada inferior a 50 cm<sup>3</sup>.
- ❑ Motocicletas con cilindrada superior a 50 cm<sup>3</sup> (con motores de dos y cuatro tiempos).

De acuerdo a información proporcionada por las concesionarias de las autopistas y la Diputación de Barcelona, en los días festivos hay una reducción promedio del 60 % de la circulación de los

vehículos pesados (mayores de 3.5 t). Esto justifica que se definan al menos dos perfiles de composición vehicular para el tráfico en días laborables y festivos; ya que la variación indicada tiene una influencia importante en la magnitud y composición de las emisiones. Además, se conoce que en promedio, en un día laborable, la presencia de vehículos pesados en las autopistas es de un 22 %; y de un 14 % para las carreteras.

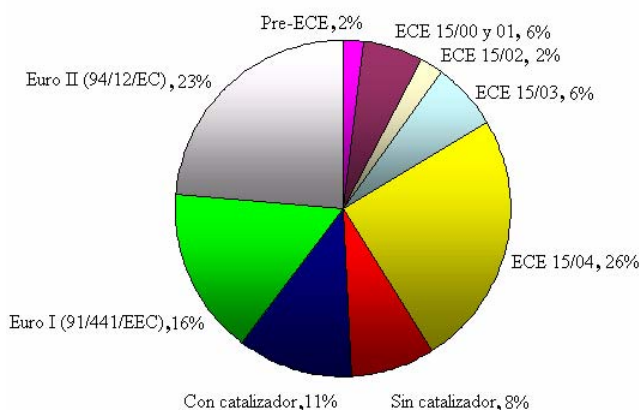


Figura 4.10: Composición del parque de turismos de gasolina de Cataluña para el año 2000.

También se tomó en cuenta las diferencias en las distancias anuales recorridas por tipo de vehículo. De acuerdo a la información proporcionada por el *Institut Català d'Energia (ICAEN)*, se conoce que en el año 1999, la distancia total recorrida por los vehículos de pasajeros a diesel es igual al 45 % de la distancia total recorrida por los vehículos de pasajeros de gasolina. Además, la relación entre la distancia total recorrida por los camiones (diesel y gasolina) con respecto a la distancia de los vehículos de pasajeros es de un 50 %. El recorrido de las motocicletas es un 10 % del recorrido de los vehículos de pasajeros.

La Tabla 4.7 indica los porcentajes de circulación de cada tipo de vehículo y por tipo de vía (urbana, autopista y carretera), tanto para los días laborables y festivos. Estos porcentajes son una versión actualizada de los valores utilizados por Delgado (1997) con la incorporación de la información sobre el descenso del tráfico pesado en días festivos.

La Tabla 4.8 indica los perfiles de composición del parque vehicular de circulación para las 36 subcategorías de vehículos, por tipo de vía y tanto para días laborables y festivos. Estos perfiles incorporan las pautas de circulación de la Tabla 4.7, la presencia esperada de vehículos pesados según el tipo de vía, así como las relaciones entre las distancias de recorrido por grupos de vehículos recientemente indicadas.

Tabla 4.7: Porcentajes de circulación por tipo de vehículo según el tipo de vía.

Tipo de vehículo	Día laborable				Día festivo			
	Urbano	Carretera	Autopista	%	Urbano	Carretera	Autopista	%
Turismos de gasolina (1)	29.2	31.2	39.6	100	29.2	31.2	39.6	100
Turismos de diesel (1)	74.6	11.2	14.2	100	74.6	11.2	14.2	100
Camiones de gasolina >3.5 t	20.0	22.0	58.0	100	5.6	6.2	16.2	28
Vehículos de carga a diesel <3.5 t	30.0	22.0	48.0	100	8.4	6.2	13.4	28
Camiones de diesel >3.5 t	20.0	22.0	58.0	100	5.6	6.2	16.2	28
Motocicletas <50 cc (1)	100	0.0	0.0	100	100.0	0.0	0.0	100
Motocicletas >50 cc (1)	72.4	13.3	14.3	100	72.4	13.3	14.3	100

(1) Fuente: Delgado (1997).

Tabla 4.8: Composición del parque vehicular de circulación por tipo de vía para Cataluña durante el año 2000 (%).

Tipo de vehículo	Subcategoría	Día laborable			Día festivo		
		Urbana	Carretera	Autopista	Urbana	Carretera	Autopista
Pre-ECE (hasta 1970)	< 1.4 l	0.22	0.53	0.42	0.25	0.69	0.63
	1.4 - 2.0 l	0.14	0.33	0.26	0.16	0.43	0.39
	> 2.0 l	0.03	0.07	0.06	0.04	0.10	0.09
ECE 15/00 y 01 (1971-1977)	< 1.4 l	0.64	1.54	1.21	0.73	2.01	1.84
	1.4 - 2.0 l	0.40	0.96	0.75	0.46	1.25	1.14
	> 2.0 l	0.09	0.22	0.17	0.10	0.28	0.26
ECE 15/02 (1978-1979)	< 1.4 l	0.25	0.59	0.46	0.28	0.77	0.71
	1.4 - 2.0 l	0.15	0.37	0.29	0.18	0.48	0.44
	> 2.0 l	0.03	0.08	0.06	0.04	0.11	0.10
ECE 15/03 (1980-1984)	< 1.4 l	0.70	1.67	1.31	0.80	2.19	2.00
	1.4 - 2.0 l	0.44	1.04	0.82	0.50	1.36	1.24
	> 2.0 l	0.10	0.23	0.18	0.11	0.31	0.28
ECE 15/04	< 1.4 l (85 - 90)	2.65	6.32	4.96	3.02	8.26	7.55
	1.4 - 2.0 l (85 - 91)	1.98	4.74	3.71	2.26	6.19	5.66
	> 2.0 l (85 - 88)	0.20	0.49	0.38	0.23	0.64	0.58
Sin catalizador	< 1.4 l (91-92)	1.15	2.76	2.16	1.32	3.61	3.30
	1.4 - 2.0 l (92)	0.38	0.91	0.71	0.43	1.19	1.08
Catalizador de oxidación (93-94)	< 1.4 l	1.05	2.50	1.96	1.19	3.27	2.99
	1.4 - 2.0 l	0.65	1.56	1.22	0.74	2.03	1.86
Catalizador de 3 vías (89-94) (88/76/CEE)	> 2.0 l	0.48	1.14	0.89	0.54	1.48	1.36
Euro I (91/441/EEC) (95-97)	< 1.4 l	1.80	4.31	3.38	2.05	5.62	5.14
	1.4 - 2.0 l	1.12	2.68	2.10	1.28	3.50	3.20
	> 2.0 l	0.25	0.60	0.47	0.29	0.79	0.72
Euro II (94/12/EC) (98-2000)	< 1.4 l	2.60	6.21	4.87	2.96	8.11	7.42
	1.4 - 2.0 l	1.61	3.86	3.02	1.84	5.04	4.61
	> 2.0 l	0.36	0.87	0.68	0.41	1.14	1.04
Turismos diesel	< 2.0 l	44.68	15.01	11.75	50.94	19.60	17.91
	> 2.0 l	2.47	0.83	0.65	2.82	1.08	0.99
Camiones gasolina > 3.5 t		2.01	4.94	8.05	0.64	1.81	3.43
Camiones ligeros a diesel < 3.5t		11.45	18.79	25.32	3.66	6.87	10.80
Camiones pesados entre 3.5 y 7.5 t		1.69	4.16	6.77	0.54	1.52	2.89
Camiones pesados entre 7.5 y 16 t		1.42	3.49	5.68	0.45	1.28	2.42
Camiones pesados > 16 t		0.48	1.18	1.92	0.15	0.43	0.82
Motocicletas	< 50 cc	4.05	0.00	0.00	4.62	0.00	0.00
	> 50 cc 2t	7.97	3.28	2.18	9.09	4.28	3.31
	> 50 cc 4t	4.29	1.76	1.17	4.89	2.30	1.78
Total		100	100	100	100	100	100

En el parque automotor de Cataluña, también existen vehículos que consumen gas licuado de petróleo (GLP), sin embargo su participación es poco significativa, por lo que no fueron incluidos específicamente.

#### 4.3.6 Velocidad media de circulación

La Tabla 4.9 indica que las velocidades medias de circulación por tipo de vía. Los datos de las vías de Barcelona corresponden a valores medios del año 2000.

Tabla 4.9: Velocidad media de circulación según el tipo de vía.

Tipo de vía	Velocidad (km h <sup>-1</sup> )
Vías urbanas de Barcelona(*)	
Gran Vía	20.2
Aragò	20.8
Entença	16.5
Numància	16.4
Diagonal	18.9
Meridiana	22.7
Aribau	13.4
Muntaner	13.7
Mallorca	19.0
Valencia	16.5
Gràcia	13.0
Balmes	16.3
Rondas	59.8
Otras vías urbanas	17.3
Autopista(**)	108.5
Carretera (**)	71.4

Fuente: (\*) Ayuntamiento de Barcelona, (\*\*) Costa (1995).

#### 4.4 Factores de emisión en caliente

La metodología EMEP/CORINAIR 2001 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 los NO<sub>x</sub>, CO, COV, CH<sub>4</sub> y PST.
- ❑ Grupo 2: contaminantes cuyas emisiones se definen indirectamente en función del consumo de combustible. Se incluyen al CO<sub>2</sub> y SO<sub>2</sub>.
- ❑ Grupo 3: contaminantes para los que existe una metodología simple, en razón de la ausencia de información detallada. Se incluye al N<sub>2</sub>O.



**4.4.1 Factores de emisión de NO<sub>x</sub>**

La Tabla 4.10 presenta las expresiones (o directamente el factor de emisión) que se utilizaron para la determinación de los factores de emisión de NO<sub>x</sub> (EEA, 2001; Ntziachristos *and* Samaras, 2000).

Tabla 4.10: Funciones para la determinación de los factores de emisión de NO<sub>x</sub> (g NO<sub>2</sub> km<sup>-1</sup>).

Tipo de vehículo	Subcategoría	Rango de velocidad (km h <sup>-1</sup> )	Función / factor de emisión
Pre-ECE ECE 15/00 y 01	< 1.4 l	10 - 130	1.173 + 0.0225V - 0.00014V <sup>2</sup>
	1.4 - 2.0 l	10 - 130	1.360 + 0.0217V - 0.00004V <sup>2</sup>
	> 2.0 l	10 - 130	1.5 + 0.03V + 0.0001V <sup>2</sup>
ECE 15/02	< 1.4 l	10 - 130	1.479 - 0.0037V + 0.00018V <sup>2</sup>
	1.4 - 2.0 l	10 - 130	1.663 - 0.0038V + 0.00020V <sup>2</sup>
	> 2.0 l	10 - 130	1.87 - 0.0039V + 0.00022V <sup>2</sup>
ECE 15/03	< 1.4 l	10 - 130	1.616 - 0.0084V + 0.00025V <sup>2</sup>
	1.4 - 2.0 l	10 - 130	1.29e <sup>0.0099V</sup>
	> 2.0 l	10 - 130	2.784 - 0.0112V + 0.000294V <sup>2</sup>
ECE 15/04	< 1.4 l	10 - 130	1.432 + 0.0026V + 0.000097V <sup>2</sup>
	1.4 - 2.0 l	10 - 130	1.484 + 0.013V + 0.000074V <sup>2</sup>
	> 2.0 l	10 - 130	2.427 - 0.014V + 0.000266V <sup>2</sup>
Sin catalizador	< 1.4 l	10 - 130	-0.926 + 0.7192ln(V)
	1.4 - 2.0 l	10 - 130	1.387 - 0.0014V + 0.000247V <sup>2</sup>
Catalizador de oxidación	< 1.4 l	10 - 130	-0.921 + 0.616ln(V)
Catalizador de tres vías	1.4 - 2.0 l	10 - 130	-0.761 + 0.515ln(V)
Euro I (91/441/EEC)	> 2.0 l	10 - 130	0.26-0.00036V+0.000061V <sup>2</sup>
	< 1.4 l	5-130	0.5595 - 0.01047V + 10.8E-05V <sup>2</sup>
	1.4 - 2.0 l	5-130	0.526 - 0.0085V + 8.54E-05V <sup>2</sup>
Euro II (94/12/EC)	> 2.0 l	5-130	0.666 - 0.009V + 7.55E-05V <sup>2</sup>
	< 1.4 l	5-130	36 % del correspondiente Euro I
	1.4 - 2.0 l	5-130	36 % del correspondiente Euro I
Turismos diesel	> 2.0 l	5-130	36 % del correspondiente Euro I
	< 2.0 l	10-130	0.918-0.014V+0.000101V <sup>2</sup>
	> 2.0 l	10-130	1.331-0.018V+0.000133V <sup>2</sup>
Camiones gasolina > 3.5 t		Urbano	4.5 g km <sup>-1</sup>
		Autopista	7.5 g km <sup>-1</sup>
		Carretera	7.5 g km <sup>-1</sup>
Camiones ligeros a diesel < 3.5t		10 - 110	81.6E-05V <sup>2</sup> -0.1189V+5.1234
		0 - 46.7	50.305V <sup>-0.7708</sup>
Camiones pesados 3.5 - 7.5 t		46.7 - 100	0.0014V <sup>2</sup> -0.1737V+7.5506
		0 - 58.8	92.584V <sup>-0.7393</sup>
Camiones pesados 7.5 - 16 t		58.8 - 100	0.0006V <sup>2</sup> -0.0941V+7.7785
Camiones pesados > 16 t		0 - 100	108.36V <sup>-0.6061</sup>
Motocicletas	< 50 cc		0.03 g km <sup>-1</sup>
	> 50 cc 2t	10 - 60	0.00003V <sup>2</sup> -0.002V+0.064
	> 50 cc 2t	60 - 110	-0.00002V <sup>2</sup> +0.0049V-0.157
	> 50 cc 4t	10 - 60	0.00005V <sup>2</sup> -0.001V+0.09
	> 50 cc 4t	60 - 110	0.00002V <sup>2</sup> +0.0006V+0.102

La Figura 4.11 indica el comportamiento de los factores de emisión de  $\text{NO}_x$  de los vehículos a gasolina de pasajeros (< 1.4 l). Los factores generalmente crecen con la velocidad de circulación, aunque las curvas presentan diferente tipo de concavidad según el tipo de vehículo. Es importante la reducción para los vehículos más nuevos (Euro I). En este último caso inclusive se aprecia que las menores emisiones se presentarían dentro de un rango de velocidades entre 40 – 60  $\text{km h}^{-1}$ .

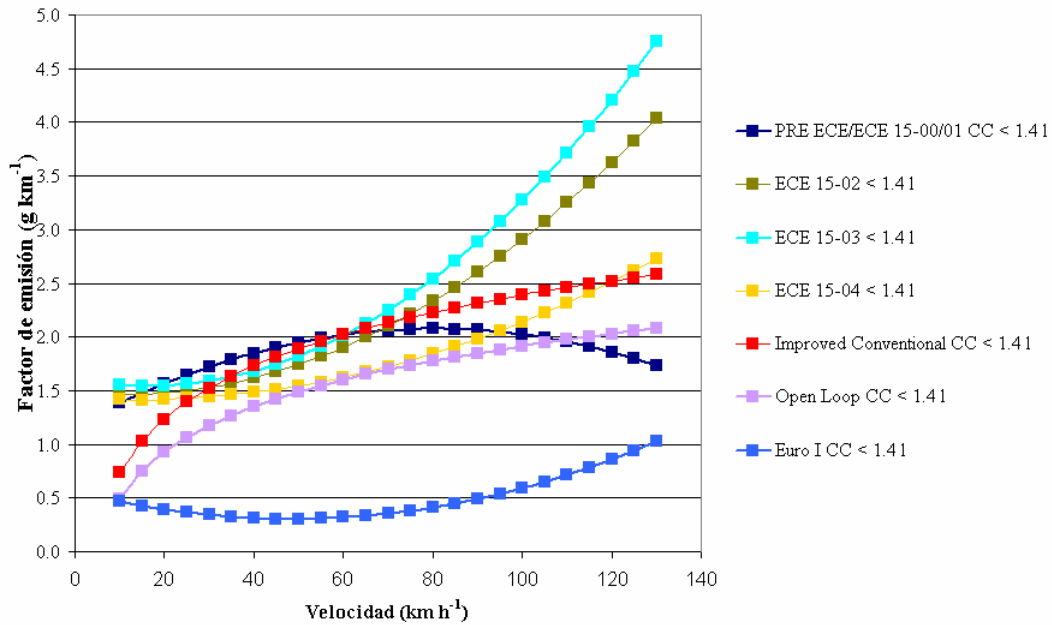


Figura 4.11: Comportamiento de los factores de emisión de  $\text{NO}_x$  en vehículos a gasolina de pasajeros.

#### 4.4.2 Factores de emisión de COV

La Tabla 4.11 incluye las expresiones (o directamente el factor de emisión) que se utilizan para la determinación de los factores de emisión de COV (EEA, 2001; Ntziachristos *and* Samaras, 2000).

Tabla 4.11: Funciones para la determinación de los factores de emisión de COV (g CH<sub>1.85</sub> km<sup>-1</sup>).

Tipo de vehículo	Subcategoría	Rango de velocidad (km h <sup>-1</sup> )	Función / factor de emisión
Pre-ECE	Todas	10 – 100	30.34V <sup>-0.693</sup>
		100 – 130	1.247
ECE 15/00 y 01	Todas	10 – 50	24.99V <sup>-0.704</sup>
		50 – 130	4.85V <sup>-0.318</sup>
ECE 15/02 y ECE 15/03	Todas	10 – 60	25.75V <sup>-0.714</sup>
		60 – 130	1.95-0.019V+0.00009V <sup>2</sup>
ECE 15/04	Todas	10 – 60	19.079V <sup>-0.693</sup>
		60 – 130	2.608-0.037V+0.000179V <sup>2</sup>
Sin catalizador	< 1.4 l	10 – 130	2.189-0.034V+0.000201V <sup>2</sup>
	1.4 - 2.0 l	10 – 130	1.999-0.034V+0.000214V <sup>2</sup>
Catalizador de oxidación	< 1.4 l	10 – 130	2.185-0.0423V+0.000256V <sup>2</sup>
	1.4 - 2.0 l	10 – 130	0.808-0.016V+0.000099V <sup>2</sup>
Catalizador de tres vías	> 2.0 l	10 – 130	0.165-0.002V+0.000019V <sup>2</sup>
Euro I (91/441/EEC)	< 1.4 l	5 – 130	0.628-0.01377V+8.52E-05V <sup>2</sup>
	1.4 - 2.0 l	5 – 130	0.4494-0.00888V+5.21E-05V <sup>2</sup>
	> 2.0 l	5 – 130	0.5086-0.00723V+3.3E-05V <sup>2</sup>
Euro II (94/12/EC)	< 1.4 l	5 – 130	21 % del correspondiente Euro I
	1.4 - 2.0 l	5 – 130	21 % del correspondiente Euro I
	> 2.0 l	5 – 130	24 % del correspondiente Euro I
Turismos diesel	Todas	10 – 130	4.61V <sup>-0.937</sup>
		Urbano	7.0 g km <sup>-1</sup>
Camiones gasolina > 3.5 t		Autopista	3.5 g km <sup>-1</sup>
		Carretera	5.5 g km <sup>-1</sup>
Camiones ligeros a diesel < 3.5t		10 - 110	1.75E-05V <sup>2</sup> -0.00284V+0.2162
Camiones pesados 3.5 - 7.5 t		0 -100	40.120V <sup>-0.8774</sup>
Camiones pesados 7.5 - 16 t		0 - 100	40.120V <sup>-0.8774</sup>
Camiones pesados > 16 t		0 - 100	40.120V <sup>-0.8774</sup>
Motocicletas	< 50 cc		9 g km <sup>-1</sup>
	> 50 cc 2t	10 – 60	0.0035V <sup>2</sup> -0.4090V+20.10
	> 50 cc 2t	60 – 110	0.0003V <sup>2</sup> -0.0524V+10.6
	> 50 cc 4t	10 – 60	0.00190V <sup>2</sup> -0.211V+6.95
	> 50 cc 4t	60 – 110	0.00090V <sup>2</sup> -0.141V+6.420

Los factores de emisión se expresan como CH<sub>1.85</sub> equivalente. Las emisiones de NMCOV deben calcularse mediante la diferencia entre las emisiones obtenidas con los factores de la Tabla 4.11 y las correspondientes emisiones de CH<sub>4</sub> (Ntziachristos *and* Samaras, 2000).

La Figura 4.12 indica el comportamiento de los factores de emisión de COV de los vehículos a gasolina de pasajeros (< 1.4 l). Los factores generalmente decrecen con la velocidad de circulación en el caso de las categorías PRE ECE, ECE 15-00/01/02/03/04. En este tipo de vehículos las mayores emisiones ocurren a bajas velocidades.

Es importante la reducción de los factores de emisión para los vehículos más nuevos, los que producirían las menores emisiones dentro de un rango de velocidades entre 60 – 100 km h<sup>-1</sup> aproximadamente.

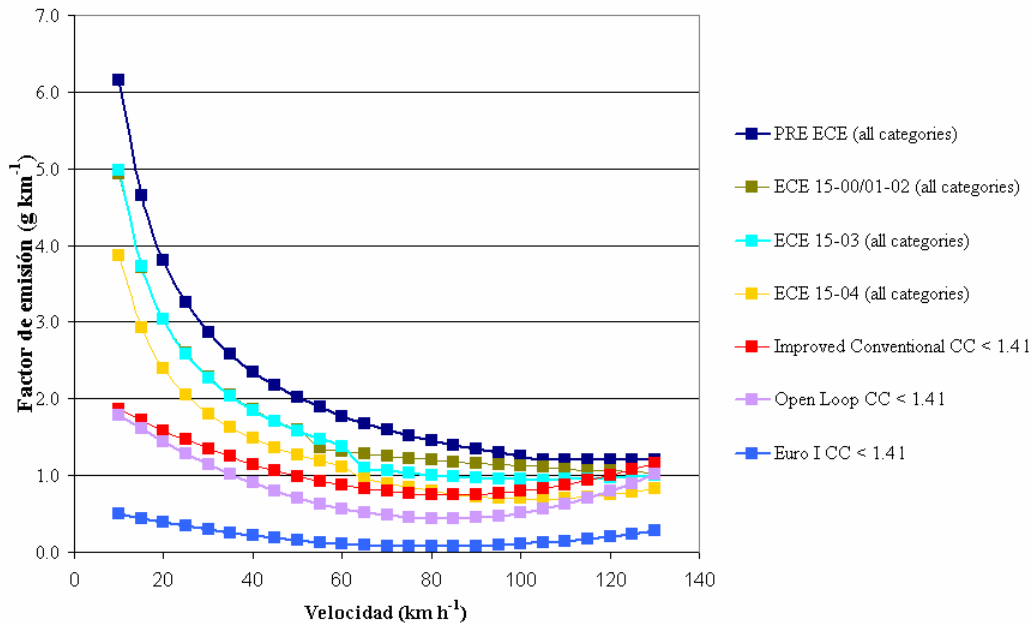


Figura 4.12: Comportamiento de los factores de emisión de COV en vehículos a gasolina de pasajeros.

#### 4.4.3 Factores de emisión de CO

La Tabla 4.12 incluye las expresiones (o directamente el factor de emisión) que se utilizan para la determinación de los factores de emisión de CO (EEA, 2001; Ntziachristos *and* Samaras, 2000).

Tabla 4.12: Funciones para la determinación de los factores de emisión de CO (g CO km<sup>-1</sup>).

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

La Figura 4.13 indica el comportamiento de los factores de emisión de CO de los vehículos a gasolina de pasajeros (< 1.4 l). En todos los casos, las menores emisiones ocurren dentro de intervalos de velocidad específicos para cada tipo de vehículo. Las mayores emisiones ocurren a velocidades bajas, especialmente en los modelos más viejos.

Es importante la reducción de los factores de emisión para los vehículos nuevos, especialmente con velocidades bajas.

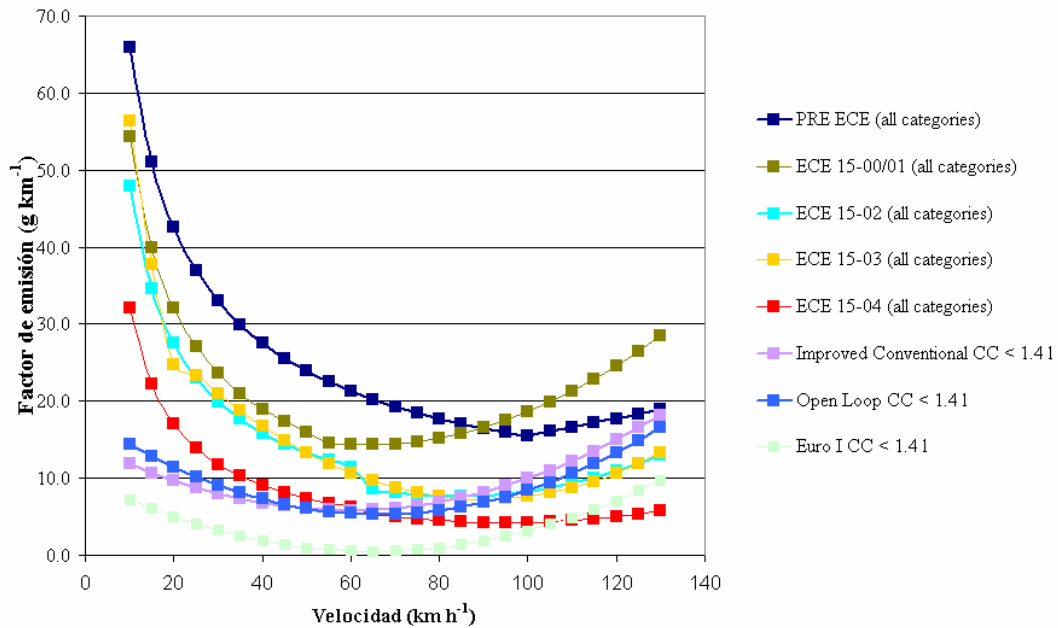


Figura 4.13: Comportamiento de los factores de emisión de CO en vehículos a gasolina de pasajeros.

#### 4.4.4 Factores de consumo de combustible

La Tabla 4.13 incluye las expresiones (o directamente el factor de consumo) que se utilizaron para la determinación de los factores de consumo de combustible (EEA, 2001; Ntziachristos *and* Samaras, 2000). Por medio de estos factores de consumo se valoran las emisiones de SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.

Los factores de emisión de SO<sub>2</sub>, se establecieron directamente en función del contenido de azufre en los combustibles, asumiendo que todo el azufre se transforma íntegramente a SO<sub>2</sub>.

Para el caso de la gasolina se consideró un contenido de azufre de 0.015%. Para el diesel (gasóleo tipo A) se consideró un contenido de azufre de 0.035%. El factor de emisión de SO<sub>2</sub> se establece por medio de la Ecuación 4.14:

$$FESO_2 = \frac{2.C_{comb}.\%S}{100} \quad 4.14$$

Siendo:

FESO<sub>2</sub>: factor de emisión de SO<sub>2</sub> (g km<sup>-1</sup>).  
 C<sub>comb</sub>: consumo de combustible (g km<sup>-1</sup>).  
 %S: porcentaje de azufre en el combustible.

Los factores de emisión de CO<sub>2</sub>, se establecieron directamente en función del contenido de carbono en los combustibles, asumiendo que todo el carbono finalmente se transforma a CO<sub>2</sub>.

El factor de emisión de CO<sub>2</sub> por consumo de gasolina (una gasolina tipo de composición media CH<sub>1.8</sub>) se establece por medio de la Ecuación 4.15 (EEA, 2001):

$$FECO_2g = \frac{44.C_{gasolina}}{13.8} \quad 4.15$$

Siendo:

FECO<sub>2g</sub>: factor de emisión de CO<sub>2</sub> (g km<sup>-1</sup>) por consumo de gasolina.  
 C<sub>gasolina</sub>: consumo de gasolina (g km<sup>-1</sup>).

El factor de emisión de CO<sub>2</sub> por consumo de diesel (composición media CH<sub>2</sub>) se establecen por medio de la Ecuación 4.16 (EEA, 2001):

$$FECO_2d = \frac{44.C_{diesel}}{14} \quad 4.16$$

Siendo:

FECO<sub>2d</sub>: factor de emisión de CO<sub>2</sub> (g km<sup>-1</sup>) por consumo de diesel.  
 C<sub>diesel</sub>: consumo de diesel (g km<sup>-1</sup>).

Tabla 4.13: Funciones de los factores de consumo de combustible ( $\text{g km}^{-1}$ ).

Tipo de vehículo	Subcategoría	Rango de velocidad ( $\text{km h}^{-1}$ )	Función / factor de consumo
Pre-ECE	< 1.4 l	10 – 60	$521V^{-0.554}$
		60 – 80	55
		80 – 130	$0.386V+24.143$
	1.4 - 2.0 l	10 – 60	$681V^{-0.583}$
		60 – 80	67
		80 – 130	$0.471V+29.286$
	> 2.0 l	10 – 60	$979V^{-0.628}$
		60 – 80	80
		80 - 130	$0.414V+46.867$
ECE 15-00/01	< 1.4 l	10 – 60	$595V^{-0.63}$
		60 – 130	$95-1.324V+0.0086V^2$
	1.4 - 2.0 l	10 – 60	$864V^{-0.69}$
		60 – 130	$59-0.407V+0.0042V^2$
	> 2.0 l	10 – 60	$1236V^{-0.764}$
		60 – 130	$65-0.407V+0.0042V^2$
ECE 15-02/03	< 1.4 l	10 – 50	$544V^{-0.63}$
		50 – 130	$85-1.108V+0.0077V^2$
	1.4 - 2.0 l	10 – 50	$879V^{-0.72}$
		50 – 130	$71-0.7032V+0.0059V^2$
	> 2.0 l	10 – 50	$1224V^{-0.756}$
		50 – 130	$111-1.333V+0.0093V^2$
ECE 15-04	< 1.4 l	10 – 17.9	$296.7-80.21\ln(V)$
		17.9 – 130	$81.1-1.014V+0.0068V^2$
	1.4 - 2.0 l	10 – 22.3	$606.1V^{-0.667}$
		22.3 – 130	$102.5-1.364V+0.0086V^2$
	> 2.0 l	10 – 59.5	$819.9V^{-0.663}$
		59.5 – 130	$41.7+0.122V+0.0016V^2$
Sin catalizador	< 1.4 l	10 – 130	$80.52-1.41V+0.013V^2$
	1.4 - 2.0 l	10 – 130	$111-2.031V+0.017V^2$
Catalizador de oxidación	< 1.4 l	10 – 130	$85.55-1.383V+0.0117V^2$
	1.4 - 2.0 l	10 – 130	$109.6-1.98V+0.0168V^2$
Catalizador de tres vías	> 2.0 l	10 - 130	$140.5-2.655V+0.0223V^2$
Euro I (91/441/EEC) y Euro II (94/12/EC)	< 1.4 l	5 – 12.3	$329.451-39.093V+1.531V^2$
		12.3 – 130	$98.336-1.604V+0.0106V^2$
		5 – 13.1	$428.06-46.696V+1.697V^2$
	1.4 - 2.0 l	13.1 – 130	$135.44-2.314V+0.0144V^2$
		5 – 12.7	$605.57-70.09V+2.645V^2$
		12.7 – 130	$181.85-3.398V+0.0209V^2$
Turismos diesel	Todas	10 – 130	$118.489-2.084V+0.014V^2$
Camiones gasolina > 3.5 t		Urbano	$225 \text{ g km}^{-1}$
		Autopista	$165 \text{ g km}^{-1}$
		Carretera	$150 \text{ g km}^{-1}$
Camiones ligeros a diesel < 3.5t		10 - 110	$0.02113V^2-2.65V+148.91$
Camiones pesados 3.5 -7.5 t		0 - 47	$1425.2V^{-0.7593}$
Camiones pesados entre 7.5 -16 t		47 - 100	$0.0082V^2-0.043V+60.12$
		0 – 59	$1068.4V^{-0.4905}$
Camiones pesados > 16 t		59 - 100	$0.0126V^2-0.6589V+141.18$
		0 – 59	$1595.1V^{-0.4744}$
Motocicletas	< 50 cc		$25 \text{ g km}^{-1}$
	> 50 cc 2t	10 – 60	$0.0063V^2-0.6028V+44.4$
	> 50 cc 2t	60 – 110	$-0.00050V^2+0.2375V+18.2$
	> 50 cc 4t	10 – 60	$0.0189V^2-1.8740V+67.9$
	> 50 cc 4t	60 – 110	$0.00080V^2+0.1614V+11.5$



La Figura 4.14 indica el comportamiento de los factores de consumo de gasolina en turismos (< 1.4 l). Se puede observar que en todos los casos, los menores consumos ocurren dentro de intervalos de velocidad específicos para cada tipo de vehículo. Los mayores consumos ocurren tanto a velocidades bajas y altas.

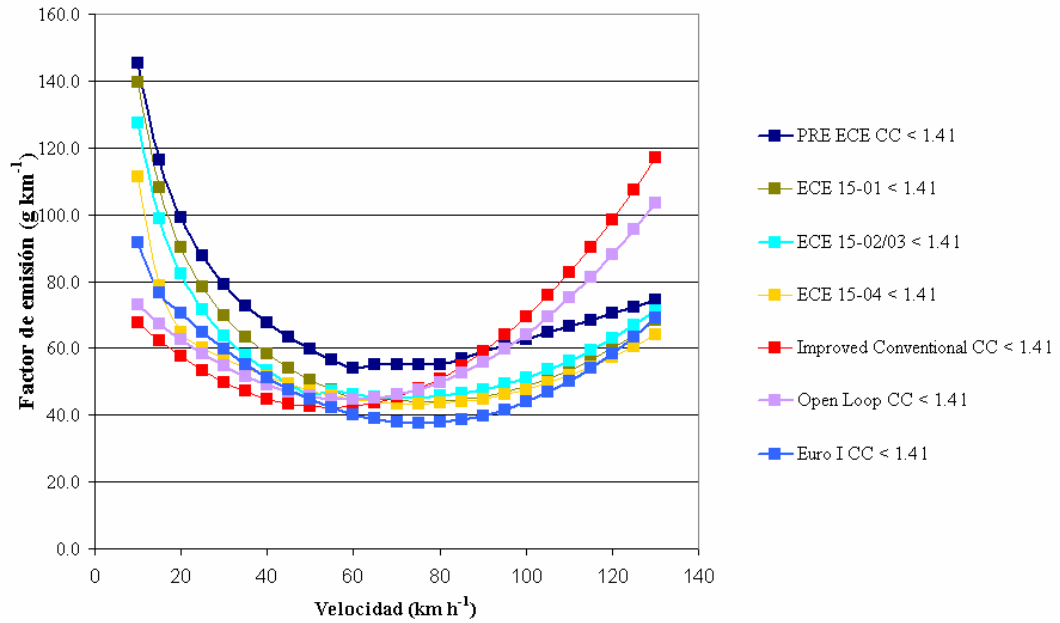


Figura 4.14: Comportamiento de los factores de consumo de gasolina en vehículos de pasajeros

#### 4.4.5 Factores de emisión de partículas

La Tabla 4.14 presenta los factores de emisión de partículas. Las expresiones para las emisiones por combustión de los vehículos a diesel se obtuvieron de EEA (2001), Ntziachristos and Samaras (2000). Los factores de emisión de partículas por combustión para los vehículos a gasolina se obtuvieron de la base de datos del proyecto *Coordinated European program on particle matter emission inventories, projection and guidance (CEPMEIP)* (CEPMEIP, 2003). En dicha base de datos, se asigna la totalidad del factor de emisión de combustión, a la fracción PM<sub>2.5</sub>.

Los factores de emisión por desgaste de neumáticos, frenos y capa de rodadura también provienen de la base de datos del proyecto CEPMEIP. Los factores que corresponden al desgaste de neumáticos asignan un alto porcentaje a partículas con tamaños mayores a 10 µm (95 % para los vehículos de pasajeros) y el restante porcentaje, a partículas con diámetros entre 2.5 y 10 µm.

Tabla 4.14: Factores de emisión (funciones) de partículas.

Tipo de vehículo	Tipo de vía	Subcategoría	Combustión	Desgaste neumáticos (mg km <sup>-1</sup> )			Desgaste frenos	Desgaste pavimento		
			(g km <sup>-1</sup> ) PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	PST	(mg km <sup>-1</sup> ) PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>2.5</sub>	PM <sub>10</sub>	PST
Pre-ECE	Urb.		0.063	0	3.45	69	6	0	7.25	145
ECE 15-00/01	Car.	Todas	0.044	0	3.45	69	6	0	7.25	145
ECE 15-02	Aut.		0.040	0	3.45	69	6	0	7.25	145
ECE 15-03	Urb.	Todas	0.042	0	3.45	69	6	0	7.25	145
	Car.		0.028	0	3.45	69	6	0	7.25	145
	Aut.		0.028	0	3.45	69	6	0	7.25	145
ECE 15-04	Urb.	Todas	0.030	0	3.45	69	6	0	7.25	145
	Car.		0.020	0	3.45	69	6	0	7.25	145
	Aut.		0.020	0	3.45	69	6	0	7.25	145
Sin catalizador	Urb.	Todas	0.015	0	3.45	69	6	0	7.25	145
	Car.		0.018	0	3.45	69	6	0	7.25	145
	Aut.		0.024	0	3.45	69	6	0	7.25	145
Cat. oxidación Cat. tres vías	Urb.	Todas	0.004 4	0	3.45	69	6	0	7.25	145
	Car.		0.002 8	0	3.45	69	6	0	7.25	145
	Aut.		0.003 2	0	3.45	69	6	0	7.25	145
Euro I Euro II	Urb.	Todas	0.001 1	0	3.45	69	6	0	7.25	145
	Car.		0.000 7	0	3.45	69	6	0	7.25	145
	Aut.		0.000 7	0	3.45	69	6	0	7.25	145
Turismos diesel	Todas	10 – 130	0.0086V+0.000058V <sup>2</sup>	0	3.45	69	6	0	7.25	145
Camiones gasolina > 3.5 t	Todas		0.400	0	18.56	371.25	32.25	0	9.5	190
Camiones ligeros a diesel < 3.5t		10 - 110	0.000012 5V <sup>2</sup> - 0.000577V+0.288	0	4.5	90	7.5	0	9.5	190
Camiones pesados 3.5 - 7.5 t		0 - 100	4.5563V <sup>-0.7070</sup>	0	18.56	371.25	32.25	0	26.9	738
Camiones pesados entre 7.5 -16 t		0 - 100	9.6037V <sup>-0.7259</sup>	0	18.56	371.25	32.25	0	26.9	738
Camiones pesados > 16 t		0 - 100	10.890V <sup>-0.7105</sup>	0	18.56	371.25	32.25	0	26.9	738
Motocicletas		< 50 cc	0.12	0	1.72	34.5	3	0	3.65	73
	Urb.		0.12	0	1.72	34.5	3	0	3.65	73
	Car.	> 50 cc 2t	0.12	0	1.72	34.5	3	0	3.65	73
	Aut.		0.12	0	1.72	34.5	3	0	3.65	73
	Urb.		0.04	0	1.72	34.5	3	0	3.65	73
	Car.	> 50 cc 4t	0.04	0	1.72	34.5	3	0	3.65	73
	Aut.		0.04	0	1.72	34.5	3	0	3.65	73

Los factores de emisión de las partículas debidas al desgaste de los frenos corresponden en su totalidad a tamaños menores a 2.5 µm.

Los factores de emisión por desgaste de la capa de asfalto asignan un alto porcentaje a partículas con tamaños mayores a 10 µm (95 % para los vehículos de pasajeros) y el restante porcentaje, a partículas con diámetros entre 2.5 y 10 µm.

#### 4.4.6 Factores de emisión de CH<sub>4</sub>

La Tabla 4.15 incluye las expresiones (o directamente el factor de emisión) que se utilizaron para la determinación de los factores de emisión de CH<sub>4</sub> (EEA, 2001; Ntziachristos *and* Samaras, 2000).

Tabla 4.15: Funciones para la determinación de los factores emisión de CH<sub>4</sub> (mg CH<sub>4</sub> km<sup>-1</sup>).

Tipo de vehículo	Tipo de conducción	Subcategoría	Función / factor de emisión
Pre-ECE (*) ECE 15-00/01(*) ECE 15/02 (*) ECE 15/03 (*) ECE 15/04 (*) Sin catalizador (*) Catalizador de oxidación (*) Catalizador de tres vías (*)	Todas Velocidad entre 10 – 130 km h <sup>-1</sup>	Todas	$0.0331V^2 - 5.73V + 268$
Euro I (91/441/EEC)	Todas	< 1.4 l	$0.012969V^2 - 2.1098V + 101.995$
	Velocidad entre 10 – 130 km h <sup>-1</sup>	1.4 - 2.0 l	$0.011176V^2 - 1.9573V + 99.652$
		> 2.0 l	$0.0093945V^2 - 1.8118V + 97.488$
Euro II (94/12/EC)	Todas	< 1.4 l	21 % del correspondiente Euro I
	Velocidad entre 10 – 130 km h <sup>-1</sup>	1.4 - 2.0 l	21 % del correspondiente Euro I
		> 2.0 l	24 % del correspondiente Euro I
Turismos diesel	Todas Velocidad entre 10 – 130 km h <sup>-1</sup>	Todas	$0.0019V^2 - 0.1775V + 7.9936$
Camiones gasolina > 3.5 t	Urbana		140
	Carretera		110
	Autopista		70
Camiones ligeros a diesel < 3.5t	Todas		5
Camiones pesados 3.5 -7.5 t	Urbana		85
	Carretera		23
	Autopista		20
Camiones pesados entre 7.5 - 16 t	Urbana		85
	Carretera		23
	Autopista		20
Camiones pesados > 16 t	Urbana		175
	Carretera		80
	Autopista		70
Motocicletas	Todas	< 50 cc	219
		> 50 cc 2t	150
		> 50 cc 4t	200

(\*) Se usa la función de los turismos convencionales a gasolina, que se indica en las referencias.

#### 4.4.7 Factores de emisión de N<sub>2</sub>O

La Tabla 4.16 presenta los factores de emisión de N<sub>2</sub>O (EEA, 2001; Ntziachristos *and* Samaras, 2000).

Tabla 4.16: Factores de emisión de N<sub>2</sub>O (mg N<sub>2</sub>O km<sup>-1</sup>).

Tipo de vehículo	Tipo de conducción	Subcategoría	Factor de emisión
Pre-ECE (*) ECE 15-00/01(*) ECE 15/02 (*) ECE 15/03 (*) ECE 15/04 (*) Sin catalizador (*) Catalizador de oxidación (*) Catalizador de tres vías (*)	Todas	Todas	5
	Urbana		53
Euro I (91/441/EEC)	Carretera	Todas	16
Euro II (94/12/EC)	Autopista		35
Turismos diesel	Todas	Todas	27
Camiones gasolina > 3.5 t	Todas	Todas	6
Camiones ligeros a diesel < 3.5t	Todas		17
Camiones pesados 3.5 -7.5 t	Todas		6
Camiones pesados entre 7.5 - 16 t	Todas		30
Camiones pesados > 16 t	Todas		30
		< 50 cc	1
Motocicletas	Todas	> 50 cc 2t	2
		> 50 cc 4t	2

(\*) Se usa la función de los turismos convencionales a gasolina, que se indica en las referencias.

#### 4.4.8 Efecto de la carga

Los factores de emisión y de consumo de combustible indicados corresponden a una carga del 50 % de la capacidad de los vehículos. En caso de cargas mayores o menores, los motores desarrollan diferentes niveles de trabajo. Este efecto tiene mayor importancia para el caso de los vehículos pesados. Se consideró conveniente aplicar los coeficientes de corrección de la Tabla 4.17 (Ntziachristos *and* Samaras, 2000); a los factores de emisión de los vehículos pesados que circulan por las autopistas y carreteras. Estos coeficientes corresponden a una carga del 80 % de la capacidad.

Tabla 4.17: Factores de corrección de los factores de emisión de vehículos pesados.

Factor de emisión	Factor de corrección
NO <sub>x</sub>	1.108
CO	1.126
PST	1.048
Consumo de combustible	1.108

#### 4.5 Información requerida para las emisiones en frío

Se consideraron las categorías de vehículos que corresponden a los vehículos de pasajeros (gasolina y diesel). Para el cálculo de las emisiones en frío, se deben conocer los parámetros  $\beta$  y

$$\frac{F_j^{\text{frío}}}{F_j^{\text{caliente}}}$$

La metodología EMEP/CORINAIR 2001 describe el parámetro  $\beta$  (beta) como una función de la longitud típica del recorrido de un viaje ( $l_{\text{viaje}}$ ) y de la temperatura ambiente ( $t_a$ ), según la Ecuación 4.17:

$$\beta = 0.647 - 0.025 * l_{\text{viaje}} - (0.00974 - 0.000385 * l_{\text{viaje}}) * t_a \quad 4.17$$

Para el parámetro  $l_{\text{viaje}}$ , se utilizó un valor de 6.31 km, estimado para España por el grupo de trabajo CORINAIR (Eggleston *et al.*, 1992).

La Figura 4.15 indica el comportamiento de  $\beta$  en función de la temperatura. Mientras más alta sea la temperatura, menor es el porcentaje del recorrido en frío. Para una temperatura de 10 °C, aproximadamente el 42 % del recorrido típico diario se desarrolla en frío. Para 20 °C el porcentaje disminuye a un 34 %.

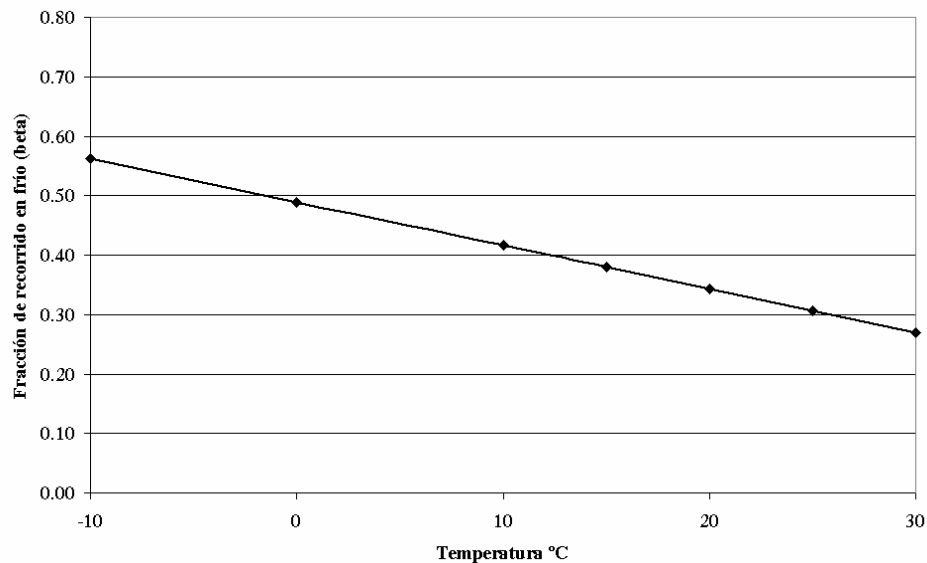


Figura 4.15: Fracción de recorrido en frío en función de la temperatura para una longitud diaria de recorrido de 6.31 km.

Considerando que las emisiones en frío se presentan fundamentalmente en las vías de urbanas (con mayor concentración en el área de Barcelona), se definieron 12 perfiles medios de variación horaria de la temperatura para el año 2000 (uno para cada mes), utilizando los registros de las estaciones AN (Ciudadella - XVPCA), D5 (Observatori Fabra - XMET) y DH Badalona - XMET). Las estaciones se encuentran dentro de la comarca del Barcelonés. La Figura 4.16 indica los perfiles de temperatura obtenidos.

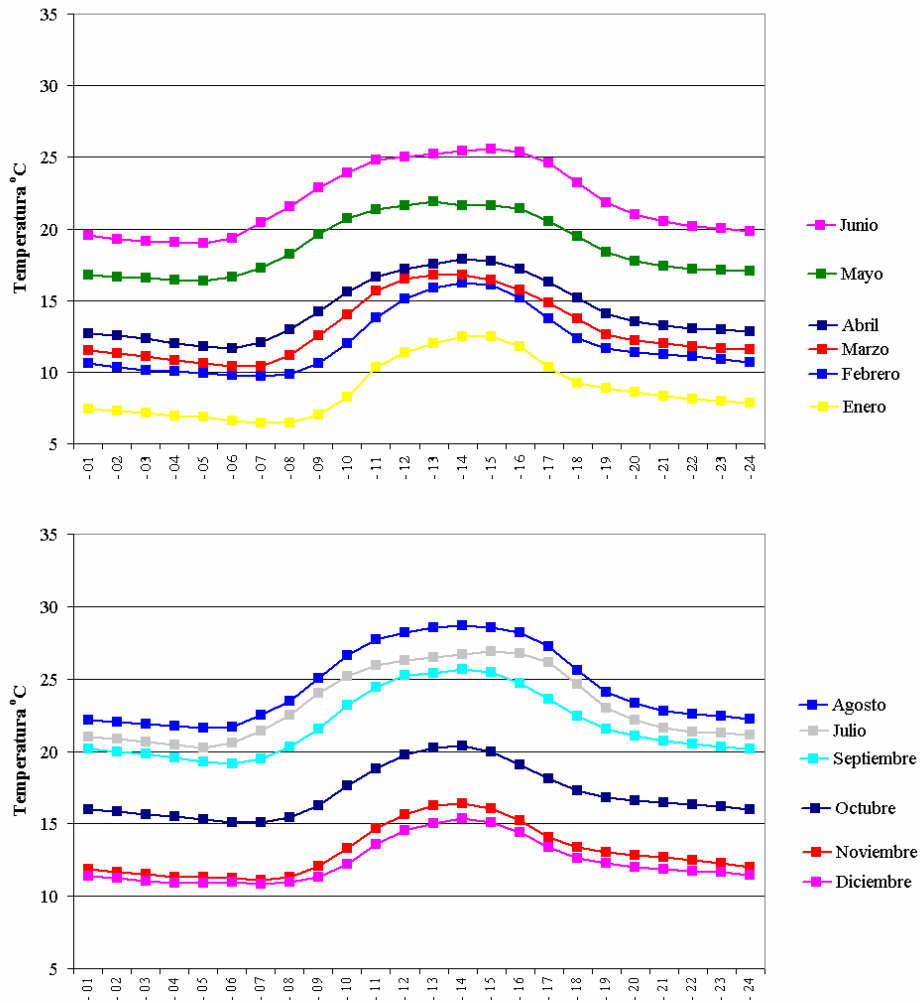


Figura 4.16: Perfiles de temperatura mensual en el área de Barcelona para el año 2000.

La relación entre los factores de emisión en frío y caliente se estableció mediante las funciones de la Tabla 4.18.

La Figura 4.17 y la Figura 4.18 indican el comportamiento de la relación entre los factores en frío y caliente, para la emisión de CO, NO<sub>x</sub>, COV y consumo de combustible.

Para el CO, las mayores relaciones se presentan a bajas temperaturas. Los valores mas altos (entre 6 y 10) corresponden a los vehículos de pasajeros con catalizador.

Para el NO<sub>x</sub>, los mayores valores se presentan del mismo modo para los turismos de gasolina con catalizador (3.5 – 3.7). Para este contaminante, sin embargo no se aprecia una variación marcada con la temperatura. En el caso de los turismos de gasolina sin catalizador y turismos de diesel, la relación se mantiene varía alrededor de uno (0.9 – 1.4).

Tabla 4.18: Funciones para la determinación de la relación entre factores de emisión en frío y caliente  $F^{\text{frío}}/F^{\text{caliente}}$  (EEA, 2001).

Contaminante	Turismos de gasolina sin catalizador (1)	Turismos de gasolina con catalizador (2)	Turismos de diesel
CO	3.7-0.09*ta	9.04-0.09*ta	1.9-0.03*ta
NO <sub>x</sub>	1.14-0.006*ta	3.66-0.006*ta	1.3-0.013*ta
COV	2.8-0.06*ta	12.59-0.06*ta	3.1-0.09*ta (3)
Consumo de combustible	1.47-0.009*ta	1.47-0.009*ta	1.34-0.008*ta
PST			3.1-0.1*ta (4)

(1) Aplicable para las categorías: Pre-ECE, ECE 15-00/01, ECE 15/02, ECE 15/03, ECE 15/04 y sin catalizador

(2) Aplicable para las categorías: catalizador de oxidación, catalizador de tres vías, Euro I (91/441/EEC), Euro II (94/12/EC)

(3) COV: Si  $t_a > 29$  °C, entonces  $F^{\text{frío}}/F^{\text{caliente}} = 0.5$

(4) PST: Si  $t_a > 26$  °C, entonces  $F^{\text{frío}}/F^{\text{caliente}} = 0.5$

Para los COV, del mismo modo, los turismos de gasolina con catalizador vuelven a presentar las mayores relaciones (10.8 – 13.2), marcadamente superiores en comparación con las otras dos categorías de vehículos (0.5 - 4). La relación varía inversamente con la temperatura.

La relación para el caso del consumo de combustible tiene similar comportamiento para los tres grupos de vehículos analizados (1.1 – 1.6), y varía de manera inversa con la temperatura.

De acuerdo con estas funciones, los vehículos equipados con catalizador presentan las mayores relaciones entre las emisiones en frío y las calientes.

Las emisiones en frío de SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> se valoraron utilizando las relaciones de consumo e combustible. Al no haber expresiones para la emisión de partículas por combustión en turismos de gasolina, se utilizaron del mismo modo, las relaciones del consumo de combustible.

Las emisiones en frío de CH<sub>4</sub> se estiman utilizando las funciones de relaciones de factores de emisión para los COV; y para el N<sub>2</sub>O, las planteadas para el NO<sub>x</sub>.

El cálculo de las emisiones en frío, implica la valoración del término " $\frac{F_j^{\text{frío}}}{F_j^{\text{caliente}}}(ta) - 1$ ".

La Figura 4.19 indica la variación de este término en función de la temperatura. En los turismos de gasolina sin catalizador, este término es negativo para temperaturas mayores de 27 °C. Esto significa que las emisiones en frío de CO, NO<sub>x</sub> y COV en estas condiciones son negativas. Una situación similar ocurre con los turismos de diesel. Para los turismos de gasolina con catalizador, este término es positivo dentro del intervalo de temperatura considerado.

Para temperaturas mayores a los 27 °C, las emisiones en caliente obtenidas con los factores de emisión presentados en los apartados anteriores proporcionan valores mayores a las emisiones verdaderas, el signo negativo de las emisiones en frío justamente buscan corregir los potenciales valores elevados de estas emisiones en caliente. Las emisiones en frío en estos rangos de temperatura deben tomarse con el signo que proporciona el modelo (Ntziachristos, comunicación personal, mayo del 2002).

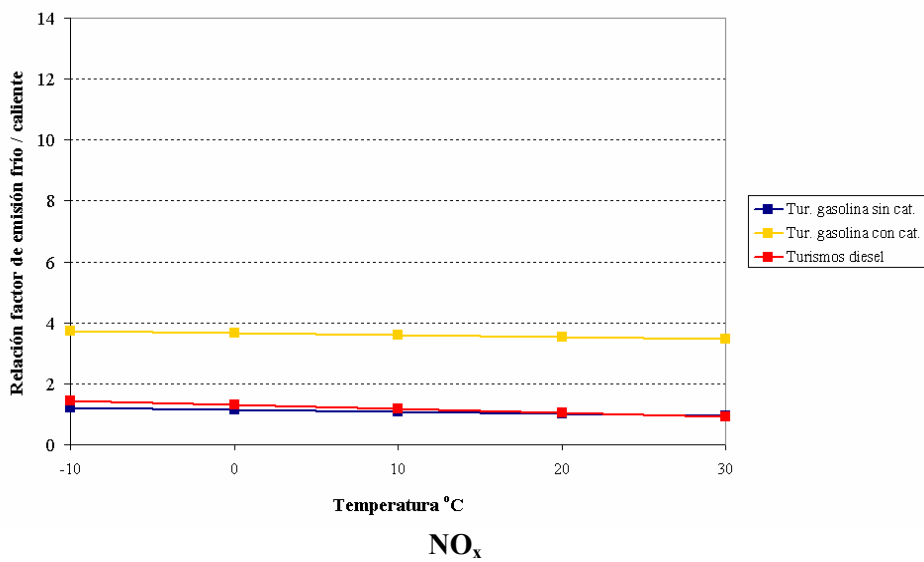
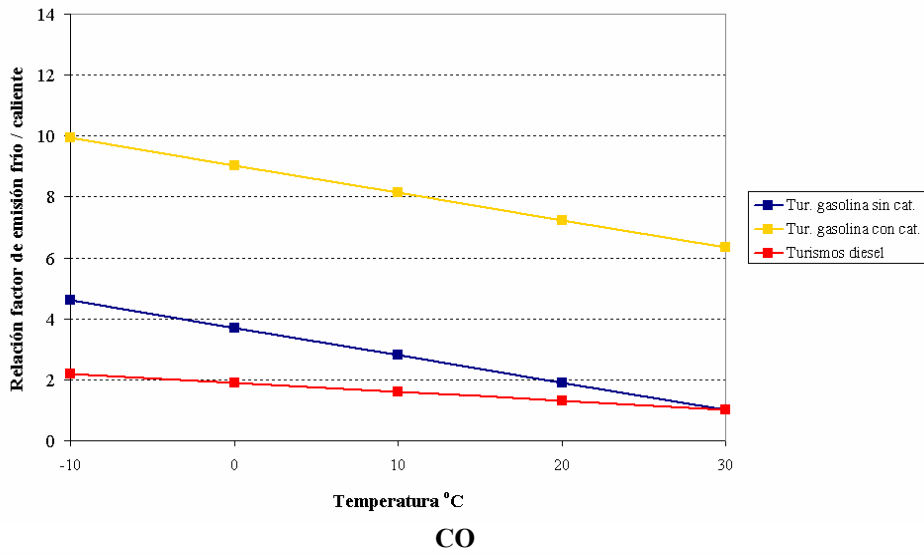


Figura 4.17: Relación entre los factores en frío y en caliente para la emisión de CO y NO<sub>x</sub>.



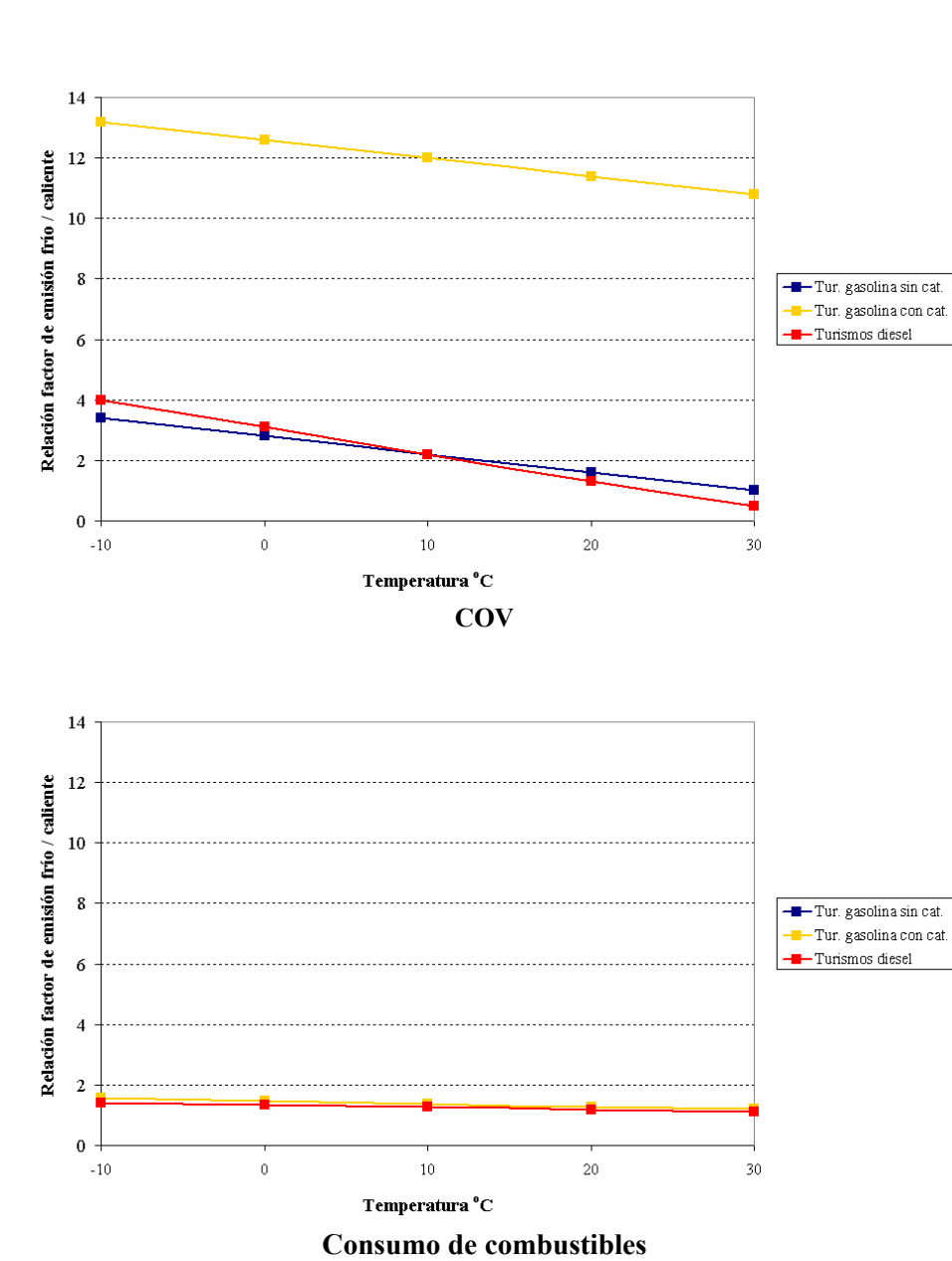
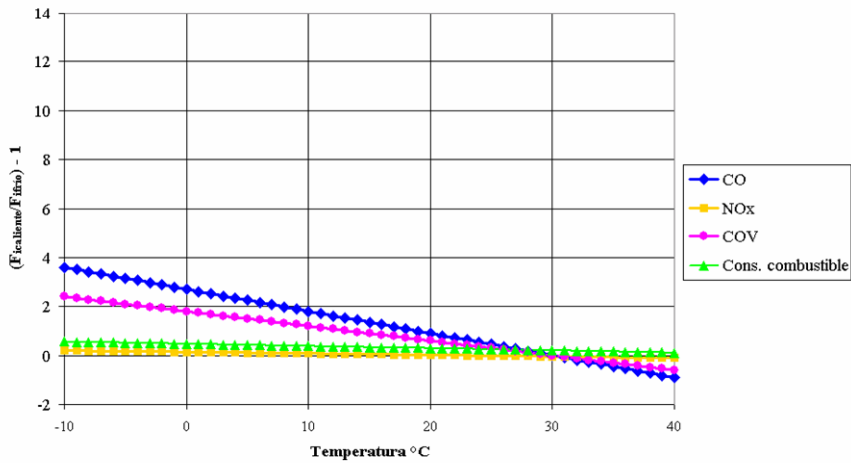
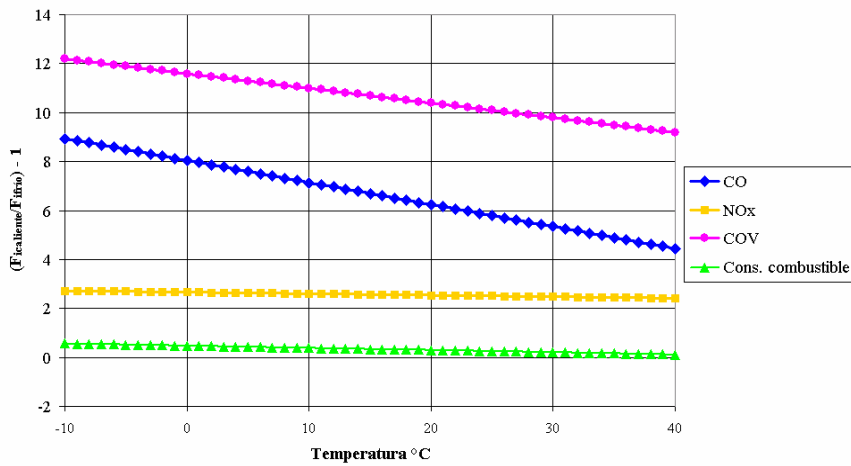


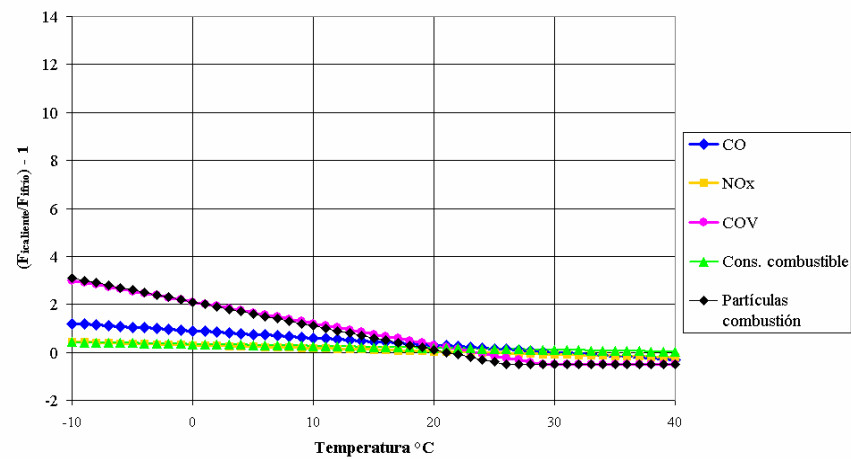
Figura 4.18: Relación entre los factores en frío y en caliente para la emisión de COV y consumo de combustibles.



Vehículos de pasajeros a gasolina sin catalizador



Vehículos de pasajeros a gasolina con catalizador



Vehículos de pasajeros a diesel

Figura 4.19: Variación del término  $\frac{F_j^{ifrio}}{F_j^{icaliente}} (ta) - 1$  para el cálculo de las emisiones en frío.

## 4.6 Información requerida para la emisiones evaporativas

Se estimaron las emisiones evaporativas para los turismos de gasolina (con emisiones no controladas y controladas) y para las motocicletas.

### 4.6.1 Emisiones diurnas

Dentro de los turismos de gasolina se hace una diferenciación en dos subgrupos:

- Turismos de gasolina con emisiones diurnas no controladas. Este subgrupo incluye a todos los turismos que preceden a la categoría Euro I (Ntziachristos *and* Samaras, 2000); es decir, las categorías Pre-ECE, ECE 15-00/01, ECE 15/02, ECE 15/03, ECE 15/04, sin catalizador, catalizador de oxidación y catalizador de tres vías.
- Turismos de gasolina con emisiones diurnas controladas. Este subgrupo incluye a los vehículos Euro I y Euro II.

Para los primeros, el factor de emisión se establece mediante la Ecuación 4.18 (EEA, 2001):

$$e^d = 9.1 * \exp(0.0158 * (RVP - 61.2) + 0.0574 * (t_{\min} - 22.5) + 0.0614 * (t_{\max} - t_{\min} - 11.7)) \quad 4.18$$

Siendo:

- $e^d$ : factor de emisión diurna de COV ( $\text{g veh}^{-1} \text{d}^{-1}$ ).  
 $t_{\max}$ : temperatura ambiente máxima (base mensual) en  $^{\circ}\text{C}$ .  
 $t_{\min}$ : temperatura ambiente mínima (base mensual) en  $^{\circ}\text{C}$ .  
RVP: volatilidad de la gasolina (Reid Vapour Pressure) en kPa.

Para los vehículos Euro I y Euro II, se asume que la eficiencia de los canister alcanzan un 80 % (EEA, 2001). Es decir que el factor de emisión será igual a 0.2 veces el factor de los vehículos no controlados.

Para las motocicletas con motores menores a  $50 \text{ cm}^3$ , se asume que el factor de emisión diurna será un 20 % del factor de emisión de los vehículos no controlados (EEA, 2001).

Para las motocicletas con motores mayores a  $50 \text{ cm}^3$ , se asume que el factor de emisión diurna será un 40 % del factor de emisión de los vehículos no controlados.

En base a información obtenida del Anuario Estadístico General del año 2000 de la Dirección General de de Tráfico (MIR, 2002) y de la *Generalitat de Catalunya* (GCAT, 2002), se estimó el número de turismos y motocicletas, según la clasificación establecida para la valoración de las emisiones evaporativas diurnas (ver la Tabla 4.19).

Tabla 4.19: Número de vehículos para la estimación de las emisiones evaporativas diurnas en Cataluña para el año 2000.

Tipo de vehículos (m = 4)	Cantidad
1) Turismos de gasolina sin dispositivo de control	956 568
2) Turismos de gasolina con dispositivo de control	<u>631 570</u>
Subtotal:	1 588 138
3) Motocicletas con motor de capacidad < 50 cc	78 858
4) Motocicletas con motor de capacidad > 50 cc	<u>329 440</u>
Subtotal:	408 298

La clasificación de vehículos para la valoración de las emisiones evaporativas diurnas consideró las cuatro categorías que se indican en la Tabla 4.19 ( $m = 4$ ). Esta misma clasificación se utilizó en la valoración total de las emisiones evaporativas por detención.

La Tabla 4.20 indica los valores de las temperaturas máxima y mínima (base mensual) que se utilizaron para la determinación de los factor de emisión. Se utilizó información que corresponde al área de Barcelona, en razón de que en esta zona se produce la mayor concentración del tráfico (AJB, 2002).

Tabla 4.20: Temperatura máxima y mínima para la determinación de los factores de emisión diurnas de COV.

Mes	Temperatura °C	
	Mínima ( $t_{\min}$ )	Máxima ( $t_{\max}$ )
Enero	6.5	13.2
Febrero	9.7	15.7
Marzo	10.5	16.2
Abril	11.9	17.3
Mayo	16.6	20.9
Junio	19.0	23.6
Julio	21.1	25.4
Agosto	22.9	26.8
Septiembre	19.7	24.6
Octubre	15.5	20.4
Noviembre	11.5	17.0
Diciembre	10.7	16.1

El Real Decreto 1728/1999, de 12 de noviembre, fija las especificaciones de la gasolina sin plomo a partir del 1° de enero de 2001. En cuanto a la presión de vapor (RVP), establece los límites que se indican en la Tabla 4.21.

Tabla 4.21: Presión de vapor (RVP) que establece el Real Decreto 1728/1999 para la gasolina sin plomo.

Período	Unidad	Mínimo	Máximo
Verano (1 mayo – 30 septiembre)	kPa	45	60
Invierno (1 octubre – 30 de abril)	kPa	50	80

Partiendo de esta información, se utiliza para los meses de mayo a septiembre, se utilizó un valor de la presión de vapor de 53 kPa, y para los meses de enero hasta abril y de octubre a diciembre, 65 kPa.

Para la estimación de las emisiones horarias se utilizaron los perfiles de temperatura establecidos para el caso de las emisiones en frío.

#### 4.6.2 Emisiones por detención

Para la determinación de las emisiones por detención es necesario establecer los parámetros  $x_j$  (número promedio de viajes al año que efectúa cada vehículo de la categoría  $j$ ). Para ello se utiliza la misma longitud típica de recorrido de un viaje (6.31 km). También es necesario conocer el valor medio de la distancia total anual recorrida por cada tipo de vehículo. Según información proporcionada por el ICAEN, los turismos de gasolina en promedio recorren anualmente 8 700 km,

en tanto que las motocicletas 3 500 km. Entonces, para el año 2000, los parámetros  $x_j$  se obtienen con las ecuaciones 4.19 y 4.20:

$$x_{\text{turismosgasolina}} : \frac{8700}{366 * 6.31} = 3.77 \quad 4.19$$

$$x_{\text{motocicletas}} : \frac{3500}{366 * 6.31} = 1.52 \quad 4.20$$

La fracción de viajes que terminan en frío o en tibio ( $w$ ) está relacionada con el parámetro  $\beta$  que se utiliza para las emisiones en frío (EEA, 2001). A falta de información específica, se puede suponer que  $w = \beta$ . Por tanto para la valoración de  $w$  se utiliza la misma expresión del parámetro  $\beta$ , considerando que la temperatura será igual al valor medio entre  $t_{\min}$  y  $t_{\max}$ , presentadas para las emisiones diurnas.

Los factores de emisión por detención en tibio (*warm soak*) y caliente (*hot soak*) se establecieron mediante las expresiones que se indican en la Tabla 4.22 (EEA, 2001).

Tabla 4.22: Expresiones para determinar los factores de emisiones evaporativas por detención (*soak emissions*) ( $\text{g viaje}^{-1}$ ).

Tipo de vehículo ( $m = 4$ )	Expresión
Detención en frío – tibio ( <i>warm soak emissions</i> )	
1) Turismos de gasolina incontrolados (A)	$\text{Exp}(-1.644 + 0.019\ 93 * \text{RVP} + 0.07521 * (t_{\max} + t_{\min}) / 2)$
2) Turismos de gasolina controlados	$0.2 * \text{Exp}(-2.41 + 0.023\ 02 * \text{RVP} + 0.094\ 08 * (t_{\max} + t_{\min}) / 2)$
3) Motocicletas con motor $< 50\ \text{cm}^3$	0.2 de (A)
4) Motocicletas con motor $> 50\ \text{cm}^3$	0.4 de (A)
Detención en caliente ( <i>hot soak emissions</i> )	
1) Turismos de gasolina incontrolados (B)	$3.004\ 2 * \text{Exp}(0.02 * \text{RVP})$
2) Turismos de gasolina controlados	$0.3 * \text{Exp}(-2.41 + 0.023\ 02 * \text{RVP} + 0.094\ 08 * (t_{\max} + t_{\min}) / 2)$
3) Motocicletas con motor $< 50\ \text{cm}^3$	0.2 de (B)
4) Motocicletas con motor $> 50\ \text{cm}^3$	0.4 de (B)

Adicionalmente, para la desagregación espacial de las emisiones horarias evaporativas diurnas y por detención, se requiere de un mapa de densidad poblacional (ver el Capítulo 6).

**4.6.3 Emisiones durante el recorrido**

Los factores de emisión evaporativas en recorrido se establecieron mediante las expresiones que se indican en la Tabla 4.23 (EEA, 2001).

Tabla 4.23: Expresiones para determinar los factores de emisiones evaporativas en recorrido detención (*running losses*) ( $\text{g km}^{-1}$ ).

Tipo de vehículo (m=4)	Expresión
<b>Recorrido en frío – tibio (<i>warm running losses</i>)</b>	
1) Turismos de gasolina incontrolados (C)	$0.1 * \text{Exp}(-5.967 + 0.042 59 * \text{RVP} + 0.177 3 * (t_{\text{max}} + t_{\text{min}}) / 2)$
2) Turismos de gasolina controlados	0.1 de (C)
3) Motocicletas con motor < 50 cm <sup>3</sup>	0.2 de (C)
4) Motocicletas con motor > 50 cm <sup>3</sup>	0.4 de (C)
<b>Recorrido en caliente (<i>hot running losses</i>)</b>	
1) Turismos de gasolina incontrolados (D)	$0.136 * \text{Exp}(-5.967 + 0.042 59 * \text{RVP} + 0.177 3 * (t_{\text{max}} + t_{\text{min}}) / 2)$
2) Turismos de gasolina controlados	0.1 de (D)
3) Motocicletas con motor < 50 cm <sup>3</sup>	0.2 de (D)
4) Motocicletas con motor > 50 cm <sup>3</sup>	0.4 de (D)

La Figura 4.20 indica el comportamiento temporal (base mensual) de los parámetros  $t_{\text{min}}$ ,  $t_{\text{max}}$ , y RVP durante el año 2000, por medio de los cuales se definen los factores de emisión evaporativas. Se aprecia claramente la disminución de la presión de vapor de la gasolina para los meses de verano, que se modifica con el objeto de amortiguar el efecto de la temperatura en la volatilidad del combustible.

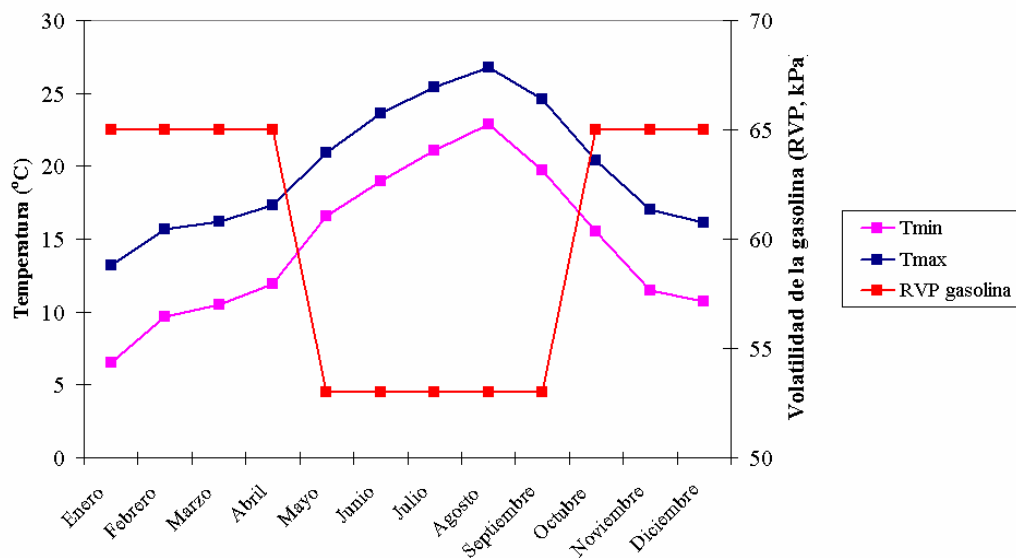


Figura 4.20: Comportamiento temporal durante el año 2000 de los parámetros que definen los factores de emisión evaporativas.

La Figura 4.21 indica la variación temporal durante el año 2000, de los factores de emisión evaporativas de los turismos de gasolina con emisiones incontroladas. Los factores de emisión diurnas varían aproximadamente en el intervalo  $2.8 - 5 \text{ g veh}^{-1} \text{ d}^{-1}$ , presentándose los valores más altos (entre  $4.2 - 5 \text{ g veh}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) en los meses de verano, cuando la temperatura es mayor. Los factores de emisión por detención varían aproximadamente en el intervalo  $11.0 - 13.8 \text{ g viaje}^{-1} \text{ veh}^{-1}$ . Se aprecia el efecto de la reducción de la volatilidad de la gasolina para los meses desde mayo a septiembre en la disminución estacional de los factores de emisión.

Los factores de emisión por recorrido varían aproximadamente entre  $0.06 - 0.47 \text{ g km}^{-1}$ . Los mayores valores ocurren en los meses de verano.

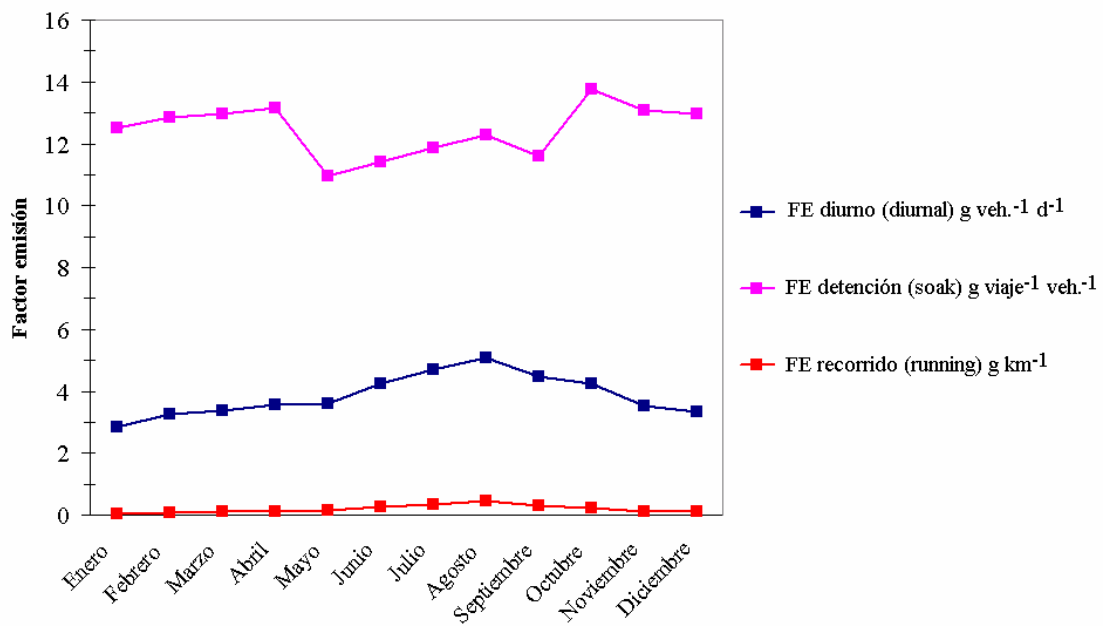


Figura 4.21: Variación temporal durante el año 2000 de los factores de emisión evaporativas de los turismos de gasolina con emisiones incontroladas.

## 4.7 Análisis de resultados

### 4.7.1 Emisiones horarias

Como ejemplo de cálculo la Tabla 4.24 y la Tabla 4.25 presentan las emisiones horarias de contaminantes primarios y GEI para los días laborable y festivo de agosto.

Para el día laborable, las emisiones de NO<sub>x</sub> alcanzan a 236 t d<sup>-1</sup> (17 %), 898 t d<sup>-1</sup> de CO (66 %), 172 t d<sup>-1</sup> de COV (13 %), 5 t d<sup>-1</sup> de SO<sub>2</sub> (0.4 %) y 58.6 t d<sup>-1</sup> de partículas (4.3 %); que en conjunto totalizan 1 369 t d<sup>-1</sup>. La relación de emisión entre NO<sub>x</sub> y COV varía entre 0.71 y 1.52. La emisión de GEI asciende a 30.1 kt d<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> equivalente.

Tabla 4.24: Emisiones horarias debidas al tráfico vehicular en Cataluña en un día laborable de agosto de 2000 (t h<sup>-1</sup>).

Hora	NO <sub>x</sub> (1)	CO	COV (2)	SO <sub>2</sub>	Contaminantes			Relación NO <sub>x</sub> / COV
					Partículas	primarios	CO <sub>2</sub> eq.	
0 - 1	2.7	10.4	2.9	0.1	0.7	16.7	344.3	0.91
1 - 2	2.0	7.7	2.5	0.0	0.5	12.7	254.1	0.79
2 - 3	1.6	6.1	2.2	0.0	0.4	10.4	203.9	0.71
3 - 4	1.7	6.5	2.3	0.0	0.4	10.9	216.6	0.75
4 - 5	2.7	9.9	2.7	0.1	0.7	16.0	333.5	0.97
5 - 6	5.0	18.8	4.1	0.1	1.2	29.2	631.9	1.24
6 - 7	11.4	42.0	7.5	0.2	2.8	63.9	1 418.9	1.52
7 - 8	14.9	56.2	9.8	0.3	3.7	85.0	1 889.2	1.52
8 - 9	15.8	60.1	10.6	0.3	3.9	90.9	2 015.1	1.49
9 - 10	15.4	58.7	10.5	0.3	3.8	88.8	1 965.2	1.47
10 - 11	14.8	56.3	10.2	0.3	3.7	85.4	1 887.7	1.45
11 - 12	13.7	52.3	9.7	0.3	3.4	79.5	1 753.4	1.42
12 - 13	12.8	48.9	9.2	0.3	3.2	74.3	1 638.4	1.39
13 - 14	11.6	44.4	8.6	0.2	2.9	67.6	1 484.2	1.35
14 - 15	11.8	44.9	8.6	0.3	2.9	68.4	1 505.9	1.38
15 - 16	13.2	50.2	9.3	0.3	3.3	76.2	1 684.3	1.42
16 - 17	14.7	56.2	10.2	0.3	3.7	85.1	1 884.7	1.45
17 - 18	15.9	60.5	10.7	0.3	3.9	91.3	2 029.5	1.49
18 - 19	15.4	58.7	10.3	0.3	3.8	88.6	1 966.5	1.49
19 - 20	13.4	51.5	9.2	0.3	3.3	77.8	1 723.1	1.46
20 - 21	10.1	39.4	7.5	0.2	2.5	59.7	1 310.4	1.36
21 - 22	6.7	26.4	5.5	0.1	1.7	40.4	874.4	1.22
22 - 23	4.7	18.1	4.1	0.1	1.2	28.2	603.1	1.12
23 - 0	3.5	13.6	3.4	0.1	0.9	21.5	452.8	1.03
<b>Totales</b>	<b>235.7</b>	<b>897.6</b>	<b>171.7</b>	<b>5.0</b>	<b>58.6</b>	<b>1 368.5</b>	<b>30 071.1</b>	<b>1.37</b>
%	17.22	65.58	12.55	0.37	4.28	100		

(1) Expresado como NO<sub>2</sub>, (2) expresado como CH<sub>1,85</sub>

Para el día festivo, las emisiones de NO<sub>x</sub> ascienden a 183.8 t d<sup>-1</sup> de NO<sub>x</sub> (15 %), 780 t d<sup>-1</sup> de CO (65 %), 179 t d<sup>-1</sup> de COV (15 %), 3.5 t d<sup>-1</sup> de SO<sub>2</sub> (0.3 %), 51.4 t d<sup>-1</sup> de partículas (4.3 %); que en conjunto totalizan 1 198 t d<sup>-1</sup>. La relación de emisión entre NO<sub>x</sub> y COV disminuye en relación a los valores de l día laborable, y varía entre 0.47 y 1.16. La emisión de los contaminantes primarios para el día festivo es un 12 % menor que la producida en el día laborable.



Tabla 4.25: Emisiones horarias debidas al tráfico vehicular en Cataluña en un día festivo de agosto de 2000 (t h<sup>-1</sup>).

Hora	NO <sub>x</sub> (1)	CO	COV (2)	SO <sub>2</sub>	Partículas	Contaminantes primarios	CO <sub>2</sub> eq.	Relación NO <sub>x</sub> / COV
0 - 1	2.6	12.0	3.7	0.1	0.8	19.1	361.9	0.71
1 - 2	1.6	7.7	2.9	0.0	0.5	12.6	228.4	0.54
2 - 3	1.2	5.9	2.5	0.0	0.4	9.9	173.8	0.47
3 - 4	1.1	5.5	2.4	0.0	0.3	9.4	164.4	0.47
4 - 5	1.8	8.1	2.8	0.0	0.5	13.4	247.9	0.65
5 - 6	2.1	8.9	3.0	0.0	0.6	14.5	273.3	0.69
6 - 7	3.1	12.9	3.7	0.1	0.9	20.6	399.6	0.82
7 - 8	4.8	20.0	5.1	0.1	1.3	31.3	618.4	0.94
8 - 9	7.3	30.5	7.1	0.1	2.0	47.0	941.4	1.02
9 - 10	9.6	40.1	9.0	0.2	2.6	61.4	1 238.9	1.07
10 - 11	11.1	46.5	10.2	0.2	3.1	71.1	1 438.1	1.09
11 - 12	11.2	47.2	10.4	0.2	3.1	72.2	1 460.7	1.08
12 - 13	10.4	43.9	9.8	0.2	2.9	67.2	1 356.5	1.05
13 - 14	8.6	36.9	8.6	0.2	2.4	56.6	1 137.9	1.00
14 - 15	7.6	32.7	7.8	0.1	2.2	50.4	1 010.1	0.98
15 - 16	10.2	42.3	9.4	0.2	2.8	64.9	1 314.1	1.08
16 - 17	13.6	56.6	11.9	0.3	3.8	86.2	1 756.9	1.14
17 - 18	15.6	65.5	13.5	0.3	4.3	99.3	2 029.2	1.16
18 - 19	15.5	65.4	13.4	0.3	4.3	98.9	2 020.7	1.16
19 - 20	14.0	59.0	12.2	0.3	3.9	89.3	1 820.9	1.14
20 - 21	11.4	48.4	10.3	0.2	3.2	73.4	1 490.8	1.11
21 - 22	8.9	38.1	8.4	0.2	2.5	58.1	1 173.5	1.06
22 - 23	6.6	28.2	6.6	0.1	1.8	43.3	867.1	1.00
23 - 0	4.1	18.0	4.7	0.1	1.2	28.1	552.9	0.88
Totales	183.8	780.3	179.3	3.5	51.4	1 198.2	24 077.6	1.02
%	15.34	65.12	14.96	0.29	4.29	100		

(1) Expresado como NO<sub>2</sub>, (2) expresado como CH<sub>1,85</sub>

La Tabla 4.26 presenta las diferencias entre las emisiones horarias del día festivo y laborable. Para el día festivo y durante casi todas las horas de la mañana hay una disminución de la magnitud de las emisiones. No obstante en la tarde hay horas con emisiones mayores a las del día laborable. Las emisión NO<sub>x</sub> para el día festivo (184 t d<sup>-1</sup>) es un 22 % menor que la del día laborable (236 t d<sup>-1</sup>), en tanto que la emisión de COV es ligeramente mayor (172 t d<sup>-1</sup> para día laborable y 179 t d<sup>-1</sup> para el día festivo, un 4 % superior). Esta diferencia, que se explica principalmente por el descenso de los vehículos de carga durante los días festivos; puede afectar de manera diferente la formación de ozono troposférico.

La emisión de CO y de partículas en el día festivo son menores en un 13 y 12 % respectivamente a las del día laborable.

La Figura 4.22 presenta la evolución de las emisiones de NO<sub>x</sub>, COV y CO, tanto para el día laborable y festivo. Los perfiles guardan relación con la variación típica de la intensidad de tráfico horaria. El perfil de NO<sub>x</sub> es bimodal, pero el primer máximo del día laborable (16 t h<sup>-1</sup>) es mayor y se presenta aproximadamente a las 8:00 horas, en tanto que en el día festivo, el primer máximo es menor (≈ 11 t h<sup>-1</sup>) y ocurre al medio día. Los segundos máximos son similares (≈ 16 t h<sup>-1</sup>), y ocurren hacia las 17:00 horas.

Tabla 4.26: Diferencia de las emisiones horarias del tráfico vehicular entre un día festivo y laborable (festivo – laborable) de agosto de 2000 ( $t\ h^{-1}$ ).

Hora	NO <sub>x</sub>	CO	COV	SO <sub>2</sub>	Partículas	Contaminantes primarios	CO <sub>2</sub> eq.
0 - 1	-0.1	1.6	0.7	0.0	0.1	2.4	17.6
1 - 2	-0.4	0.0	0.4	0.0	0.0	-0.1	-25.7
2 - 3	-0.4	-0.3	0.2	0.0	0.0	-0.5	-30.1
3 - 4	-0.6	-1.0	0.1	0.0	-0.1	-1.5	-52.2
4 - 5	-0.8	-1.8	0.1	0.0	-0.1	-2.7	-85.7
5 - 6	-3.0	-9.9	-1.1	-0.1	-0.7	-14.7	-358.6
6 - 7	-8.3	-29.1	-3.7	-0.2	-1.9	-43.2	-1019.3
7 - 8	-10.2	-36.2	-4.8	-0.2	-2.4	-53.7	-1270.8
8 - 9	-8.5	-29.7	-3.5	-0.2	-1.9	-43.9	-1073.7
9 - 10	-5.9	-18.6	-1.5	-0.1	-1.2	-27.4	-726.3
10 - 11	-3.7	-9.9	0.0	-0.1	-0.6	-14.3	-449.6
11 - 12	-2.5	-5.1	0.7	-0.1	-0.3	-7.3	-292.7
12 - 13	-2.5	-5.0	0.6	-0.1	-0.3	-7.2	-281.9
13 - 14	-3.0	-7.5	0.0	-0.1	-0.5	-11.0	-346.3
14 - 15	-4.2	-12.2	-0.8	-0.1	-0.8	-18.0	-495.8
15 - 16	-3.0	-7.8	0.1	-0.1	-0.5	-11.3	-370.1
16 - 17	-1.2	0.5	1.8	-0.1	0.1	1.1	-127.8
17 - 18	-0.3	5.1	2.8	0.0	0.4	8.0	-0.3
18 - 19	0.1	6.7	3.1	0.0	0.5	10.3	54.2
19 - 20	0.5	7.4	3.0	0.0	0.5	11.4	97.8
20 - 21	1.2	9.0	2.8	0.0	0.6	13.7	180.4
21 - 22	2.2	11.8	2.9	0.0	0.8	17.7	299.1
22 - 23	1.9	10.1	2.4	0.0	0.7	15.1	263.9
23 - 0	0.6	4.5	1.3	0.0	0.3	6.7	100.1
Totales	-51.9	-117.3	7.6	-1.5	-7.2	-170.3	-5 993.6

El perfil de COV también es bimodal. Los primeros máximos son similares en magnitud ( $\approx 10.5\ t\ h^{-1}$ ), pero en el día laborable se presenta a las 8:00 horas, y en el día festivo, al medio día. Los segundos máximos ocurren hacia las 17:00 horas, pero el valor para día festivo ( $\approx 13.5\ t\ h^{-1}$ ) es mayor que el del día laborable ( $\approx 10.7\ t\ h^{-1}$ ) en un 26 %. Los perfiles de CO tienen un comportamiento similar a los perfiles de COV.

La Figura 4.23 y la Figura 4.24 presentan la distribución de las emisiones de NO<sub>x</sub> y COV para los días laborable y festivo. Se aprecia un descenso en las emisiones de NO<sub>x</sub>. Los mapas de emisión de COV son similares.

La Figura 4.25 presenta la distribución de la relación de emisión NO<sub>x</sub>/COV. Para el día laborable, hay celdas con valores de hasta 2.0 – 2.7. Estas celdas corresponden a los ejes de las autopistas. Debido a la velocidad de circulación adoptada ( $108\ km\ h^{-1}$ ), en ellas se presentan altas emisiones de NO<sub>x</sub> y bajas emisiones de COV. En las celdas que corresponden a las carreteras y vías urbanas, al ser las tasas de emisión de NO<sub>x</sub> menores y las tasas de COV mayores, la relación de emisión NO<sub>x</sub>/COV es menor. Las relaciones más bajas se presentan en las zonas urbanas. En el día festivo, al haber menores emisiones de NO<sub>x</sub>, los valores más altos de la relación NO<sub>x</sub>/COV no son mayores a 1.5.

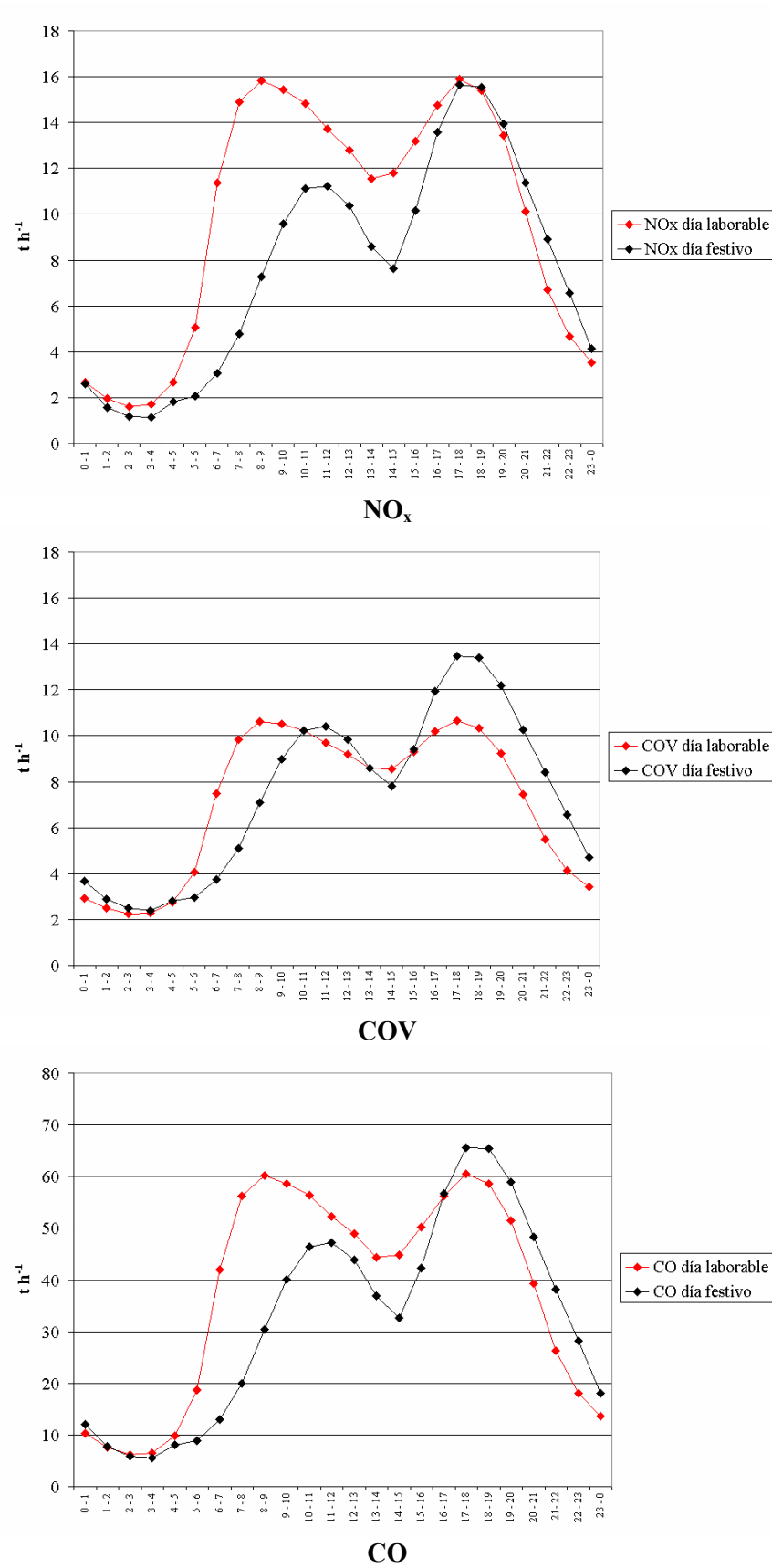


Figura 4.22: Emisión de NO<sub>x</sub>, COV, CO debido al tráfico vehicular en Cataluña para un día laborable y festivo de agosto de 2000.

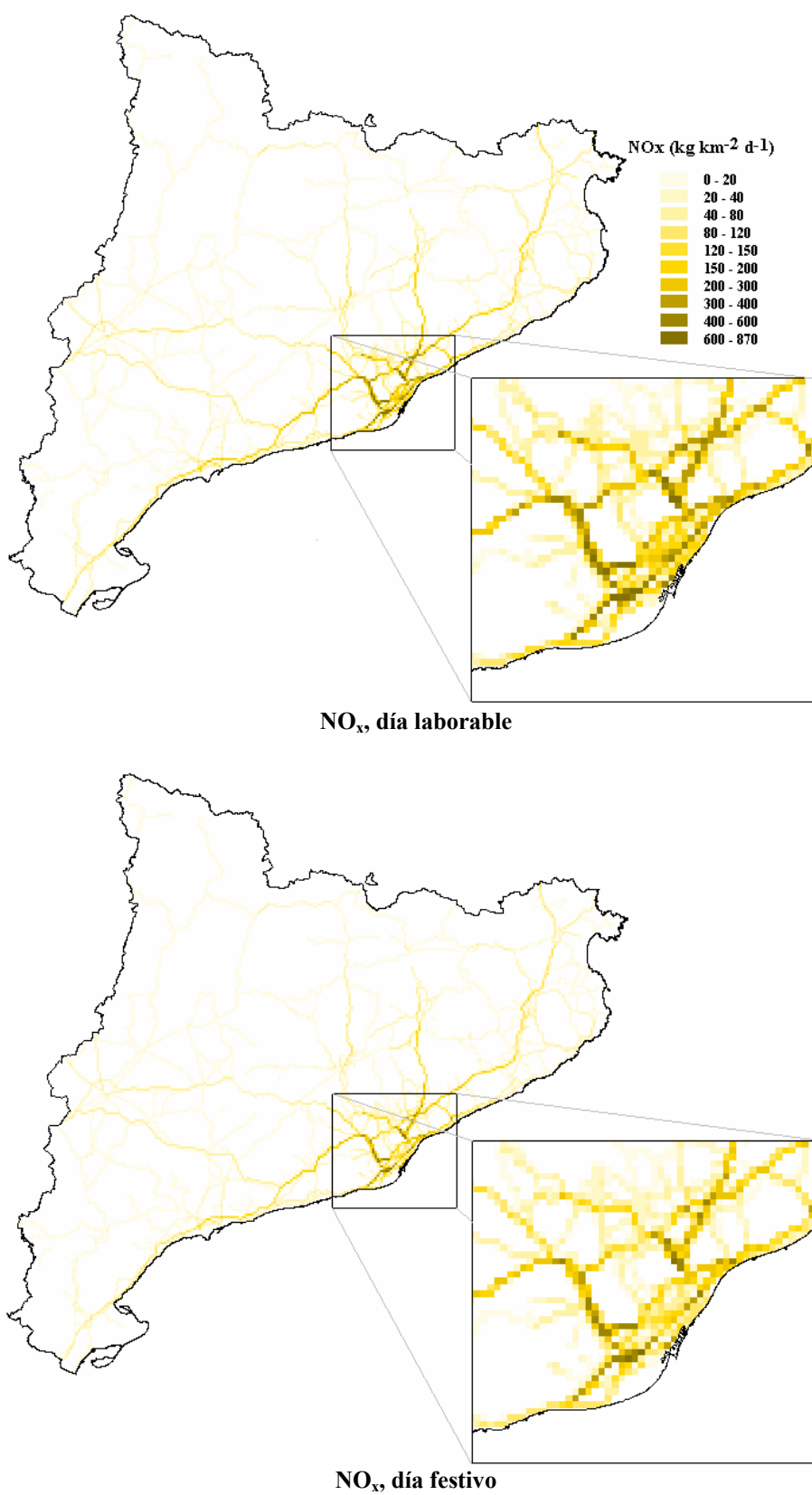


Figura 4.23: Distribución de las emisiones de NO<sub>x</sub> en los días laborables y festivos, debido tráfico vehicular en Cataluña en agosto de 2000.

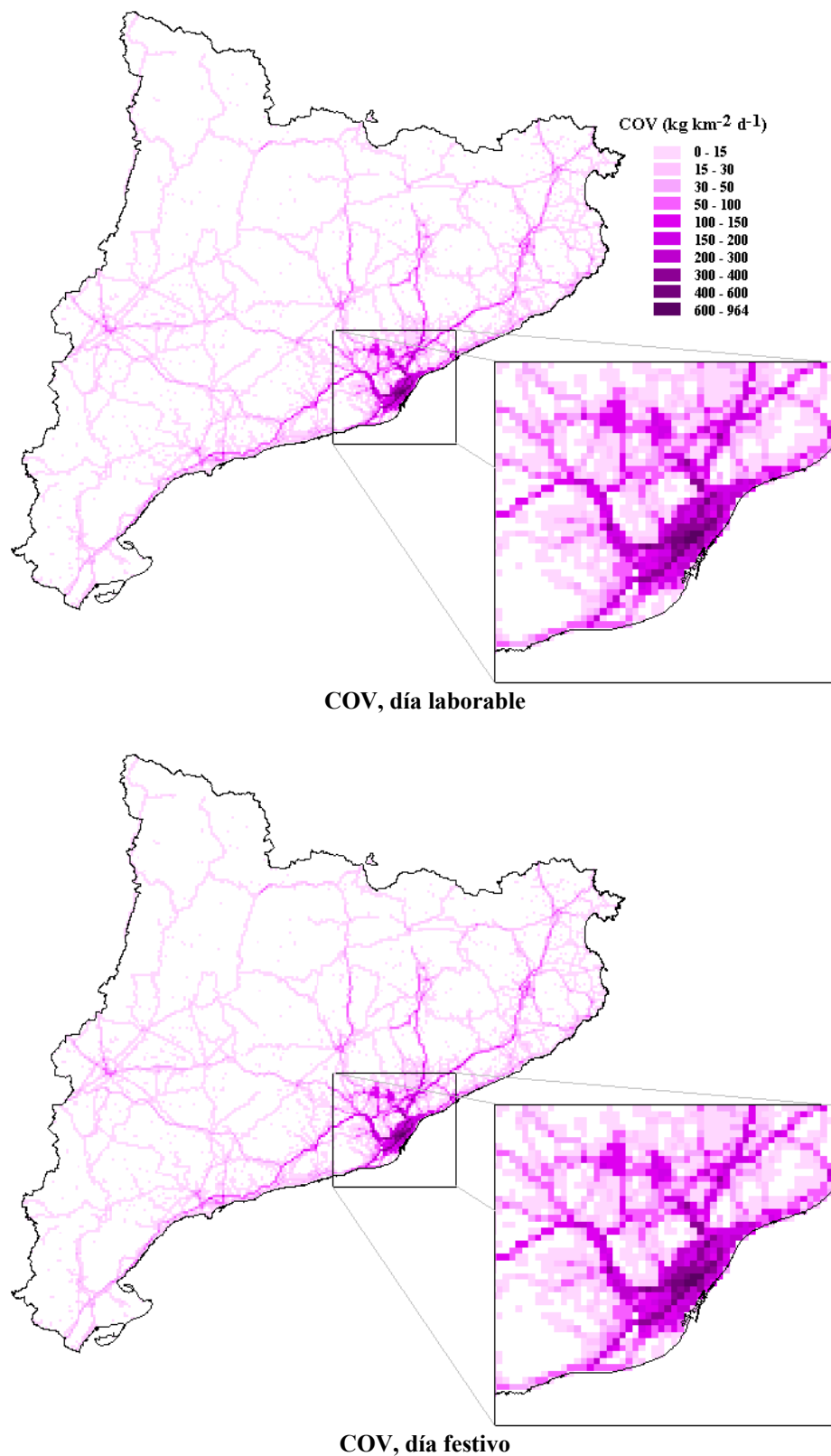
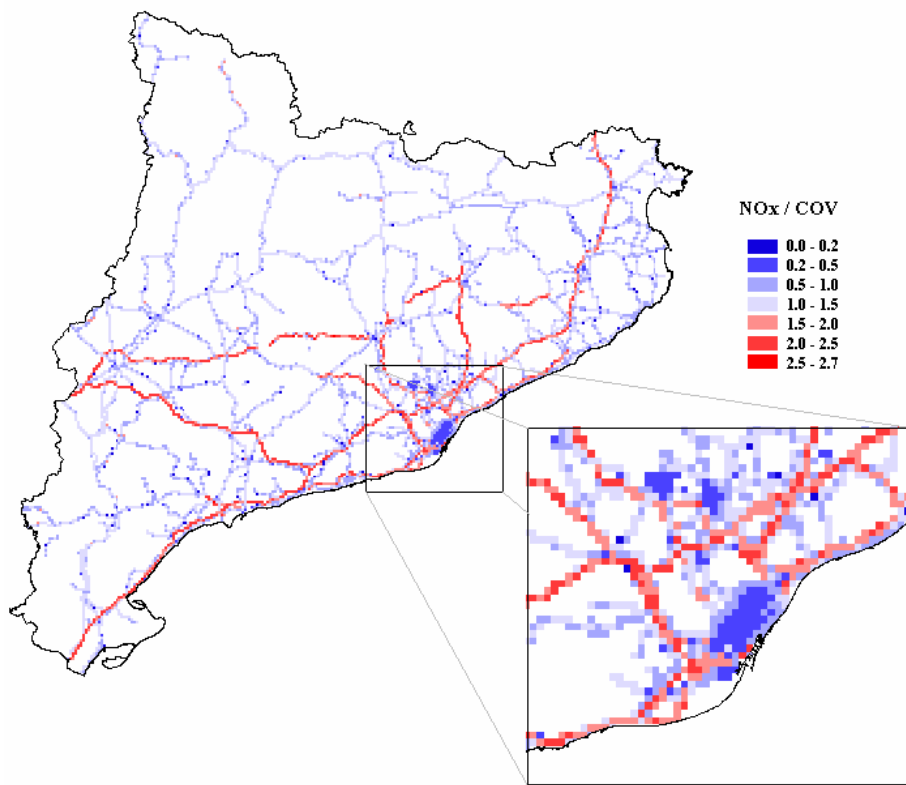
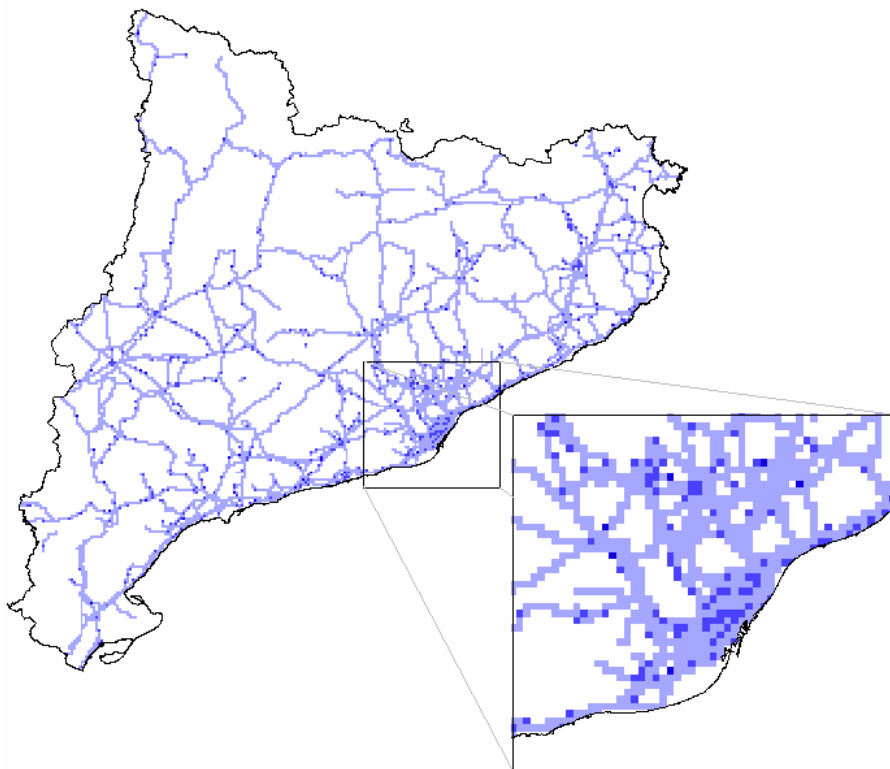


Figura 4.24: Distribución de las emisiones de COV en los días laborables y festivos, debido tráfico vehicular en Cataluña en agosto de 2000.



**NO<sub>x</sub>/COV, día laborable**



**NO<sub>x</sub>/COV, día festivo**

Figura 4.25: Distribución de la relación de emisión NO<sub>x</sub>/COV de los días laborables y festivos, debido tráfico vehicular en Cataluña en agosto de 2000.

#### 4.7.2 Emisiones mensuales y anual

La Tabla 4.27 y la Tabla 4.28 presentan las emisiones mensuales de los contaminantes primarios (NO<sub>x</sub>, CO, COV, SO<sub>2</sub> y partículas) y de los GEI. La cantidad total de contaminantes primarios asciende a 389 kt a<sup>-1</sup>, que se distribuye de la siguiente manera:

- NO<sub>x</sub>: 62.4 kt (como NO<sub>2</sub>) a<sup>-1</sup>, 16.0 %.
- CO: 259.0 kt a<sup>-1</sup>, 66.7 %.
- COV: 50.5 kt (como CH<sub>1.85</sub>) a<sup>-1</sup>, 13.0 %.
- SO<sub>2</sub>: 1.3 kt a<sup>-1</sup>, 0.3 %.
- Partículas: 15.7 kt a<sup>-1</sup>, 4.0 %.

Tabla 4.27: Emisiones mensuales y anual debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 (t mes<sup>-1</sup>).

Mes	NO <sub>x</sub> (1)	COV(2)	CO	SO <sub>2</sub>	Partículas	Contaminantes primarios	CO <sub>2</sub> eq. (kt mes <sup>-1</sup> )
Ene	4 374	3 660	19 085	96	1 129	28 344	594
Feb	4 401	3 615	18 749	97	1 127	27 989	594
Mar	4 937	3 971	20 789	109	1 257	31 064	663
Abr	4 827	3 919	20 276	104	1 206	30 332	646
May	5 068	3 955	20 955	110	1 271	31 360	676
Jun	5 109	4 079	20 851	111	1 273	31 423	679
Jul	6 845	5 280	27 351	144	1 687	41 306	891
Ago	6 839	5 390	26 769	142	1 675	40 814	878
Sep	5 085	4 175	20 824	110	1 261	31 454	675
Oct	4 967	4 259	20 703	108	1 249	31 287	664
Nov	4 961	4 053	21 066	109	1 267	31 456	667
Dic	4 996	4 154	21 577	108	1 269	32 104	675
Total :	62 409	50 511	258 996	1 347	15 670	388 933	8 302

(1) Expresado como NO<sub>2</sub>, (2) expresado como CH<sub>1.85</sub>.

Tabla 4.28: Emisiones mensuales y anual debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 (%).

Mes	NO <sub>x</sub>	COV	CO	SO <sub>2</sub>	Partículas	Contaminantes primarios	CO <sub>2</sub> eq.
Ene	7.01	7.25	7.37	7.15	7.65	7.29	7.16
Feb	7.05	7.16	7.24	7.21	7.41	7.20	7.15
Mar	7.91	7.86	8.03	8.06	8.15	7.99	7.98
Abr	7.73	7.76	7.83	7.73	7.82	7.80	7.78
May	8.12	7.83	8.09	8.18	8.05	8.06	8.14
Jun	8.19	8.08	8.05	8.25	7.93	8.08	8.18
Jul	10.97	10.45	10.56	10.67	10.30	10.61	10.73
Ago	10.96	10.67	10.34	10.53	9.99	10.48	10.58
Sep	8.15	8.27	8.04	8.14	7.90	8.09	8.14
Oct	7.96	8.43	7.99	8.00	8.00	8.05	7.99
Nov	7.95	8.02	8.13	8.07	8.30	8.09	8.04
Dic	8.01	8.22	8.33	8.01	8.50	8.26	8.13
Total :	100	100	100	100	100	100	100

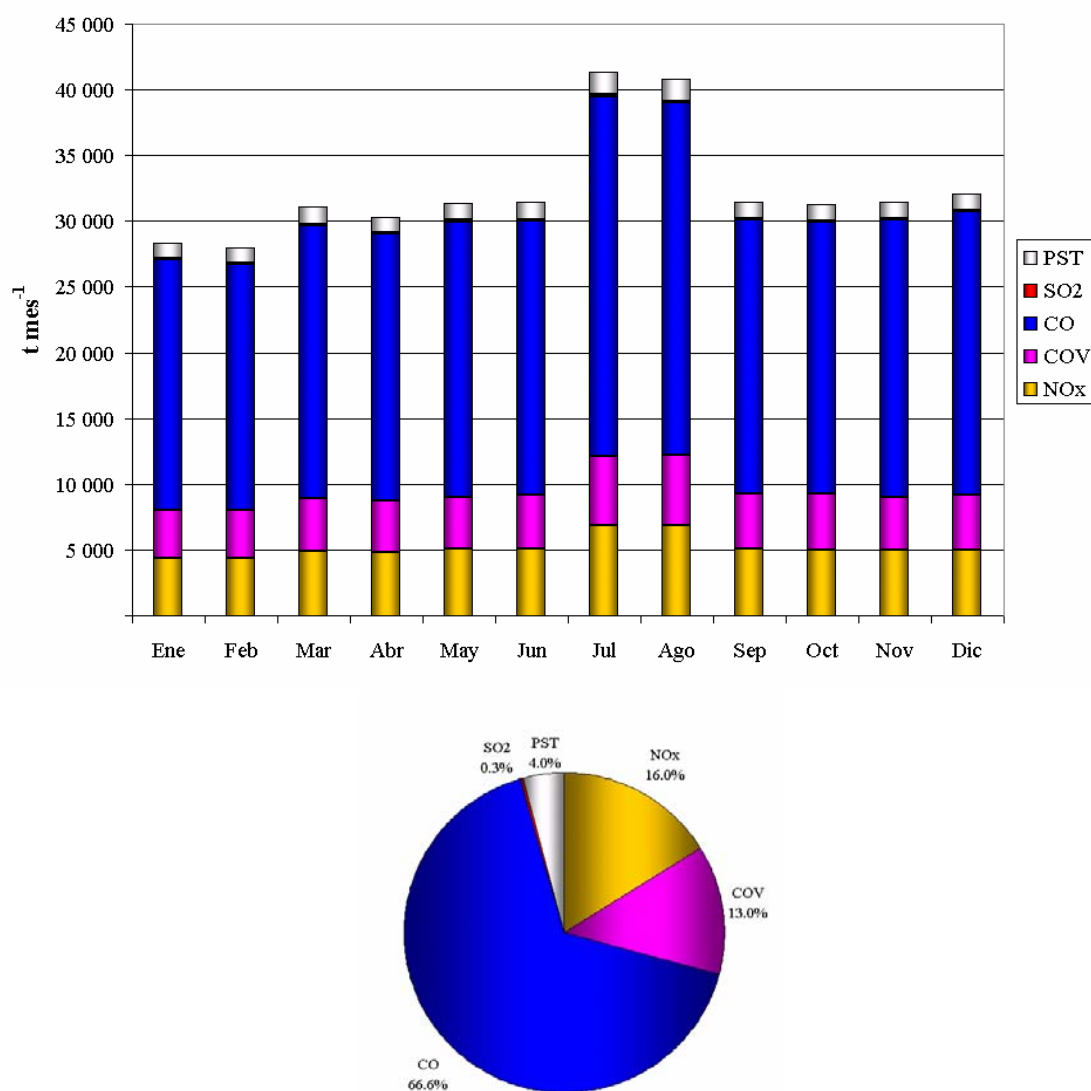


Figura 4.26: Emisión de contaminantes primarios debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año de 2000.

Los porcentajes de emisión mensuales más bajos corresponden a los meses de invierno ( 7 – 8 %), en tanto que las mayores emisiones corresponden a los meses de julio y agosto (10 - 11 %). La emisión anual de gases de efecto invernadero asciende a 8.3 Mt (CO<sub>2</sub> equivalente) a<sup>-1</sup>.

La Figura 4.26 indica la evolución mensual de la emisión de contaminantes primarios. En enero y febrero ascienden a 28 kt mes<sup>-1</sup>. Desde marzo a junio, las emisiones se incrementan hasta las 31 kt mes<sup>-1</sup>. En julio y agosto, se presentan las mayores emisiones (41.3 y 40.8 kt mes<sup>-1</sup>, respectivamente) y luego hay un descenso hasta niveles similares a los primeros meses. Hay claramente una presencia importante de CO, NO<sub>x</sub> y COV, que en conjunto representan el 96 % de las emisiones de contaminantes primarios.

Las mayores emisiones en julio y agosto se explican por el importante incremento del tráfico en las autopistas (ver la Figura 4.6) debido principalmente a la influencia del turismo local y foráneo, que prevalece sobre la disminución del tráfico en las vías urbanas (ver la Figura 4.7).



#### 4.7.3 Emisiones de NO<sub>x</sub>

La Tabla 4.29 y la Figura 4.27 presentan las emisiones mensuales de NO<sub>x</sub>. En enero y febrero, las emisiones alcanzan las 4.4 kt mes<sup>-1</sup>; de marzo a junio se incrementan hasta las 5.1 kt mes<sup>-1</sup> y en los meses de julio y agosto alcanzan las emisiones mensuales máximas (6.8 kt mes<sup>-1</sup>). La emisión anual asciende a 62.4 kt a<sup>-1</sup>, de las cuales, el 99.7 % corresponde a las emisiones en caliente. En los meses de verano (julio, agosto y septiembre) se emite el 30 % del total anual.

La Figura 4.28 presenta la distribución de la emisión anual de NO<sub>x</sub>. Evidentemente se concentran a lo largo de los ejes viales, y de forma marcada en el Área Metropolitana de Barcelona, con los mayores valores en los tramos de autopistas y vías de mayor tráfico que conectan con Barcelona.

#### 4.7.4 Emisiones de CO

La Tabla 4.30 y la Figura 4.29 presentan las emisiones mensuales de CO. En enero y febrero, las emisiones alcanzan las 19 kt mes<sup>-1</sup>; de marzo a junio se incrementan hasta 20.9 kt mes<sup>-1</sup> y en los meses de julio y agosto alcanzan las emisiones máximas (27.4 y 26.8 kt mes<sup>-1</sup>). La emisión anual asciende a 259 kt a<sup>-1</sup>, de las cuales, el 97 % corresponde a las emisiones en caliente. En los meses de verano (julio, agosto y septiembre) se emite el 29 % del total anual.

La Figura 4.30 presenta la distribución de la emisión anual de CO. La mayor concentración se presenta a lo largo de los ejes viales con mayor tráfico, de forma marcada en el Área Metropolitana de Barcelona y en las zonas urbanas.

#### 4.7.5 Emisiones de COV

La Tabla 4.31 y la Figura 4.31 presentan las emisiones mensuales de COV. En los meses de enero y febrero, ascienden a 3.6 kt mes<sup>-1</sup>; de marzo a junio se incrementan hasta 4 kt mes<sup>-1</sup> y en los meses de julio y agosto alcanzan las emisiones mensuales máximas (5.3 kt mes<sup>-1</sup>). La emisión anual asciende a 50.5 kt a<sup>-1</sup>, de las cuales, el 66 % corresponde a las emisiones de COV en caliente, 2 % a las emisiones en frío y el 32 % a las emisiones evaporativas. En los meses de verano (julio, agosto y septiembre) se emite el 30 % del total anual.

La Figura 4.32 presenta la distribución de la emisión anual de COV. Se concentran a lo largo de los ejes viales con mayor tráfico, de forma marcada en el Área Metropolitana de Barcelona y en las zonas urbanas.

Tabla 4.29: Emisiones mensuales y anual de NO<sub>x</sub> debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000.

Mes	Emisiones (t NO <sub>2</sub> mes <sup>-1</sup> )			Porcentajes		
	Caliente	Frío	Caliente + frío	Caliente	Frío	Caliente + frío
Ene	4 350	24	4 374	6.97	0.04	7.01
Feb	4 382	19	4 401	7.02	0.03	7.05
Mar	4 918	19	4 937	7.88	0.03	7.91
Abr	4 811	16	4 827	7.71	0.03	7.73
May	5 055	13	5 068	8.10	0.02	8.12
Jun	5 099	9	5 109	8.17	0.02	8.19
Jul	6 837	8	6 845	10.96	0.01	10.97
Ago	6 833	5	6 839	10.95	0.01	10.96
Sep	5 076	9	5 085	8.13	0.02	8.15
Oct	4 953	14	4 967	7.94	0.02	7.96
Nov	4 941	20	4 961	7.92	0.03	7.95
Dic	4 975	21	4 996	7.97	0.03	8.01
<b>Total</b>	<b>62 232</b>	<b>177</b>	<b>62 409</b>	<b>99.72</b>	<b>0.28</b>	<b>100</b>

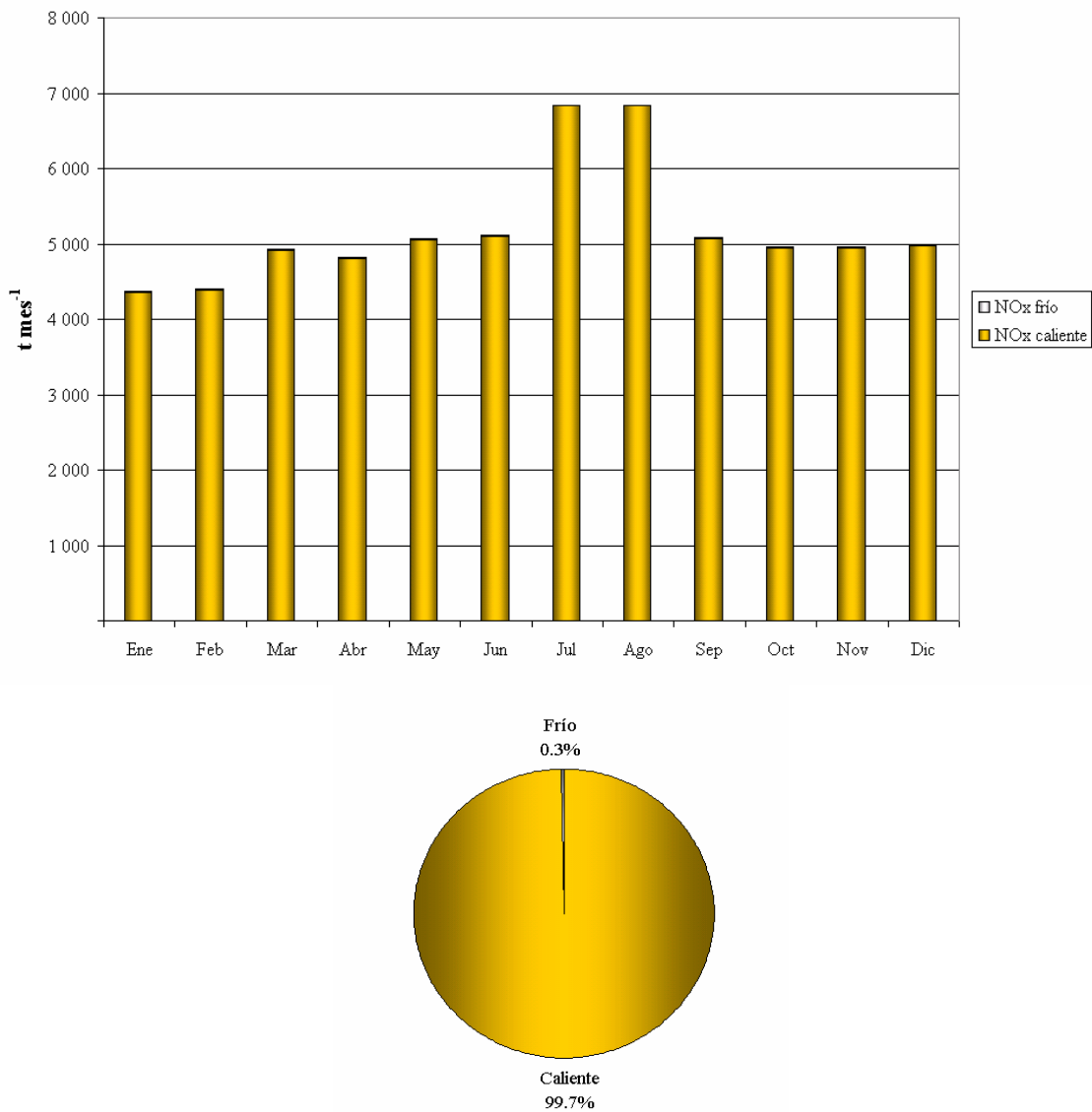


Figura 4.27: Emisiones de NO<sub>x</sub> debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000.

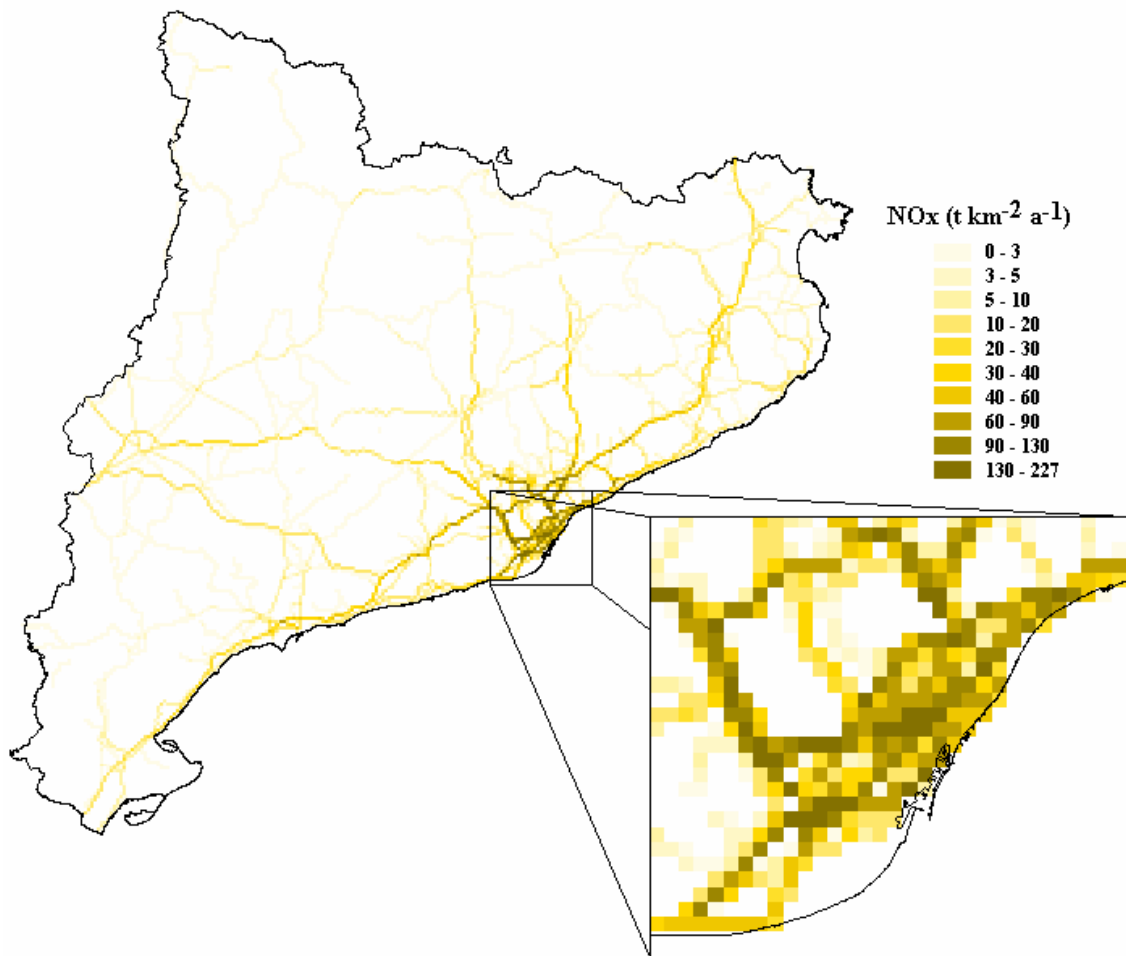


Figura 4.28: Distribución geográfica de las emisiones de NO<sub>x</sub> debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000.

Tabla 4.30: Emisiones mensuales y anual de CO debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000.

Mes	Emisiones (t mes <sup>-1</sup> )			Porcentajes		
	Caliente	Frío	Caliente + frío	Caliente	Frío	Caliente + frío
Ene	17 891	1 195	19 085	6.91	0.46	7.37
Feb	17 794	955	18 749	6.87	0.37	7.24
Mar	19 828	962	20 789	7.66	0.37	8.03
Abr	19 465	811	20 276	7.52	0.31	7.83
May	20 307	648	20 955	7.84	0.25	8.09
Jun	20 357	494	20 851	7.86	0.19	8.05
Jul	26 940	411	27 351	10.40	0.16	10.56
Ago	26 497	273	26 769	10.23	0.11	10.34
Sep	20 334	490	20 824	7.85	0.19	8.04
Oct	19 991	712	20 703	7.72	0.27	7.99
Nov	20 084	983	21 066	7.75	0.38	8.13
Dic	20 538	1 039	21 577	7.93	0.40	8.33
Total	250 025	8 971	258 996	96.54	3.46	100

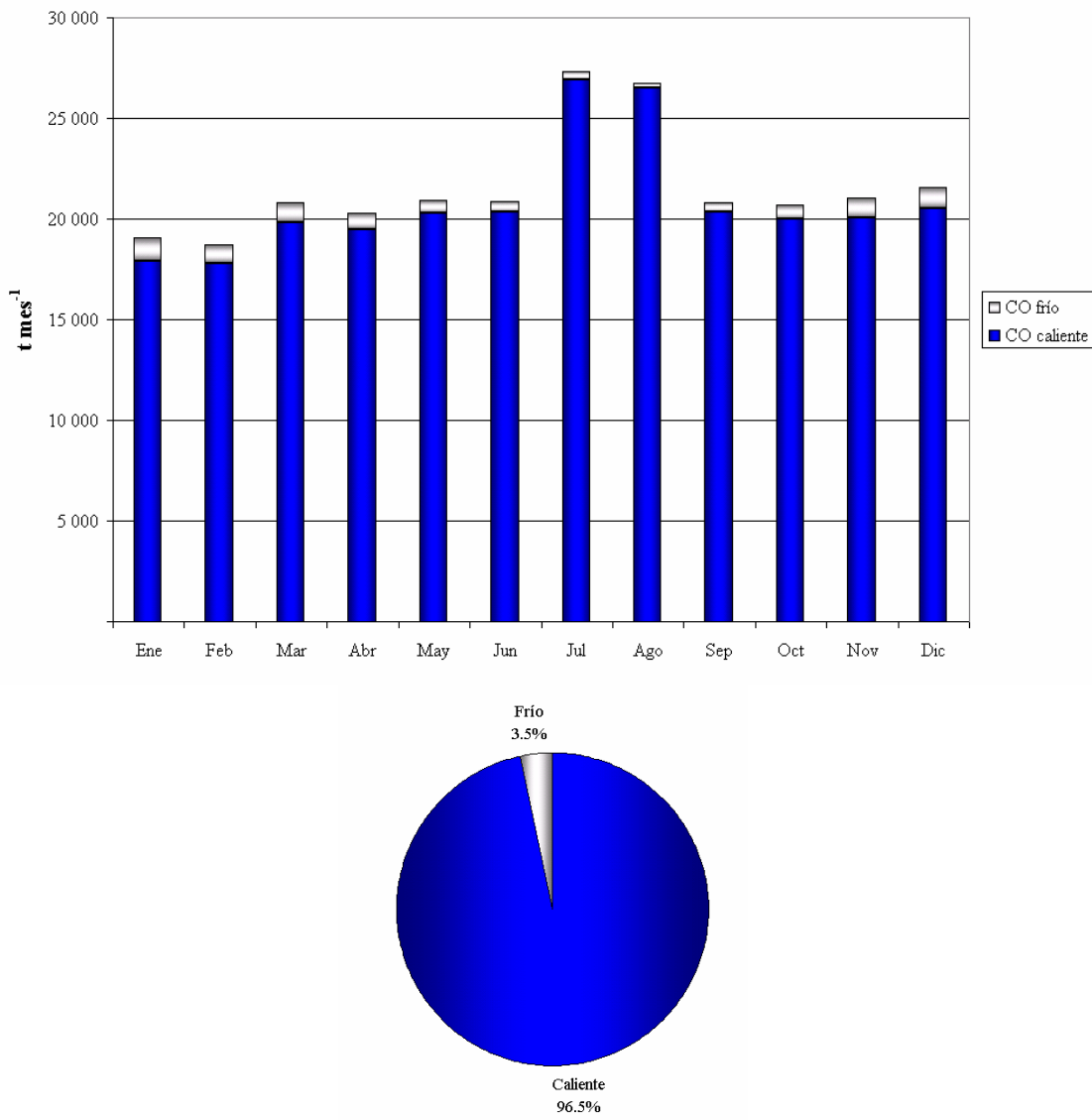


Figura 4.29: Emisiones de CO debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000.

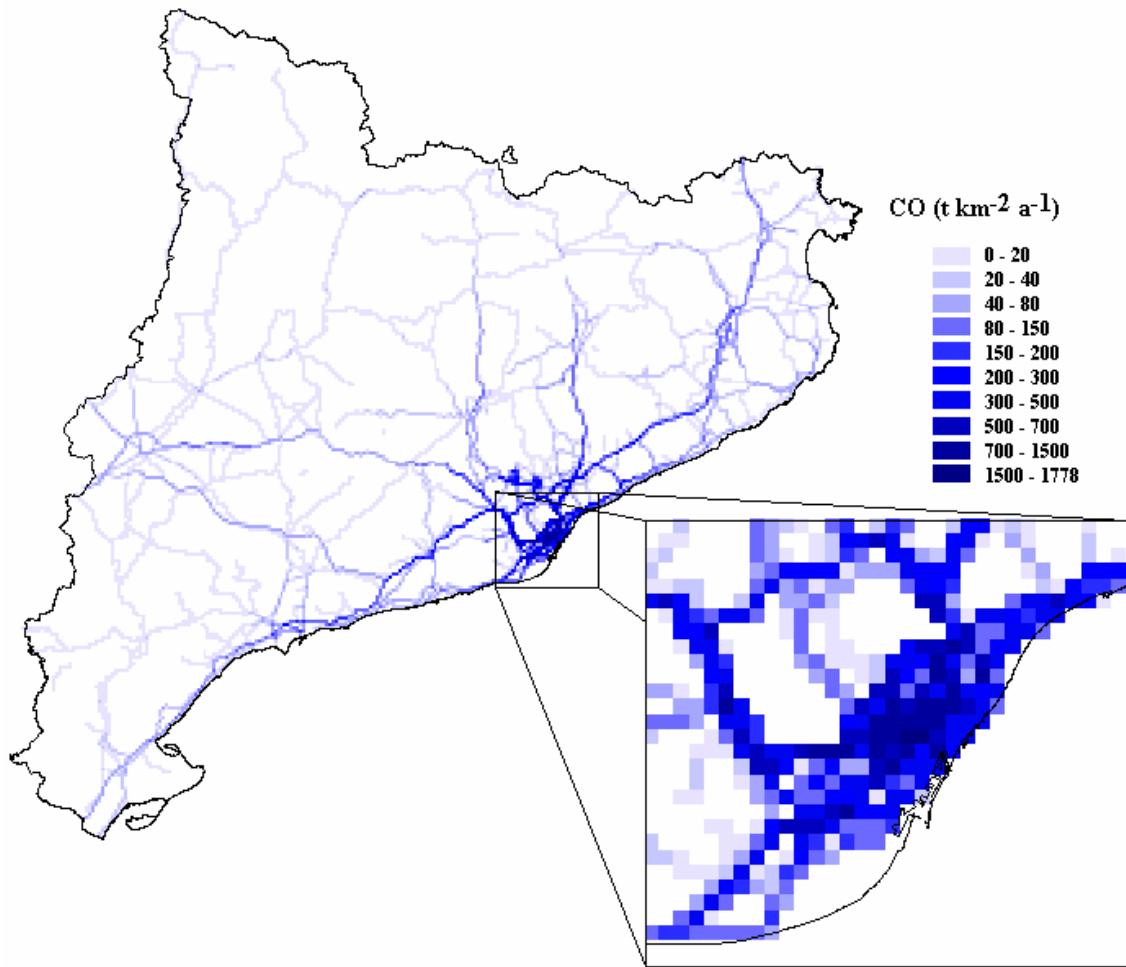


Figura 4.30: Distribución geográfica de las emisiones de CO debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000

Tabla 4.31: Emisiones mensuales y anual de COV debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000.

Mes	Emisiones (t CH <sub>1,85</sub> mes <sup>-1</sup> )				Porcentajes			
	Caliente	Frío	Evaporativa	Caliente + frío + evaporativa	Caliente	Frío	Evaporativa	Caliente + frío + evaporativa
Ene	2 494	132	1 034	3 660	4.94	0.26	2.05	7.25
Feb	2 438	104	1 073	3 615	4.83	0.21	2.12	7.16
Mar	2 686	104	1 181	3 971	5.32	0.21	2.34	7.86
Abr	2 609	87	1 222	3 919	5.17	0.17	2.42	7.76
May	2 720	68	1 167	3 955	5.38	0.14	2.31	7.83
Jun	2 697	51	1 331	4 079	5.34	0.10	2.64	8.08
Jul	3 446	42	1 793	5 280	6.82	0.08	3.55	10.45
Ago	3 290	27	2 072	5 390	6.51	0.05	4.10	10.67
Sep	2 693	50	1 431	4 175	5.33	0.10	2.83	8.27
Oct	2 686	76	1 498	4 259	5.32	0.15	2.96	8.43
Nov	2 746	107	1 200	4 053	5.44	0.21	2.38	8.02
Dic	2 837	113	1 205	4 154	5.62	0.22	2.39	8.22
Total	33 342	961	16 208	50 511	66.01	1.90	32.09	100

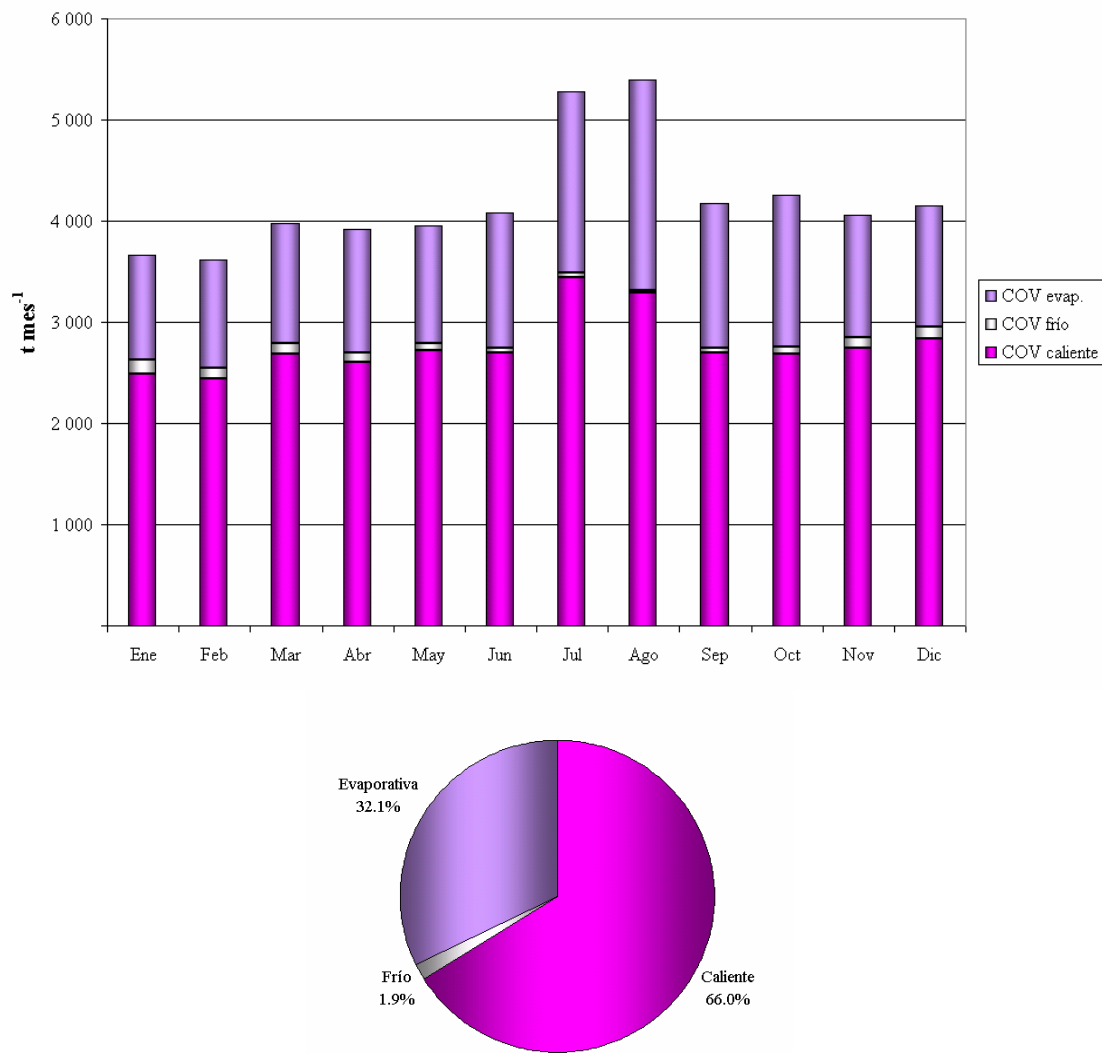


Figura 4.31: Emisiones de COV debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000.

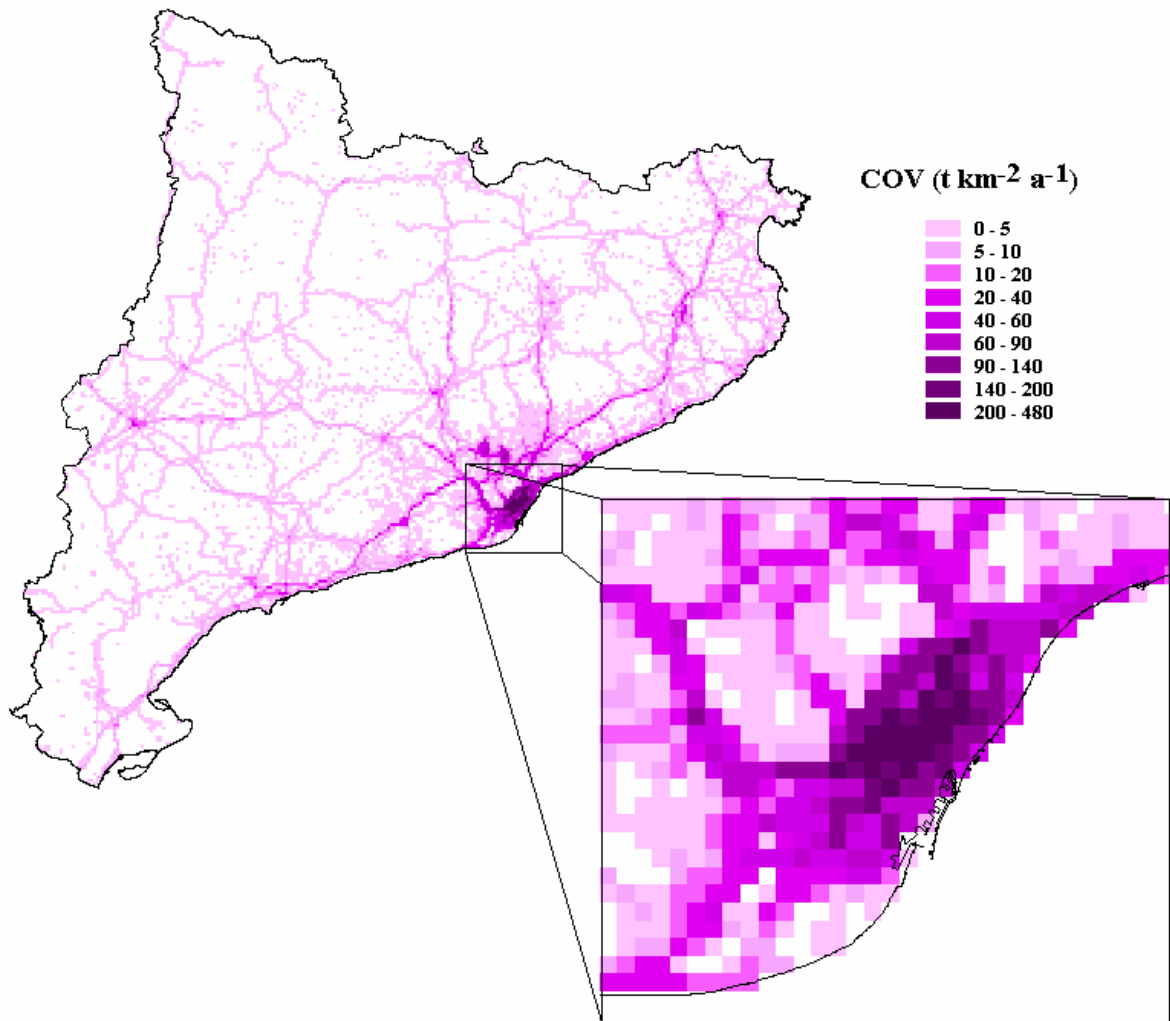


Figura 4.32: Distribución geográfica de las emisiones de COV debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000.

La Tabla 4.32 y la Figura 4.33 presentan las emisiones mensuales evaporativas de COV. En enero y febrero, las emisiones alcanzan las  $1.1 \text{ kt mes}^{-1}$ ; de marzo a mayo se incrementan hasta  $1.3 \text{ kt mes}^{-1}$  y en los meses de julio y agosto alcanzan las emisiones máximas ( $1.8$  y  $2 \text{ kt mes}^{-1}$ ). La emisión anual asciende a  $16.2 \text{ kt a}^{-1}$ , de las cuales, el 11 % corresponde a las evaporativas diurnas, 65 % a las emisiones por detención en frío y el 24 % a las emisiones evaporativas por recorrido.

Las emisiones mensuales diurnas presentan poca variabilidad y oscilan entre 108 y  $193 \text{ t mes}^{-1}$ . Las evaporativas mensuales por detención, del mismo modo, no presentan mayor variabilidad y oscilan entre 796 y  $998 \text{ t mes}^{-1}$ . Por el contrario las emisiones mensuales por recorrido son mayores en los meses de verano (varían entre 739 y  $973 \text{ t mes}^{-1}$ ), en relación con los valores de invierno (varían entre 71 –  $141 \text{ t mes}^{-1}$ ). En los meses de verano (julio, agosto y septiembre) se emite el 33 % del total anual.

Capítulo 4: Emisiones del tráfico vehicular

Tabla 4.32: Emisiones mensuales y anual de COV evaporativas debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000.

Mes	Emisiones (t CH <sub>1,85</sub> mes <sup>-1</sup> )				Porcentajes			
	Diurnas	Detención	Recorrido	Total	Diurnas	Detención	Recorrido	Total
Ene	108	855	71	1 034	0.67	5.27	0.44	6.38
Feb	117	843	113	1 073	0.72	5.20	0.70	6.62
Mar	128	912	141	1 181	0.79	5.63	0.87	7.29
Abr	132	904	186	1 222	0.81	5.58	1.15	7.54
May	138	796	233	1 167	0.85	4.91	1.44	7.20
Jun	156	812	363	1 331	0.96	5.01	2.24	8.21
Jul	179	875	739	1 793	1.10	5.40	4.56	11.06
Ago	193	906	973	2 072	1.19	5.59	6.00	12.79
Sep	165	827	439	1 431	1.02	5.10	2.71	8.83
Oct	162	998	338	1 498	1.00	6.15	2.08	9.24
Nov	130	898	173	1 200	0.80	5.54	1.07	7.41
Dic	127	913	165	1 205	0.78	5.63	1.02	7.43
Total	1 735	10 539	3 934	16 208	10.71	65.02	24.27	100

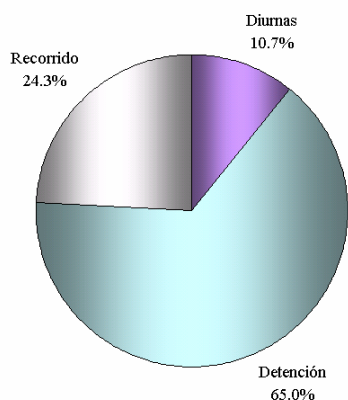
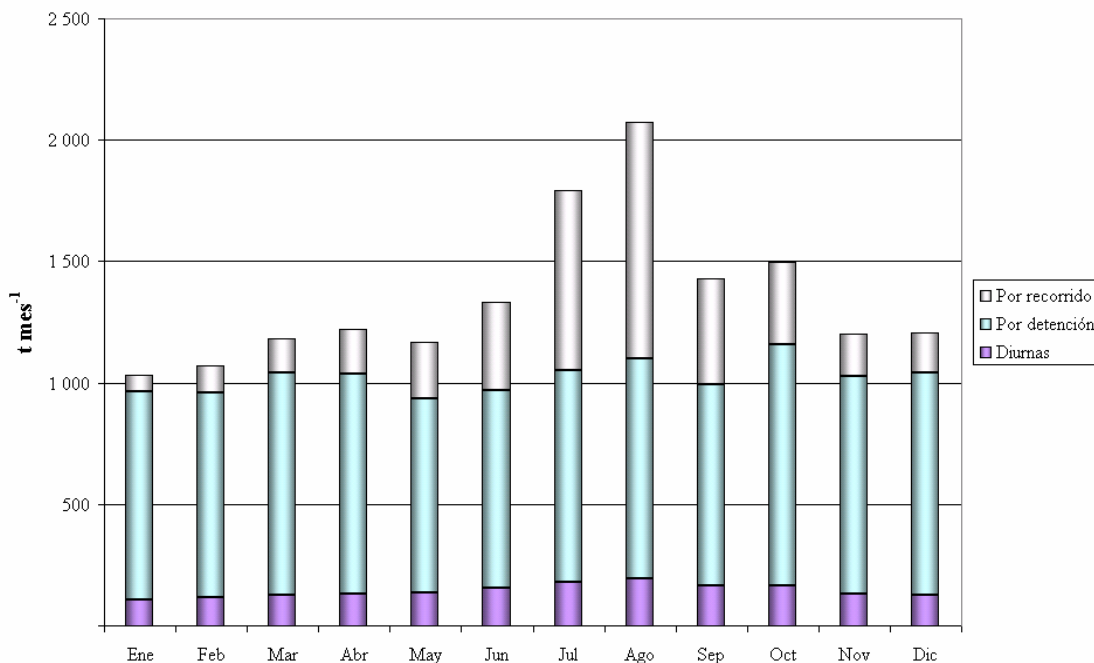


Figura 4.33: Emisiones de COV evaporativas debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000.



#### 4.7.6 Emisiones de SO<sub>2</sub>

La Tabla 4.33 y la Figura 4.34 presentan las emisiones mensuales de SO<sub>2</sub>. En enero y febrero, alcanzan las 97 t mes<sup>-1</sup>; de marzo a junio se incrementan hasta 109 - 111 t mes<sup>-1</sup> y en los meses de julio y agosto alcanzan las emisiones máximas (144 y 142 t mes<sup>-1</sup>). La emisión anual asciende a 1 347 t a<sup>-1</sup>, de las cuales, el 99 % corresponde a las emisiones de SO<sub>2</sub> en caliente. En los meses de verano (julio, agosto y septiembre) se emite el 29 % del total anual.

La Figura 4.35 presenta la distribución de la emisión anual de SO<sub>2</sub>. Se concentra a lo largo de los ejes viales con mayor tráfico, de forma marcada en el Área Metropolitana de Barcelona, celdas en las que se atribuye un mayor consumo de combustible.

Tabla 4.33: Emisiones mensuales y anual de SO<sub>2</sub> debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000.

Mes	Emisiones (t mes <sup>-1</sup> )			Porcentajes		
	Caliente	Frío	Caliente + frío	Caliente	Frío	Caliente + frío
Ene	95	1	96	7.05	0.10	7.15
Feb	96	1	97	7.12	0.08	7.21
Mar	107	1	109	7.98	0.08	8.06
Abr	103	1	104	7.66	0.07	7.73
May	109	1	110	8.13	0.06	8.18
Jun	110	1	111	8.20	0.05	8.25
Jul	143	1	144	10.64	0.04	10.67
Ago	141		142	10.51	0.03	10.53
Sep	109	1	110	8.10	0.04	8.14
Oct	107	1	108	7.94	0.06	8.00
Nov	107	1	109	7.98	0.09	8.07
Dic	107	1	108	7.92	0.09	8.01
Total	1 336	11	1 347	99.21	0.79	100

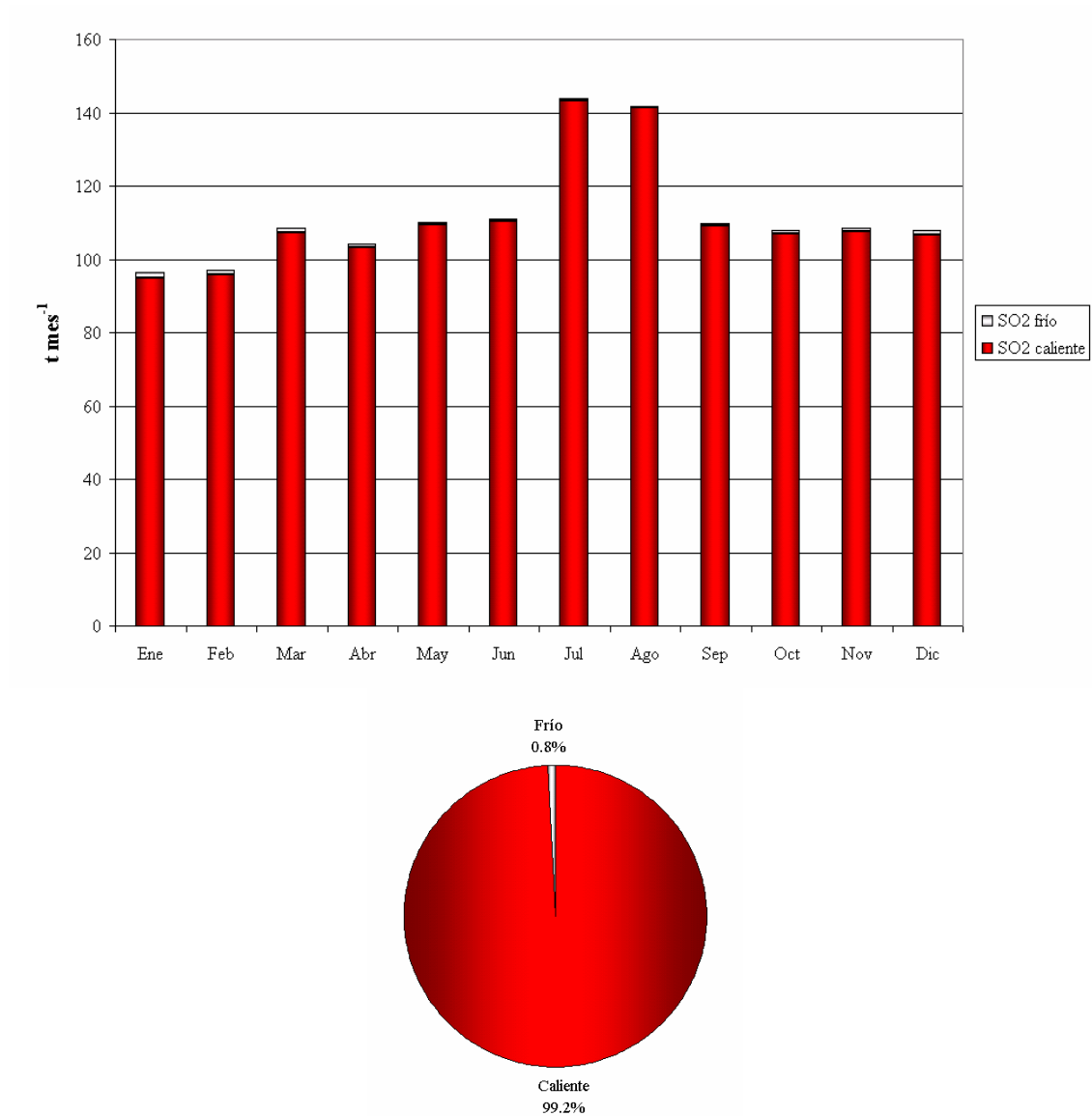


Figura 4.34: Emisiones de SO<sub>2</sub> debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000.

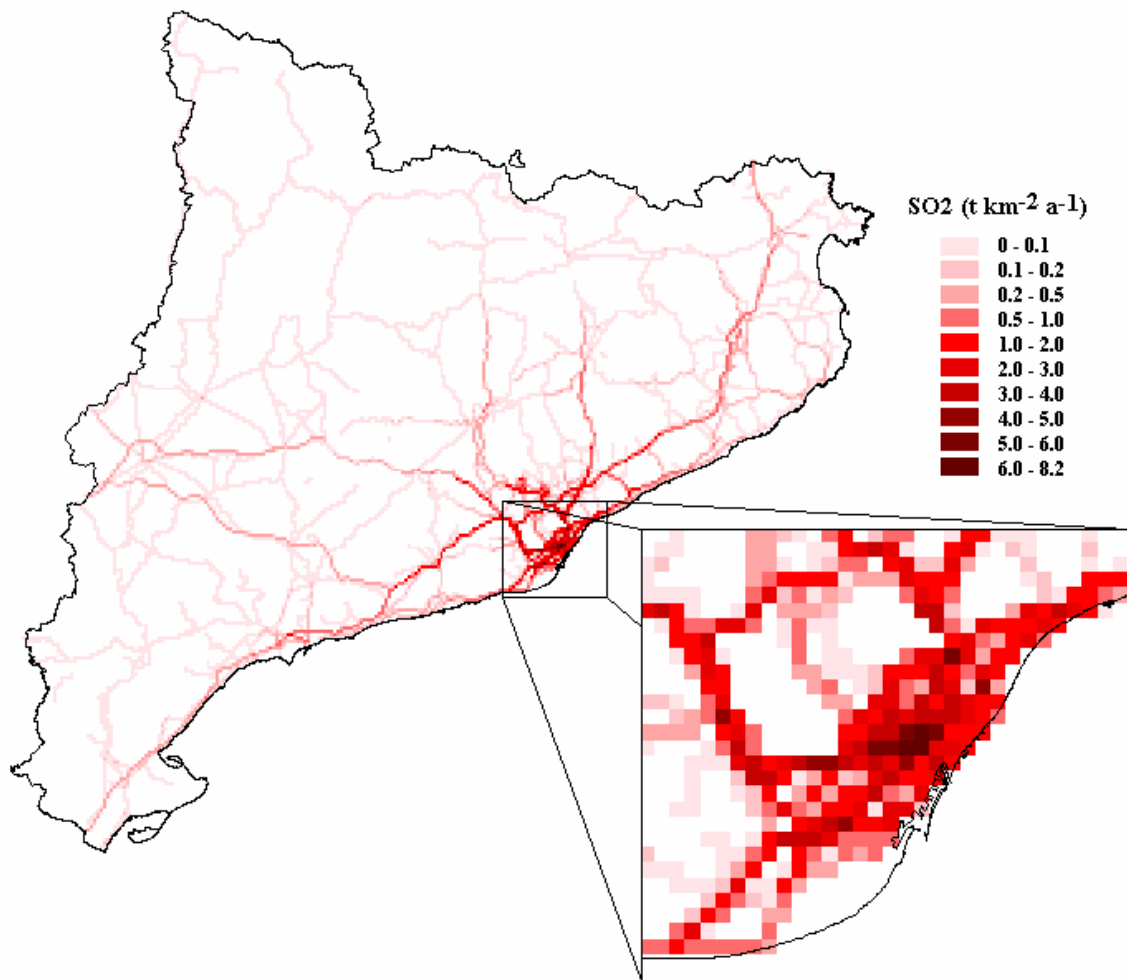


Figura 4.35: Distribución geográfica de las emisiones de SO<sub>2</sub> debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000.

#### 4.7.7 Emisiones de partículas

La Tabla 4.34 y la Figura 4.36 presentan las emisiones mensuales de partículas. De enero a junio, las emisiones alcanzan 1.2 kt mes<sup>-1</sup>, en julio y agosto alcanzan las emisiones máximas (1.7 kt mes<sup>-1</sup>). La emisión anual asciende a 15.7 kt a<sup>-1</sup>, de las cuales, el 33 % corresponde a las emisiones de combustión en caliente, 1 % a las emisiones de combustión en frío, 23 % al desgaste de neumáticos, 2 % al desgaste de frenos y 41 % al desgaste del pavimento.

Llama la atención los valores negativos de la Tabla 4.34 que el modelo atribuye a las emisiones de combustión en frío de los meses de junio a septiembre. Estos valores se explican las emisiones de combustión reales son menores que las emisiones en caliente que proporciona el modelo para temperaturas relativamente altas.

Toda la fracción de partículas de combustión es fina (PM<sub>2.5</sub>). Al 95 % de las partículas debidas al desgaste de neumáticos y de pavimento, se les atribuye a la fracción > PM<sub>10</sub>. El 100 % de las partículas debidas al desgaste de frenos, se atribuye a la fracción PM<sub>2.5</sub>.

El 62 % del valor anual de emisión corresponde a la fracción >PM<sub>10</sub>. El 35 % del valor de emisión anual corresponde a PM<sub>2.5</sub>. Sólo el 3 % se atribuye a tamaños entre PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>.

Capítulo 4: Emisiones del tráfico vehicular

Tabla 4.34: Emisiones mensuales y anual de partículas debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000.

Mes	Emisiones (t mes <sup>-1</sup> )						%					
	Combustión PM <sub>2.5</sub>		No combustión			Total	Combustión PM <sub>2.5</sub>		No combustión			Total
	Caliente	Frío	(1)	(2)	(3)		Caliente	Frío	(1)	(2)	(3)	
Ene	368	26	253	22	460	1 129	2.35	0.16	1.61	0.14	2.94	7.20
Feb	373	16	255	22	461	1 127	2.38	0.10	1.63	0.14	2.94	7.19
Mar	417	15	285	25	515	1 257	2.66	0.10	1.82	0.16	3.29	8.02
Abr	393	11	276	24	502	1 206	2.51	0.07	1.76	0.15	3.21	7.70
May	422	3	292	25	529	1 271	2.69	0.02	1.87	0.16	3.37	8.11
Jun	425	-3	294	25	531	1 273	2.71	-0.02	1.88	0.16	3.39	8.13
Jul	545	-4	395	34	716	1 687	3.48	-0.02	2.52	0.22	4.57	10.76
Ago	536	-3	395	34	713	1 675	3.42	-0.02	2.52	0.22	4.55	10.69
Sep	417	-2	292	25	529	1 261	2.66	-0.01	1.86	0.16	3.37	8.04
Oct	412	6	287	25	520	1 249	2.63	0.04	1.83	0.16	3.32	7.97
Nov	417	15	288	25	521	1 267	2.66	0.10	1.84	0.16	3.33	8.08
Dic	409	18	289	25	529	1 269	2.61	0.11	1.84	0.16	3.37	8.10
Total	5 135	98	3 602	311	6 524	15 670	32.77	0.63	22.99	1.99	41.63	100

(1) Desgaste de neumáticos: 0 % PM<sub>2.5</sub>, 5 % entre PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, 95 % > PM<sub>10</sub>. (2) Desgaste de frenos: 100 % PM<sub>2.5</sub>. (3) Desgastes de pavimento: 0 % PM<sub>2.5</sub>, 5 % entre PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, 95 % > PM<sub>10</sub>.

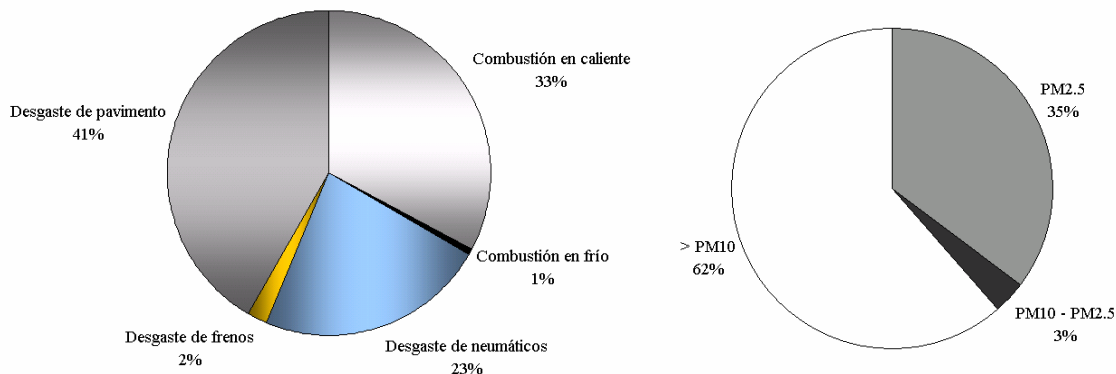
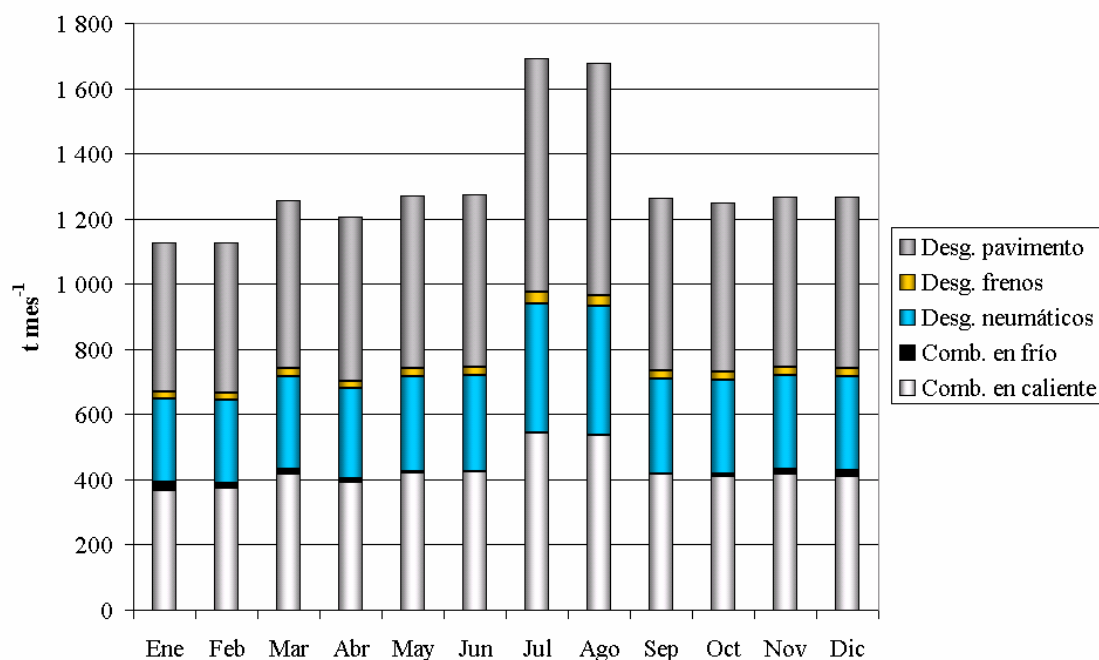


Figura 4.36: Emisiones de partículas debidas al tráfico vehicular en Cataluña en el año 2000.

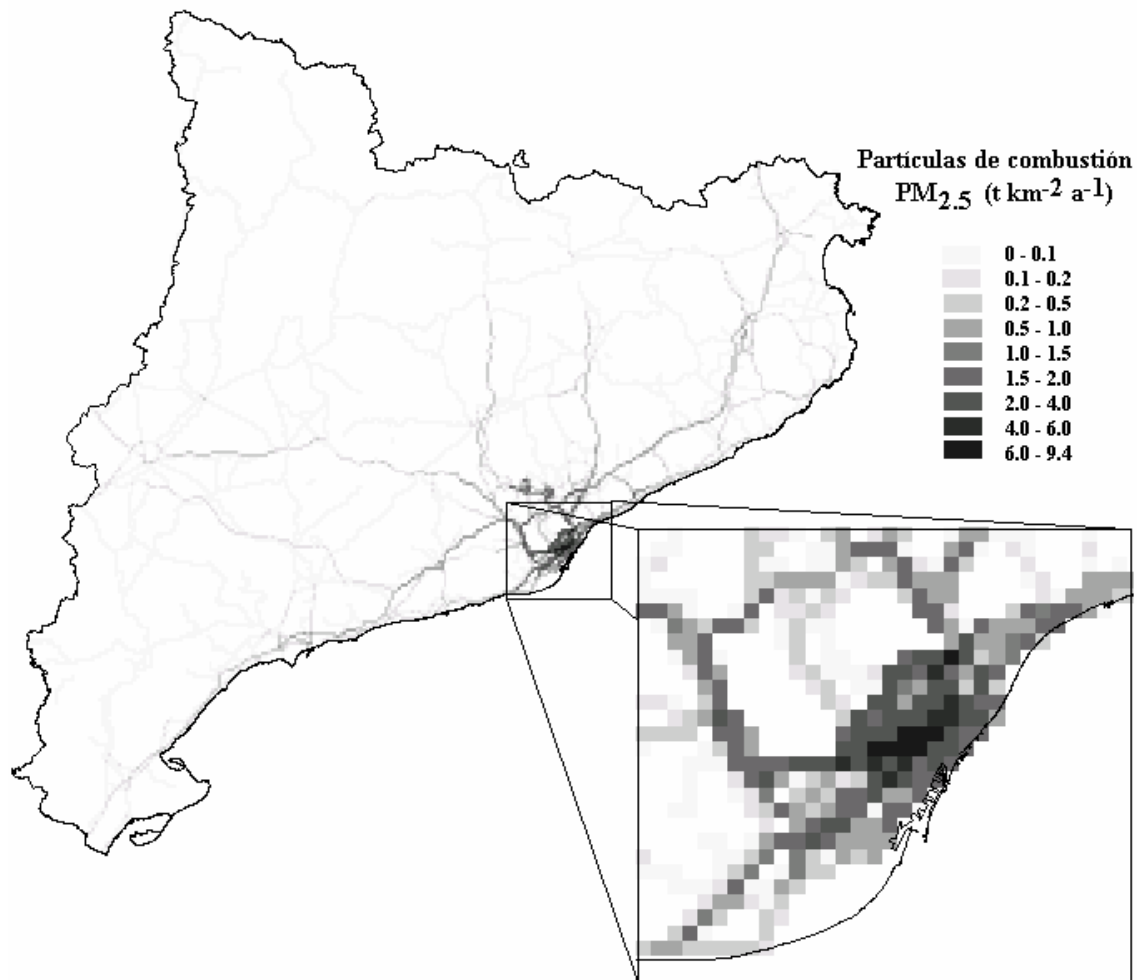


Figura 4.37: Distribución geográfica de las emisiones de partículas de combustión debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000.

La Figura 4.37 presenta la distribución geográfica de las emisiones anuales de las partículas de combustión, las que se concentran a lo largo de los ejes viales con mayor tráfico, de forma marcada en el Área Metropolitana de Barcelona.

### 3.2.6 Emisiones de gases de efecto invernadero

La Tabla 4.35 y la Figura 4.38 presentan las emisiones mensuales de GEI ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ ). En enero y febrero, las emisiones alcanzan el orden de las  $594 \text{ kt CO}_2 \text{ eq. mes}^{-1}$ ; de marzo a junio se incrementan hasta  $663 - 679 \text{ kt CO}_2 \text{ eq. mes}^{-1}$ , en julio y agosto alcanzan las emisiones máximas ( $891$  y  $898 \text{ kt CO}_2 \text{ eq. mes}^{-1}$ ). La emisión anual asciende a  $8.3 \text{ Mt CO}_2 \text{ eq. a}^{-1}$ , de las cuales, el 99 % corresponde a las emisiones en caliente. En los meses de verano (julio, agosto y septiembre) se emite el 29 % del total anual.

Capítulo 4: Emisiones del tráfico vehicular

Tabla 4.35: Emisiones mensuales y anual de gases de efecto invernadero debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000.

Mes	Emisiones (t CO <sub>2</sub> equivalente mes <sup>-1</sup> )			Porcentajes		
	Caliente	Frío	Caliente + frío	Caliente	Frío	Caliente + frío
Ene	585 521	8 831	594 352	7.05	0.11	7.16
Feb	586 599	7 190	593 789	7.07	0.09	7.15
Mar	655 635	7 293	662 928	7.90	0.09	7.98
Abr	639 444	6 203	645 647	7.70	0.07	7.78
May	670 793	5 151	675 944	8.08	0.06	8.14
Jun	674 934	4 081	679 014	8.13	0.05	8.18
Jul	887 468	3 455	890 923	10.69	0.04	10.73
Ago	875 916	2 347	878 263	10.55	0.03	10.58
Sep	671 381	4 037	675 418	8.09	0.05	8.14
Oct	658 017	5 561	663 578	7.93	0.07	7.99
Nov	660 048	7 447	667 495	7.95	0.09	8.04
Dic	667 052	7 832	674 884	8.03	0.09	8.13
Total	8 232 807	69 427	8 302 234	99.16	0.84	100

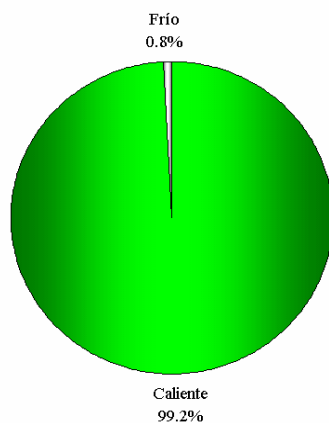
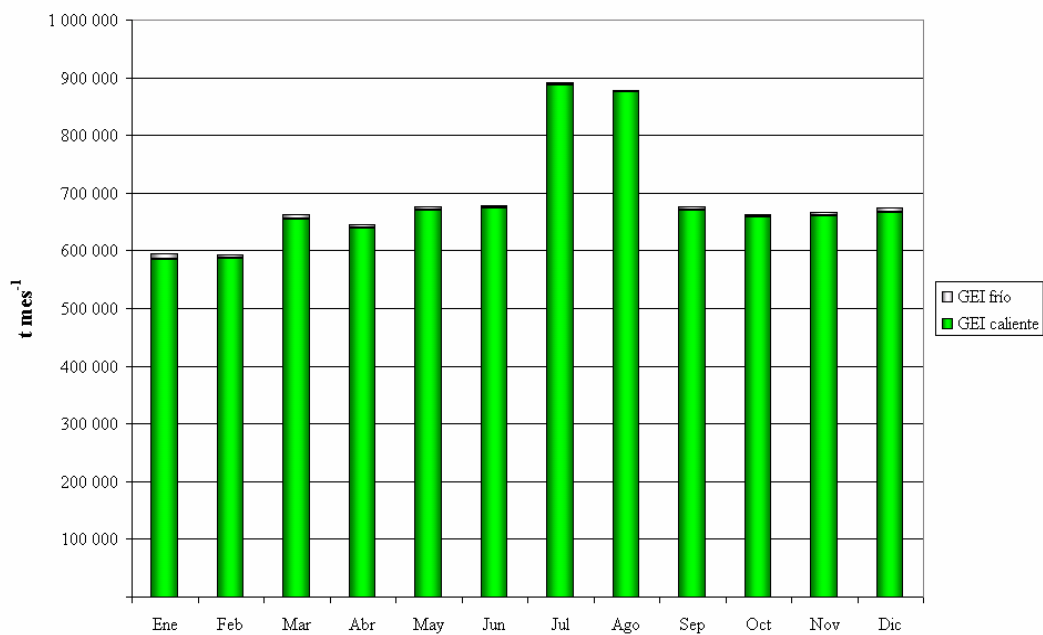


Figura 4.38: Emisiones de gases de efecto invernadero debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000.

La Figura 4.39 presenta la distribución de la emisión anual de GEI. Las mayores concentraciones se presentan a lo largo de los ejes viales con mayor tráfico, de forma marcada en el Área Metropolitana de Barcelona, celdas en las que se atribuye un mayor consumo de combustible.

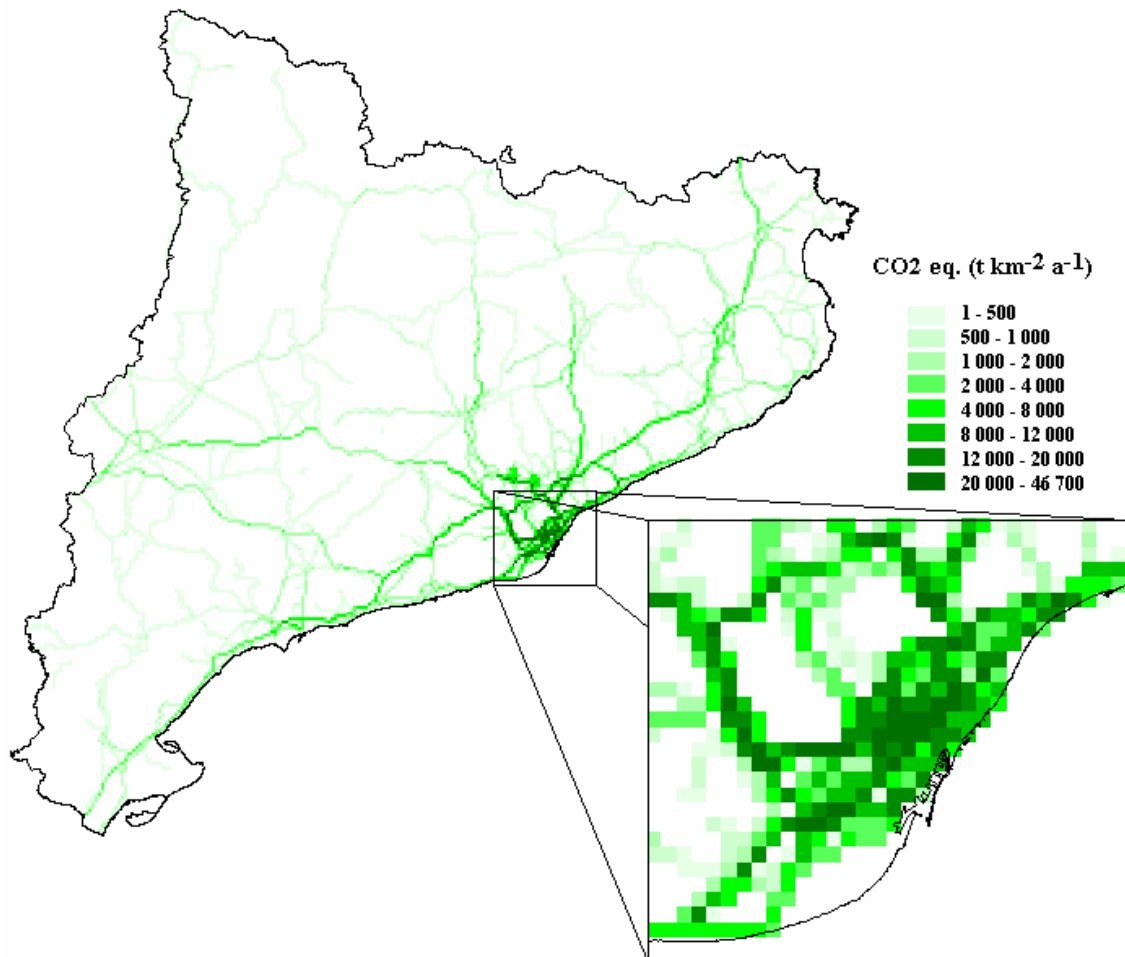


Figura 4.39: Distribución geográfica de las emisiones de gases de efecto invernadero debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000.

#### 4.7.8 Emisión de contaminantes por grupos de vehículos

Esta sección resume las emisiones anuales según las categorías de vehículos que las producen. Para facilitar la presentación de los resultados, las 36 categorías de vehículos se agruparon en seis clases, según lo indicado en la Tabla 4.36.

Tabla 4.36: Clasificación del parque automotor para la presentación de las emisiones atmosféricas por tipos de los vehículos.

Tipo de vehículo	Subcategoría	Clasificación para presentación de las emisiones por tipo de vehículo
	< 1.4 l	
Pre-ECE	1.4 - 2.0 l	
ECE 15/00 y 01	> 2.0 l	
	< 1.4 l	
ECE 15/02	1.4 - 2.0 l	
	> 2.0 l	
	< 1.4 l	Turismos de gasolina sin catalizador
ECE 15/03	1.4 - 2.0 l	
	> 2.0 l	
	< 1.4 l	
ECE 15/04	1.4 - 2.0 l	
	> 2.0 l	
Sin catalizador	1.4 - 2.0 l	
	< 1.4 l	
Catalizador de oxidación	1.4 - 2.0 l	
Catalizador de tres vías	> 2.0 l	
	< 1.4 l	
Euro I (91/441/EEC)	1.4 - 2.0 l	Turismos de gasolina con catalizador
	> 2.0 l	
	< 1.4 l	
Euro II (94/12/EC)	1.4 - 2.0 l	
	> 2.0 l	
Turismos diesel	< 2.0 l	Turismos diesel
Camiones gasolina > 3.5 t	> 2.0 l	Camiones de gasolina
Camiones ligeros a diesel < 3.5t		
Camiones pesados 3.5 - 7.5 t		
Camiones pesados 7.5 - 16 t		Camiones de diesel
Camiones pesados > 16 t		
	< 50 cc	
	> 50 cc 2t	
Motocicletas	> 50 cc 2t	Motocicletas
	> 50 cc 4t	
	> 50 cc 4t	
	> 50 cc 4t	

La Tabla 4.37 presenta las emisiones desglosadas de acuerdo a la agrupación vehicular de la Tabla 4.36. La Tabla 4.38 presenta la conformación de las emisiones evaporativas.

Si bien las emisiones en frío se producen en todos los vehículos, EMICAT2000 (que usa las metodologías EMEP/CORINAIR 2001) actualmente sólo implementa el cálculo de las emisiones frías de los turismos de gasolina y turismos de diesel.

EMICAT2000 actualmente implementa el cálculo de las emisiones evaporativas para los turismos de gasolina y las motocicletas.



Capítulo 4: Emisiones del tráfico vehicular

Tabla 4.37: Emisiones atmosféricas debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por categorías de vehículos (t a<sup>-1</sup>).

Contaminante	Turismos de			Camiones de		Motocicletas	Total
	gasolina sin catalizador	gasolina con catalizador	de diesel	gasolina	diesel		
NO <sub>x</sub> caliente	18 546	3 976	3 680	12 577	23 181	270	62 232
NO <sub>x</sub> frío	9	127	41	- (*)	- (*)	- (*)	177
CO caliente	60 363	20 368	3 836	98 956	12 401	54 100	250 025
CO frío	3 706	4 982	282	- (*)	- (*)	- (*)	8 971
COV caliente	7 037	960	906	7 051	3 110	14 279	33 342
COV frío	298	534	129	- (*)	- (*)	- (*)	961
COV evap	11 760	3 526	- (**)	- (**)	- (**)	922	16 208
SO <sub>2</sub> caliente	115	113	264	86	737	20	1 336
SO <sub>2</sub> frío	1	1	8	- (*)	- (*)	- (*)	11
Part. comb. caliente	184	9	1 319	632	2 805	185	5 135
Part. comb. frío	2		96	- (*)	- (*)	- (*)	98
Part. desg. neumáticos	476	494	439	586	1 538	68	3 602
Part. fesp. frenos	41	43	38	51	132	6	311
Part. desg. pavimento	1 001	1 039	922	300	3 118	144	6 524
CO <sub>2</sub> eq. caliente	1 241 722	1 255 530	1 239 100	918 761	3 355 961	221 730	8 232 804
CO <sub>2</sub> eq. frío	12 335	19 023	38 068	- (*)	- (*)	- (*)	69 426

(\*) El modelo utilizado (según la metodología EMEP/CORINAIR 2001) sólo incluye a las emisiones en frío producidas por los turismos (a gasolina y diesel).

(\*\*) El modelo utilizado (según la metodología EMEP/CORINAIR 2001) sólo incluye a las emisiones evaporativas de los turismos de gasolina y las motocicletas.

Tabla 4.38: Emisiones evaporativas de COV debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por categorías de vehículos (t a<sup>-1</sup>).

Tipo de emisión evaporativa	Turismos de			Camiones de		Motocicletas	Total
	gasolina sin catalizador	gasolina con catalizador	de diesel	gasolina	diesel		
Diurna	1 099	428	- (*)	- (*)	- (*)	208	1 735
Detención	7 749	2 200	- (*)	- (*)	- (*)	590	10 539
Recorrido	2 912	898	- (*)	- (*)	- (*)	124	3 934
Total	11 760	3 526	- (*)	- (*)	- (*)	922	16 208

(\*) El modelo utilizado (según la metodología EMEP/CORINAIR 1999) sólo incluye a las emisiones evaporativas de los turismos de gasolina y las motocicletas

La Tabla 4.39 y la Figura 4.40 indican las emisiones de NO<sub>x</sub> y los porcentajes por tipo de vehículo. El 37 % de las emisiones son generadas por los camiones de diesel, el 30 % por los turismos de gasolina sin catalizador y el 20 % por los camiones de gasolina.

La Tabla 4.40 y la Figura 4.41 indican las emisiones de CO. El 97 % de las emisiones ocurren en caliente. Los camiones de gasolina producen el 38 % de las emisiones, seguido de los turismos de gasolina sin catalizador (25 %), las motocicletas (20 %) y los turismos de gasolina con catalizador (10 %). El más alto porcentaje de las emisiones en frío (2 %) ocurre en los turismos de gasolina con catalizador.

Tabla 4.39: Emisión de NO<sub>x</sub> debido al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por categorías de vehículos.

Tipo de vehículo	En caliente		En frío		Total	
	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%
Turismos de gasolina sin catalizador	18 546	29.72	9	0.01	18 555	29.73
Turismos de gasolina con catalizador	3 976	6.37	127	0.20	4 104	6.58
Turismos de diesel	3 680	5.90	41	0.07	3 722	5.96
Camiones de gasolina	12 577	20.15	-	-	12 577	20.15
Camiones de diesel	23 181	37.14	-	-	23 181	37.14
Motocicletas	270	0.43	-	-	270	0.43
<b>Total</b>	<b>62 232</b>	<b>99.72</b>	<b>177</b>	<b>0.28</b>	<b>62 409</b>	<b>100</b>

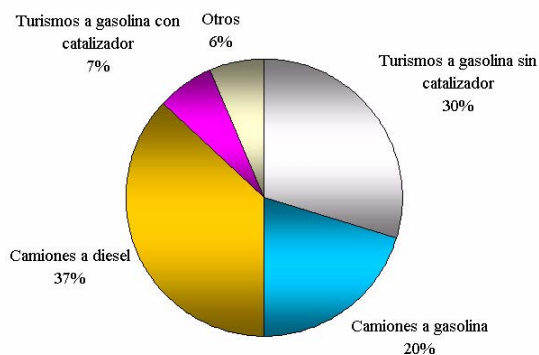
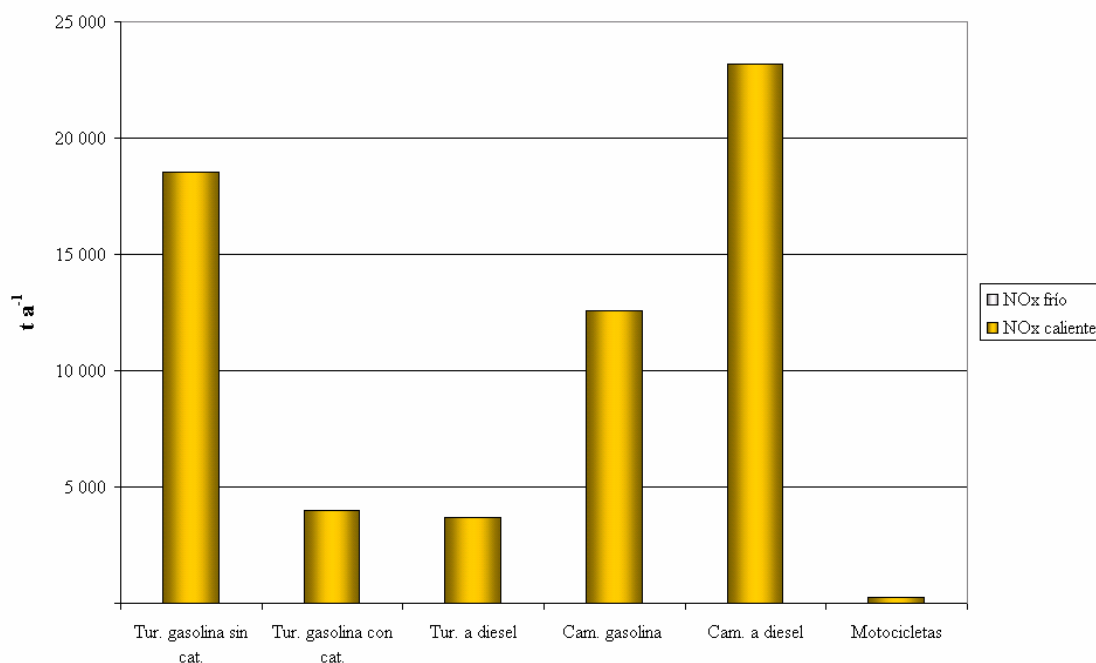


Figura 4.40: Emisión de NO<sub>x</sub> debida al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por categorías de vehículos.

Tabla 4.40: Emisión de CO debido al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por categorías de vehículos.

Tipo de vehículo	En caliente		En frío		Total	
	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%
Turismos de gasolina sin catalizador	60 363	23.31	3 706	1.43	64 070	24.74
Turismos de gasolina con catalizador	20 368	7.86	4 982	1.92	25 350	9.79
Turismos de diesel	3 836	1.48	282	0.11	4 118	1.59
Camiones de gasolina	98 956	38.21	-	-	98 956	38.21
Camiones de diesel	12 401	4.79	-	-	12 401	4.79
Motocicletas	54 100	20.89	-	-	54 100	20.89
<b>Total</b>	<b>250 025</b>	<b>96.54</b>	<b>8 971</b>	<b>3.46</b>	<b>258 996</b>	<b>100</b>

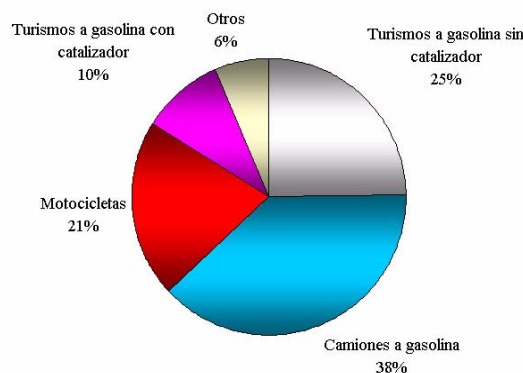
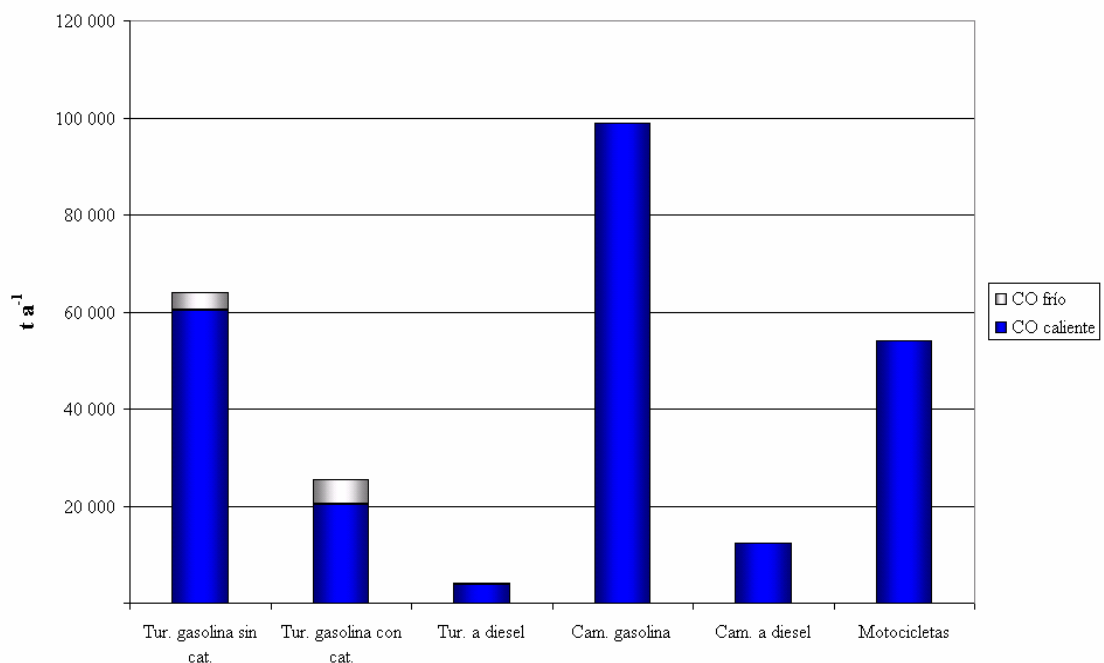


Figura 4.41: Emisión de CO debida al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por categorías de vehículos.

La Tabla 4.41 y la Figura 4.42 indican las emisiones de COV. Las emisiones en caliente representan el 66 % y las evaporativas el 32 %. El 38 % del total de las emisiones son generadas por los turismos de gasolina sin catalizador, el 30 % por las motocicletas, el 14 % por los camiones

de gasolina y el 10 % por los turismos de gasolina con catalizador. El mayor porcentaje de las emisiones en frío (1.1 %) ocurre en los turismos de gasolina con catalizador. El mayor porcentaje de las emisiones evaporativas (23 %) se presenta en los turismos de gasolina sin catalizador.

La Tabla 4.42 y la Figura 4.43 indican las emisiones evaporativas de COV. El 65 % corresponden a las emisiones por detención, el 24 % a las de recorrido y el 11 % a las emisiones diurnas. El 73 % de las emisiones evaporativas totales son generadas por los turismos de gasolina sin catalizador y el 22 % por los turismos de gasolina con catalizador. Los mayores porcentajes de emisión diurna (7 %), por detención (48 %) y recorrido (18 %) ocurren en los turismos de gasolina sin catalizador.

La Tabla 4.43 y la Figura 4.44 indican las emisiones de SO<sub>2</sub>. El 99 % de las emisiones ocurren en caliente. Los camiones de diesel generan el 55 % del total de las emisiones, seguido por los turismos de diesel (20 %) y de los turismos de gasolina sin catalizador y con catalizador (el 9 % cada uno).

La Tabla 4.44 y la Figura 4.45 indican las emisiones de partículas. El 48 % son generadas por los camiones de diesel y el 18% por los turismos de diesel. Los turismos de gasolina sin catalizador, turismos de gasolina con catalizador y camiones de gasolina, cada uno genera un 10 % de las emisiones de partículas. Los vehículos a diesel generan el 80 % de las partículas de combustión.

La Tabla 4.45 y la Figura 4.46 indican las emisiones totales de contaminantes primarios. El 31 % de las emisiones son generadas por los camiones de gasolina, seguido de los turismos de gasolina sin catalizador (27 %), las motocicletas (18 %), los camiones de diesel (12 %), turismos de gasolina con catalizador (9 %) y los turismos de diesel (3 %).

La Tabla 4.46 y la Figura 4.47 indican las emisiones totales de contaminantes primarios por tipo de combustible. El 85 % de las emisiones son generadas por los vehículos a gasolina, en tanto que los vehículos a diesel emiten el restante 15 %.

Tabla 4.41: Emisión de COV debido al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por categorías de vehículos.

Tipo de vehículo	En caliente		En frío		Evaporativas		Total	
	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%
Turismos de gasolina sin catalizador	7 037	13.93	298	0.59	11 760	23.28	19 095	37.80
Turismos de gasolina con catalizador	960	1.90	534	1.06	3 526	6.98	5 020	9.94
Turismos de diesel	906	1.79	129	0.25	-	0.00	1 034	2.05
Camiones de gasolina	7 051	13.96	-	0.00	-	0.00	7 051	13.96
Camiones de diesel	3 110	6.16	-	0.00	-	0.00	3 110	6.16
Motocicletas	14 279	28.27	-	0.00	922	1.83	15 201	30.09
<b>Total</b>	<b>33 342</b>	<b>66.01</b>	<b>961</b>	<b>1.90</b>	<b>16 208</b>	<b>32.09</b>	<b>50 511</b>	<b>100</b>

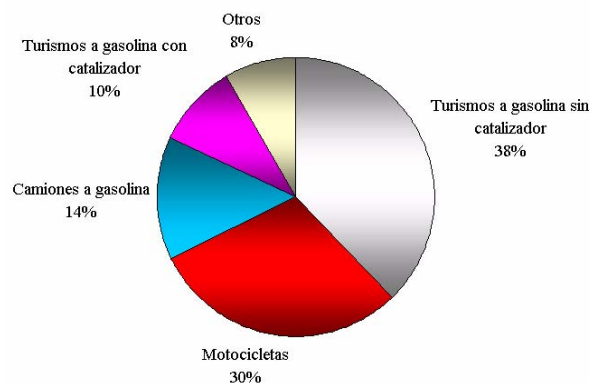
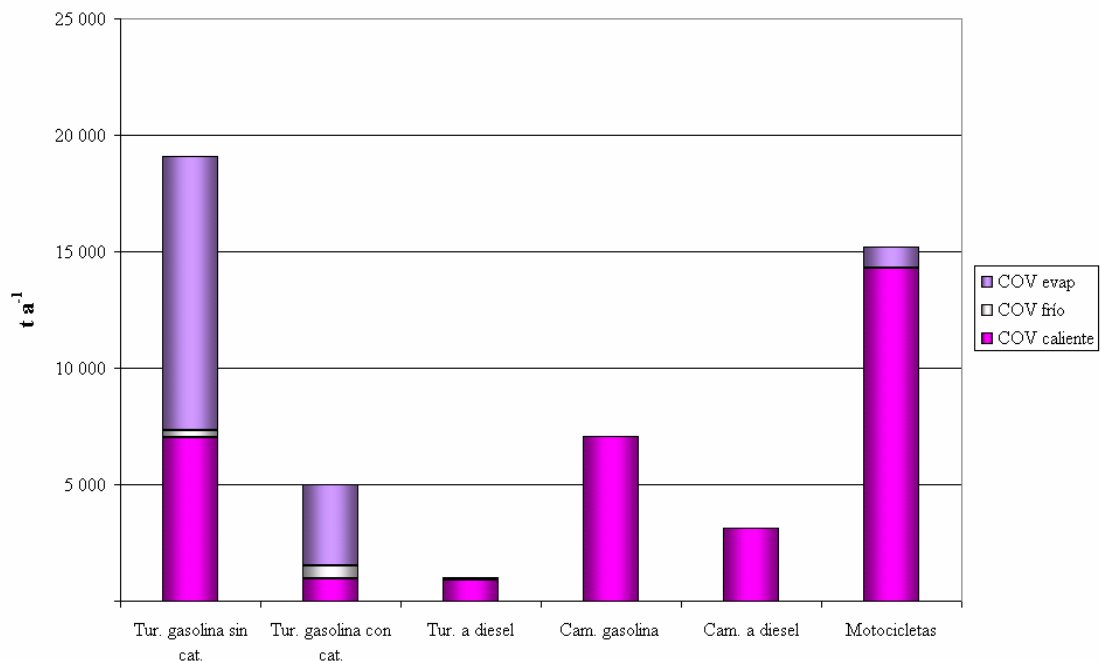


Figura 4.42: Emisión de COV debido al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por categorías de vehículos.

Tabla 4.42: Emisiones evaporativas de COV debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por categorías de vehículos.

Tipo de vehículo	Diurna		Detención		Recorrido		Total	
	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%
Turismos de gasolina sin catalizador	1 099	6.78	7 749	47.81	2 912	17.97	11 760	72.56
Turismos de gasolina con catalizador	428	2.64	2 200	13.57	898	5.54	3 526	21.75
Turismos de diesel	-	-	-	-	-	-	-	-
Camiones de gasolina	-	-	-	-	-	-	-	-
Camiones de diesel	-	-	-	-	-	-	-	-
Motocicletas	208	1.28	590	3.64	124	0.76	922	5.69
<b>Total</b>	<b>1 735</b>	<b>10.71</b>	<b>10 539</b>	<b>65.02</b>	<b>3 934</b>	<b>24.27</b>	<b>16 208</b>	<b>100</b>

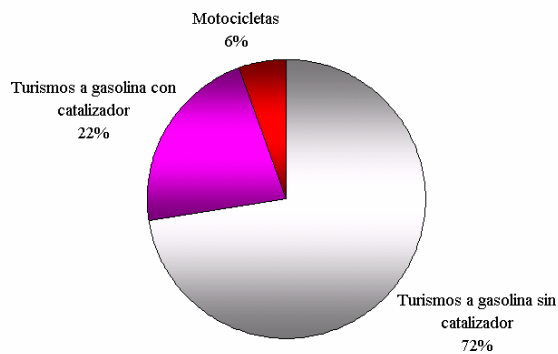
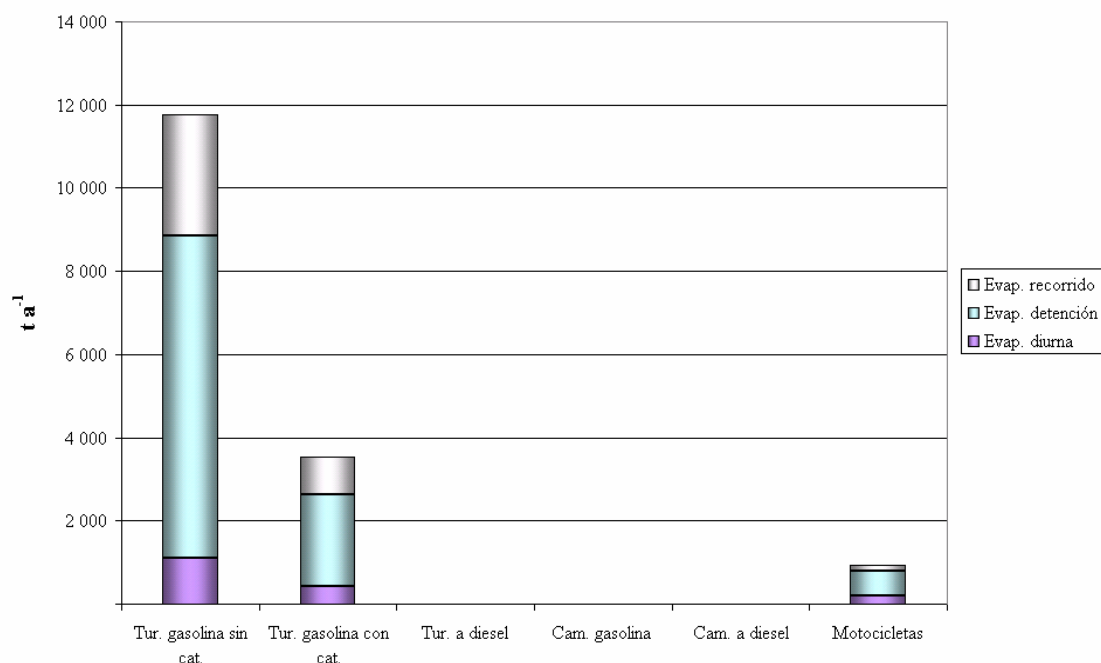


Figura 4.43: Emisiones evaporativas de COV debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por categorías de vehículos.

Tabla 4.43: Emisión de SO<sub>2</sub> debido al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por categorías de vehículos.

Tipo de vehículo	En caliente		En frío		Total	
	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%
Turismos de gasolina sin catalizador	115	8.56	1	0.08	116	8.64
Turismos de gasolina con catalizador	113	8.41	1	0.09	114	8.50
Turismos de diesel	264	19.63	8	0.62	273	20.26
Camiones de gasolina	86	6.38	0.00	0.00	86	6.38
Camiones de diesel	737	54.74	0.00	0.00	737	54.74
Motocicletas	20	1.49	0.00	0.00	20	1.49
<b>Total</b>	<b>1 336</b>	<b>99.21</b>	<b>11</b>	<b>0.79</b>	<b>1 347</b>	<b>100</b>

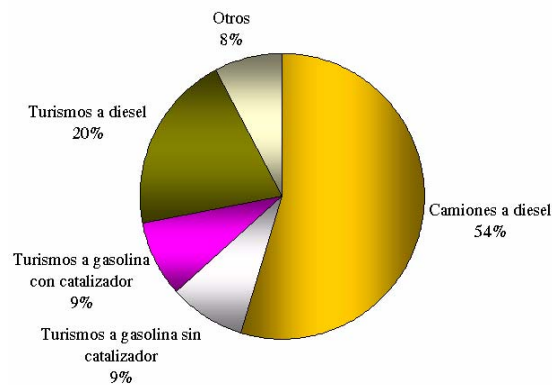
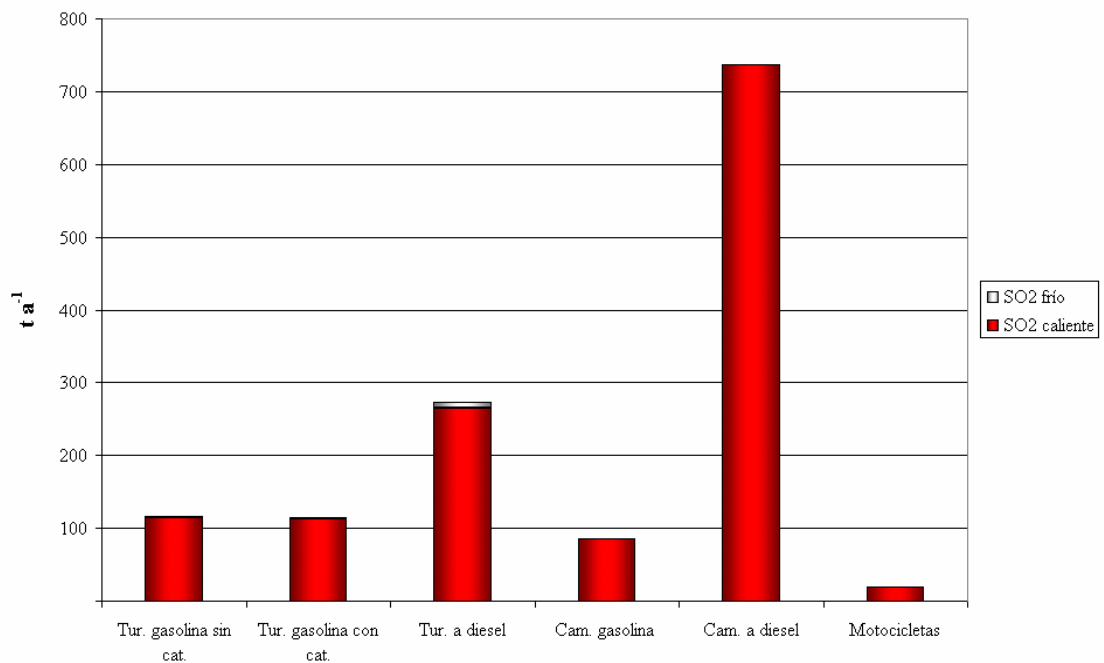


Figura 4.44: Emisión de SO<sub>2</sub> debida al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por categorías de vehículo.

Tabla 4.44: Emisión de partículas debido al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por categorías de vehículos

Tipo de vehículo	Combustión en caliente		Combustión en frío		Desgaste de neumáticos		Desgaste de frenos		Desgaste de Pavimento		Total	
	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%
Turismos de gasolina sin catalizador	184	1.17	2	0.01	476	3.04	41	0.26	1 001	6.39	1 704	10.88
Turismos de gasolina con catalizador	9	0.06		0.00	494	3.15	43	0.27	1 039	6.63	1 585	10.12
Turismos de diesel	1 319	8.42	96	0.62	439	2.80	38	0.24	922	5.88	2 815	17.96
Camiones de gasolina	632	4.03		0.00	586	3.74	51	0.33	300	1.91	1 569	10.01
Camiones de diesel	2 805	17.90		0.00	1 538	9.82	132	0.84	3 118	19.90	7 594	48.46
Motocicletas	185	1.18		0.00	68	0.43	6	0.04	144	0.92	403	2.57
<b>Total</b>	<b>5 135</b>	<b>32.77</b>	<b>98</b>	<b>0.63</b>	<b>3 602</b>	<b>23</b>	<b>311.3</b>	<b>1.99</b>	<b>6524.0</b>	<b>41.63</b>	<b>15 670</b>	<b>100</b>

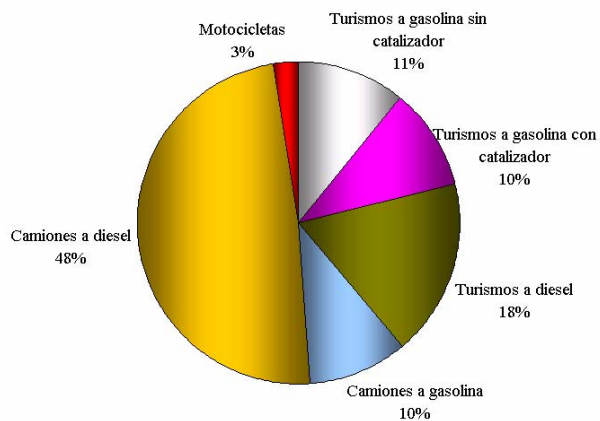
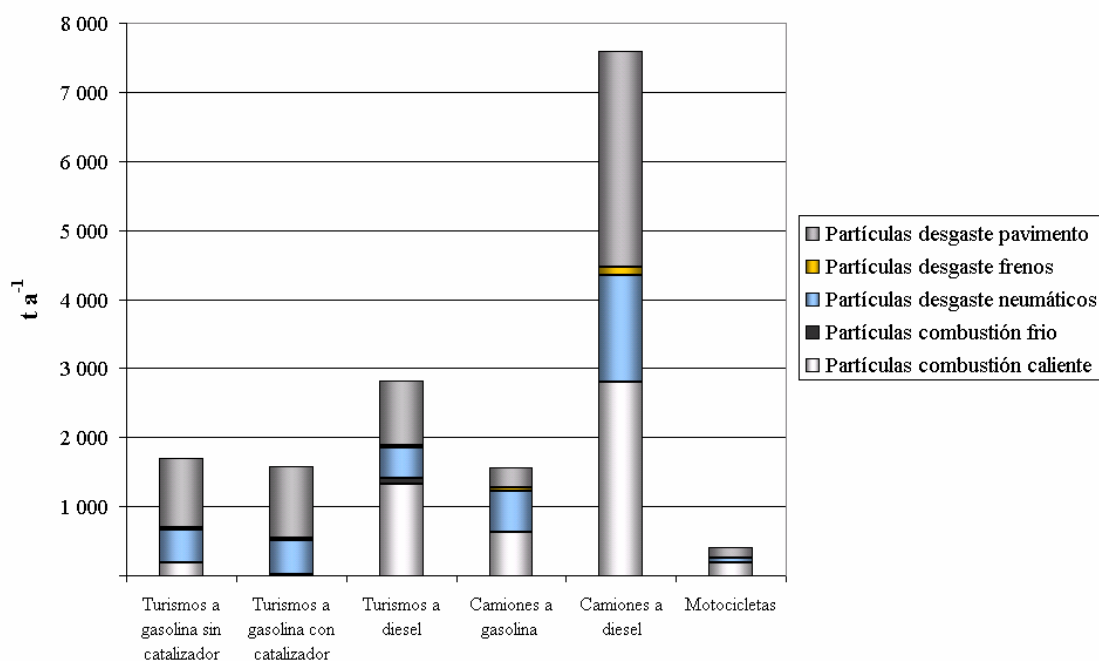


Figura 4.45: Emisión de partículas debido al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por categorías de vehículos.



Tabla 4.45: Emisión de contaminantes primarios debida al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por categorías de vehículos.

Categoría de vehículo	NO <sub>x</sub>		CO		COV		SO <sub>2</sub>		Partículas		Total	
	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%
Turismos de gasolina sin catalizador	18 555	29.73	64 070	24.74	19 095	37.80	116	8.64	1 704	10.88	103 541	26.62
Turismos de gasolina con catalizador	4 104	6.58	25 350	9.79	5 020	9.94	114	8.50	1 585	10.12	36 174	9.30
Turismos de diesel	3 722	5.96	4 118	1.59	1 034	2.05	273	20.26	2 815	17.96	11 962	3.08
Camiones de gasolina	12 577	20.15	98 956	38.21	7 051	13.96	86	6.38	1 569	10.01	120 239	30.92
Camiones de diesel	23 181	37.14	12 401	4.79	3 110	6.16	737	54.74	7 594	48.46	47 023	12.09
Motocicletas	270	0.43	54 100	20.89	15 201	30.09	20	1.49	403	2.57	69 994	18.00
<b>Total</b>	<b>62 409</b>	<b>100</b>	<b>258 996</b>	<b>100</b>	<b>50 511</b>	<b>100</b>	<b>1 347</b>	<b>100</b>	<b>15 670</b>	<b>100</b>	<b>388 933</b>	<b>100</b>

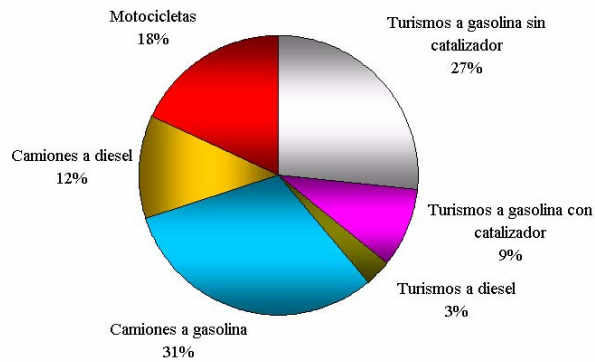
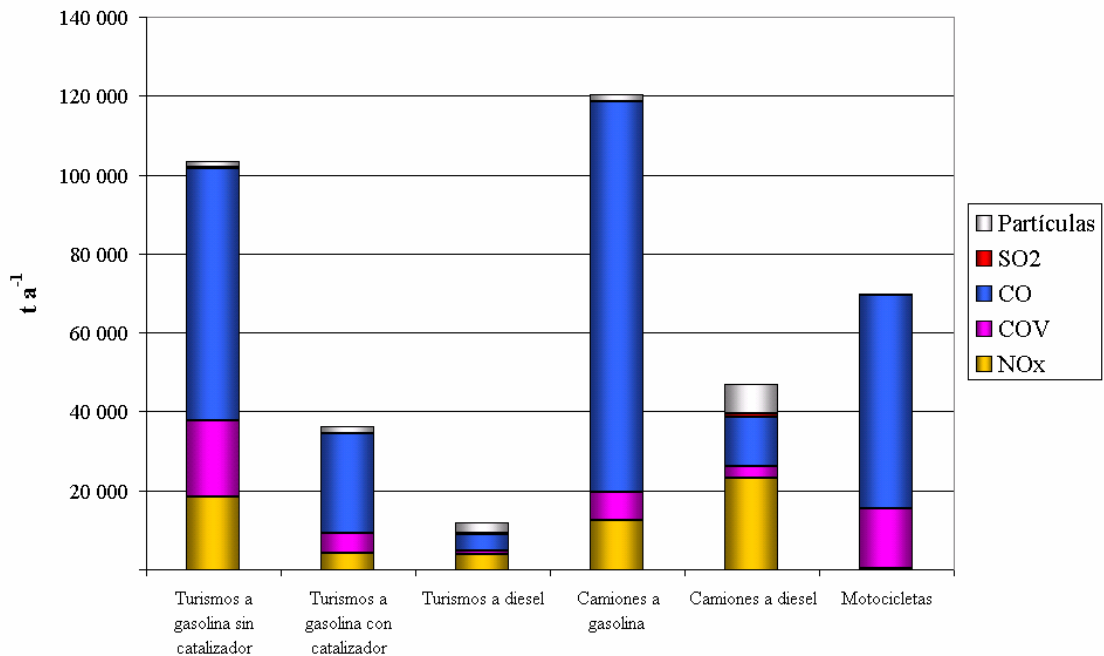


Figura 4.46: Emisión de contaminantes primarios debida al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por categorías de vehículos.

Tabla 4.46: Emisión de contaminantes primarios debida al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por combustible.

Combustible	NO <sub>x</sub>		CO		COV		SO <sub>2</sub>		Partículas		Total	
	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%	t a <sup>-1</sup>	%
Gasolina	35 506	56.89	242 477	93.62	46 367	91.80	337	25.02	5 262	33.58	329 948	84.83
Diesel	26 903	43.11	16 519	6.38	4 144	8.20	1 010	74.98	10 409	66.43	58 985	15.17
Total	62 409	100	258 996	100	50 511	100	1 347	100	15 670	100	388 933	100

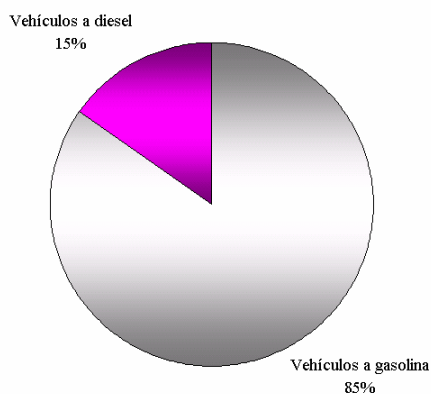
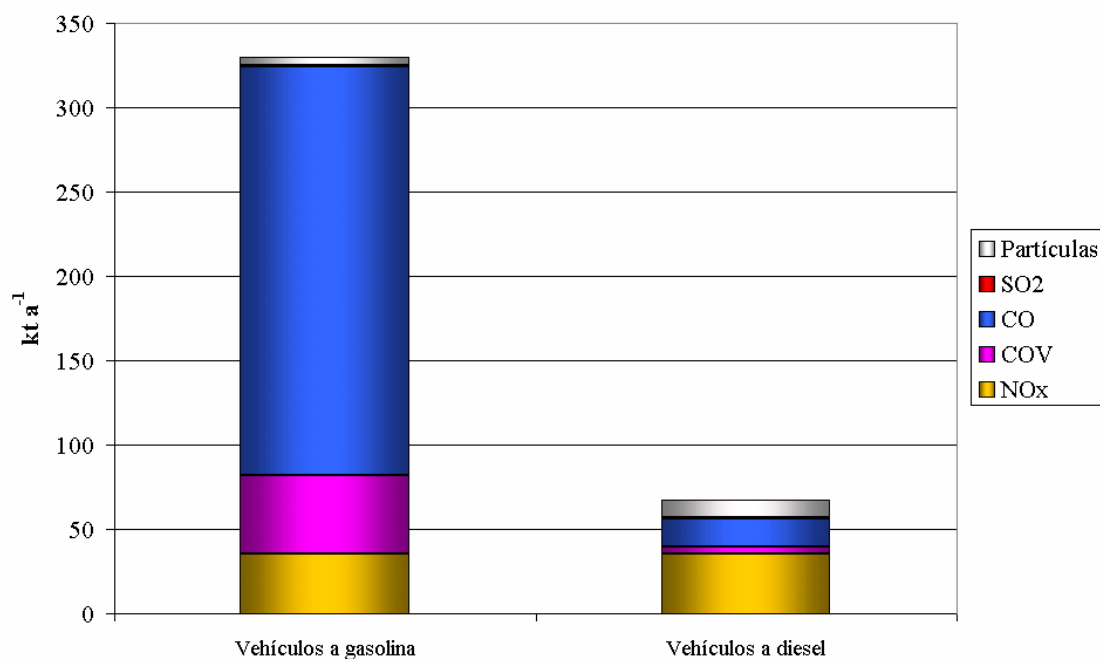


Figura 4.47: Emisión de contaminantes primarios debida al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por categorías de vehículos.

La Tabla 4.47 y la Figura 4.48 indican las emisiones de GEI. El 99 % ocurren en caliente. El mayor porcentaje corresponde a los camiones de diesel (40 %), seguido de los turismos (gasolina sin catalizador, gasolina con catalizador y diesel, 15 % cada grupo), los camiones de gasolina (11 %) y las motocicletas 3 %.

Tabla 4.47: Emisión de gases de efecto invernadero debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por categorías de vehículos.

Tipo de vehículo	En caliente		En frío		Total	
	t CO <sub>2</sub> eq. a <sup>-1</sup>	%	t CO <sub>2</sub> eq. a <sup>-1</sup>	%	t CO <sub>2</sub> eq. a <sup>-1</sup>	%
Turismos de gasolina sin catalizador	1 241 722	14.96	12 335	0.15	1 254 057	15.11
Turismos de gasolina con catalizador	1 255 530	15.12	19 023	0.23	1 274 553	15.35
Turismos de diesel	1 239 100	14.92	38 068	0.46	1 277 168	15.38
Camiones de gasolina	918 761	11.07	-	0.00	918 761	11.07
Camiones de diesel	3 355 961	40.42	-	0.00	3 355 961	40.42
Motocicletas	221 730	2.67	-	0.00	221 730	2.67
<b>Total</b>	<b>8 232 804</b>	<b>99.16</b>	<b>69 426</b>	<b>0.84</b>	<b>8 302 230</b>	<b>100</b>

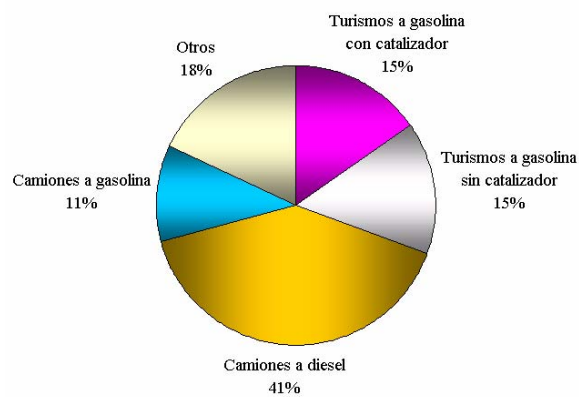
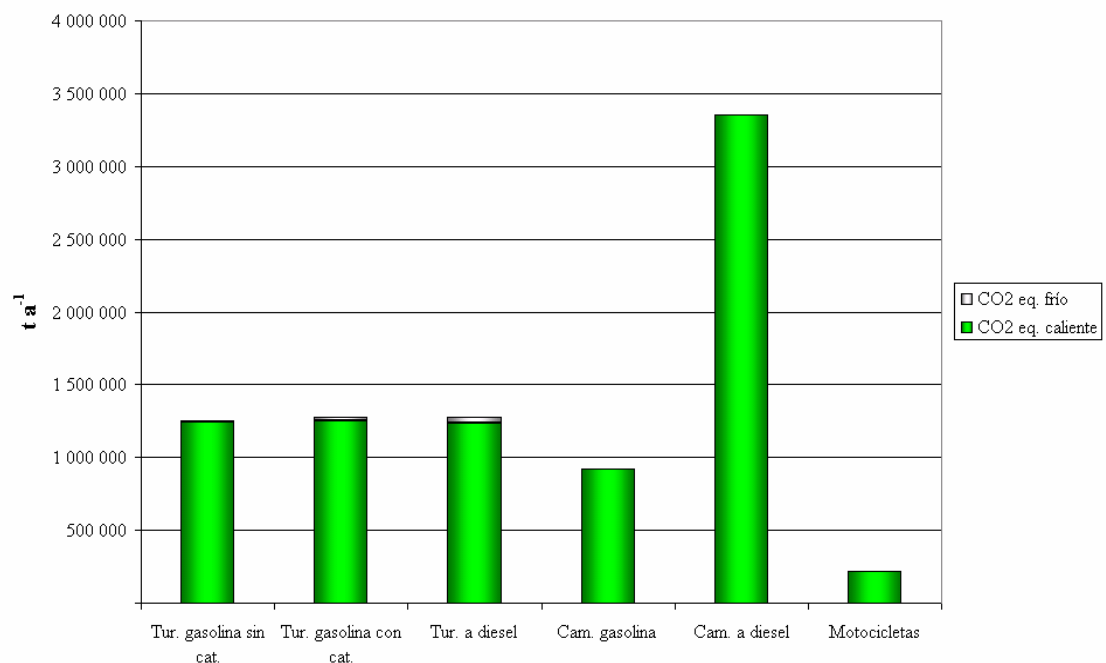


Figura 4.48: Emisión de gases de efecto invernadero debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000 por categorías de vehículos.

## 4.8 Especiación

Las emisiones horarias de NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y CO se reparten en las categorías del mecanismo CB4, mediante la Ecuación 3.11. Los valores de factor<sub>ij</sub> y pmol<sub>i</sub>, se indican en la Tabla 4.48.

Tabla 4.48: Asignación de categorías de las emisiones de tráfico vehicular dentro del mecanismo químico Carbon Bond 4 (USEPA, 2003c).

Especie emitida (i)	Categoría CB4 (j)	Descripción de la categoría	factor <sub>ij</sub>	pmol <sub>i</sub>
NO <sub>x</sub>	NO	Oxido de nitrógeno	0.62	30
NO <sub>x</sub>	NO2	Dióxido de nitrógeno	0.05	46
SO <sub>2</sub>	SO2	Dióxido de azufre	1	64
CO	CO	Monóxido de carbono	1	28

Las emisiones de NO<sub>x</sub>, que se expresan como NO<sub>2</sub> equivalente, deben repartirse en NO y NO<sub>2</sub>. Los valores de la Tabla 4.48, corresponden a una asignación del 95 % para el NO y el 5 % para el NO<sub>2</sub>.

Para el caso de los COV se debe tener en cuenta que las emisiones calculadas por el modelo se expresan como CH<sub>1.85</sub> e incluyen al metano, por lo que las emisiones de NMCOV se obtuvieron mediante la diferencia de las emisiones de COV y de CH<sub>4</sub>.

Para estimar el aporte a cada categoría del mecanismo CB4 (PAR, ETH, OLE, TOL, XYL, FORM, ALD2); previamente se identificaron los compuestos orgánicos específicos que conforman las emisiones de NMCOV.

### 4.8.1 Especiación de las emisiones de NMCOV

En razón de la diferencia en el perfil de emisiones de NMCOV, según el tipo de vehículo, se procede previamente a diferenciar las emisiones en las siguientes categorías:

- Escape de vehículos a gasolina convencionales (Pre Euro I).
- Escape de vehículos a gasolina con catalizador (Euro I y posteriores).
- Evaporativas de vehículos a gasolina.
- Vehículos de pasajeros a diesel.
- Vehículos de carga pesada a diesel.
- Motocicletas con motor de 2 ciclos.
- Motocicletas con motor de 4 ciclos.

La Tabla 4.49 indica la composición de las emisiones del escape de los vehículos a gasolina convencionales (Pre Euro I), según los perfiles que reportan Ntziachristos *and* Samaras (2000), EEA (2001) y el *California Air Resources Board* (CARB, 2002). Se presentan sólo aquellas especies con porcentajes mayores al 1 %.

Se observa que en general existe congruencia en las especies dominantes en los tres perfiles. El tolueno (8.4 – 12.8 %), el etileno (7.2 % - 11.3 %), el benceno (4.5 – 6.8 %), el m – p xileno (5.6 – 6.2 %), el acetileno (2.8 – 6 %), el propileno (3.8 – 5.3 %), el isopentano (4.3 – 5.2 %), el o-xileno (2.2 – 4.5 %); constituyen las especies con principales.

El perfil de EEA (2001) también aparece en versiones anteriores de las guías (EEA, 1996; EEA, 1999). Aunque el perfil propuesto en Ntziachristos *and* Samaras (2000) tampoco es reciente, se adopta este último por haber sido estructurado como resultado del análisis de la información de varias fuentes, además de estar incorporado en COPERTIII. Este perfil se utiliza para las emisiones del escape de los vehículos convencionales (sin catalizador o Pre Euro I) y de carga a gasolina.

La Tabla 4.50 indica la composición de las emisiones del escape de los vehículos a gasolina con catalizador (Euro I y posteriores), según los perfiles que reportan Ntziachristos *and* Samaras (2000), EEA (2001), CARB (2002) y la EPA (USEPA, 2002). Se presentan sólo aquellas especies con porcentajes mayores al 1 %.

Hay congruencia en la presencia de un grupo de especies dominantes, aunque con porcentajes diferentes. El tolueno, con el 11 % se presenta como la especie dominante en el perfil que presenta Ntziachristos *and* Samaras (2000), no obstante en los otros, su porcentaje varía entre 6.4 – 7.2 %, por debajo de otras especies que son las dominantes. El etileno se presenta del mismo modo como una especie importante en todos los perfiles, con porcentajes que varían entre 7 – 9.4 %. El isopentano es la especie dominante en los perfiles que se reportan en EEA (2001) y del *California Air Resources Board* (7 – 8.4 %), en el perfil de Ntziachristos *and* Samaras (2000) ocupa el tercer lugar con un 6.8 % y el cuarto lugar en el perfil de la USEPA. El peso del benceno es más variable en los cuatro perfiles (1.8 – 5.6 %). Los pesos de los xilenos se encuentra entre 5 – 7.7 %. Otras especies dominantes tienen del mismo modo pesos diferentes: propileno (2.5 – 3.9 %); 1,2,4 trimetilbenceno (1.2 – 4.2 %), acetileno (2.5 – 4.5 %).

Considerando la relativa congruencia de estos perfiles, al menos para las especies dominantes, y asumiendo la mejor representatividad del parque automotor europeo, se asume el perfil propuesto en Ntziachristos *and* Samaras (2000).

La Tabla 4.51 presenta dos perfiles de las emisiones evaporativas de vehículos a gasolina que presentan Ntziachristos *and* Samaras (2000), EEA (2001) y USEPA (2002). Hay diferencias importante entre los porcentajes de la especies dominantes en los dos perfiles. En el primero, el peso del isopentano (que es el más importante) es del 25 % y en el segundo es del 13.6 %. En el segundo perfil, la especie dominante es en n-butano (con el 28.3 %), pero en el primero, su peso es del 20 %. Hay variabilidad en otras especies dominantes, así en el caso del n-pentano (15 % vs. 4.7 %), isobutano (10 vs. 6.6 %), tolueno (1 vs 8.5 %). Otra diferencia importante corresponde al peso del hexano, que tiene un peso del 15 % en el primer perfil y 0.7 % en el segundo (no aparece explícitamente en la Tabla 4.51). El perfil de la USEPA, sin embargo se encuentra mucho más detallado que el primero, y diferencia aproximadamente 75 especies.

Se asume el perfil que se reporta tanto en Ntziachristos *and* Samaras (2000) y EEA (2001) para describir la composición de las emisiones evaporativas de los vehículos a gasolina (turismos y motocicletas).

Para los vehículos a diesel, EEA (2001) propone un perfil general, y Ntziachristos *and* Samaras (2000) presentan perfiles específicos para los turismos de pasajeros y vehículos de carga.

La Tabla 4.52 indica los perfiles que reportan Ntziachristos *and* Samaras (2000) y USEPA (2002) para vehículos de pasajeros a diesel. El tipo de descripción de estos dos perfiles es diferente. El perfil de la USEPA se describe con menor detalle. Se asumió el perfil que presenta Ntziachristos *and* Samaras (2000), en el cual constan como grupos dominantes, los alcanos y aromáticos con más de 13 carbonos; con un peso conjunto del 31 %.

La Tabla 4.53 indica el perfil para los vehículos de carga que funcionan con diesel. Se observa, que de la misma manera, constan como grupos dominantes, los alquenos y aromáticos con más de 13 carbonos; con un peso conjunto del 48 %.

Tabla 4.49: Composición de los NMCOV de las emisiones del escape de vehículos a gasolina (%).

(Ntziachristos and Samaras, 2000)		(EEA, 2001)		(CARB, 2002)	
Especie	%	Especie	%	Especie	%
Tolueno	12.84	Tolueno	12.00	Etileno	11.30
Etileno	8.71	Octano	7.90	Tolueno	8.37
Benceno	6.83	Etileno	7.20	m,p Xileno	6.22
m,p Xileno	6.66	Hexano	7.10	Propileno	5.34
Aromáticos >C13	6.01	m, Xileno	5.60	Isopentano	5.20
Acetileno	5.50	Heptano	4.60	Benceno	4.65
Propileno	4.87	Acetileno	4.50	Acetileno	2.78
Isopentano	4.86	Benceno	4.50	2,3-Dimetilpentano	2.43
Etilbenceno	4.78	Aromaticos C>10	4.50	1,2,4-Trimetilbenceno	2.34
o-Xileno	4.52	Isopentano	4.30	o-Xileno	2.22
Isobuteno	4.21	Propileno	3.80	2,2,4-Trimetilpentano	2.08
Aromáticos C9	3.12	Otros aromáticos C9	3.80	Etano	1.91
Butano	2.90	n-Butano	3.10	Isobuteno	1.87
1,2,4 Trimetilbenceno	2.53	1,2,4 Trimetilbenceno	2.60	2-Metilpentano	1.87
Formaldehído	2.08	o-Xileno	2.50	1-Metil-3-etilbenceno	1.63
Pentano	1.78	Nonano	2.30	Etilbenceno	1.61
Etano	1.65	n-Pentano	2.10	n-Butano	1.44
1,3-Butadieno	1.42	Etilbenceno	2.10	Metilciclopentano	1.35
Isobutano	1.29	1-Buteno	1.70	n-Pentano	1.30
Hexano	1.29	Formaldehído	1.70	3-Metilpentano	1.21
2-Buteno	1.27	Ethano	1.40	Formaldehído	1.10
1,3,5 Trimetilbenceno	1.11	Isobutano	1.20	1,-Butadieno	1.01
Otras especies	9.75	2-Penteno	1.10	Otras especies	30.80
		Otras especies	8.40		
	100		100		100

Tabla 4.50: Composición de los NMCOV de las emisiones del escape de vehículos a gasolina con catalizador (%).

(Ntziachristos and Samaras, 2000)		(EEA, 2001)		(CARB, 2002)		(USEPA, 2002)	
Especie	%	Especie	%	Especie	%	Especie	%
Tolueno	10.98	Isopentano	7.00	Isopentano	8.41	Etileno	9.45
Etileno	7.3	Octano	7.00	Etileno	8.00	Tolueno	6.42
Isopentano	6.81	Etileno	7.00	Tolueno	7.23	n-Butano	4.28
Benceno	5.61	Tolueno	7.00	2-Metilpentano	4.57	Isopentano	3.94
m,p Xileno	5.43	Hexano	6.00	m-Xileno	4.48	1,2,4-Trimetilbenceno	3.26
Butano	5.24	Aromáticos C>10	6.00	Isobuteno	4.11	Propileno	3.23
1,2,4 Trimetilbenceno	4.21	n-Butano	5.50	Acetileno	4.09	p-Xileno	3.22
Aromáticos C9	4.21	Heptano	5.00	Propileno	3.85	Aromaticos C10	2.98
Propileno	3.82	Acetileno	4.50	n-Pentano	3.40	Acetileno	2.53
Aromáticos >C13	3.46	m,p-Xileno	4.00	Metilciclopentano	3.40	1,3,5-Trimetilbenceno	2.48
Etano	3.19	1,2,4-Trimetilbenceno	4.00	Benceno	3.24	2,2,4-Trimetilpentano	2.19
Aromáticos C10	3.07	Benzeno	3.50	3-Metilpentano	2.68	Etano	2.01
Acetileno	2.81	n-Pentano	3.20	Metil butil eter (mtbe)	2.39	o-Xileno	1.98
o-Xileno	2.26	Alcanos C>10	3.00	2,4-Trimetilpentano	2.11	Ciclohexano	1.82
Isobuteno	2.22	Otros aromaticos C9	3.00	Formaldehído	2.09	Benceno	1.82
Pentano	2.15	Propileno	2.50	n-Hexano	1.95	n-Pentano	1.80
Etilbenceno	1.89	Nonano	2.00	3-Dimetilpentano	1.77	Formaldehído	1.59
Alcanos C10-C12	1.76	o-Xileno	2.00	o-Xileno	1.56	Isobutileno	1.58
Formaldehído	1.7	1,3,5-Trimetilbenceno	2.00	Etilbenceno	1.32	2-Metildecano	1.48
Hexano	1.61	Etano	1.80	Etano	1.30	2-Metilpentano	1.43
Isobutano	1.59	Isobutano	1.50	3-Dimetilbutano	1.30	2,3-Dimetilpentano	1.40
2-Metilheptano	1.48	1-buteno	1.50	1,2,4-Trimetilbenceno	1.21	m-Etiltolueno	1.40
Alquenos C>13	1.45	Etilbenceno	1.50	1-Metil-3-etilbenceno	1.00	2,3,3 Trimetilpentano	1.24
2-Buteno	1.42	Formaldehído	1.10	Otras especies	24.53	4 Dimetiloctano	1.08
1,3,5 Trimetilbenceno	1.42	Propano	1.00			3-Metilhexano	1.03
3-Metilhexano	1.14	2-Penteno	1.00			Etilbenceno	0.99
Cicloalcanos	1.14	1,2,3-Trimetilbenceno	1.00			3-Metilpentano	0.97
Estireno	1.01	Acetona	1.00			Otras especies	32.39
Otras especies	9.62	Otras especies	4.40				
	100		100		100		100

Tabla 4.51: Composición de los NMCOV de las emisiones evaporativas de vehículos a gasolina.

(Ntziachristos <i>and</i> Samaras, 2000)			
(EEA, 2001)		(USEPA, 2002)	
Especie	%	Especie	%
Isopentano	25.00	n-Butano	28.34
n-Butano	20.00	Isopentano	13.60
n-Pentano	15.00	Tolueno	8.51
Hexano	15.00	Isobutano	6.56
Isobutano	10.00	n-Pentano	4.67
2-Penteno	3.00	2-Metilpentano	2.28
Heptano	2.00	p-Xileno	2.11
2-Buteno	2.00	2,2-Dimetilbutano	1.68
1-Penteno	2.00	Propano	1.54
1,3 Hexeno	1.50	4-Metil-1-penteno	1.49
Propano	1.00	1,2,4-Trimetilbenzeno	1.21
1-Buteno	1.00	3-Metillpentano	1.17
Benceno	1.00	Cis-2-penteno	1.13
Tolueno	1.00	Trans-2-penteno	1.11
m,p Xileno	0.50	2,3-Dimetilbutano	1.04
		2,3-Dimetillpentano	1.03
		otras especies	22.48
	100		100

Tabla 4.52: Composición de las emisiones de los NMCOV de los vehículos de pasajeros a diesel.

(Ntziachristos <i>and</i> Samaras, 2000)		(USEPA, 2002)	
Especie	%	Especie	%
Alcanos C>13	17.91	Compuestos C-2	19.96
Aromáticos >C13	13.37	Formaldehído	8.61
Formaldehído	12.00	C-1	5.80
Etileno	10.97	C-3	5.21
Acetaldehído	6.47	C-14	4.45
Propileno	3.60	C-15	4.35
Acroelina	3.58	C-6	4.30
Acetona	2.94	C-4	4.08
Acetileno	2.34	C-11	3.58
Alcanos C10-C12	2.15	C-10	3.52
Isobutanaldehído	2.09	C-16	3.49
Benceno	1.98	C-13	3.43
Propionaldehído	1.77	C-17	3.06
Metilelcetona	1.20	Acetaldehído	2.91
Decano	1.18	C-7	2.89
Isobuteno	1.11	C-5	2.36
Crotonaldehído	1.10	C-12	2.20
Otras especies	14.24	C-18	2.04
		Propionaldehído	1.77
		C-19	1.56
		C-8	1.13
		Crotonaldehído	1.01
		Otras especies	8.29
	100		100

Tabla 4.53: Composición de las emisiones de los NMCOV de los vehículos de carga a diesel (Ntziachristos *and* Samaras, 2000).

Especie	%
Alquenos C>13	27.50
Aromáticos >C13	20.37
Formaldehído	8.40
Etileno	7.01
Acetaldehído	4.57
1,3-Butadieno	3.30
Decano	1.79
Acroelina	1.77
Isobuteno	1.70
Crotonaldehído	1.48
Hexanal	1.42
Benzaldehído	1.37
Propileno	1.32
Propionaldehído	1.25
Aromáticos C9	1.17
Cicloalcanos	1.16
Acetileno	1.05
Otras especies	13.37
	100

La Tabla 4.54 indica un perfil propuesto en EEA (2001) para las motocicletas con motor de dos ciclos, que como se observa no tiene un detalle desglosado.

Para las emisiones del escape de las motocicletas (2 y 4 ciclos) se adoptó el mismo perfil de los vehículos convencionales a gasolina. Para las emisiones evaporativas de las motocicletas se utiliza el mismo perfil establecido para los vehículos convencionales a gasolina.

Tabla 4.54: Composición de las emisiones de los NMCOV de las motocicletas con motores de 2 tiempos (EEA, 2001).

Especie	%
Parafinas pesadas	72.00
Olefinas pesadas	9.00
Aromáticos pesados	6.00
Eteno	3.00
Tolueno	3.00
Acetileno	2.00
Benceno	2.00
Etano	1.00
Propano	1.00
Propeno	1.00
	100

La Tabla 4.55 y la Tabla 4.56 indican la representación de los NMCOV de los perfiles seleccionados según el mecanismo CB4. Se procedió entonces a determinar el aporte por especies, debido a la emisión de 1 g NMCOV h<sup>-1</sup>. La Tabla 4.57 indica los 5 perfiles de especiación obtenidos. Por ejemplo, 1 g de NMCOV emitido por el escape de un vehículo a gasolina (categoría 1) equivale a 0.0191370 moles de la categoría PAR, más 0.0013200 moles de la categoría ETH más; etc..., más 0.0076106 moles de la categoría NR.



Tabla 4.55: Representación de NMCOV según el mecanismo Carbon Bond 4 (1/2).

Especie	Peso Mol. (g)	Representación Carbon Bond 4								
		PAR	ETH	OLE	TOL	XYL	FORM	ALD2	NR	
Etano (H3C-CH3)	30	0.4								1.6 (3)
Propano (H3C-CH2-CH3)	44	3								
Butano (H3C-CH2-CH2-CH3)	58	4								(1)
Isobutano (CH3-CH(CH3)-CH3)	58	4								(1)
Pentano (CH3-CH2-CH2-CH2-CH3)	72	5								
Isopentano (CH3-CH(CH3)-CH2-CH3)	72	5								
Hexano (CH3-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3)	86	6								
Heptano (CH3-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3)	100	7								
Octano (CH3-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3)	114	8								
2-metilhexano (CH3-CH(CH3)-CH2-CH2-CH2-CH3)	100	7								
Nonato (CH3-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3)	128	9								
2-metilheptano (CH3-CH(CH3)-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3)	114	8								
3-metilhexano (CH3-CH2-CH(CH3)-CH2-CH2-CH3)	100	7								
Decano (CH3-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH2-CH3)	142	10								
3-metilheptano (CH3-CH2-CH(CH3)-CH2-CH2-CH2-CH3)	114	8								
Alcanos C10-C12	156	11								
Alcanos C>13	184	13								
Cicloalcanos (*CH2-CH2-CH2-CH2*)	56	4								
Etileno (CH2=CH2)	28		1							(1)
Propileno (CH2=CH-CH3)	42	1		1						(1)
Propadieno (H2C=C=CH2)	40			2						
1-buteno (CH2=CH-CH2-CH3)	56	2		1						
Isobuteno (CH2=C(CH3)-CH3)	56	2		1						
2-buteno (CH3-CH=CH-CH3)	56			1				2		(1)
1,3-butadieno (H2C=CH-CH=CH2)	54			2						
1-penteno (CH2=CH-CH2-CH2-CH3)	70	3		1						
2-penteno (H3C-CH=CH-CH2-CH3)	70	1						2		
1-hexeno (CH2=CH-CH2-CH2-CH2-CH3)	84	4		1						
Dimetilhexeno (H3C-C(CH3)=CH-CH(CH3)-CH2-CH3)	112	5						1		
1-butino (HC≡C-CH2-CH3)	54	3								1
Propino (CH≡C-CH3)	40	2								1
Acetileno (HC≡CH)	26	1								1 (3)
Formaldehído (HCHO)	30						1			(1)
Acetaldehído (H3C-CHO)	44							1		(1)
Acroelina (CH2=CH-COH)	56			1				1		(3)
Benzaldehído (C6H5-CHO)	106							1	5	
Crotonaldehído (CH3-CH=CH(CHO))	70							2		
Metacroleína (CH2=C(CHO)-CH3)	70	1		1				1		
Butiraldehído (CH3-CH2-CH2-CHO)	72	2						1		
Isobutanaldehído (COH-CH(CH3)-CH3)	72	2						1		
Propionaldehído (H3C-CH2-CHO)	58	1						1		(1)
Hexanal (CH3-CH2-CH2-CH2-CH2-COH)	100	4						1		(2)
i-valeraldehído (CH3-CH2-CH2-CH2-CHO)	86	3						1		
o-tolualdehído (COH-C6H4-CH3)	120	1						1	5	
m-tolualdehído (COH-C6H4-CH3)	120	1						1	5	

Fuente: (1) Gery *et al.* (1989); (2) GLOBEIS, (2003); (3) Jacobson, (1999).

Tabla 4.56: Representación de NMCOV según el mecanismo Carbon Bond 4 (2/2).

Especie	Peso Mol. (g)	Representación Carbon Bond 4							
		PAR	ETH	OLE	TOL	XYL	FORM	ALD2	NR
p-tolualdehído (COH-C6H4-CH3)	120	1						1	5
Acetona (H3C-CO-CH3)	58	2							1 (2)
Metiletilcetona (CH3-CO-CH2-CH3)	72	3							1 (3)
Tolueno (C6H5-CH3)	92				1				(1)
Etilbenceno (C6H5-CH2-CH3)	106	1			1				(1)
m, o, p xileno (C6H4(CH3)2)	106					1			(1)
Trimetilbenceno (C6H3(CH3)3)	120	1				1			(1)
Estireno (C6H5-CH=CH2)	104			1	1				(3)
Benceno (C6H6)	78	1							5 (3)

Fuente: (1) Gery *et al.* (1989); (2) GLOBEIS, (2003); (3) Jacobson, (1999).

Tabla 4.57: Perfiles de generación de categorías del mecanismo químico CB4 (mol h<sup>-1</sup>) que genera la emisión de 1 g h<sup>-1</sup> de NMCOV.

Categorías (i)	Representación CB4 (j)							
	PAR	ETH	OLE	TOL	XYL	FORM	ALD2	NR
(1)	0.0191370	0.0013200	0.0021989	0.0027566	0.0023353	0.0003152	0.0007971	0.0076106
(2)	0.0291000	0.0010673	0.0017019	0.0020294	0.0020733	0.0002486	0.0007793	0.0057482
(3)	0.0633813	0.0000000	0.0009258	0.0001424	0.0000712	0.0000000	0.0014243	0.0007121
(4)	0.0454749	0.0015391	0.0016681	0.0001894	0.0002820	0.0016836	0.0029799	0.0036278
(5)	0.0523800	0.0008834	0.0016143	0.0000718	0.0003768	0.0010586	0.0022116	0.0019215

(1) Emisiones del escape de COV producidos por vehículos convencionales a gasolina (sin catalizador), vehículos de carga de gasolina y motocicletas

(2) Emisiones del escape de COV producidos por vehículos a gasolina con catalizador

(3) Emisiones evaporativas de turismos de gasolina y motocicletas

(4) Emisiones del escape de los turismos de diesel

(5) Emisiones del escape de los vehículos de carga a diesel

Ya definidos los perfiles de especiación, se estiman las emisiones horarias en cada celda del dominio mediante la aplicación de Ecuación 4.18:

$$E_{ij}^{\text{mol}}(k) = E_i^{\text{mas}}(k) \cdot \text{factor}_{ij} \quad 4.18$$

Siendo:

$E_{ij}^{\text{mol}}(k)$ : emisión horaria (mol h<sup>-1</sup>) de la categoría j (1, 2, ..., 8) del mecanismo CB4 que se asocia a la emisión de NMCOV de la categoría de vehículos i (1, 2, ..., 5) en la celda k.

$E_i^{\text{mas}}(k)$ : emisión horaria (g h<sup>-1</sup>) en la celda k de NMCOV de la categoría de vehículos i (ver la Tabla 4.57).

$\text{factor}_{ij}$ : factor de asignación de la categoría de vehículos i, a la categoría j del mecanismo CB4 (ver la Tabla 4.57).

#### 4.9 Componentes del modelo de emisiones de tráfico vehicular

El modelo de emisiones de tráfico de EMICAT2000 se estructura con tres componentes esenciales, según indica la Figura 4.49:

- ❑ El primer componente que almacena y gestiona la información base requerida por el modelo de cálculo adoptado (red de vías, intensidad de tráfico, composición del parque automotor, etc.)
- ❑ El segundo elemento incorpora los algoritmos de cálculo para la determinación de factores de emisión y de cálculo de las emisiones.
- ❑ El tercer componente realiza la especiación de las emisiones.

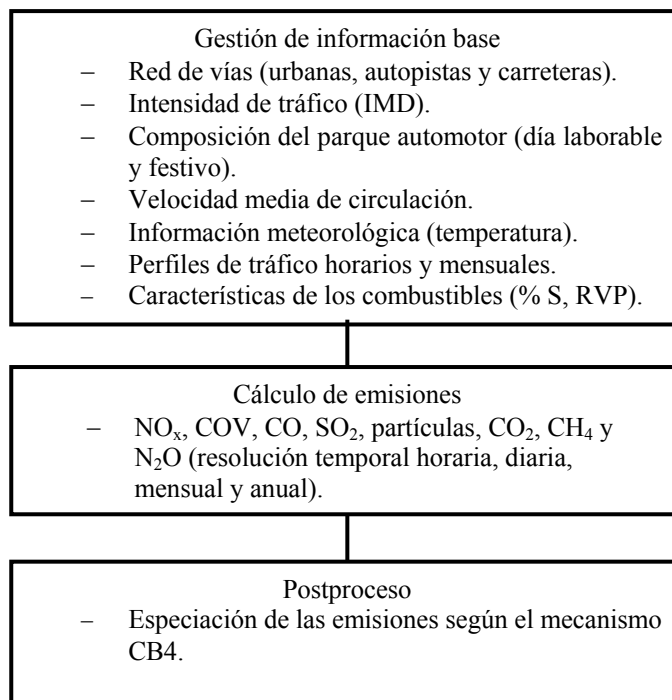


Figura 4.49: Elementos del modelo de emisiones del tráfico vehicular.

#### 4.10 Protocolo de calidad

Para validar el proceso de cálculo, se efectuaron las siguientes actividades:

- ❑ Comprobación del algoritmo. Paralelamente al proceso de implementación del modelo de cálculo en EMICAT2000, se estructuró independientemente todo el proceso de cálculo en hoja electrónica. Se comprobó que efectivamente, los resultados de las emisiones mensuales y anual, así como las horarias seleccionadas para comprobación, son similares en los dos casos.
- ❑ Validación de las emisiones calculadas. Se comparan las emisiones obtenidas con otros inventarios para el mismo ámbito. Este enfoque forma parte del análisis de la incertidumbre que se presenta a continuación.

### 4.11 Incertidumbre

La cantidad de elementos que interaccionan y determinan las emisiones reales del tráfico vehicular es numerosa. Al igual de lo que sucede con las emisiones biogénicas, ya sea por una limitación en el nivel de conocimiento, o por la falta de suficiente información, los actuales modelos de emisiones llevan de manera inherente elevados niveles de incertidumbre.

El uso exclusivo del enfoque *bottom - up*, que en principio proporciona estimaciones más fiables, en la práctica es aplicado parcialmente. La gran cantidad de información disgregada que requiere este enfoque, normalmente es difícil de conseguir o simplemente no existe. Por este motivo, los modelos terminan utilizando una combinación con el enfoque *top - down*, o se basan en hipótesis y asunciones simplificadoras.

Son aún escasos los inventarios de emisiones que se acompañan de una estimación cuantitativa de la incertidumbre. Colvile *et al.* (2001) indica que el período anual, los inventarios pueden presentar factores de incertidumbre de hasta 2, para una zona que corresponda una ciudad completa. No obstante, para zonas más concretas (como tramos específicos de vías) y en escala de tiempo menores, pueden haber factores de hasta 10. Kuhlwein *and* Friedrich (2000) asignan un factor de incertidumbre de 1.5 para un inventario anual de las emisiones de NO<sub>x</sub> y NMCOV de la zona oeste de Alemania.

EMEP/CORINAIR (2001), identifica algunos aspectos que de manera especial contribuyen con la incertidumbre:

- ❑ La mayoría de los factores de emisión se definen como función de una velocidad media. Sin embargo, en la práctica, la variabilidad de los ciclos reales de conducción pueden ser muy diferentes, con altas variaciones de la velocidad y de la aceleración. De este modo, las tasas de emisión reales, especialmente a nivel de tramos de vía, pueden ser muy diferentes. Por ejemplo, Haan *and* Keller (2000) indican un comportamiento emisor de vehículos Euro I (equipados con catalizador de tres vías) en condiciones reales de funcionamiento, que presentan niveles bajos de emisión y la presencia repentina de picos de corta duración con niveles de emisión 10 – 100 mayores. Este comportamiento emisor real no es caracterizado sólo con la velocidad media.

Otro elemento no incorporado al modelo, se refiere al tipo de conducción. De Vliieger *et al.* (2000) indican que en situaciones de conducción temeraria, las emisiones pueden de determinados vehículos pueden incrementarse hasta en un factor de 8, en relación a una situación de conducción normal. Adicionalmente, indica que el incremento del consumo de combustible y de las emisiones, en horas punta, puede ser entre un 10 – 200 %.

- ❑ Las funciones de los factores de emisión de EMEP/CORINAIR, aunque son aplicables a nivel europeo, fueron establecidas con información de un determinado grupo de países. En algunos casos, los factores de emisión obtenidos puedan ser poco representativos, especialmente para aquellos países que no aportaron su información.
- ❑ Las emisiones en caliente son más fiables que las emisiones en frío y las evaporativas. Para estas últimas se asocia cualitativa y comparativamente los niveles más altos de incertidumbre.
- ❑ La variabilidad del parque de vehículos. Aunque para Cataluña se hizo un esfuerzo especial para incluir un perfil justificado de la composición del parque automotor (diferenciando además los días laborables de festivos), se debe reconocer que en determinados tramos de vías la composición real de vehículos puede ser muy diferente. No obstante, a nivel regional estas particularidades son menos importantes.

EMEP/CORINAIR asigna un coeficiente de variación (desviación estándar / media) promedio del 35 % para los factores de emisión de COV de los vehículos livianos de gasolina. Esto implica que para un intervalo de confianza de 95 % y manteniendo constantes los demás elementos, solamente por la variabilidad de los factores de emisión, las emisiones de COV pueden variar entre 0.3 – 1.7.

El actual inventario de Cataluña no es completo, en razón de que al no incluir la totalidad de las vías, las emisiones obtenidas son menores.

La estimación cuantitativa de la incertidumbre que corresponde a la red de vías actualmente incorporada en EMICAT2000 implica conocer a nivel de tramos de vías (hay actualmente 8 700 tramos) la variación estadística de los parámetros (velocidad, intensidad y perfiles de tráfico, composición del parque, etc). Se podría asumir una determinada distribución estadística de los parámetros más importantes, pero no hay claridad en el aporte real que se pueda obtener de una valoración de este tipo. Adicionalmente, y como ya se mencionó en las emisiones biogénicas, la estimación cuantitativa de la incertidumbre es costosa, tanto en recursos informáticos como de tiempo. Adicionalmente, el SIG utilizado no tiene la capacidad de almacenar por su propia cuenta, valores según su distribución estadística. Al no disponer de suficiente información, ya que para todos los parámetros solamente se conoce un sólo valor, además del costo que implica, se considera prematuro desarrollar esta actividad mientras no se conozca de manera suficiente la variación estadística real de los principales parámetros de cálculo. Esta tema por sí sólo es de gran complejidad y puede ser objeto de una actividad específica de investigación.

No obstante, se presenta una calificación de la incertidumbre emisiones de NO<sub>x</sub>, COV y CO.

#### **4.11.1 Evaluación cualitativa de las emisiones en el período anual**

Se aplicó un esquema de calificación numérica adaptado, similar al presentado en la sección 4.12. Se califica en una escala de 1 (la peor situación) al 10 (la mejor situación), varios atributos de los factores de emisión y de los parámetros utilizados como información base para determinar el nivel de actividad. Los atributos analizados son los siguientes:

- ❑ *Método de medida:* se refiere concretamente a la calificación de los factores de emisión o de los parámetros base, en función del tipo de medida mediante el cuál fueron establecidos. En orden decreciente de calidad, se asignan valores cada vez menores cuando se utilizaron medidas en continuo, muestras grandes representativas, muestras pequeñas, o cuando han sido establecidas indirectamente.
- ❑ *Congruencia espacial:* se refiere a la representatividad del factor de emisión o del parámetro a la situación propia de Cataluña.
- ❑ *Congruencia temporal:* califica la representatividad del factor de emisión o del parámetro en el transcurso del año.

La Tabla 4.58 presenta la valoración cualitativa de las emisiones en caliente de NO<sub>x</sub>, COV y CO. Según los criterios indicados, a cada contaminante se le asigna un nivel similar de incertidumbre, con 51 puntos en los tres casos.

La Tabla 4.59, la Tabla 4.60 y la Tabla 4.61 presentan la calificación de las emisiones evaporativas diurnas, por detención y por recorrido, respectivamente. En este mismo orden se les asignó puntajes de 41, 41 y 46. Es decir, las emisiones diurnas y por detención son cualitativamente las de mayor incertidumbre. Las emisiones evaporativas tienen un nivel de incertidumbre mayor que las emisiones en caliente de COV.

Tabla 4.58: Valoración cualitativa de la incertidumbre de las emisiones en caliente de NO<sub>x</sub>, COV y CO debidas al tráfico vehicular en Cataluña durante el año 2000.

Atributo: método de medida			
Actividad (parámetros de información)			
	Calificación	Observaciones	Producto
IMD	8	Información obtenida de diferentes fuentes, en su gran mayoría para el año 2000.	
Parque automotor	7	Se diferencian dos perfiles (laborable y festivo). Deducidos indirectamente mediante información estadística.	
Velocidad	7	Hay mayor información para las calles de Barcelona. Para las carreteras y autopistas se usa un sólo valor medio.	
Perfiles de tráfico horarios y mensuales	7	Se usa una cantidad importante de perfiles, no obstante, para varias no hay información específica.	
Promedio	7.25 (p1)		
Factores de emisión		Se determinan mediante indirectamente en función de la velocidad	
NO <sub>x</sub>	7 (i1)		51 (i1*p1)
COV	7 (m1)		51 (m1*p1)
CO	7 (o1)		51 (o1*p1)
Atributo: congruencia espacial			
Actividad (parámetros de información)			
	Calificación	Observaciones	Producto
IMD	9	Hay un IMD para cada tramo de vía, por tanto una alta congruencia espacial.	
Parque automotor	5	Se trabajan solamente con dos perfiles (laboral y festivo) para toda Cataluña. Puede haber importantes variaciones locales.	
Velocidad	7	Aunque la velocidad puede ser diferente, se utilizan valores medios razonables, según el tipo de vía.	
Red de vías	9	Se trabaja con un mapa digital que incluye las vías más importantes de Cataluña. No obstante, esta red no es completa	
Perfiles de tráfico horarios y mensuales	7	Se usa una cantidad importante de perfiles propios de Cataluña, no obstante, para muchas vías no hay información específica	
Promedio	7.4 (p2)		
Factores de emisión		De aplicación a nivel europeo. No se conoce que nivel de representatividad corresponde a Cataluña	
NO <sub>x</sub>	7 (i2)		52 (i2*p2)
COV	7 (m2)		52 (m2*p2)
CO	7 (o2)		52 (o2*p2)
Atributo: congruencia temporal			
Actividad (parámetros de información)			
	Calificación	Observaciones	Producto
Parque automotor	8	Se asumen perfiles fijos durante el año, aunque se espera que la variación no sea importante.	
Velocidad	6	Se asume un solo valor medio durante todo el año y durante todas las horas	
Perfiles de tráfico horarios y mensuales	8	Se usa una cantidad importante de perfiles que describen la variación del tráfico mensual y horario.	
Promedio	7.33 (p3)		
Factores de emisión			
NO <sub>x</sub>	7 (i3)	Fijos para todo el año.	51 (i3*p3)
COV	7 (m3)	Fijos para todo el año.	51 (m3*p3)
CO	7 (o3)	Fijos para todo el año.	51 (o3*p3)
Calificación integrada			
Emisiones de NO <sub>x</sub> (i1*p1+i2*p2+i3*p3)/3		51	
Emisiones de COV(m1*p1+m2*p2+m3*p3)/3		51	
Emisiones de CO (o1*p1+o2*p2+o3*p3)/3		51	

Tabla 4.59: Valoración cualitativa de la incertidumbre de las emisiones evaporativas diurnas de COV en Cataluña durante el año 2000.

Atributo: método de medida			
Actividad (parámetros de información)			
	Calificación	Observaciones	Producto
Temperatura máxima/mínima	8	Obtenidos de información estadística para la zona de Barcelona	
Número de vehículos por categorías emisoras	8	Obtenidos de datos estadísticos. Se incluyen sólo turismos de gasolina y motocicletas.	
Volatilidad de la gasolina	8	Medido por medio del RVP	
Promedio	8 (p1)		
Factores de emisión			
e <sup>d</sup>	5 (i1)	Se determina indirectamente mediante una ecuación.	40 (i1*p1)
Atributo: congruencia espacial			
Actividad (parámetros de información)			
	Calificación	Observaciones	Producto
Temperatura máxima/mínima	8	Obtenidos de información estadística para la zona de Barcelona, en la que se produce la mayor cantidad de tráfico.	
Número de vehículos por categorías emisoras	6	Se utilizó una sola composición para toda Cataluña	
Volatilidad de la gasolina	7	Se asumió el valor de la RVP establecido por legislación.	
Criterios de desagregación espacial	5	Se reparten las emisiones, según la intensidad de tráfico de los vehículos emisores y la densidad poblacional.	
Promedio	6.5 (p2)		
Factores de emisión			
e <sup>d</sup>	4 (i2)	Se determina indirectamente mediante una ecuación de potencial aplicación europeo.	26 (i2*p2)
Atributo: congruencia temporal			
Actividad (parámetros de información)			
	Calificación	Observaciones	Producto
Temperatura máxima/mínima	8	Se utilizan valores medios mensuales	
Número de vehículos por categorías emisoras	8	Se mantiene constante durante todo el año	
Volatilidad de la gasolina	9	Valores estacional de la RVP (mayo – agosto, 65 kPa) y (septiembre – abril, 53 kPa)	
Criterios de desagregación temporal	5	Se reparten las emisiones horarias en todos los tramos de vía, según la intensidad de tráfico de los vehículos emisores y de la temperatura horaria	
Promedio	7.3 (p3)		
Factores de emisión			
e <sup>d</sup>	8 (i3)	En función de la aplicación de la ecuación correspondiente.	58 (i3*p3)
Calificación integrada			
Emisiones de COV (i1*p1+i2*p2+i3*p3)/3			41

Tabla 4.60: Valoración cualitativa de la incertidumbre de las emisiones evaporativas de COV por detención en Cataluña durante el año 2000.

Atributo: método de medida			
Actividad (parámetros de información)			
	Calificación	Observaciones	Producto
Longitud típica de recorrido $x_i$	7	Estimados de manera global mediante el recorrido anual de los vehículos emisores.	
Fracción de viajes en frío $w$	7	Se utiliza los valores del parámetro $\beta$ de las emisiones en frío.	
Temperatura máxima/mínima	8	Obtenidos de información estadística para la zona de Barcelona	
Volatilidad de la gasolina	8	Medido por medio del RVP	
Promedio	7.5 (p1)		
Factores de emisión			
$e^{\text{shot}}, e^{\text{swarm}}$	5 (i1)	Se determina indirectamente mediante ecuaciones.	38 (i1*p1)
Atributo: congruencia espacial			
Actividad (parámetros de información)			
	Calificación	Observaciones	Producto
Longitud típica de recorrido $x_i$	5	Estimados de manera global mediante el recorrido anual de los vehículos emisores, a nivel de toda Cataluña	
Fracción de viajes en frío $w$	6	Se utiliza los valores del parámetro $\beta$ de las emisiones en frío.	
Temperatura máxima/mínima	8	Obtenidos de información estadística para la zona de Barcelona	
Volatilidad de la gasolina	8	Medido por medio del RVP	
Criterios de desagregación espacial	7	Se reparten las emisiones según la intensidad de tráfico de los vehículos emisores y la densidad de población	
Promedio	6.8 (p2)		
Factores de emisión			
$e^{\text{shot}}, e^{\text{swarm}}$	4 (i2)	Se determinan indirectamente mediante ecuaciones de potencial aplicación europeo.	27 (i2*p2)
Atributo: congruencia temporal			
Actividad (parámetros de información)			
	Calificación	Observaciones	Producto
Longitud típica de recorrido $x_i$	5	Valor fijo para todo el año	
Fracción de viajes en frío $w$	8	Se utiliza los valores del parámetro $\beta$ de las emisiones en frío.	
Temperatura máxima/mínima	8	Obtenidos de información estadística para la zona de Barcelona	
Volatilidad de la gasolina	9	Valores estacional de la RVP (mayo – agosto, 65 kPa) y (septiembre – abril, 53 kPa)	
Criterios de desagregación temporal	7	Se reparten las emisiones en todos los tramos de vía, según la intensidad de tráfico de los vehículos emisores.	
Promedio	7.4 (p3)		
Factores de emisión			
$e^{\text{shot}}, e^{\text{swarm}}$	8 (i3)	En función de la aplicación de la ecuación correspondiente.	59 (i3*p3)
Calificación integrada			
Emisiones de COV $(i1*p1+i2*p2+i3*p3)/3$			41



Tabla 4.61: Valoración cualitativa de la incertidumbre de las emisiones evaporativas de COV por recorrido en Cataluña durante el año 2000.

Atributo: método de medida			
Actividad (parámetros de información)			
	Calificación	Observaciones	Producto
IMD	8	Información obtenida de diferentes fuentes, en su gran mayoría para el año 2000.	
Perfiles de tráfico horarios y mensuales	7	Se usa una cantidad importante de perfiles, no obstante, para muchas vías no hay información específica	
Temperatura máxima/mínima	8	Obtenidos de información estadística para la zona de Barcelona	
Volatilidad de la gasolina	8	Medido por medio del RVP	
Promedio	7.75 (p1)		
Factores de emisión			
$F^{evapr}$	5 (i1)	Se determina indirectamente mediante ecuaciones.	39 (i1*p1)
Atributo: congruencia espacial			
Actividad (parámetros de información)			
	Calificación	Observaciones	Producto
IMD	9	Hay un IMD para cada tramo de vía, por tanto una alta congruencia espacial.	
Red de vías	9	Se trabaja con un mapa digital que incluye las vías más importantes de Cataluña. No obstante, esta red no es completa	
Perfiles de tráfico horarios y mensuales	7	Se usa una cantidad importante de perfiles propios de Cataluña, no obstante, para muchas vías no hay información específica	
Temperatura máxima/mínima	8	Obtenidos de información estadística para la zona de Barcelona	
Volatilidad de la gasolina	8	Medido por medio del RVP	
Promedio	8.2 (p2)		
Factores de emisión			
	4 (i2)	Se determinan indirectamente mediante ecuaciones de potencial aplicación europeo.	33 (i2*p2)
Atributo: congruencia temporal			
Actividad (parámetros de información)			
	Calificación	Observaciones	Producto
Perfiles de tráfico horarios y mensuales	8	Se usa una cantidad importante de perfiles que describen la variación del tráfico mensual y horario.	
Temperatura máxima/mínima	8	Obtenidos de información estadística para la zona de Barcelona	
Volatilidad de la gasolina	9	Valores estacional de la RVP (mayo – agosto, 65 kPa) y (septiembre – abril, 53 kPa)	
Promedio	8.3 (p3)		
Factores de emisión			
$F^{evapr}$	8 (i3)	En función de la aplicación de la ecuación correspondiente.	66 (i3*p3)
Calificación integrada			
Emisiones de COV $(i1*p1+i2*p2+i3*p3)/3$			46

#### 4.11.2 Comparación de las emisiones anuales con otros inventarios

Para fines comparativos, la Tabla 4.62 presenta las emisiones anuales del tráfico vehicular obtenidas de varias fuentes, los correspondientes al sector 7 del inventario EMEP para Cataluña (ver el Capítulo 2) y los valores de EMICAT2000.

Tabla 4.62: Emisiones anuales debidas al tráfico vehicular en Cataluña (kt a<sup>-1</sup>).

Contaminante	Año				
	1990 (DMA, 1996)	1994 (Delgado, 1997)	2000 EMEP Cataluña	2000 (DMA, 2003a)	EMICAT2000
NO <sub>x</sub>	92.7	77.8	84.8	62.8	62.4
CO	385.8	283.5	274.2	366.9	259.0
COV	84.5	35.1	58.0	82.8	50.5
SO <sub>2</sub>	12.2	6.7	2.7	12.9	1.3
Partículas	11.8	4.2		10.2	15.7
CO <sub>2</sub> eq.				11 203	8 302

Dentro de la complejidad de cálculo que es inherente a la estimación de las emisiones del tráfico vehicular, se puede considerar que los valores de los inventarios EMEP y de EMICAT2000 son comparables. De hecho las emisiones de NO<sub>x</sub>, CO y COV de EMICAT2000 son el 74, 95 y 87 % de los correspondientes valores EMEP. La inclusión de nuevas vías en EMICAT2000 (que aún no están incorporadas, que son numerosas, aunque tienen IMDs bajos), reducirán las diferencias de las dos valoraciones. No obstante, en contraste con lo que sucede con el inventario EMEP, las emisiones anuales de EMICAT2000 resultan de la suma de emisiones de alta desagregación espacial y temporal.

Las emisiones de NO<sub>x</sub> Tabla 4.62 presentan un descenso en el período 1990 - 2000. La estimación obtenida con EMICAT2000 es igual al 80 % del valor del año 1994, y al 67 % del valor del año 1990. Esta tendencia es coherente con los valores de emisión de NO<sub>x</sub> del año 2000 (≈3 900 kt) en Europa, que es un 70 % del valor para el año 1990 (≈ 5 500 kt)(Ntziachristos *et al.*, 2002).

Igual situación ocurre con el CO. La emisión de EMICAT2000 es el 91 % del valor del año 1994, y al 67 % del valor del año 1990. La tendencia es coherente con los valores de emisión de CO del año 2000 (≈15 500 kt) en Europa, que es el 60 % del valor para el año 1990 (≈25 800 kt) (Ntziachristos *et al.*, 2002).

Por el contrario, EMICAT2000 atribuye un mayor valor de las emisiones de COV en relación al año 1994 (en un 44 %). Sin embargo la estimación EMICAT2000 es igual al 60 % del valor del año 1990 (ver la Tabla 4.62). Esta última relación es coherente con los valores de emisión de COV del año 2000 (≈2 000 kt) en Europa, que es el 58 % del valor para el año 1990 (≈3 450 kt) (Ntziachristos *et al.*, 2002).

Las emisiones de SO<sub>2</sub> presentan un descenso muy importante. La estimación para el año 2000 es igual al 19 % del valor del año 1994, y al 11 % del valor del año 1990.

Las emisiones de partículas para el año 2000 es 3.7 veces mayor el valor del año 1994. Delgado (1997) solamente valoró las emisiones de partículas debidas a la combustión, fracción que actualmente EMICAT2000 valora en 5.2 kt a<sup>-1</sup>, comparable al valor del año 1994.

Las estimaciones de DMA (2003a) se elaboraron con valores del consumo estadístico para el sector de automoción y factores de emisión provenientes de CORINAIR. En comparación con EMICAT2000, existe gran similitud de las emisiones de NO<sub>x</sub>, aunque hay diferencias para los otros contaminantes.

La distancia total anual recorrida por todos vehículos de red vial actualmente incorporada en EMICAT2000, asciende a 32 202 millones de km, de las cuales el 25 % corresponde a los vehículos de carga a diesel, 23 % a los vehículos de pasajeros con catalizador, 22 % a los vehículos de pasajeros sin catalizador, 20 % a los vehículos de pasajeros a diesel, 6 % a las motocicletas y 5 % a los vehículos de carga a gasolina.

#### **4.12 Sensibilidad**

Para entender la influencia de la velocidad, se desarrolló un análisis de sensibilidad del modelo, calculando las emisiones en caliente de  $\text{NO}_x$ , COV y CO, así como el consumo de combustible, para el tráfico promedio diario. Tomando como referencia las velocidades medias de circulación de la Tabla 4.9, se estimaron las emisiones para diferentes escenarios de variación de la velocidad en porcentajes de 25 %. Los resultados se indican en la Tabla 4.63 y la Tabla 4.64.

Las emisiones de  $\text{NO}_x$  se muestran sensibles a las variaciones de la velocidad media en las autopistas. Un descenso del 25 % de la velocidad implica una reducción del 12 % de las emisiones, en tanto que un incremento del 25 %, produce un incremento del 25 %. El descenso de la velocidad en los tres tipos de vías implica una reducción del 11 % de las emisiones de  $\text{NO}_x$ . El incremento mayor (29 %) se presenta cuando se incrementa la velocidad tanto de las carreteras y de autopistas.

El descenso generalizado de la velocidad en los tres tipos de vías implica un incremento del 8 % de las emisiones en caliente de COV. El incremento de la velocidad no implica cambios significativos en las emisiones de COV.

El incremento de la velocidad en las autopistas implica una subida del 11 % de las emisiones de CO. El descenso generalizado de las velocidades no implica un cambio importante en las emisiones de CO.

El consumo de combustible también se muestra sensible a las variaciones de la velocidad media en las autopistas. Un descenso del 25 % de la velocidad implica una reducción del 13 % de las emisiones, en tanto que un incremento del 25 %, produce un incremento del 23 %. El descenso de la velocidad en los tres tipos de vías implica una reducción del 11 % en el consumo de combustible. El incremento mayor (27 %) se presenta cuando se incrementa la velocidad tanto de las carreteras y de autopistas.

Tabla 4.63: Análisis de sensibilidad del modelo de emisiones de tráfico vehicular de EMICAT2000 (t d<sup>-1</sup>).

Variación porcentual de la velocidad media			Emisiones			Consumo combustible		
Urbana	Carretera	Autopista	NO <sub>x</sub>	COV	CO	Gasolina	Diesel	Total
-25	-25	-25	167	98	685	2 839	3 940	6 779
-25	-25	0	190	97	715	3 051	4 689	7 740
-25	0	0	190	93	680	2 996	4 716	7 712
-25	0	-25	166	94	650	2 784	3 968	6 752
0	-25	-25	165	95	675	2 814	3 882	6 696
0	-25	0	189	94	705	3 026	4 630	7 656
0	0	-25	165	91	640	2 759	3 909	6 668
0	0	0	188 (*)	90 (*)	670 (*)	2 971 (*)	4 658 (*)	7 629 (*)
0	0	25	236	93	744	3 424	5 983	9 407
0	25	0	195	88	677	3 046	4 857	7 903
0	25	25	242	92	751	3 499	6 182	9 681
25	0	25	235	91	737	3 408	5 933	9 341
25	0	0	187	88	663	2 955	4 608	7 563
25	25	0	194	86	670	3 030	4 807	7 837
25	25	25	220	89	744	3 483	6 132	9 615

(\*) valores de referencia

Tabla 4.64: Análisis de sensibilidad del modelo de emisiones de tráfico vehicular de EMICAT2000 (%).

Variación porcentual de la velocidad media			Emisiones			Consumo combustible		
Urbana	Carretera	Autopista	NO <sub>x</sub>	COV	CO	Gasolina	Diesel	Total
-25	-25	-25	89	108	102	96	85	89
-25	-25	0	101	107	107	103	101	101
-25	0	0	101	103	102	101	101	101
-25	0	-25	88	104	97	94	85	89
0	-25	-25	88	105	101	95	83	88
0	-25	0	100	104	105	102	99	100
0	0	-25	88	101	96	93	84	87
0	0	0	100 (*)	100 (*)	100 (*)	100 (*)	100 (*)	100 (*)
0	0	25	125	103	111	115	128	123
0	25	0	104	98	101	103	104	104
0	25	25	129	102	112	118	133	127
25	0	25	125	101	110	115	127	122
25	0	0	99	98	99	99	99	99
25	25	0	103	96	100	102	103	103
25	25	25	117	99	111	117	132	126

(\*) valores de referencia

### 4.13 Discusión

Se dispone de un modelo para la estimación de las emisiones atmosféricas asociadas al consumo de gasolina y diesel de los vehículos que circularon en la red vial de Cataluña durante el año 2000. El modelo se desarrolló con una alta resolución espacial (celdas de 1 km) y temporal (hasta 1 hora).

#### 4.13.1 Sobre el modelo de emisiones

El modelo parte de la identificación, selección y digitalización en un SIG, de los tramos de aquellas vías que tienen una intensidad media diaria de tráfico mayor o igual a 3 000 vehículos. El modelo utiliza información detallada sobre la composición del parque automotor, de sus respectivos patrones y perfiles (mensuales, diarios y horarios) de circulación, la reducción de vehículos de carga en días laborables, las velocidades medias de recorrido y las características de los combustibles.

El modelo diferencia las emisiones en caliente, en frío y evaporativas provenientes de 36 categorías de vehículos.

Las emisiones en caliente de NO<sub>x</sub>, CO, COV, CH<sub>4</sub> y partículas; tienen una metodología de cálculo detallada, en base a factores de emisión determinadas con funciones matemáticas según la velocidad, capacidad y año de fabricación de los motores. Para las partículas, este enfoque sólo se aplica para las emisiones de combustión de vehículos a diesel, ya que para los turismos de gasolina y motocicletas, y las emisiones de partículas que no son de combustión, se utilizan directamente factores de emisión. Las emisiones de SO<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> se estiman de manera indirecta, calculando previamente el consumo de combustible. Las emisiones en N<sub>2</sub>O tienen una metodología de cálculo más simple, mediante el uso directo de factores de emisión.

Las emisiones en frío se consideran como valores que se suman algebraicamente a las correspondientes emisiones en caliente en aquellos tramos de vía en donde el vehículo realiza el recorrido en frío (agua de refrigeración del motor menor a 70 °C). El modelo únicamente considera las emisiones de los turismos de gasolina (con y sin catalizador) y los turismos de diesel, y sólo para aquellas vías clasificadas como urbanas. Las emisiones en frío se estiman en base a las correspondientes emisiones en caliente previamente calculadas en cada tramo de la vía.

Dentro de las emisiones evaporativas, el algoritmo implementado (estándar CORINAIR) diferencia las emisiones diurnas, por detención y de recorrido, producidas por los turismos de gasolina (con y sin catalizador) y las motocicletas. EMICAT2000 calcula la magnitud total (para toda la zona de estudio y para todo el año) y desarrolla la desagregación espacial en forma proporcional a la intensidad de tráfico.

A pesar de las limitaciones del modelo utilizado (algunas de las cuáles ya se han indicado), se puede afirmar, en función de la alta resolución utilizada, que la configuración espacial y temporal de las emisiones se encuentran definidas. La inclusión de nuevos tramos de vía o el uso de criterios más afinados para la desagregación de una parte de las emisiones evaporativas, puede contribuir a mejorar la calidad de las emisiones, pero cada vez en menor grado y con una demanda elevada y creciente de recursos.

El modelo utiliza una mezcla de los enfoques *bottom - up* (emisiones en caliente, que se estructuran fundamentalmente con información del tráfico por tramos de vía) y *top - down* (emisiones evaporativas, se calculan las emisiones anuales y luego se desagregan superficialmente).

#### 4.13.2 Sobre las emisiones horarias

Para un día festivo del mes de agosto, las emisiones de NO<sub>x</sub> son un 22% más bajas que las emisiones del día laborable, en tanto que las emisiones de COV prácticamente se mantienen. La disminución de las emisiones de NO<sub>x</sub> se explica por la reducción del tráfico de vehículos pesados

en los días festivos. Esta situación, implica que las relaciones horarias de emisión  $\text{NO}_x/\text{COV}$  también sean diferentes.

Esta diferencia puede tener una influencia importante en el patrón general de la formación del ozono troposférico. Normalmente, en las zonas urbanas, que desde el punto de vista de formación de ozono se clasifican como zonas limitadas por COV, una disminución de las emisiones  $\text{NO}_x$  puede producir una mayor concentración de ozono, en tanto que en las zonas de sotavento el efecto puede ser diferente. Este fenómeno es objeto de actual investigación en diferentes regiones del mundo y se conoce como el efecto fin de semana (*weekend effect*).

Las emisiones proporcionadas de EMICAT2000 pueden ser la base para emprender por primera vez estudios de simulación sobre el efecto fin de semana en Cataluña.

### 4.13.3 Sobre las emisiones mensuales y anual

La emisión de contaminantes primarios durante el año 2000, se estima en  $388.6 \text{ kt a}^{-1}$ . En la composición del perfil anual de estas emisiones, el CO es el contaminante que aparece mayoritariamente (69 %), seguidos por los  $\text{NO}_x$  (16 %), COV (13 %), partículas (4 %) y el  $\text{SO}_2$  (0.3 %).

En julio y agosto se presentan las mayores emisiones mensuales, lo que se explica tanto por el mayor tráfico en estos dos meses, especialmente en determinadas autopistas y carreteras que conducen a sitios de interés turístico; así como por las mayores temperaturas (mayores emisiones evaporativas). No obstante, en estos meses también existe una disminución de las emisiones en frío y de la volatilidad de la gasolina, las que sin embargo en la globalidad tienen poca influencia en relación con las emisiones en caliente.

A pesar del incremento en el tráfico vehicular, la reducción en las emisiones anuales de  $\text{NO}_x$  (según la comparación de los valores de los años 1990, 1994 y 2000) se podría explicar por la aparición paulatina de los turismos equipados con catalizador, que reemplazan a vehículos de gasolina con mayor carga contaminante. Este argumento explica también la disminución de las emisiones de CO y de COV.

Del mismo modo, la mayor presencia de los turismos de diesel implica una disminución en las emisiones de COV. No obstante, las emisiones para el año 1994 (Delgado, 1997) son menores que las del año 2000. Esta variación en los resultados podría explicarse por la particular incertidumbre que aún existe en la valoración de las emisiones evaporativas, tanto en lo que se refiere a la información base como al modelo propiamente dicho (estándar CORINAIR).

Ntziachristos *and* Samaras (2000) presentan un modelo alternativo, de cuya aplicación se obtuvo un total anual de  $4\,776 \text{ t a}^{-1}$  ( $1\,134 \text{ t a}^{-1}$  de diurnas +  $3\,286 \text{ t a}^{-1}$  por detención +  $356 \text{ t a}^{-1}$  por recorrido) de emisiones evaporativas de COV de los turismos de gasolina (controlados y no controlados). Este valor representa aproximadamente el 13 % del total de emisiones de COV.

EMICAT2000 proporciona un valor de las emisiones evaporativas de  $16\,208 \text{ t a}^{-1}$ , que representa un 32 % del total de COV emitidos. EEA (2001) indica que las emisiones evaporativas, según los datos CORINAIR90 a nivel europeo, representan en promedio un 25 % de las emisiones de COV totales debidas al tráfico vehicular. Este porcentaje iría disminuyendo en el período 1990 – 2000, por lo que hacia el año 2000 se esperaría un porcentaje menor al 25 %. Esto permitiría afirmar que la actual valoración puede ser algo sobreestimada; sin embargo, el uso de la metodología alternativa parecería proporcionar un valor subestimado. Ntziachristos *and* Samaras (2000) indican que la valoración de las emisiones evaporativas es uno de los componentes con mayor incertidumbre y de los que se requiere realizar más estudios. No obstante, conociendo que el porcentaje de reducción de COV entre los años 1990 (DMA, 1996) y 2000 (proporcionado por EMICAT2000) es coherente, es razonable mantener el modelo de cálculo estándar CORINAIR para las emisiones evaporativas.

La marcada reducción en las emisiones de SO<sub>2</sub> se explica claramente por la mayor exigencia legislativa de los últimos años en relación al menor contenido de azufre en los combustibles.

Por grupos de vehículos, en relación a los contaminantes primarios se resaltan las siguientes conclusiones :

- ❑ Se atribuye a los camiones de gasolina la mayor carga contaminante, ya que generan el 31 % de las emisiones (38 % de CO, 20 % de NO<sub>x</sub> y 14 % de COV), a pesar de que en número, solamente constituyen el 4 % del parque automotor.
- ❑ Los turismos de gasolina sin catalizador generan el 27 % de las emisiones (38 % de COV, 30 % de NO<sub>x</sub>, 25 % de CO y 11 % de partículas) y representan el 31 % del parque automotor. En los siguientes años se esperaría una reducción importante de las emisiones, en razón de que estos vehículos irán paulatinamente saliendo de circulación y se reemplazarán por otros menos contaminadores.
- ❑ Las motocicletas producen el 18 % de las emisiones (30 % de COV y 21 % de CO), a pesar de que solamente representan el 10 % del parque automotor.
- ❑ Los camiones de diesel, aunque constituyen el 13 % del parque automotor, son responsables de sólo del 11 % de las emisiones (55 % de SO<sub>2</sub>, 37 % de NO<sub>x</sub> y 48 % de las partículas).
- ❑ Los turismos de gasolina con catalizador generan el 9 % de las emisiones (10 % de CO, 10 % de COV y 7 % de NO<sub>x</sub>), aunque constituyen el 25 % del parque automotor.
- ❑ Los turismos de diesel, siendo en número el 17 % del parque automotor, producen solamente el 3 % de las emisiones (18 % de partículas, 20 % de SO<sub>2</sub> y 6 % de NO<sub>x</sub>).

EMICAT2000 totaliza una emisión global anual de 8 302 kt CO<sub>2</sub> eq., que representa un consumo de 1 115 kt de gasolina y 1 431 kt de diesel (gasóleo A). El boletín estadístico de hidrocarburos del año 2000 del Ministerio de Economía (CORES, 2001) registra un consumo para Cataluña de 1 488 kt de gasolina de automoción, y de 2 130 kt de gasóleo A distribuido en estaciones de servicio. Se deduce entonces que EMICAT2000, con la actual red de vías implementada, totaliza un 75 y un 67 % del consumo estadístico de gasolina y de gasóleo atribuible al tráfico vehicular. Esta diferencia se explica principalmente por los siguientes motivos:

- ❑ Exclusión de las vías con tráfico bajo (principalmente menores a 3 000 vehículos d<sup>-1</sup>). Adicionalmente hay otras vías con mayores intensidades de tráfico para las cuales no fue posible conseguir información, y que corresponden esencialmente a las carreteras y vías urbanas, de responsabilidad de las diputaciones de Gerona, Lleida y Tarragona; y de varios municipios pequeños.
- ❑ Puede haber una potencial subvaloración de las emisiones de los vehículos pesados de diesel, debido a que EMICAT2000 aún no incorpora la influencia de la pendiente de las vías.
- ❑ El valor estadístico del consumo gasolina y de diesel; que corresponde concretamente a las cantidades de combustible vendidos en Cataluña, no necesariamente, implica que todo este combustible se haya utilizado exclusivamente en la red de vías catalanas (muchos camiones podrían abastecerse de combustible en Cataluña y realizar un porcentaje importante de su recorrido fuera de ella). Sin embargo, también hay emisiones de vehículos que repostaron fuera de Cataluña.
- ❑ La propia incertidumbre atribuible a la estimación de las emisiones.

Por grupos de vehículos, en relación a los GEI se resaltan las siguientes conclusiones:

- ❑ Los camiones de diesel emiten el 40 %, aunque representan sólo el 13 % del parque automotor.
- ❑ Tanto los turismos de gasolina sin catalizador, los turismos de gasolina con catalizador y los turismos diesel, emiten cada uno el 15 % (45 % en total).
- ❑ Los camiones de gasolina emiten el 11 %, aunque sólo representan el 4 % del parque automotor.
- ❑ Las motocicletas emiten el 3 %, aunque representan el 10 % del parque automotor.

En el período anual, las emisiones de los precursores de ozono por tipo de combustibles se distribuyen de la siguiente manera:

- ❑ Los vehículos a gasolina emiten el 57 % de NO<sub>x</sub> y el 92 % de los COV.
- ❑ Los vehículos a diesel emiten el 43 % de NO<sub>x</sub> y el 8 % de los COV.

El enfoque utilizado *bottom - up* para las emisiones en caliente, complementados enfoques *top - down* para las emisiones en frío y evaporativas, con los datos globales estadísticos sólo como elementos de referencia y de comprobación final), implica un alto esfuerzo para conseguir inventarios completos; esto es, que incluyan a todas las vías, independientemente de su intensidad de tráfico. La factibilidad de caracterizar cada tramo de vía con su propio IMD es sólo práctico para la vías más importantes. Para aquellas con menor tráfico, simplemente no hay información. Aunque falta información de detalle, los niveles de desagregación espacial y temporal alcanzados con EMICAT2000 caracterizan adecuadamente la configuración de las emisiones. Esta característica es clave para los posteriores estudios de modelización de contaminación fotoquímica.



#### 4.14 Situación del modelo de emisiones de tráfico en EMICAT2000

Tabla 4.65: Situación del modelo de emisiones de tráfico vehicular en EMICAT2000.

Gestión de la información base		
	Fuente	Observaciones
Red digital de las vías de Cataluña, en su mayoría con IMD > 3 000 vehículos por día durante el año 2000, diferenciada por tramos de vía (IMD constante) y de acuerdo a una malla superficial de celdas cuadradas de 1 km de lado.	- Departament de Política Territorial i Obres Públiques PTOB. - Ayuntamientos de Barcelona, Terrassa y Sabadell. - Diputación de Barcelona. - Mapa de tráfico 2000 del Ministerio de Fomento. - Concesionarias de las autopistas.	No se han incluido las vías secundarias y terciarias (IMD de hasta 3 000 vehículos día). No se obtuvo respuesta favorable de las diputaciones de Lleida, Gerona y Tarragona, ni de algunos ayuntamientos a los que se solicitó información.
Perfiles de tráfico mensual, diario y horario.	- Ayuntamiento de Barcelona. - Concesionarias de las autopistas - Delgado (1997)	
Información sobre la reducción de vehículos pesados entre días laborables y festivos	- Concesionarias de autopistas. - Diputación de Barcelona. - Ayuntamiento de Barcelona.	Se consideró una reducción global del 60 % en la circulación de los vehículos de carga.
Composición del parque automotor.	- Anuario estadístico de Cataluña para el año 2000 - Anuario estadístico general del año 2000 del Ministerio del Interior	
Velocidades medias de circulación	- Ayuntamiento de Barcelona. - Delgado (1997).	
Porcentajes de circulación de vehículos por tipo de vía	<b>- Actualización de los valores utilizados en Delgado (1997).</b>	
Relación anual de longitud total recorrida entre vehículos.	- ICAEN, para el año 1999.	- Tur. diesel/tur. a gasolina = 0.45 - Camiones de carga/turismos = 0.66
Factores de emisión	- Ntziachristos and Samaras (2000)/ EEA (2001) - CEPMEIP, 2003)	
Temperatura ambiente horaria	- 3 estaciones meteorológicas de la comarca del Barcelonès	12 perfiles medios mensuales de variación horaria del año 2000.
Volatilidad de la gasolina	- Lo establecido en el Real Decreto 1728/1999 de 12 de noviembre	
Cálculo de las emisiones		
Contaminantes	Observaciones	
Primarios: NOx, CO, COV, SO <sub>2</sub> , partículas Gases de efecto invernadero: CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O	- Las emisiones de NO <sub>x</sub> se expresan como NO <sub>2</sub> - Las emisiones de COV se expresan como CH <sub>1,85</sub> e incluyen al metano. - Las emisiones de partículas incluyen las debidas a combustión y desgaste de neumáticos, frenos y pavimento. - Las emisiones de GEI se presentan como CO <sub>2</sub> equivalente	
Resolución temporal horaria, diaria mensual y anual		
Cálculo de las emisiones en caliente	- Por tramo de vía. - Para 36 categorías de vehículos	
Cálculo de las emisiones en frío	- Como emisiones adicionales a las emisiones en caliente. - Sólo para los turismos de gasolina y diesel.	
Cálculo de las emisiones evaporativas: diurnas, por detención y recorrido	- Valor global para toda Cataluña y para todo el año, que se desagrega por tramos de vía, en función de la intensidad de tráfico de los vehículos que las generan. - Sólo para los turismos de gasolina y motocicletas	
Cálculo de emisiones diarias	En función de la IMD. Hay un día laborable y festivo típicos por mes.	
Cálculo de emisiones horarias	En base de las emisiones diarias, repartidas en función del perfil de tráfico horario	
Cálculo de emisiones mensuales	Suma de las emisiones diarias (laborables y festivos) que corresponden al mes	
Cálculo de emisiones anuales	Suma de las emisiones mensuales	
Validación del proceso cálculo	Se implementó toda el modelo de cálculo en hoja electrónica y se comprobaron los resultados proporcionados por EMICAT2000	
Análisis de incertidumbre	Calificación de los niveles de incertidumbre de las emisiones en caliente de NOx, COV, CO y de las emisiones evaporativas de COV.	
Análisis de sensibilidad	Influencia de la variación de la velocidad.	
Postproceso de la información		
Observaciones		
Especiación de las emisiones horarias.	Se utilizan 5 perfiles, según el mecanismo CB4.	

