

# **METODOLOGÍA DEL MODELO DE ASIGNACIÓN EN EL ESTUDIO DE TRÁFICO DE VIGO**

E.Codina<sup>1</sup>, L. Montero<sup>1</sup>, A. López<sup>2</sup>, J.García<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Universitat Politècnica de Catalunya. Departament EIO*

<sup>2</sup>*Universitat Politècnica de Catalunya. Departament EM*

## **1. INTRODUCCIÓN**

El modelo de transporte privado desarrollado para la ciudad de Vigo persigue una mejora de las condiciones de circulación. El estudio desarrolla diversos tipos e alternativas. Un primer grupo de alternativas aborda reordenaciones viales donde se evalúan diversas reconversiones de vías de doble sentido a vías de sentido único, así como la redistribución más conveniente de los espacios de aparcamiento para incrementar la capacidad vial. Un segundo grupo de alternativas evalúa el impacto de la construcción de la primera fase del trazado de un cinturón de circunvalación urbano. El estudio efectuado combina las etapas metodológicas clásicas, con la innovación en el procedimiento de construcción de los modelos derivada de las herramientas empleadas.

La construcción semiautomática de modelos de grafos de transporte se ha realizado con el editor gráfico de redes TEDI del entorno de simulación de tráfico GETRAM que permite, a partir de una cartografía digitalizada, la definición ágil de las características de las distintas secciones de la red modelizada en un ámbito de estudio ( carriles, anchura, velocidad, longitud, capacidad ). Los modelos de redes de tráfico en este sistema pueden transformarse fácilmente en modelos EMME/2 gracias a una utilidad propia del GETRAM (GETRAM es una marca registrada de Transport Simulation Systems (referencia 8), desarrollado inicialmente en la UPC (referencia 2) y EMME/2 es una marca registrada de INRO (referencia 4) ).

La obtención de matrices de movilidad diarias actualizadas para el ámbito de estudio se ha realizado a partir de los contajes obtenidos en un trabajo de campo exhaustivo, la definición de las matrices de movilidad base a partir de los datos de un estudio previo y la actualización de la movilidad base a los contajes mediante las macros auxiliares incluidas en el paquete de planificación EMME/2. El modelo de planificación EMME/2 ha permitido valorar la demanda y los puntos críticos de las alternativas propuestas, así como facilitar las matrices de movilidad actualizadas.

## **2. MODELO DE TRANSPORTE PRIVADO.**

El modelo de transporte privado para la ciudad de Vigo contempla básicamente el término municipal de Vigo y un área de influencia estratificada en dos niveles. El primer nivel y más próximo, comprende los municipios de Baiona, Cangas, Gondomar, Moaña,

Mos, Nigran, Porriño, Redondela, Sotomayor y Tuy. El segundo nivel, más externo, agrupa territorios que van desde el resto de la provincia hasta el extranjero. La zonificación adoptada para el modelo de transporte privado asigna un total de 63 zonas al municipio de Vigo, 10 zonas para el primer nivel del área de influencia, una para cada uno de los municipios que lo constituyen y 4 zonas para el segundo nivel del área de influencia, sumando así un total de 77 zonas.

Para modelizar tanto el estado actual de los flujos de vehículos para transporte privado como el impacto de un conjunto de actuaciones en el término municipal de Vigo se ha adoptado el modelo de equilibrio implementado por el paquete de planificación de transporte urbano EMME/2 (referencia 3). Para el caso de que dichos flujos estén constituidos por un solo tipo de vehículo, el modelo de equilibrio seguido por EMME/2 equivale a un problema de programación matemática convexo conocido como *problema de Beckmann* (referencia 1).

Los datos que deben proporcionarse al modelo son: *a*) un grafo direccional como modelización de la red viaria constituido por un conjunto de nodos  $N$  y un conjunto de arcos  $A$ , *b*) la tabla de viajes  $d_{ij}$  entre las distintas zonas  $(i,j)$  en un periodo horario determinado o matriz origen-destino (matriz O-D en los que sigue) y *c*) un conjunto de funciones volumen-demora que proporcionan el tiempo de viaje en un arco de la red base dependiendo de las características propias de arco y del volumen de vehículos que finalmente el modelo asigne a cada arco. Denominaremos a dicho grafo *red base*. Como resultado, el modelo proporciona el flujo total  $v$  de vehículos en cada arco como consecuencia del reparto de para cada pareja  $(i,j)$  de zonas, de los flujos de vehículos sobre los diferentes caminos que unen la zona  $i$  con la zona  $j$ . Dicho reparto se efectúa de forma que los tiempos de viaje sobre los diferentes caminos tiendan a igualarse.

Para la edición de la red viaria de la situación base se ha utilizado el editor de redes TEDI del entorno GETRAM. Las redes de tráfico modelizadas mediante el entorno GETRAM pueden ser traducidas a redes EMME/2 de acuerdo con el conjunto de reglas básicas siguientes : *a*) las secciones GETRAM son traducidas directamente a arcos del modelo EMME/2 con el mismo número de carriles y longitud, *b*) las intersecciones y cruces GETRAM son traducidas a nodos regulares EMME/2, *c*) los centroides GETRAM son traducidos a centroides EMME/2 utilizando la misma numeración y *d*) los movimientos de giro prohibidos o penalizados en el modelo GETRAM son incorporados en la tabla de movimientos del modelo EMME/2.

Para obtener la matriz origen-destino de viajes en transporte privado se ha seguido el procedimiento de estimación a partir de un conjunto de volúmenes de tráfico observados que se describe en la sección 0.

El grafo del modelo EMME/2 fue inicialmente trazado mediante el editor de redes de tráfico GETRAM (referencia 2). Cada arco orientado del grafo está definido por una pareja de nodos  $(i,j)$  y posee un conjunto de parámetros predeterminados por 1 tipo de arco. Las dimensiones del grafo para el modelo EMME/2 son las siguientes:

Número de centroides:	77
Número de nodos:	1201
Número total de arcos:	2726
Número de arcos no conectores	2238
Longitud total de carriles	

en arcos no conectores:

558.98 km

La figura 1 muestra una representación gráfica del grafo o red base, excluyéndose los conectores y centroides para mayor claridad.



**Figura 1.** Representación gráfica del grafo o red base.

### 2.1 Estimación de matrices O-D de transporte privado.

Para estimar una matriz actualizada (1997) de viajes en transporte privado para un periodo de 24 horas se ha seguido el método de Spiess (referencias 6 y 7). Se ha partido de una matriz O-D en *vehículos equivalentes* calculada a partir de las matrices O-D para el año 1993 para los diferentes tipos de vehículos, adoptándose la equivalencia 2.5 vehículos ligeros = 1 vehículo pesado y 2 motos = 1 vehículo. También se han tenido en cuenta datos sobre movilidad tomando como referencia la “Encuesta domiciliaria de movilidad en la ciudad de Vigo y su área de influencia” de 1993 (referencia 4). Asimismo se han tenido en cuenta los aforos para establecer una correlación entre el número de vehículos ligeros y pesados en la red.

Se han utilizado un total de 237 puntos de aforo para la estimación de la matriz O-D de viajes-vehículo en transporte privado. De entre ellos, 89 han sido efectuados manualmente pudiéndose registrar el número de vehículos pesados. Mediante regresión lineal se ha podido relacionar el número de vehículos totales  $n_t$  con el número de vehículos pesados  $n_p$  en los diferentes puntos de aforo manual resultando, con un coeficiente de correlación de 0,58 (muy pobre):

$$n_p = a + b n_t = 2.134 + 0.0815 n_t \quad (1)$$

El método de Spiess es adecuado para el caso en que las proporciones de reparto  $p_{i,j}^a$  entre los diferentes caminos que unen un par de zonas  $(i,j)$  no pueden considerarse constantes sino que dependen del nivel de congestión, dependiendo éste directamente de la matriz O-D de viajes. Es decir,  $p_{i,j}^a = p_{i,j}^a(T)$ , ( $T = (d_{i,j})$ ), según una asignación de equilibrio. El método de Spiess H. consiste en minimizar el error cuadrático entre los volúmenes  $u_a$  observados o aforos en un subconjunto  $\hat{A}$  de arcos del grafo y los volúmenes  $v_a(T)$  resultantes de asignar la matriz O-D en ese mismo subconjunto de arcos. Más concretamente el problema abordado por Spiess H. es:

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } F(T) &= \sum_{a \in \hat{A}} (u_a - v_a(T))^2 \\ v_a(T) &= \sum_{i,j} p_{i,j}^a(T) T_{i,j} \quad (2) \\ (p_{i,j}^a &= \text{Proporciones resultado de} \\ &\text{asignacion de equilibrio}) \end{aligned}$$

El problema (1) es un problema de programación matemática binivel puesto que los volúmenes  $v_a(T)$  se obtienen tras resolver el problema de Beckman. El método de Spiess consiste en calcular una dirección de descenso para la función  $F(T)$ , la cual va aproximándose progresivamente al gradiente de  $F(T)$  a medida que nos acercamos a la solución del problema. Dicho procedimiento fue propuesto inicialmente como heurístico. Sin embargo recientemente ha podido demostrarse que resulta convergente a una solución de (2). Este procedimiento para la resolución del problema (1) está disponible en el paquete de planificación de transporte EMME/2.

### 3. RESULTADOS Y MODELIZACION DE ALTERNATIVAS

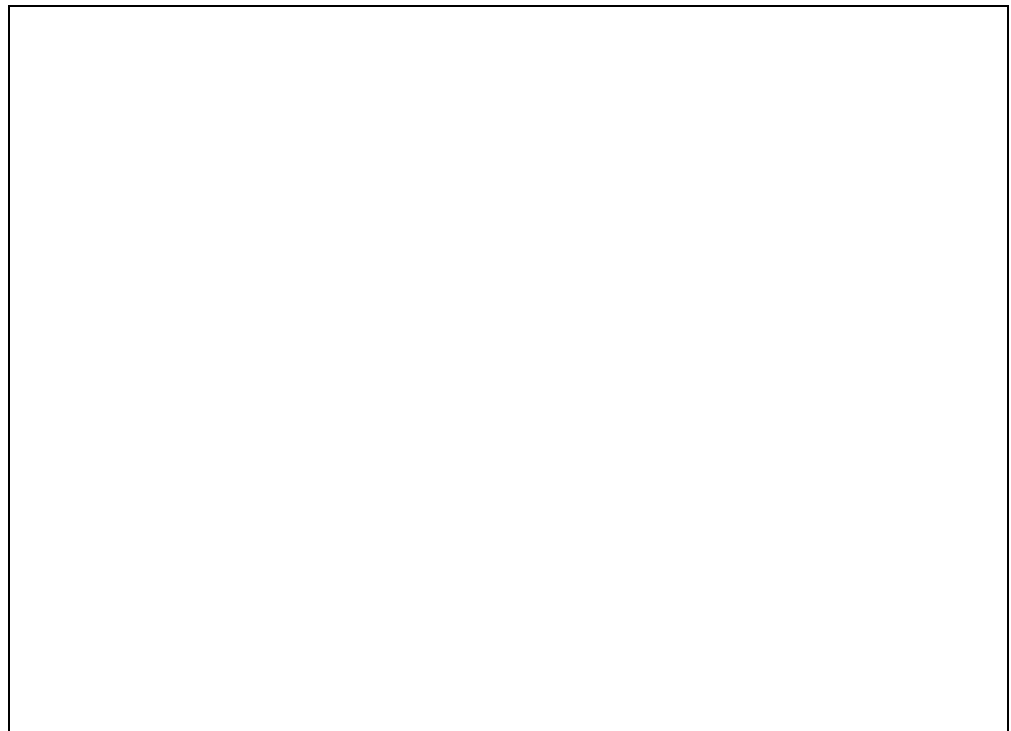
Los volúmenes de tráfico en vehículos equivalentes resultantes del proceso de ajuste (2) sobre la *red base* descrito en apartado anterior aparecen en la Figura 2. El promedio de los cocientes volumen diario/capacidad en 18 horas es de 0,27. La velocidad media en toda la red modelizada es de 30,9 km/h. La distribución de los tiempos de viaje aparece en la Figura 3.

Una vez calibrada la situación base se ha procedido a la modelización de un conjunto de alternativas entre las que destacan: a) inclusión de un tramo de un cinturón de circunvalación, b) un conjunto de reordenaciones viales en Av. Castrelos-Plaza América y en el casco urbano central y c) una evaluación del tráfico de pesados sobre la ciudad.

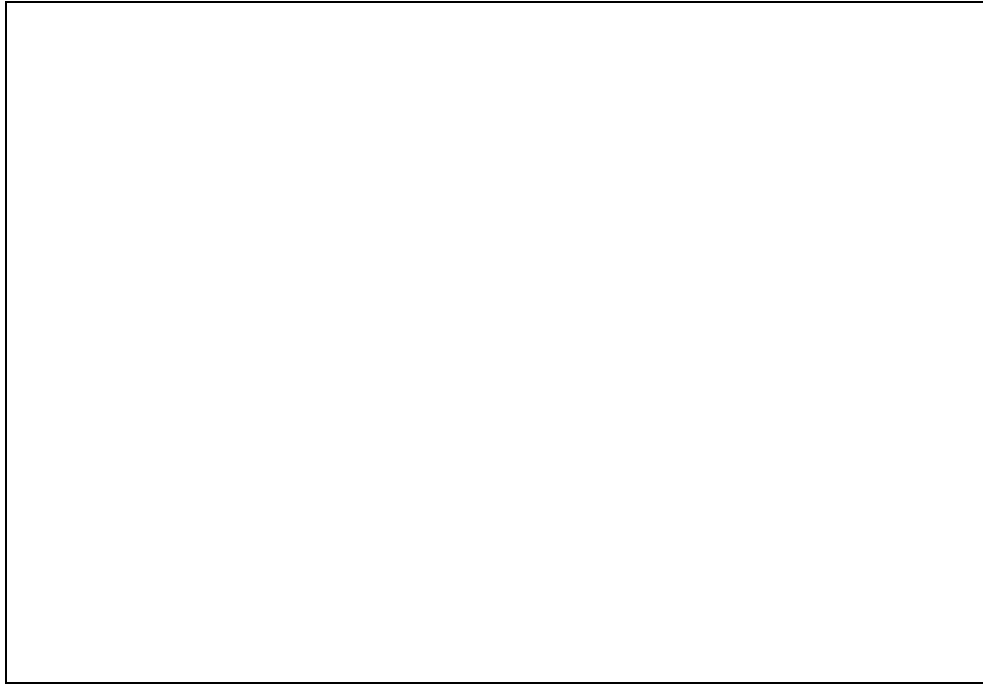
Al modelizar la inclusión del tramo del cinturón de circunvalación se han analizado los efectos de dicha inclusión sobre las vías más importantes, tales como la Gran Vía, la avenida Castrelos, la avenida Alcalde Gregorio Espino, la avenida Madrid etc. comparándose los volúmenes de tráfico y su procedencia antes y después de la inclusión del cinturón. Las figuras 5 y 6 son ilustrativas de estas comparaciones y la figura 7 muestra el resultado de una de las reordenaciones viales en Av. Castrelos-Pza. América.



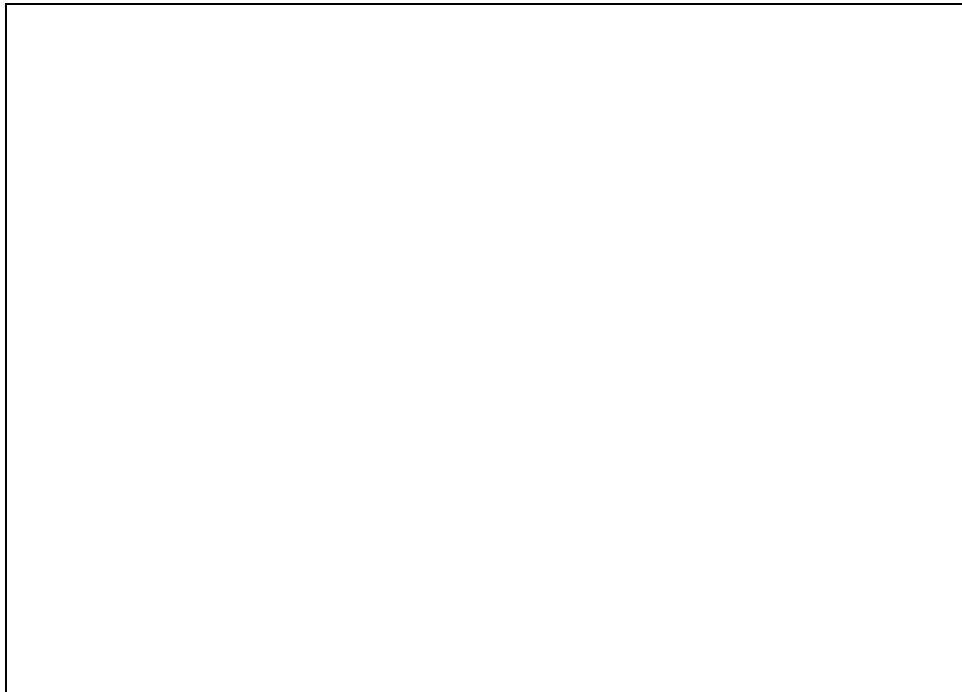
**Figura 2.** Volumen diario de tráfico en vehículos equivalentes. Detalle del casco urbano.



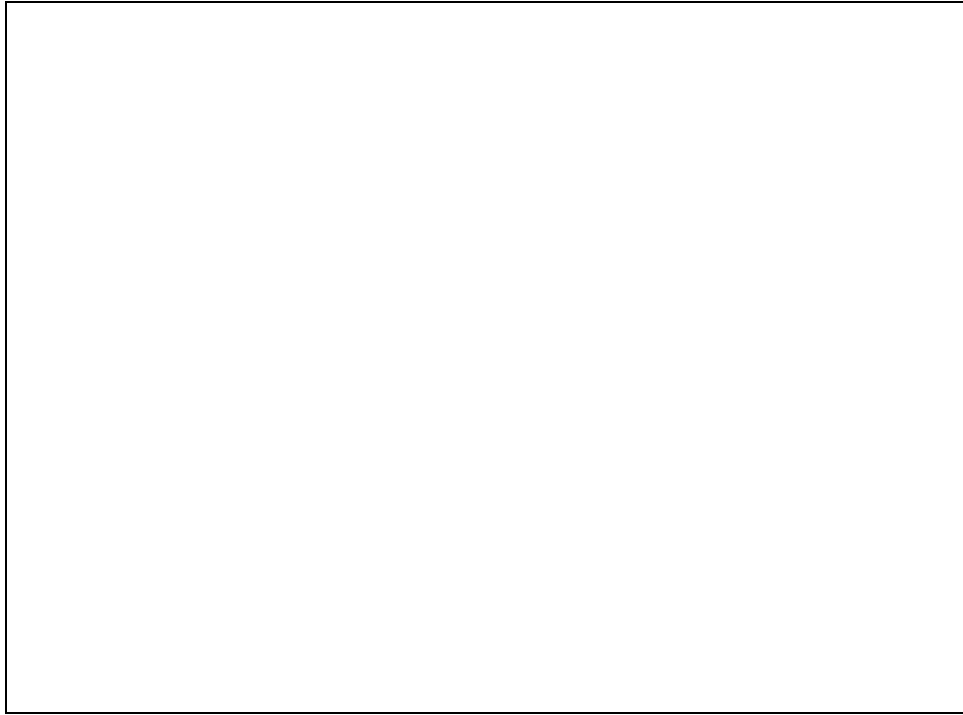
**Figura 3.** Distribución de los tiempos de viaje  $u_{ij}$  en vehículo privado entre las distintas parejas de zonas  $(i,j)$ . El promedio de estos tiempos de viaje es de 19,9 minutos con una desviación de 10,3 minutos.



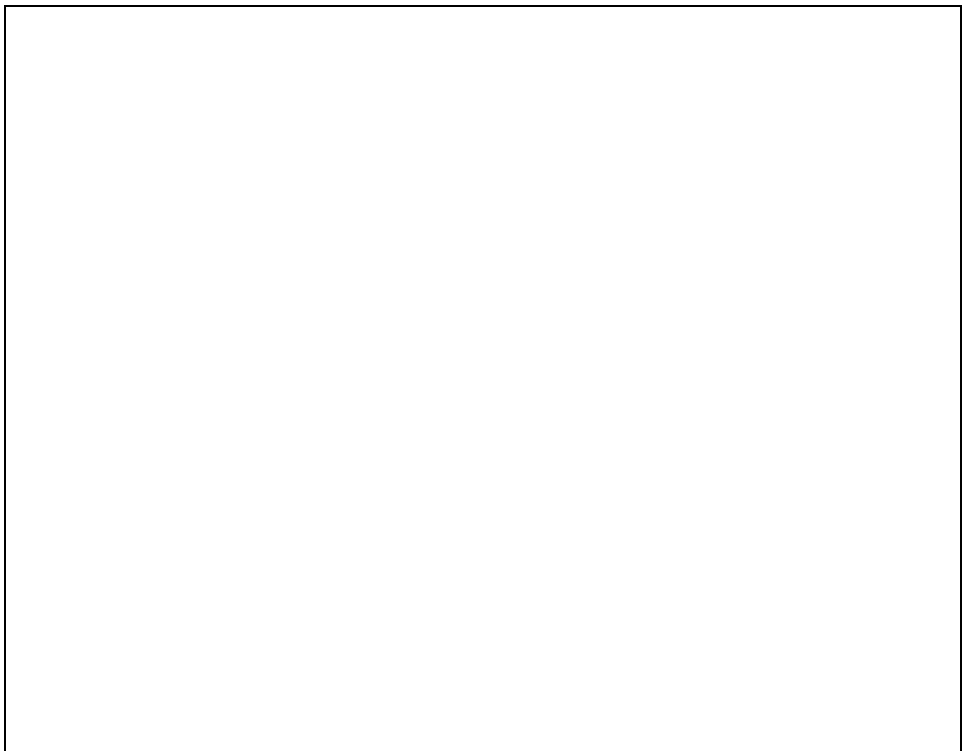
**Figura 4.** Volúmenes de vehículos pesados en dos horas obtenidos a partir de los aforos manuales. El método de ajuste para obtener la matriz O/D de vehículos pesados es el descrito en la sección 2. Tras obtener dicha matriz y asignarla a la red la correlación entre los volúmenes asignados y los volúmenes obtenidos en los puntos de aforo manual (volúmenes en 2 horas) presentó un coeficiente de determinación  $r^2 = 0'778$ .



**Figura 5.** Utilización de la Gran Vía (dirección Plaza España) tras la implantación del cinturón de circunvalación.



**Figura 6.** Utilización del cinturón de circunvalación en los dos sentidos.



**Figura 7.** Una de las reordenaciones viales propuestas en Av. Castrelos-Pza. América.

#### 4. REFERENCIAS

1. Beckmann M., Mc Guire C.B., Winsten C.B. (1956). *Studies in the Economics of Transportation*. Yale University Press, New Haven CT. 1956
2. Grau, R., Barceló J. “*The Design of GETRAM*”. UPC. Departament de EIO. LIOS. UPC. Document de Recerca DR 93/02. (1993)
3. INECO . “*Encuesta Domiciliaria de movilidad en la ciudad de Vigo y su área de influencia.*” (1993)
4. INRO Consultants, “*EMME/2 User’s Manual*”. Software Release 6.0 (1992)
5. Nguyen, S. “Estimating an O-D Matrix from Observed Flows”. *Transportation Planning Models*. Ed: M. Florian. North Holland. pp. 363-380. 1984
6. Spiess, H. “*A Gradient Approach for the O-D Matrix Adjustment Problem*”. Centre de Recherche sur les Transports de Montréal. Publication 693, May 1990.
7. Spiess, H. “A Maximum Likelihood Model for Estimating Origin-Destination Matrices”. *Transportation Res.-B*. Vol. **21B**, 395-412.(1987)
8. TSS. “*AIMSUN2 User’s Manual*”. Software Release 1.0 (1998)