



Grupo de Tecnología de la Información e Ingeniería de Organización.
Dpto de Organización Industrial y Gestión de Empresas.
Universidad de Sevilla

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



Jesús Racero,
Fernando Guerrero,
Ignacio Eguía

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Métodos de estimación de emisiones
3. Metodología de estimación
4. Inventario de emisiones de Sevilla
5. Líneas futuras

Índice

- 1. Introducción y objetivos**
2. Métodos de estimación de emisiones
3. Metodología de estimación
4. Inventario de emisiones de Sevilla
5. Líneas futuras

1. Introducción

1.1. Introducción

El desarrollo de sociedades ligado al incremento de la presión medioambiental.

El *protocolo de Kyoto* (1997) establece unos compromisos de reducción de emisiones de gases con efecto invernadero. **Reducción del 8% para la el conjunto de la Unión Europea.**

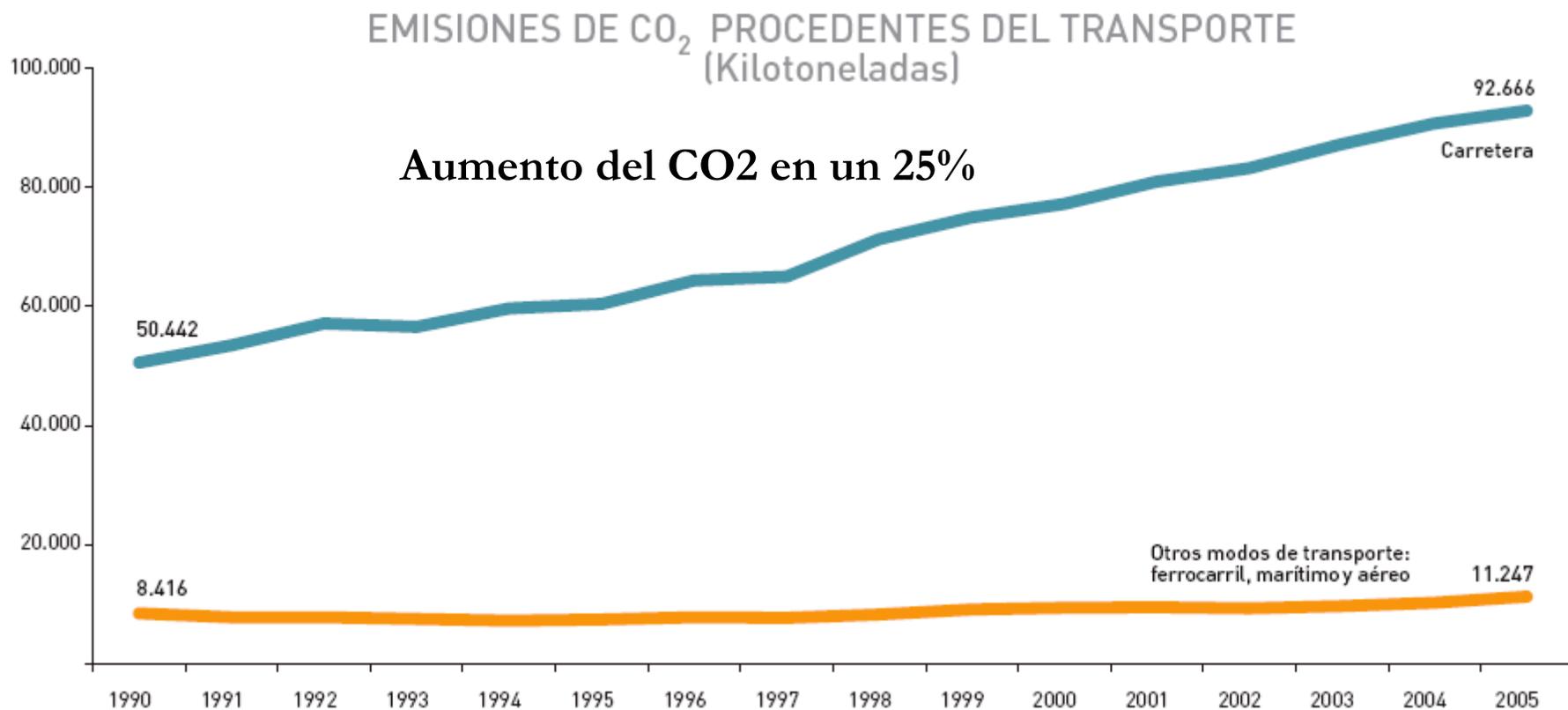
El transporte como parte motor del desarrollo es una de las principales cargas de emisiones contaminantes a la atmósfera.

- 5% de las emisiones de Dióxido de azufre
- 25% de las emisiones de Dióxido de carbono
- 87% de los Monóxidos de carbono
- 66% de los Óxidos de nitrógeno

1. Introducción

1.1. Introducción

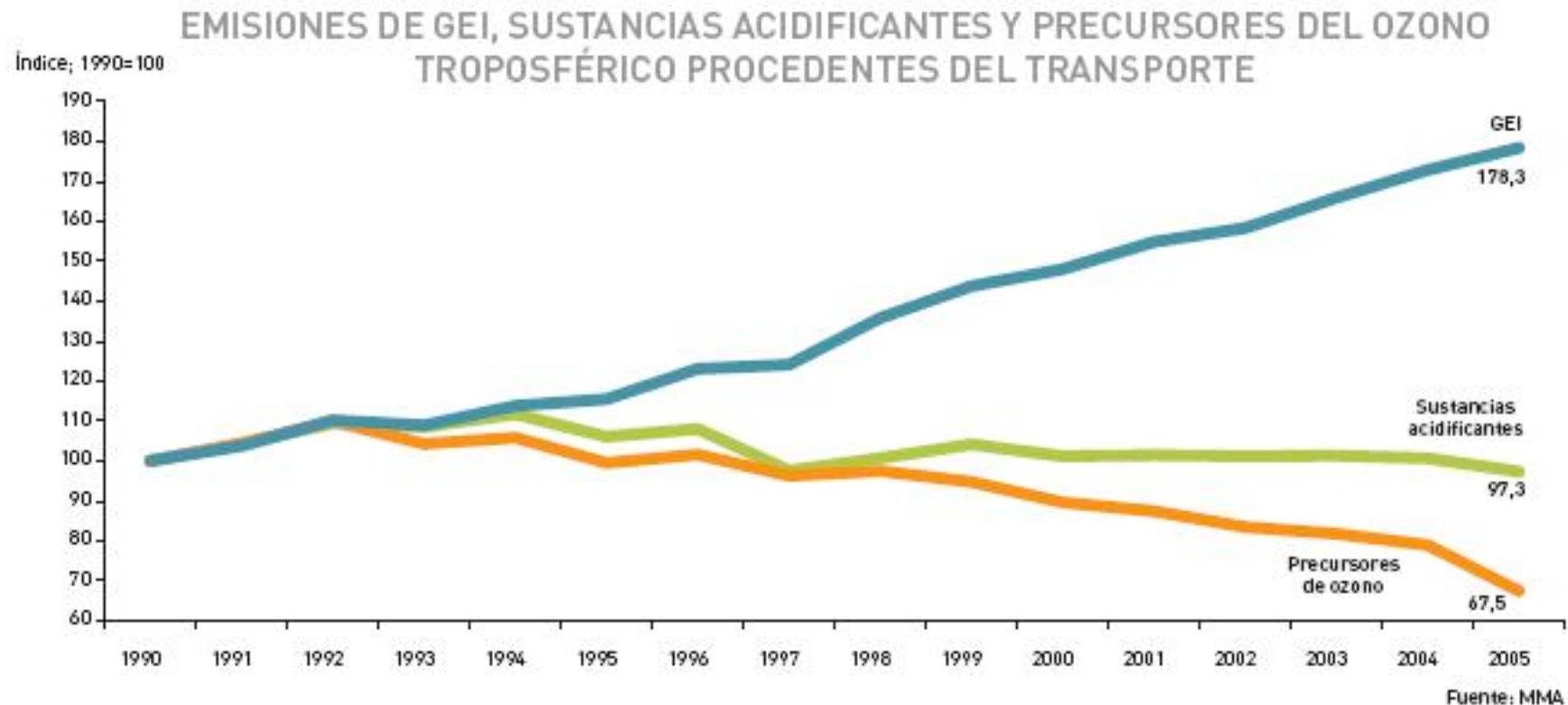
El transporte urbano es el responsable del 40% de las emisiones de GEI emitidas por el transporte por carretera



1. Introducción

1.1. Introducción

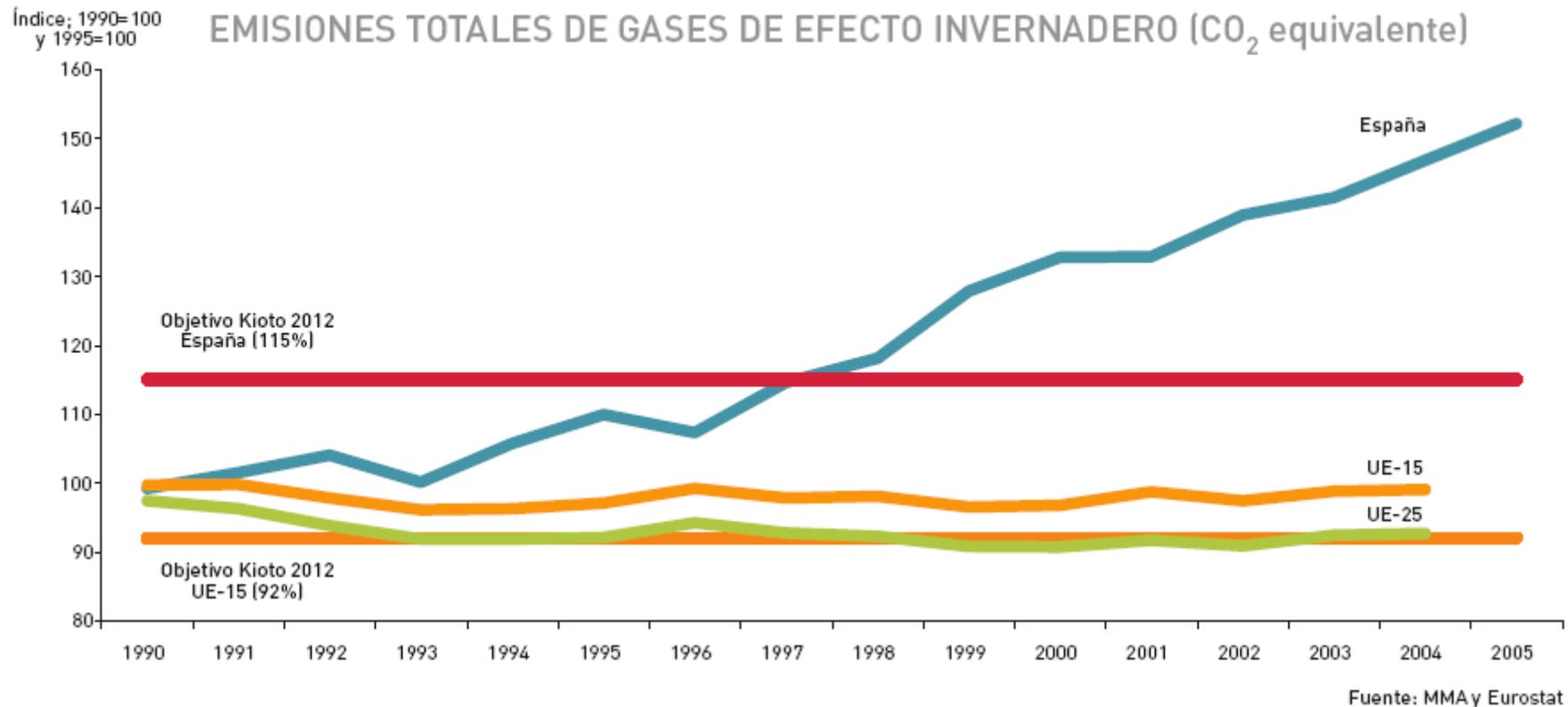
En el ámbito total del transporte por carretera los GEI han aumentado un 78%



1. Introducción

1.1. Introducción

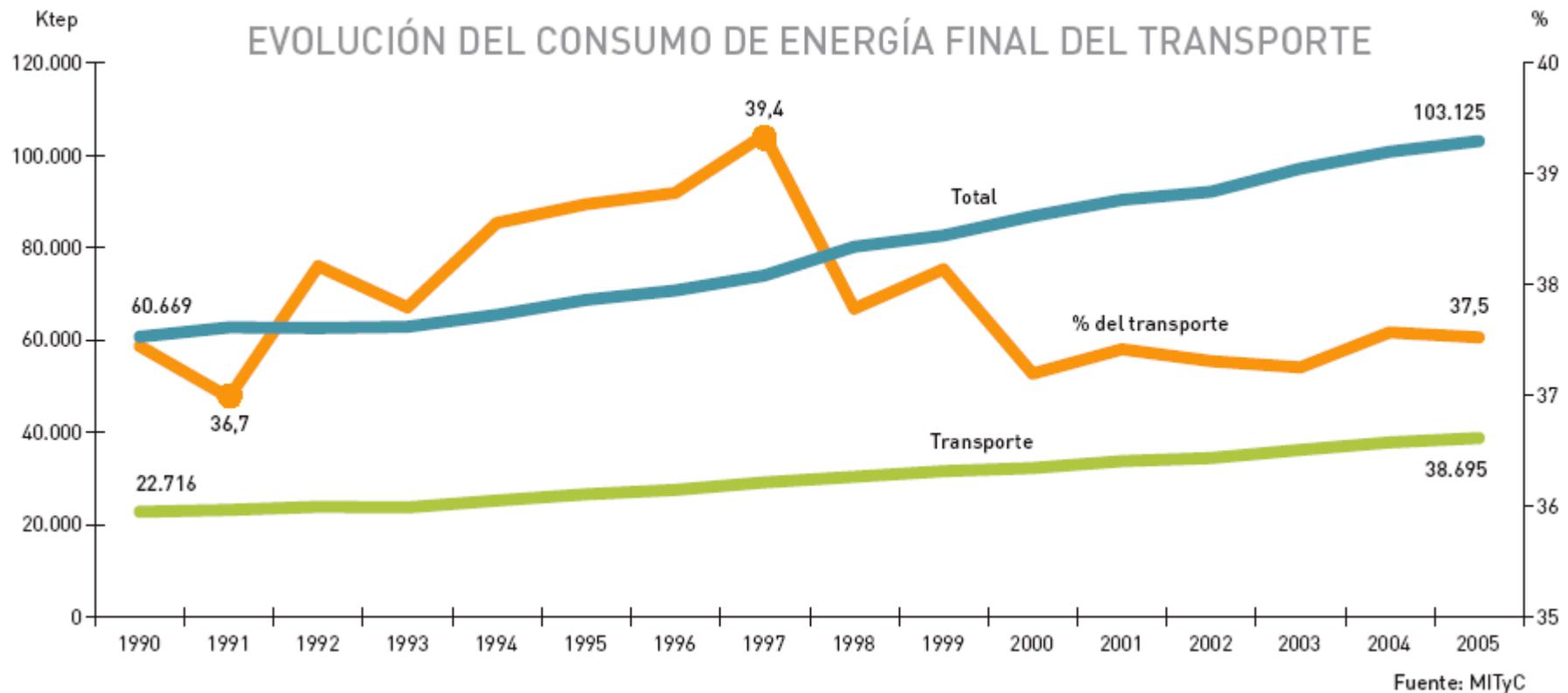
En relación al protocolo de Kyoto, hemos sobrepasado el 15% de **AUMENTO** de emisiones...



1. Introducción

1.1. Introducción

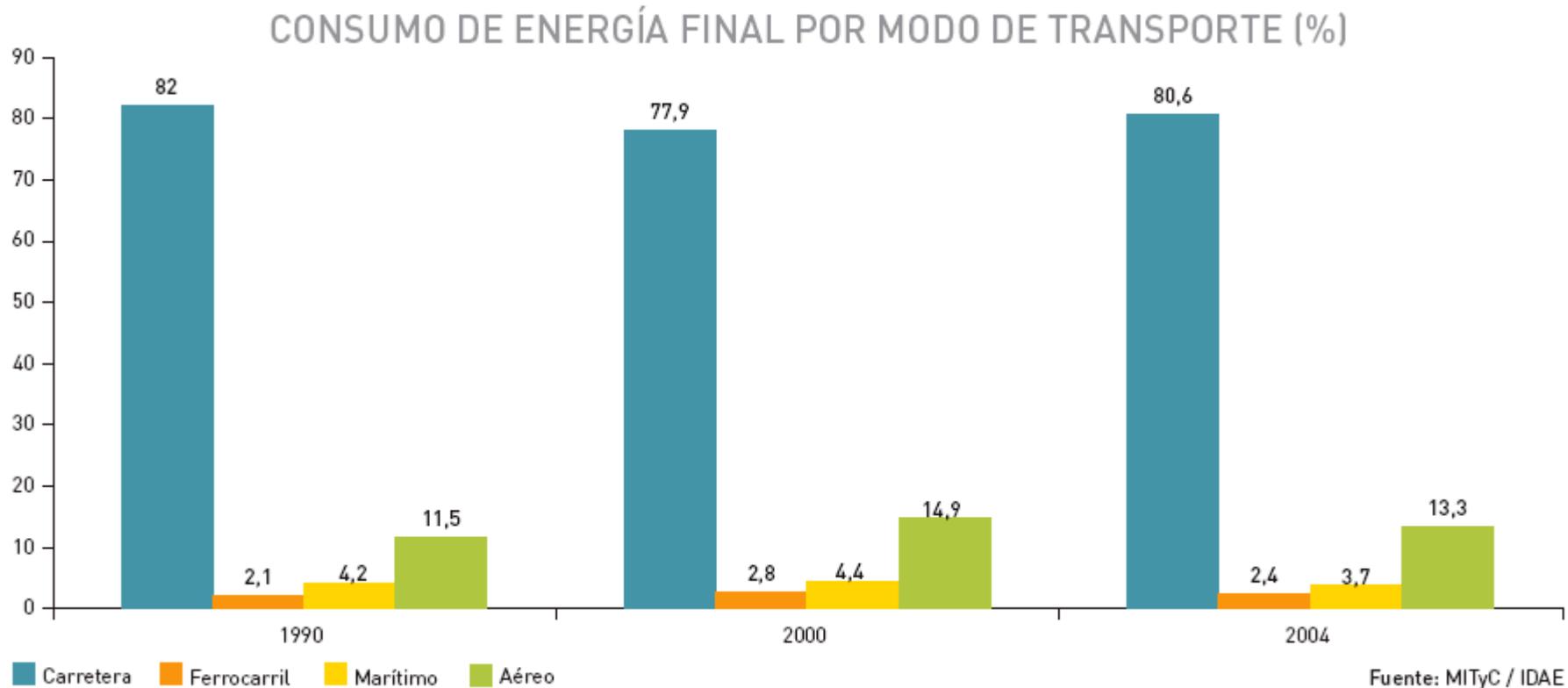
En relación al consumo energético, el transporte supone el 37.5 % del total consumido en España.



1. Introducción

1.1. Introducción

El transporte por carretera supone el 80% del total.



1. Introducción

1.2 Movilidad sostenible

- La "movilidad sostenible" englobaría un conjunto de procesos y acciones orientados para conseguir como objetivo final un uso racional de los medios de transporte por parte tanto de los particulares como de los profesionales.
- Actuaciones para fomentar una movilidad sostenible:
 - Análisis de transporte público y de mercancías
 - Legislación sobre contaminación
 - Estrategias de mejora

Índice

1. Introducción y objetivos
- 2. Métodos de estimación de emisiones**
3. Metodología de estimación
4. Inventario de emisiones de Sevilla
5. Líneas futuras

2. Métodos de estimación de emisiones

2.1 Estimación de emisiones contaminantes

- Las emisiones generadas en una región se cuantifican midiendo las sustancias emitidas desde todas las fuentes en un periodo dado.
 - En la práctica es imposible realizar medidas individuales usando valores representativos por modelos.
 - Las estimaciones de emisiones de tráfico vehicular es algo complejo, intervienen una serie de factores:
 - Peso, capacidad del motor, diseño, tipo y características del combustible y rendimiento de los dispositivos de control de emisiones o las características del viario

2. Métodos de estimación de emisiones

2.1 Estimación de emisiones contaminantes

- Clasificación de contaminantes:
 - a) Emisiones atmosféricas, CO₂, CO, SO₂,...
 - b) Emisiones precursoras de OZONO troposférico, Nox, COV
 - c) Ruido, debido al transporte

2. Métodos de estimación de emisiones

2.1 Estimación de emisiones contaminantes

- Proyectos desarrollados:
- En Europa.
 - MEET (Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport) en conjunto COST Action 319 (Estimation of pollutant emissions from transport).

COPERT IV



- En EEUU.
 - La guía MOBILE V6.



2. Métodos de estimación de emisiones

2.1 Estimación de emisiones contaminantes

- Top-Down (Samaras, et la 1995)

Son estimaciones con poco nivel de detalle

Utilización agregada de datos de tráfico

¿Dónde se emplean?

Pequeñas ciudades

Lugares donde es difícil de encontrar datos de movilidad

Utilizadas para la realización de inventario nacional (Sturm, et la 1997)

Ventajas	Desventajas
Necesitan poca información	Poca precisión espacial
Aplicable a cualquier zona	No puede ser usado en procesos de planificación

2. Métodos de estimación de emisiones

2.1 Estimación de emisiones contaminantes

- Bottom-up (Samaras, et la 1995)

Son estimaciones con alto nivel de detalle

Utilización de modelos de asignación y simulación

Caracterización del parque automovilístico

¿Dónde se emplean?

Ciudades desarrolladas, donde se realicen estudios de movilidad

Lugares donde es difícil de encontrar datos de movilidad

Utilizadas para la realización de inventario nacional (Sturm, et la 1997)

Ventajas	Desventajas
Gran precisión espacial/temporal	Gran cantidad de parámetros y datos
Análisis de zonas o centros	Recursos necesarios

2. Métodos de estimación de emisiones

Guía EMEP/CORINAIR (última actualización 2004)

Tres grupos de contaminantes:

- **Grupo 1.** Metodología detallada cuya función depende de la velocidad de circulación. $\text{NO}_x : 0,918 - 0,014V + 0,000101V^2$
- **Grupo 2.** Funciones de emisión que depende del consumo de combustible. $\text{CO}_2 : 227V^{(-0,583)} + 288V^{(-0,69)} + 293 V^{(-0,72)}$
- **Grupo 3.** Existe una metodología simple por falta de detalle, es una expresión.

Por cada tipo de contaminante define 25 funciones de estimación de emisiones según tres parámetros:

- Legislación de emisión (1970), Tipo de vehículo y Cilindrada.

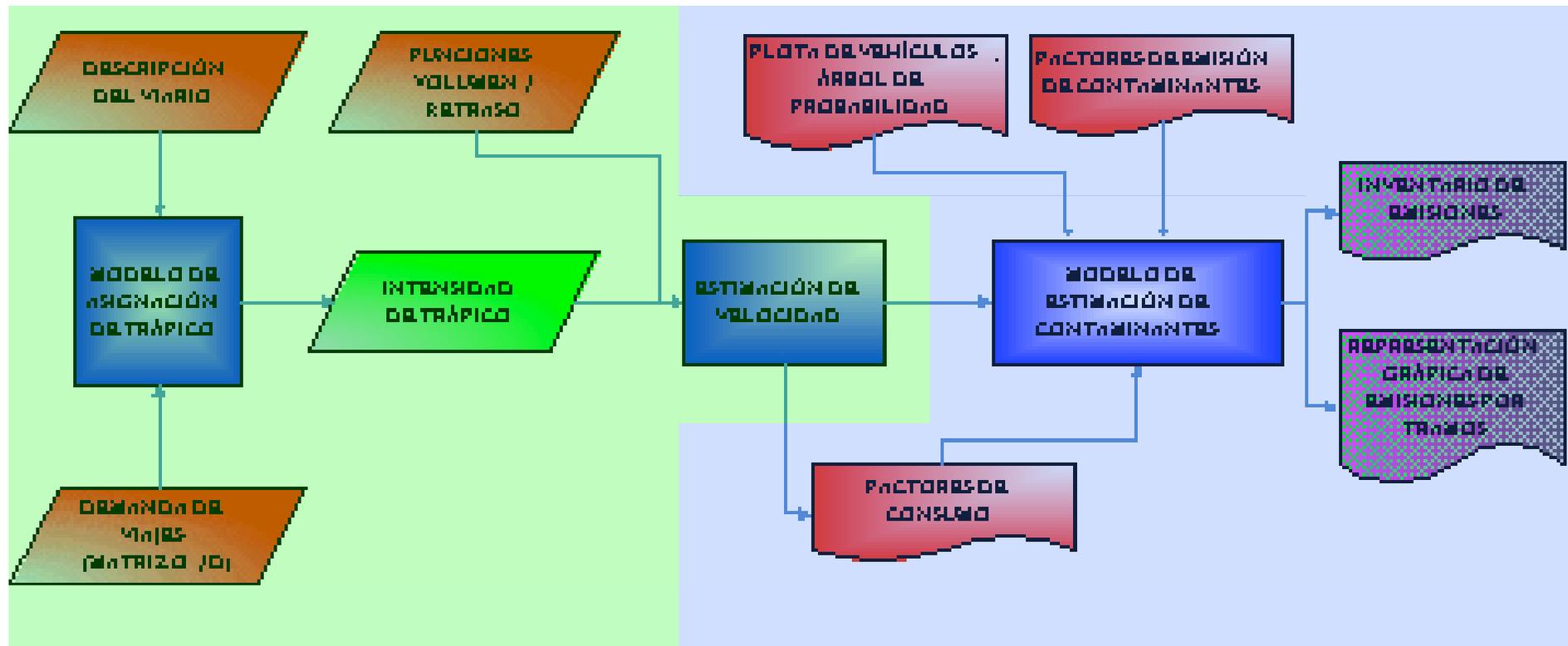
La velocidad es un parámetro fundamental en la estimación total de emisiones de contaminantes debida al transporte por carretera.

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Métodos de estimación de emisiones
- 3. Metodología de estimación**
4. Inventario de emisiones de Sevilla
5. Líneas futuras

3. Metodología de estimación

3.1. Estructura de la metodología

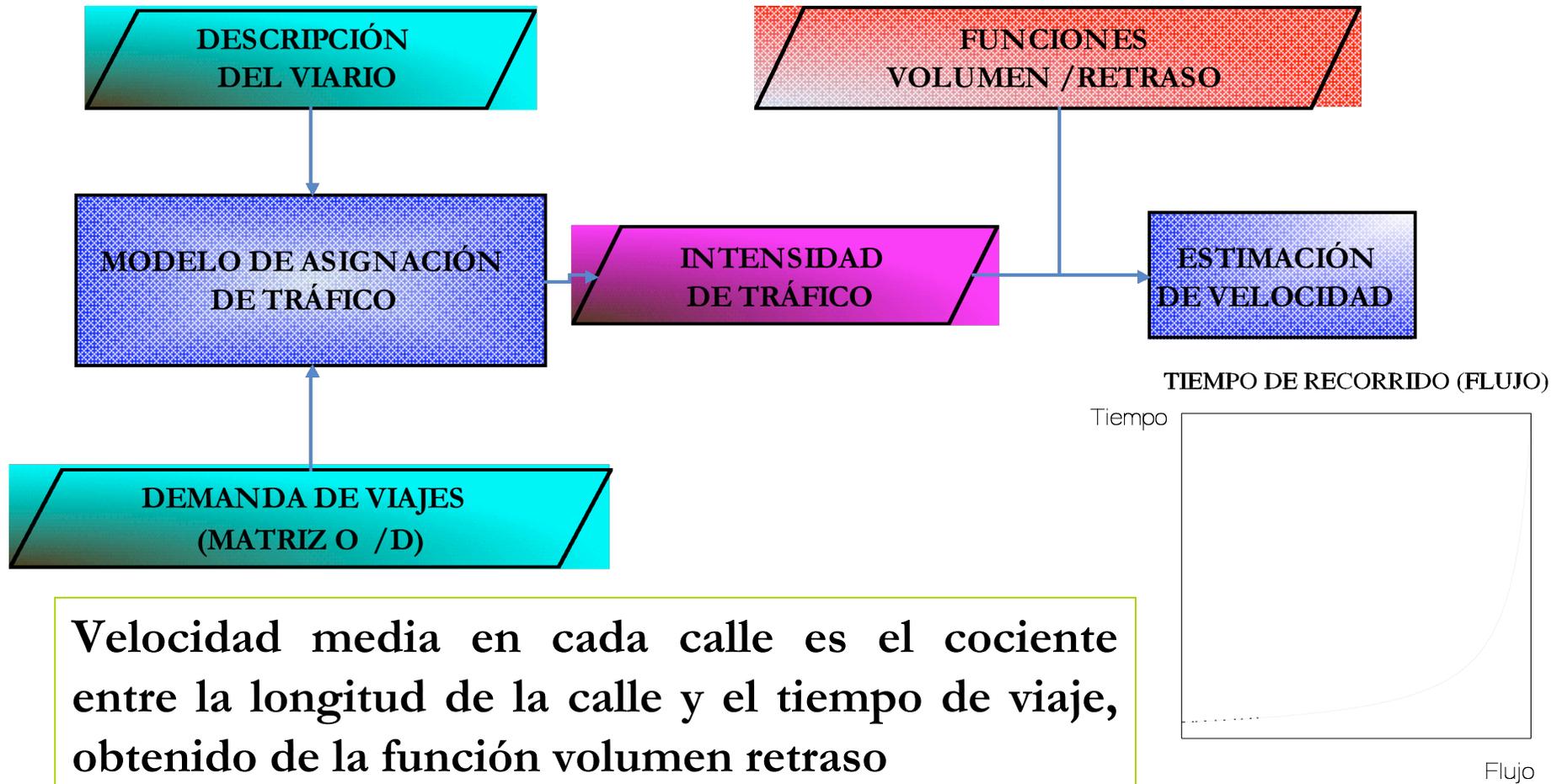


Estimación velocidad media

Estimación contaminación

3. Metodología de estimación

3.2 Estimación de la velocidad media



3. Metodología de estimación

3.2 Estimación de la velocidad media

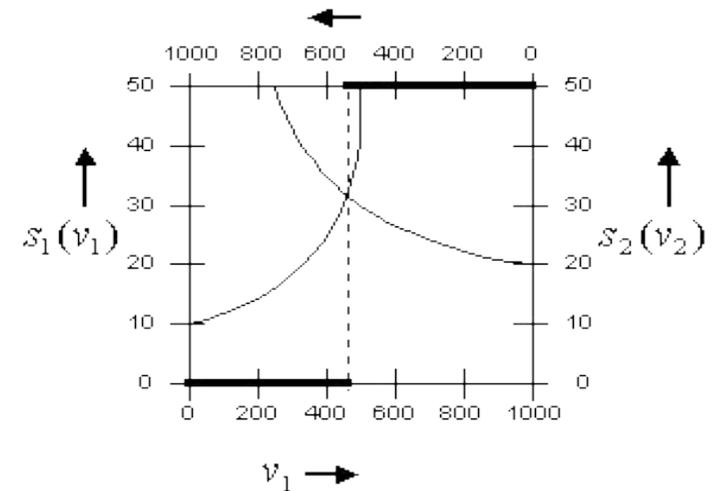
$$\text{Min} \sum_{a \in A} \int_0^{f_a} t_a(s) ds$$

sujeto a:

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

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

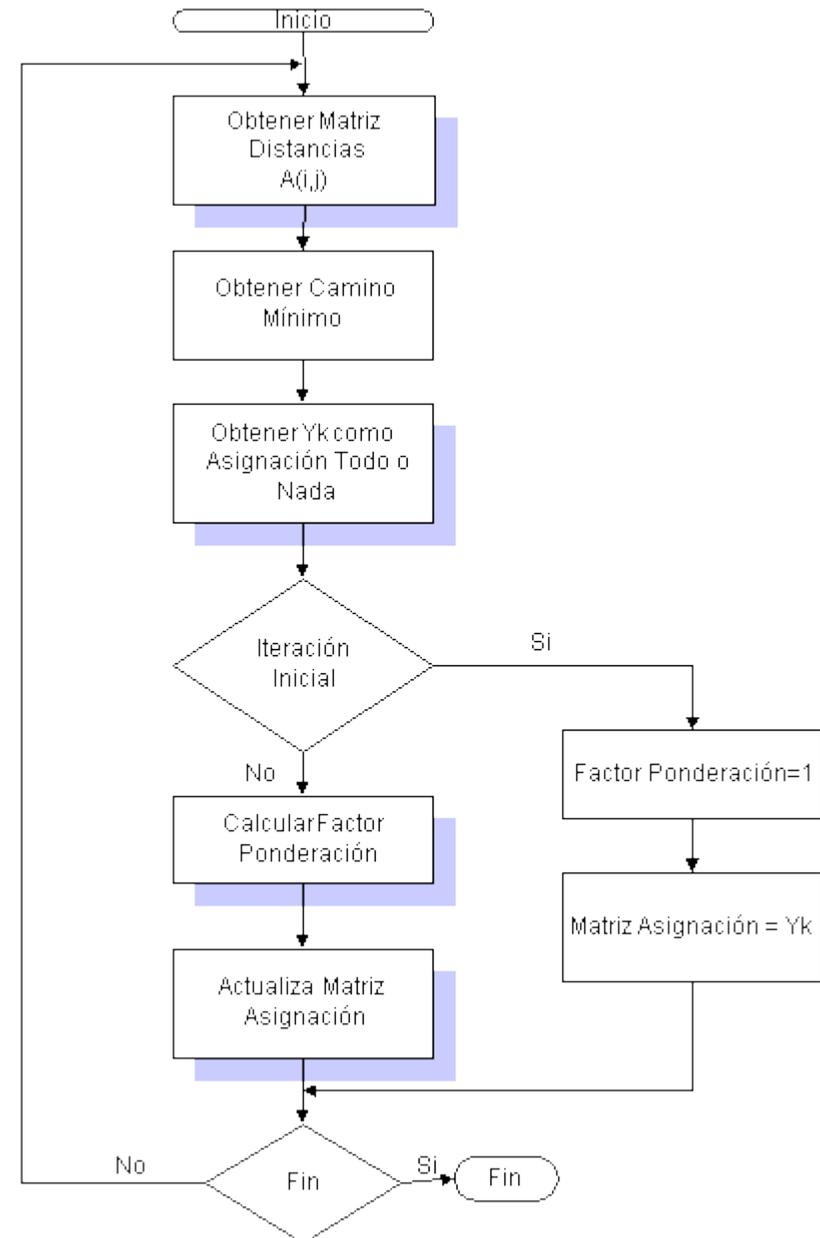
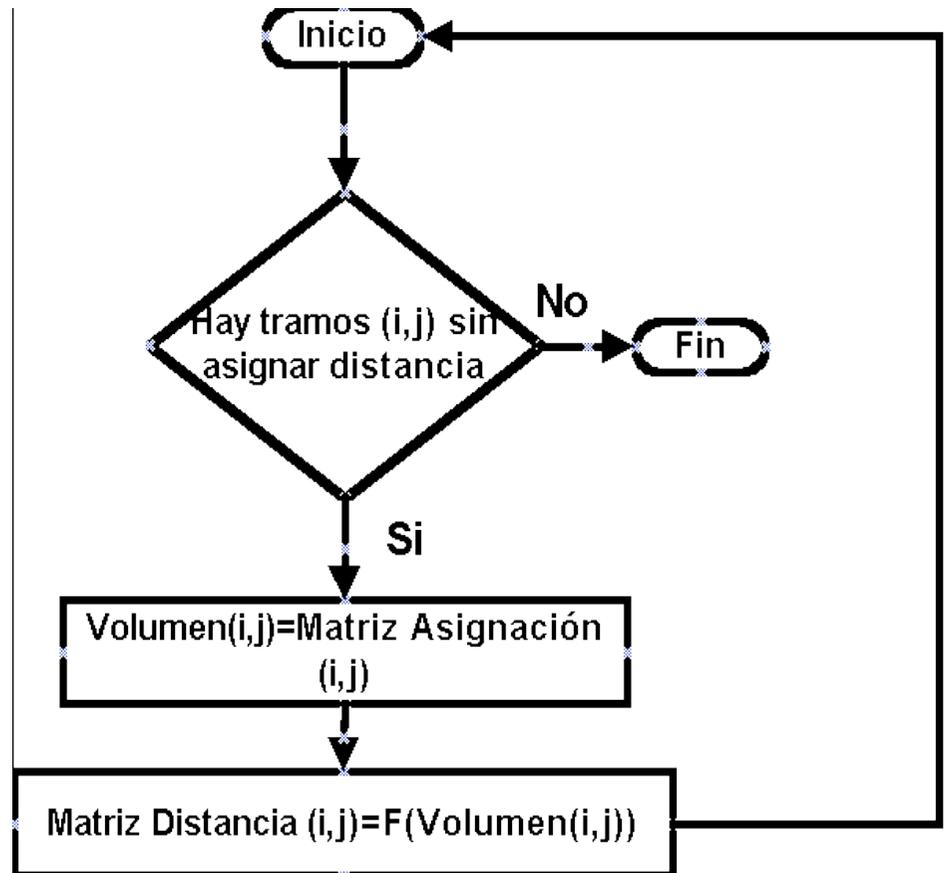
$$h_{pqr} \geq 0 \quad \forall (p, q) \in C \quad \forall r \in R_{pq}$$



Resolución mediante aplicación de Frank-Wolfe

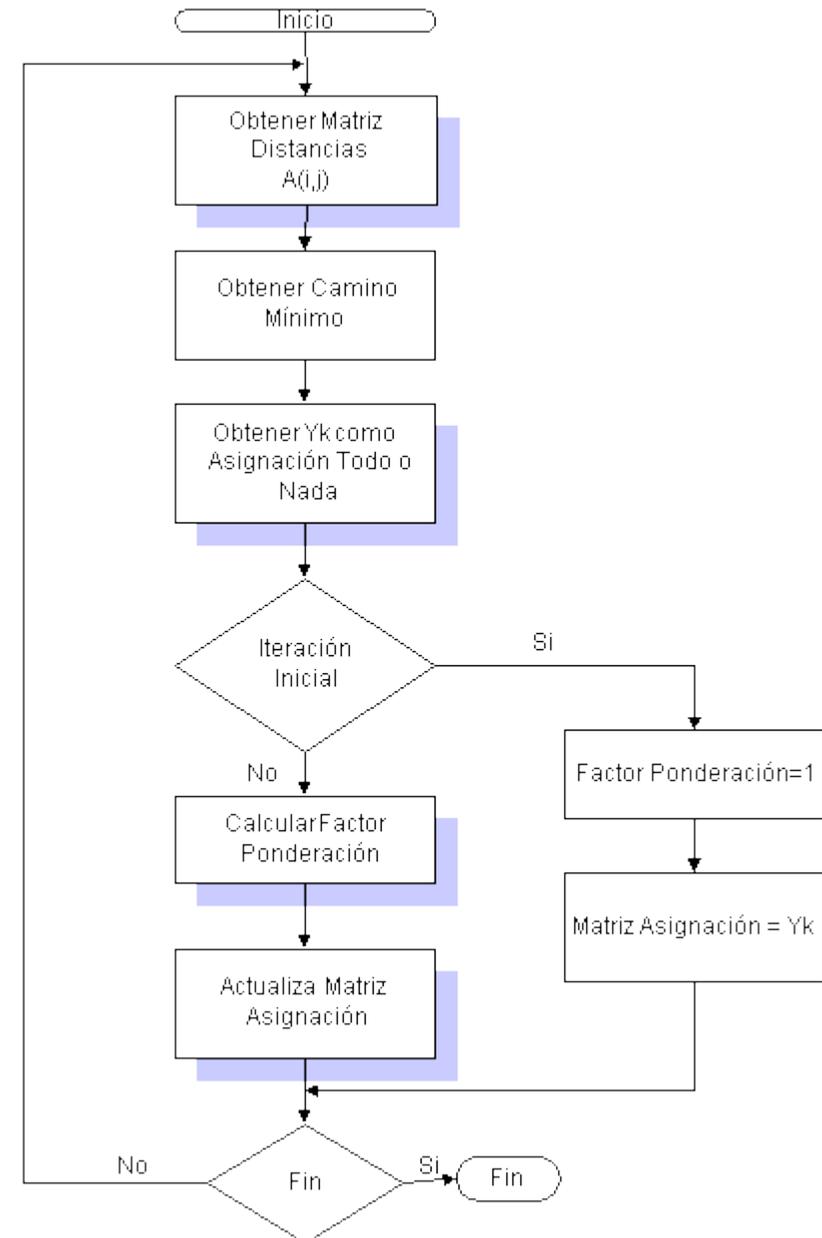
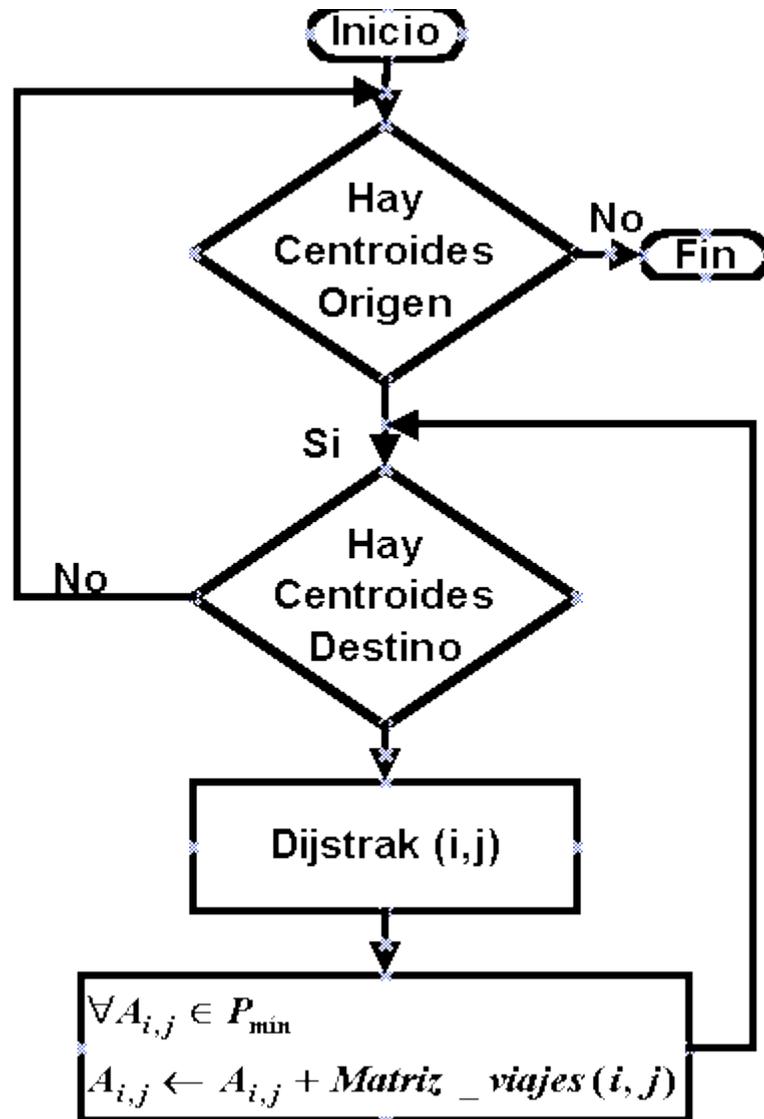
3. Metodología de estimación

3.2 Algoritmo



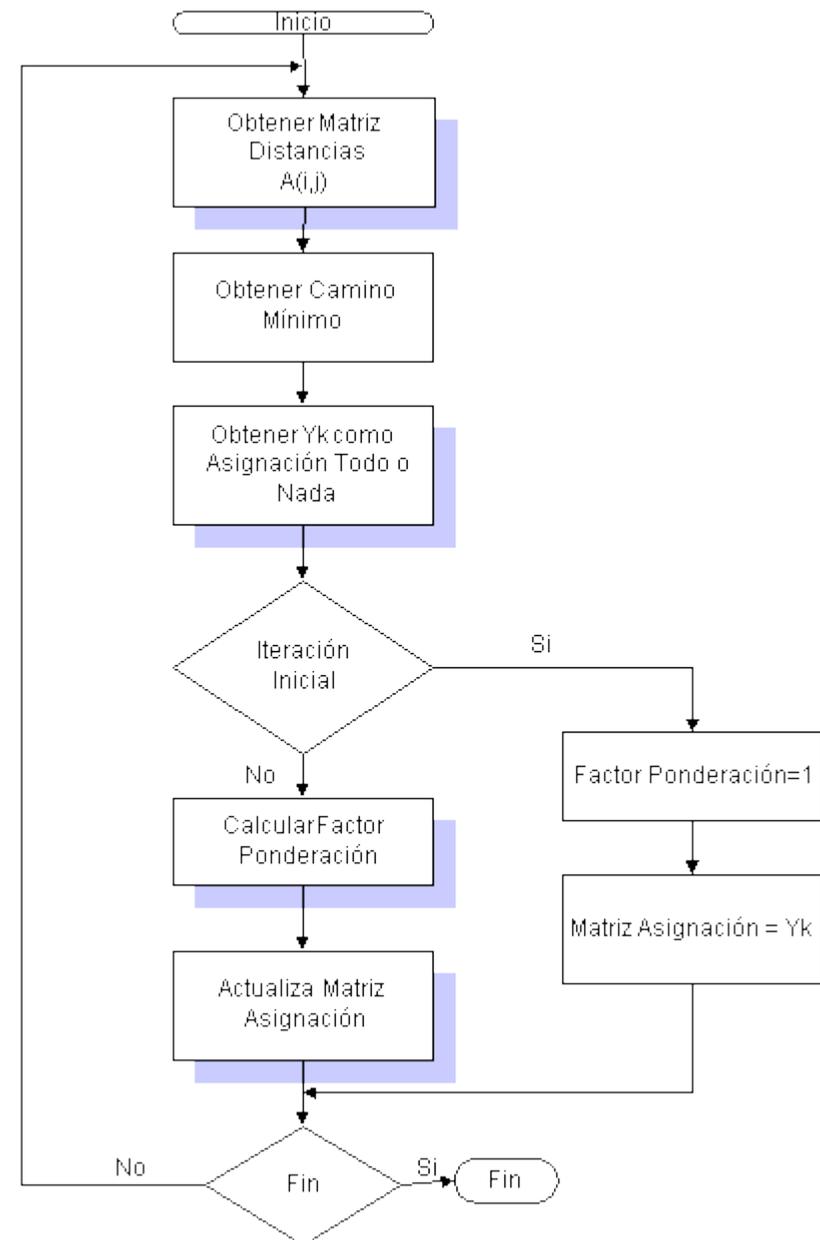
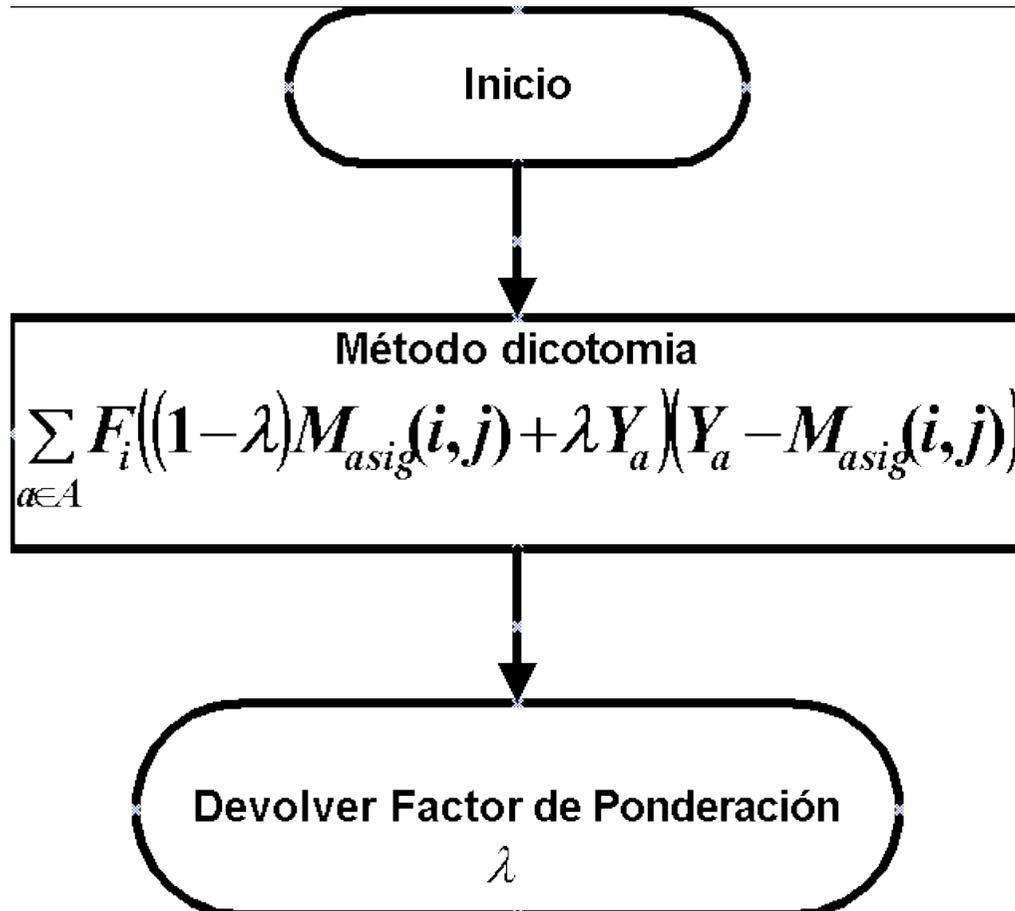
3. Metodología de estimación

3.2 Algoritmo



3. Metodología de estimación

3.2 Algoritmo

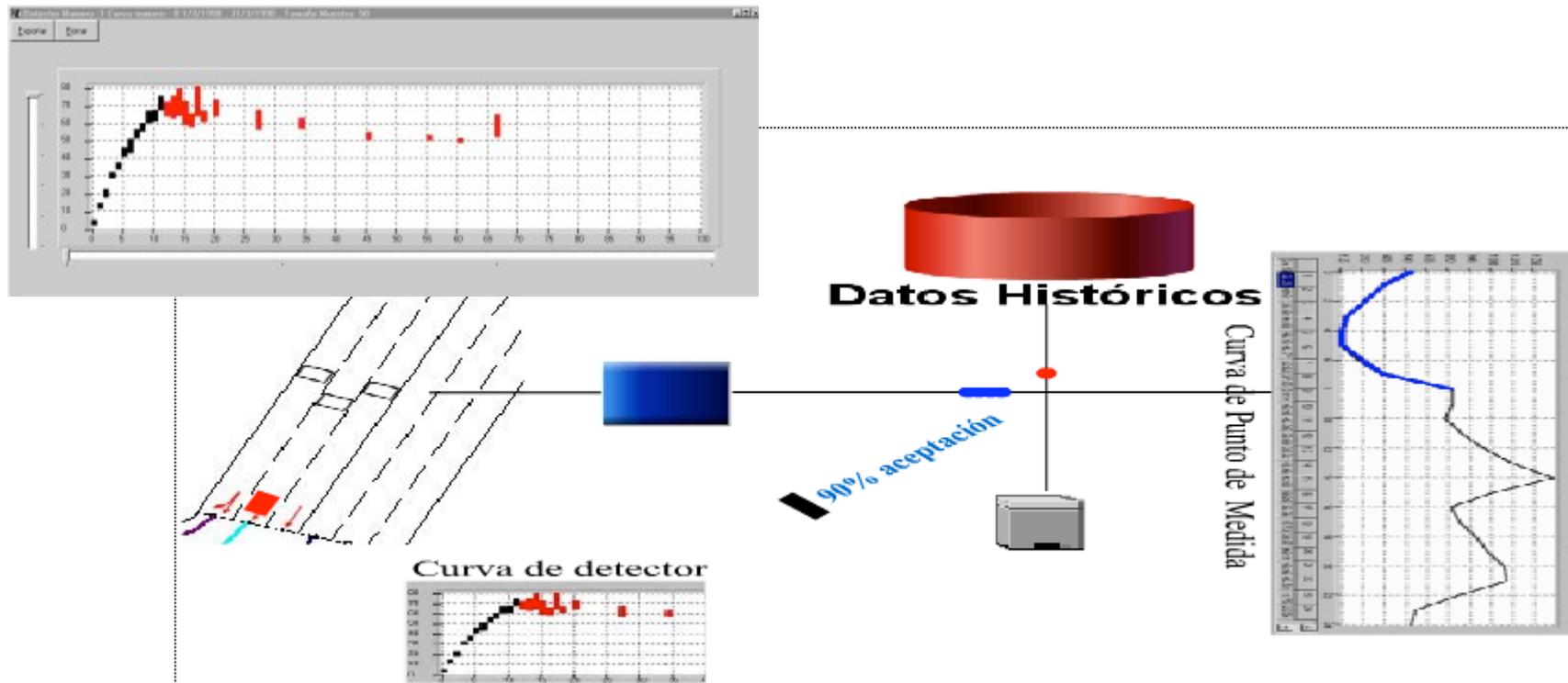


3. Metodología de estimación

3.2 Método de calibración de la matriz

Método basado en el procedimiento de asignación y compuesto por dos etapas:

1. Corrección de datos de detectores y obtención de curvas de medida



3. Metodología de estimación

3.2 Método de calibración de

2. Calibración mediante algoritmo de asignación

- Métodos basado en porcentajes de reparto

$$v_{ij} = v_{ij} + \gamma_l^{i,j} \times (vol_real_l - vol_asig_l)$$

$\gamma_l^{i,j}$: porcentaje de la demanda de tráfico v_{ij} que pasa por el detector l.

v_{ij} : demanda de tráfico total que va del nodo i al nodo j.

Vol_real_l : flujo real en el tramo detector l.

Vol_asig_l : flujo en el tramo detector l como consecuencia de la asignación.

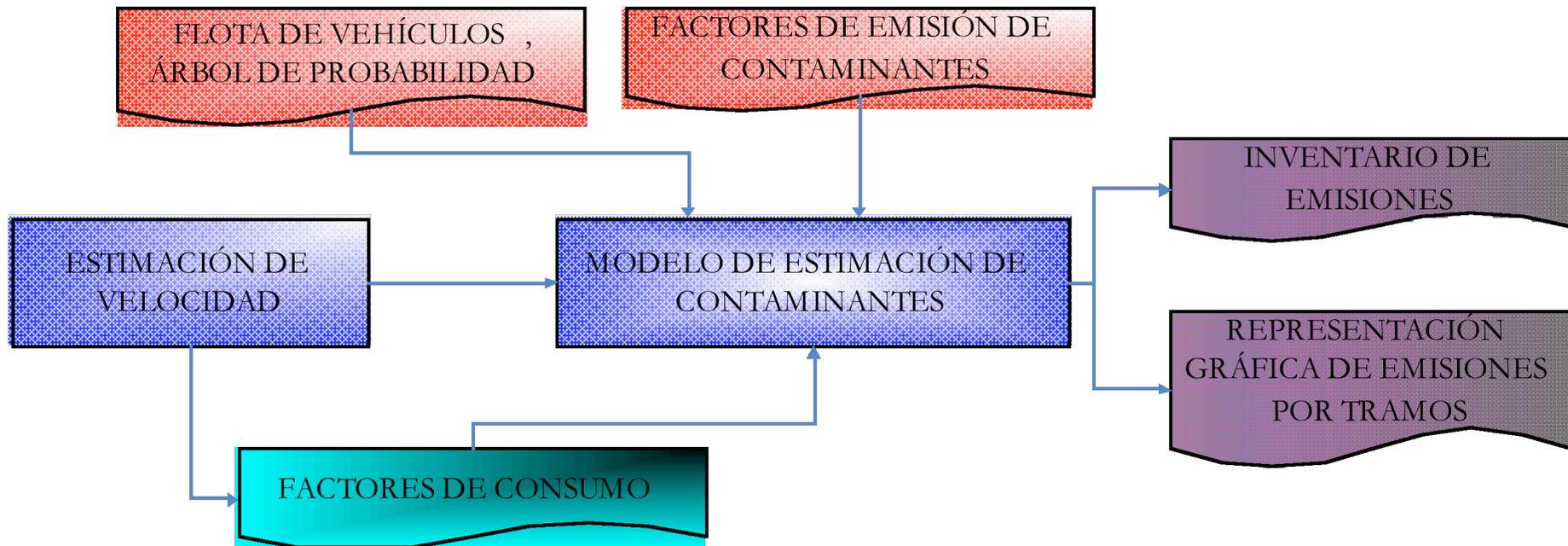
En cada iteración del algoritmo se analiza la aportación de cada par Origen-Destino a cada arco, y posteriormente se actualiza según aportación...

- Método basado en k-caminos mínimos

Engloba al anterior, con diferencia que se seleccionan los primeros k-caminos que son los que aportan mayores viajes a los tramos

3. Metodología de estimación

3.3 Estimación de la emisión de contaminantes

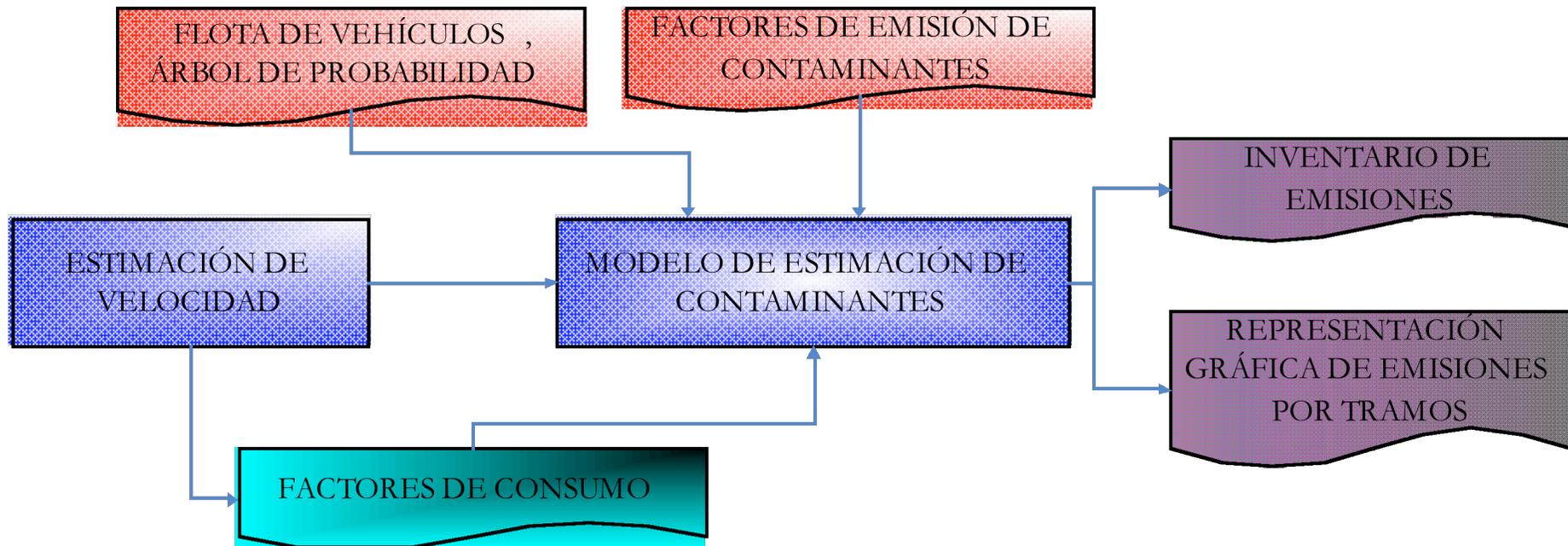


- **Árbol de probabilidad:** Análisis del parque automovilístico indicando el porcentaje de vehículos que circula de cada categoría.

Las categorías vienen fijadas por los factores de emisión considerados, combustible, cilindrada y legislación (año de matriculación)

3. Metodología de estimación

3.3 Estimación de la contaminación



- **Modelo de contaminantes.** Por cada tipo de contaminante se calcula las emisiones en cada tramo:

Emisiones por periodo de tiempo [g] = Factor de emisión[g/km] * N° de vehículos[veh.] * Kilometraje por vehículo y periodo de tiempo[km/veh]

3. Metodología de estimación

3.3 Estimación del Consumo de combustible

La guía EMEP/CorinAIR presenta una formulación muy básica estándar de consumo de combustible:

- Métodos basado en consumo instantáneo (Post, et al 1984)
- Métodos basados en modos de conducción (Alcelik, 1989)
- Métodos basados en la velocidad y características del vehículo (Ahn, 1993)
- Métodos basados en velocidad media (Herman, 1998):

$$\begin{aligned} - \quad \phi^1 &= k_1 + k_2 / v && \text{para } \leq 56 \text{ km/h} \\ - \quad \phi^2 &= k_3 + k_4 / v && \text{para } > 56 \text{ km/h} \end{aligned}$$

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Métodos de estimación de emisiones
3. Metodología de estimación
- 4. Inventario de emisiones de Sevilla**
5. Líneas futuras

4. Inventario de emisiones de Sevilla

4.1 Fase 1. Estimación de la volumen de tráfico por cada calle

Red metropolitana de 5500 tramos o calles.



4. Inventario de emisiones de Sevilla

4.2 Fase 2. Clasificación del parque automovilístico

4.2 Fase 2. Clasificación del parque automovilístico							Probabilidades Absolutas	
Turismos	0,7696	Gasolina	0,6795	Hasta 1.599 c.c.	0,5274	Antes de 1985	0,1776	0,0490
						1985-1990	0,2284	0,0630
						1991-1994	0,2092	0,0577
						1995-1997	0,1348	0,0372
						1998-2002	0,2499	0,0689
				1.600-1.999 c.c.	0,3872	Antes de 1985	0,1776	0,0360
						1985-1990	0,2284	0,0462
						1991-1994	0,2092	0,0424
						1995-1997	0,1348	0,0273
						1998-2002	0,2499	0,0506
		Más de 1.999 c.c.	0,0853	Antes de 1985	0,1776	0,0079		
				1985-1990	0,2284	0,0102		
				1991-1994	0,2092	0,0093		
				1995-1997	0,1348	0,0060		
				1998-2002	0,2499	0,0112		
Gasoil	0,3205	Hasta 1.999 c.c.	0,9147	0,2256				
		Más de 1.999 c.c.	0,0853	0,0211				
Camiones	0,1681	Gasolina	0,1929	0,0324				
		Gasoil	0,8071	0,1357				
Motocicletas	0,0623	Hasta 74 c.c.		0,1725	0,0108			
		Más de 74 c.c.		0,8275	0,0516			

4. Inventario de emisiones de Sevilla

4.3 Fase 3. Estimación de contaminantes

Funciones definidas en la guía EMEP/CORINAIR

- NO_x, COV, CO, SO₂, PST, CO₂, CH₄ y N₂O
- Funciones dependen de la velocidad y consumo de combustible

Estimación de la velocidad a partir de la intensidad

- Funciones volumen retraso asociada a cada tramo
- Longitud del tramo

Categoría. Turismos Gasolina	Norm.	Rango Velocidades	Función
> 2.0 l, de 1995 a 1997	Euro I	5-130	$0,666-0,009*V+7,55E-05*V^2$
< 1.6 l, de 1998 a 2002	Euro II	5-130	$0,20142-0,003769*V+3,889E-05*V^2$
1,6 l - 2.0 l, de 1998 a 2002	Euro II	5-130	$0,18936-0,00306*V+3,07E-05*V^2$
> 2.0 l, de 1998 a 2002	Euro II	5-130	$0,23976-0,00324*V+2,72E-05*V^2$

4. Inventario de emisiones de Sevilla

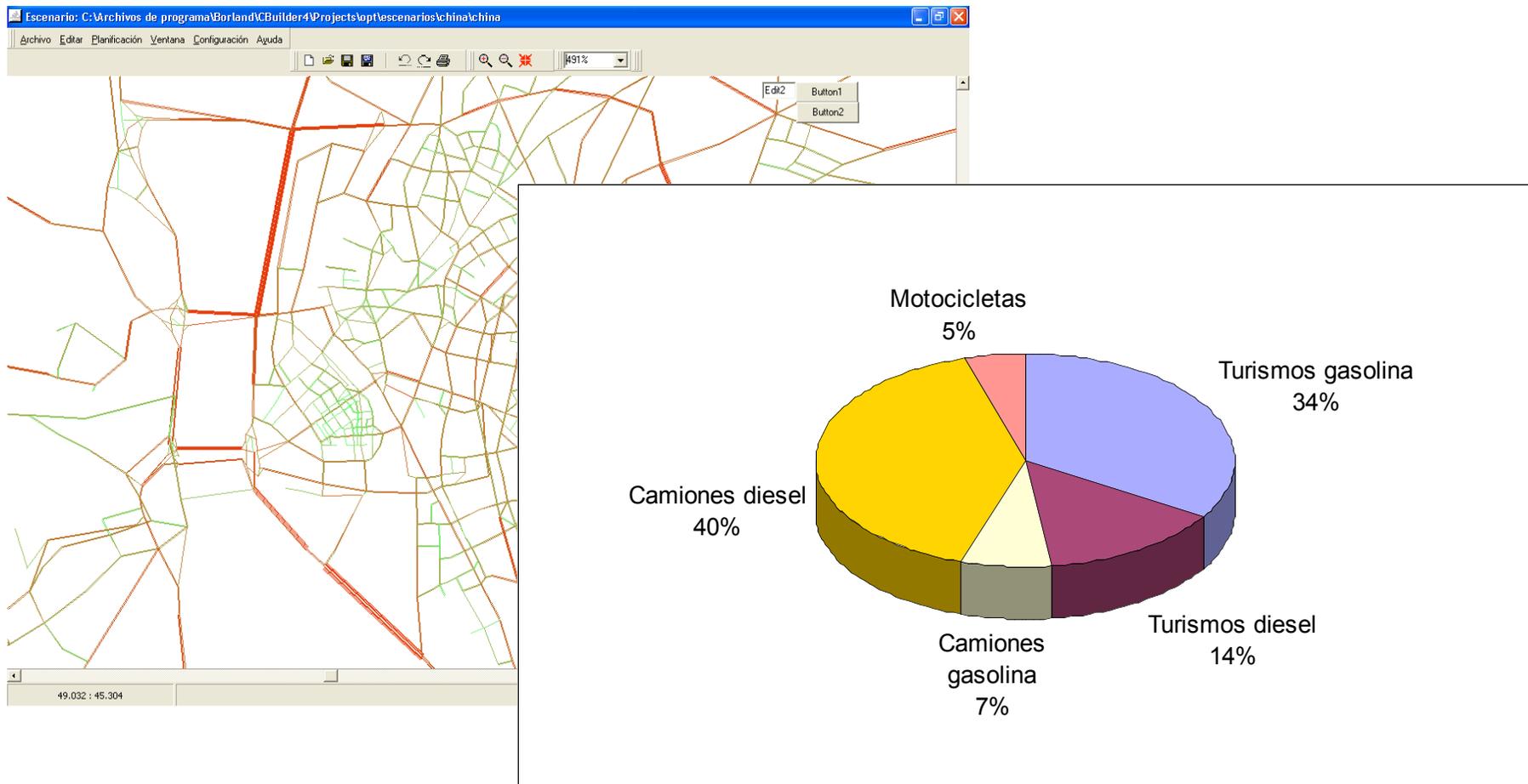
4.4 Resultados agregados

Categoría	NO_x [Kg NO ₂ /h]	CO [Kg/h]	COV [Kg CH _{1.85} /h]	SO₂ [Kg/h]	CO₂ [Kg/h]	N₂O [Kg/h]
Turismos gasolina	844,855	5878,309	677,422	13,277	141105,322	12490,09
Turismos diesel	175,698	221,514	175,698	13,219	59348,837	8084,77
Camiones gasolina	247,607	2805,172	247,527	2,643	28088,194	235,956
Camiones diesel	2830,126	1024,015	733,827	37,443	168112,272	3417,694
Motocicletas	4,314	395,708	644,811	1,855	19712,260	138,675

Emisiones debidas al tráfico vehicular en Sevilla de 8-9 h de la mañana.

4. Inventario de emisiones de Sevilla

4.4 Resultados por tramos y agregados



Emisión de GEI por categoría de vehículos

Índice

1. Introducción y objetivos
2. Métodos de estimación de emisiones
3. Metodología de estimación
4. Inventario de emisiones de Sevilla
- 5. Líneas futuras**

5. Líneas en desarrollo

5 Líneas futuras

El fomento de la multimodalidad es una de las prioridades Europeas en la lucha contra la contaminación:

- **Análisis de estrategias multimodales, diseño de rutas eco-eficientes y modelos de asignación multimodal**
- **Diseño de entornos macroscópicos de formación de ozono**
- **Emisiones de ruido e impacto sobre la población**
- **Incorporar los costes de contaminación a los modelos**

Agradecimientos

El siguiente trabajo ha sido desarrollado en el marco del proyecto “**Diseño y desarrollo de métodos de estimación y mejora de la eficiencia energética y calidad medioambiental en entornos ATMS-ATIS**” financiado por el Ministerio de Fomento en la convocatoria 2006.



Grupo de Tecnología de la Información e Ingeniería de Organización.
Dpto de Organización Industrial y Gestión de Empresas.
Universidad de Sevilla

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



Jesús Racero,
Fernando Guerrero,
Ignacio Eguía