

METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE ALTERNATIVAS EN EL DELTA DEL LLOBREGAT

L. Montero, E. Codina y J. Barceló

*¹Dept. Estadística i Investigació Operativa.
Universitat Politècnica de Catalunya
C/ Pau Gargallo 5 08028 Barcelona.*

P. Barceló

*TSS (Transport and Simulation Systems)
C/ Tarragona 110-114
08015-Barcelona*

1. RESUMEN

El Delta del Llobregat acoge en la actualidad la implantación de una nueva autovía y la remodelación de infraestructuras existentes determinada por la construcción de la denominada *Pata Sur* (acceso al Aeropuerto de Barcelona, el *Nus del Llobregat* y el *Nus de Bellvitge*). El estudio de planificación llevado a cabo combina las etapas de desarrollo clásicas, con la innovación metodológica derivada de las herramientas empleadas.

La construcción semiautomática de modelos de grafos de transporte se ha realizado con el editor gráfico de redes 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). A partir del formato interno GETRAM se han podido generar: los modelos de grafos de la situación actual y de las alternativas de estudio en formato EMME/2, y los submodelos de puntos críticos a estudiar mediante la simulación microscópica con AIMSUN2.

El modelo de planificación en EMME/2 ha permitido cuantificar la demanda actual, evaluar las alternativas propuestas y sus puntos críticos, así como facilitar las matrices de movilidad y proporciones de giro de los subámbitos a analizar mediante simulación microscópica.

2. EL ENTORNO GETRAM

El entorno GETRAM consiste en un conjunto de herramientas orientadas a la edición gráfica de modelos microscópicos de redes de tráfico para su simulación mediante el sistema AIMSUN2. Para la elaboración del modelo de redes complejas es posible la utilización de imágenes en formato *.dxf* a modo de "background" (ver Figura 1). Dicho sistema es una herramienta que permite reproducir condiciones reales de tráfico para la evaluación de sistemas de control y semaforización. Como resultados, AIMSUN2 proporciona una representación gráfica animada de la evolución de los flujos de tráfico y un conjunto de estadísticas (flujos medios, velocidades, tiempos de viaje, paradas etc.).

Los datos de entrada requeridos por el sistema son: a) una descripción de la red, b) planes de control de tráfico y c) condiciones de tráfico compuestas por volúmenes en las secciones de entrada, proporciones de giro y el estado inicial de simulación.

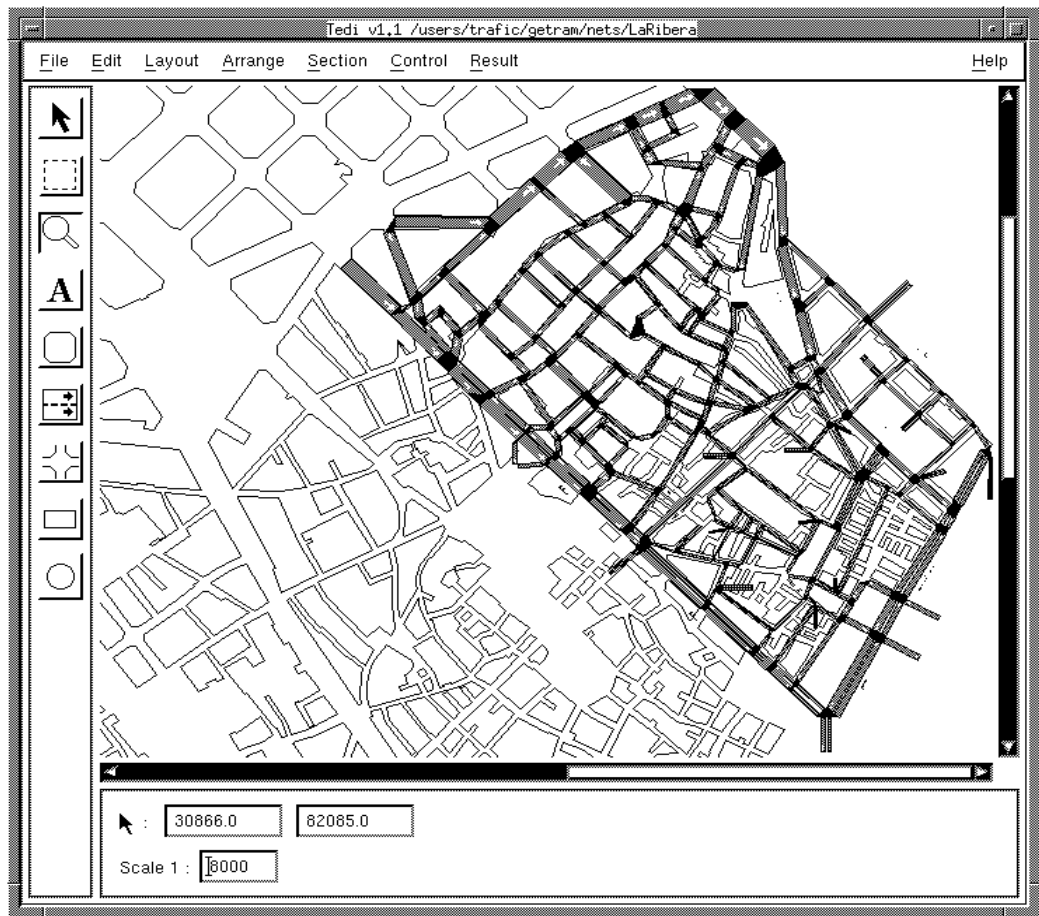


Figura 1. Modelo microscópico de una red obtenida por GETRAM sobre el *background* que se ha utilizado para editarlo. (Estudio de Ciutat Vella, Barcelona)

En la actualidad se ha extendido de forma que permite la compatibilización e integración de su modelo microscópico con modelos macroscópicos tales como EMME/2. Así, dada una red modelizada mediante el editor de GETRAM (Figura 1) (red GETRAM en lo que sigue) es posible obtener de forma automática un modelo macroscópico de la red (red EMME/2) apto para ser incorporado en el sistema EMME/2 compuesto por un grafo $G=(N,A)$ y el conjunto de giros permitidos en cada nodo. El grafo EMME/2 está en correspondencia con la red GETRAM de forma que una sección se corresponde con un arco. Las secciones de entrada/salida de la red GETRAM pueden convertirse opcionalmente en centroides y conectores de la red EMME/2. La Figura 2 muestra el modelo macroscópico, obtenido a través de GETRAM, del área de estudio del Delta del Llobregat, una vez asignado por el sistema EMME/2; obsérvese que se ha evitado una representación detallada de las tramas urbanas de los municipios afectados.

En el apartado 3.1, se describe el detalle del proceso de modelización de la demanda.

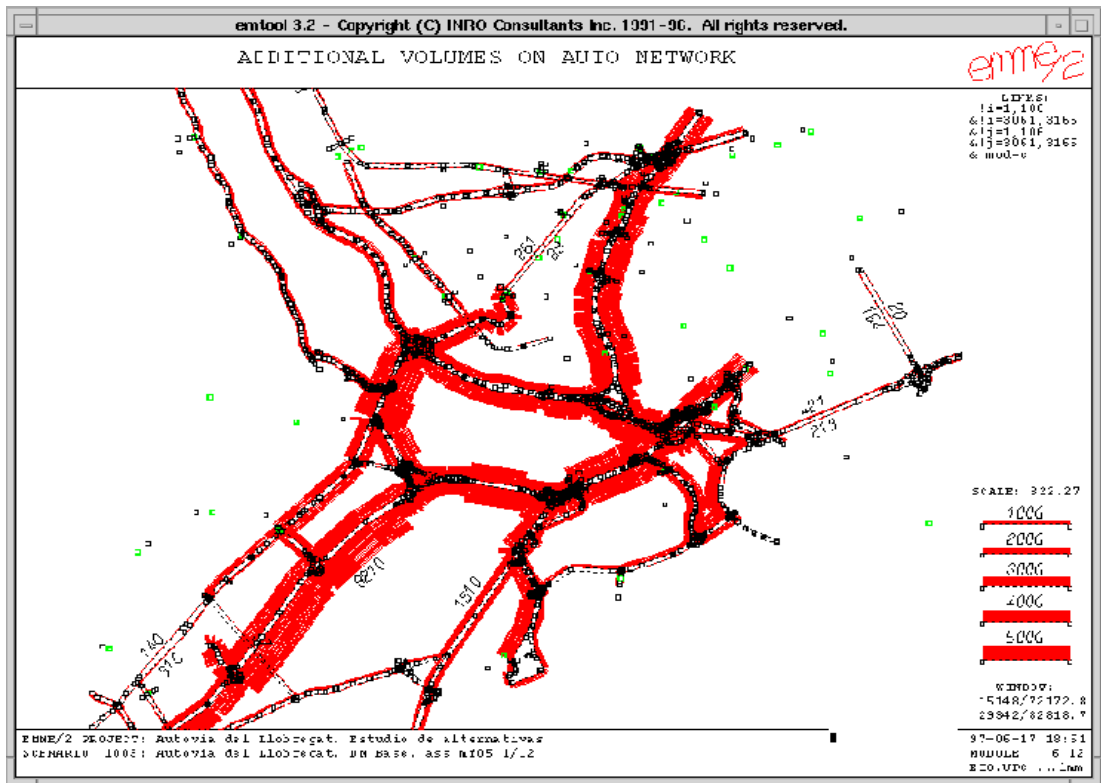


Figura 2. Representación sobre la red macroscópica creada a partir de GETRAM de los volúmenes asignados por EMME/2 (ámbito de estudio global)

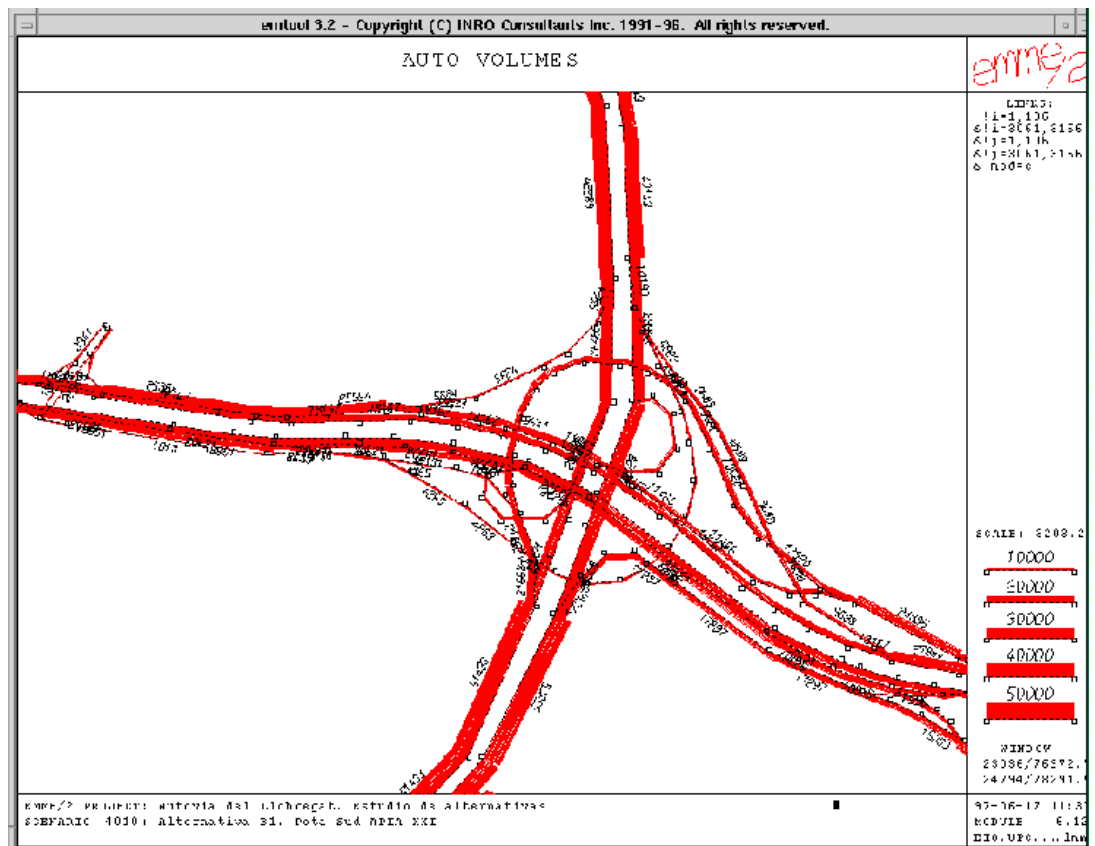


Figura 3. Representación sobre la red macroscópica de los volúmenes asignados sobre una alternativa del *Nus del Llobregat*

Una vez obtenidos estos volúmenes y las proporciones de giro en los nodos de la red es posible utilizarlos como input para el simulador AIMSUN2 para obtener mejores estimaciones de tiempos medios de viajes, demoras, número de paradas etc.

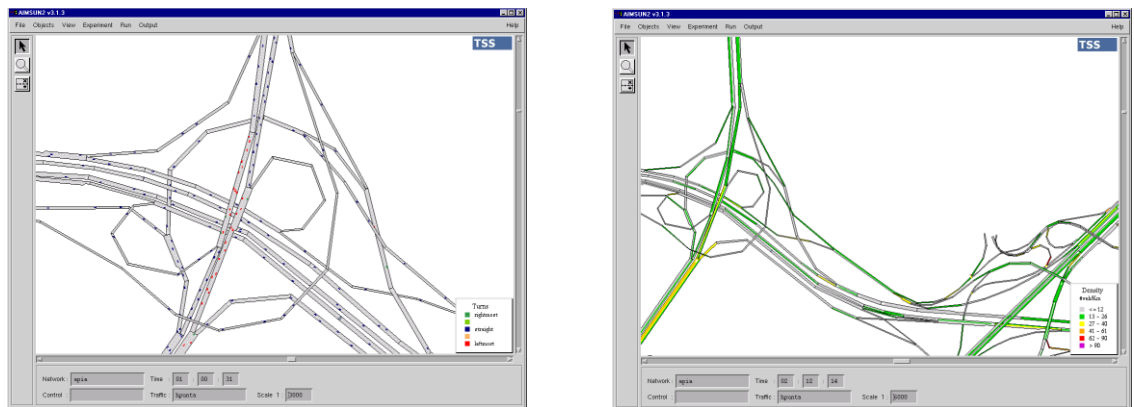


Figura 4. Simulación microscópica mediante AIMSUN2 de volúmenes sobre una red EMME/2 obtenida mediante el editor del sistema GETRAM (*Nus del Llobregat*).

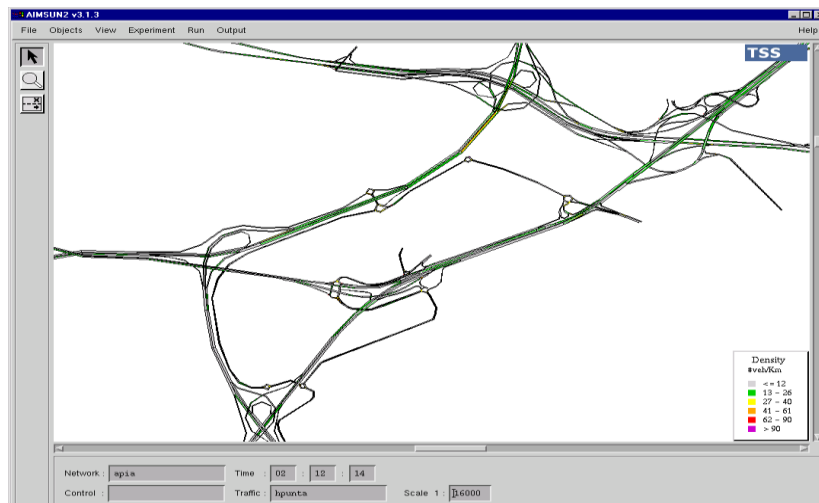


Figura 5. Simulación microscópica mediante AIMSUN2 de volúmenes sobre una red EMME/2 obtenida mediante el editor del sistema GETRAM (*Pata Sur ApiaXXI*).

3. PROCESO DE MODELIZACIÓN

En principio deberán considerarse dos etapas: a) modelización de la situación base del ámbito de estudio y b) desarrollo de alternativas.

3.1 Modelización del estado inicial

Se ha llevado a cabo con varios escenarios (escenarios base), cada uno de ellos válido para un período diario (periodo punta o día medio) y para un día tipo (laborable, fin de semana etc.). Para cada uno de dichos escenarios se han efectuado contajes de tráfico y una estimación posterior de la demanda O-D actualizada. El conjunto de arcos con observaciones debe ser como mínimo, para cada escenario inicial, del orden del 15 % del número de arcos que componen el modelo y es conveniente que las observaciones cubran diferentes órdenes de magnitud (desde pocos cientos hasta tramos con algunos millares de vehículos/hora). También resulta conveniente que los volúmenes observados estén desglosados por tipo de vehículo (moto, comercial, coche) aunque no siempre es posible obtener esta información.

Durante la elaboración del modelo de red GETRAM resulta especialmente importante tener presente cual va a ser la zonificación del área. Las secciones de entrada/salida de flujo internas al área deben estar en correspondencia con los lugares de aparcamiento. Al crear la red EMME/2 a partir de la red GETRAM se recomienda hacerlo sin convertir directamente las secciones de entrada/salida a centroides/conectores para agregar las entradas/salidas de flujo en el sistema EMME/2 en subzonas. Sobre la red EMME/2 generada deberán entonces a) examinarse y corregirse las capacidades por carril y b) introducir en los arcos correspondientes los volúmenes medios observados en equivalentes auto para el período.

Para la estimación de la matriz O-D para el período horario considerado mediante la *macro EMME/2 demadj* se ha tomado como tentativa inicial una matriz O-D procedente de la EMO91. Resulta imprescindible examinar el ajuste obtenido de los volúmenes observados debido a que éstos pueden estar afectados de inconsistencia o error y ayuda a detectar inconsistencias en la propia modelización. En general los volúmenes de elevado orden de magnitud resultan excelentemente ajustados, mientras que entre los de orden de magnitud bajo acostumbra a presentarse errores notables, el error relativo medio entre volúmenes observados y ajustados se sitúa por debajo del 20% en el presente estudio.

Inicialmente, los métodos clásicos de estimación de matrices O-D comunmente utilizados en los estudios de transporte fueron pensados para cubrir situaciones promedio a partir de estimaciones estadísticas de las generaciones y atracciones totales de las subzonas en que está subdividida el área en estudio. Adicionalmente, éstos pueden tener en cuenta o no la existencia de una matriz de viajes anterior que deba actualizarse. Resultan conocidos el algoritmo biproporcional de Furness (1965) para la obtención de factores de crecimiento α_i , β_j con los que, partiendo de una matriz de viajes $t_{i,j}$, pueda recalcularse una matriz $T_{i,j}$ según $T_{i,j} = \alpha_i \beta_j O_i D_j t_{i,j}$ que satisfaga los totales de atracciones y de generaciones (totales marginales):

$$\sum_j T_{i,j} = O_i, \quad \sum_i T_{i,j} = D_j. \quad (1)$$

Este algoritmo ya fue utilizado por Kruithof (1937) en redes telefónicas. También resultan conocidos los modelos gravitacionales generalizados. Tales modelos suponen que la matriz O-D $T_{i,j}$ además de satisfacer los totales marginales (1), está afectada por una determinada función del coste generalizado $c_{i,j}$ que supone viajar del origen i hasta el destino j . Así:

$$T_{i,j} = \alpha_i \beta_j O_i D_j f(c_{i,j}) \quad (2)$$

Tales modelos pueden reobtenerse bajo el enfoque de la maximización de entropía planteándose un problema de programación no lineal cuyas condiciones de primer orden reproducen el modelo de Furness y el modelo. Comúnmente se denomina *biproporcionales* a los modelos que satisfacen los totales marginales (1). A estos modelos pueden añadirse restricciones adicionales sobre los elementos $T_{i,j}$ de la matriz O-D que establezcan un determinado rango de costes generalizados, dando lugar a los modelos *multiproporcionales*.

En los primeros modelos para la estimación de matrices O-D que aprovechan un conjunto de contajes en los arcos se supuso que la matriz sigue un modelo gravitacional generalizado según (2). Posteriormente, se han desarrollado modelos para estimar matrices O-D que utilizan volúmenes observados en un subconjunto de arcos de la red y satisfacen totales marginales (1) bajo criterios de maximización de entropía y de minimización de información (Van Zuylen y Willumsen). En estos modelos se supone que las proporciones de reparto de los viajes entre las diferentes rutas que unen un par origen-destino seguidas por los conductores en la red son constantes e independientes del nivel de congestión, es decir que si v_a es el volumen de tráfico en el arco a , éste viene dado por: $v_a = \sum_{i,j} p_{i,j}^a T_{i,j}$, siendo $p_{i,j}^a$ la fracción *constante* de viajes con origen i y con destinación j que atraviesa el arco a de la red. Estos modelos se encuentran implementados en el módulo ME2 del paquete SATURN.

El caso de proporciones de reparto $p_{i,j}^a$ no constantes y dependientes del nivel de congestión, $p_{i,j}^a = p_{i,j}^a(\mathbf{T})$, ($\mathbf{T} = (T_{i,j})$), según una asignación de equilibrio aparece tratado por Jörnsten, K. y Nguyen, S. Posteriormente, Spiess ha planteado un método heurístico para resolver el problema de calcular la matriz de viajes $T_{i,j}$ que minimiza el error cuadrático entre los volúmenes u_a observados en un subconjunto \hat{A} de arcos y los volúmenes $v_a(\mathbf{T})$ resultantes de asignar la matriz O-D siguiendo un equilibrio de usuario. Este procedimiento está disponible en el paquete de planificación de transporte EMME/2.

3.2 Modelización de Alternativas

Mediante GETRAM se han preparado las redes correspondientes a las alternativas de estudio y se han transformado automáticamente en redes EMME/2 sobre las que se han asignado las anteriores matrices O-D base obtenidas mediante el proceso detallado en el apartado 3.1. El paquete EMME/2 resulta eficaz en la evaluación de indicadores macroscópicos y estudios de corredores, gracias a las opciones adicionales de los módulos de asignación. Finalmente una vez asignados los escenarios futuros se importan al sistema GETRAM los flujos de entrada y las proporciones de giro en los arcos de los subámbitos de los que desee realizar un estudio detalle por simulación microscópica.

4. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Las actuaciones estudiadas, de manera aislada y combinadamente, son:

- Autovía del Baix Llobregat, por el margen derecho del río Llobregat, desde Sant Joan Despí hasta Martorell, paralela a la autopista A-2.
- Pata Sur, propuesta INOCSA, conexión entre el *Nus del Llobregat* (requiere remodelación), la autopista A-16 y el Aeropuerto del Prat.
- Pata Sur, propuesta APIA XXI, conexión entre el *Nus del Llobregat* (requiere remodelación), la autopista A-16 y el Aeropuerto del Prat.
- Remodelación del *Nus de Sant Boi*.
- Remodelación del *Nus de Bellvitge*.

Las alternativas resultantes evaluadas en el estudio de planificación macroscópico con EMME/2 han sido:

- ALTERNATIVA 1.- Autovía del Llobregat
ALTERNATIVA 2.- Pata Sur INOCSA
ALTERNATIVA 3.- Pata Sur APIA XXI
ALTERNATIVA 4.- Autovía del Llobregat más Pata Sur APIA XXI
ALTERNATIVA 5.- Pata Sur APIA XXI más Remodelación *Nus Sant Boi*.
ALTERNATIVA 6.- Autovía del Llobregat más Pata Sur APIA XXI más Remodelación *Nus Sant Boi*.
ALTERNATIVA 7.- Pata Sur APIA XXI más Remodelación *Nus Bellvitge*.
ALTERNATIVA 8.- Autovía del Llobregat más Pata Sur APIA XXI más Remodelación *Nus Bellvitge*.
ALTERNATIVA 9.- Pata Sur APIA XXI más Remodelaciones *Nus Bellvitge* y *Nus Llobregat*.
ALTERNATIVA 10.- Autovía del Llobregat, Pata Sur APIA XXI y remodelaciones *Nudos Bellvitge* y *Llobregat*.

El análisis detallado de los subámbitos de las alternativas se ha llevado a cabo con el simulador AIMSUN2. El subámbito estudiado corresponde a los nudos del Llobregat y Bellvitge y la conexión de la Pata Sur.

La mayor parte del trabajo se ha centrado en la comparación de las dos alternativas básicas de la Pata Sur, propuestas respectivamente por INOCSA y por APIAXXI. El análisis detallado de los puntos conflictivos mediante simulación microscópica ha permitido el refinamiento del diseño inicial de la Pata Sur propuesta por APIAXXI .

5. CONCLUSIONES

En este artículo se ha descrito una metodología para el estudio detallado de actuaciones en subáreas de estudio de tamaño pequeño/medio. Dicha metodología se apoya en la posibilidad de integrar eficazmente herramientas basadas en modelos macroscópicos (asignación de tráfico, EMME/2) y microscópicos (simulación, GETRAM/AIMSUN2) de modo que la manipulación de los escenarios se lleve a cabo ágilmente. Asimismo las mínimas fuentes de información necesarias son de coste moderado (matrices O-D no

necesariamente actualizadas, volúmenes observados y cartografía en .dxf). Como eslabón importante en el proceso de modelización destacamos la utilización del procedimiento de ajuste de matrices O-D debido a Spiess ya que es consistente con la asignación de tráfico en equilibrio. GETRAM3.1 para la edición de modelos y su simulación (AIMSUN2) han sido desarrollados en el Departamento de EIO de la UPC y son distribuidos por la empresa TSS (*Transport and Simulation Systems*).

6. BIBLIOGRAFÍA

1. Cascetta, E.. “Estimation of Trip Matrices from Traffic Counts and Survey Data: A Generalized Least Squares Estimator”. *Transportation Res. B. Vol. 18B, No 4/5*, pp. 289-299 (1984).
2. Ferrer, J.L., Barceló, J. “Advanced Interactive Microscopic Traffic Simulation for Urban and Non-urban Networks. System Description”. *Universitat Politècnica de Catalunya. Departamento de EIO. LIOS. Report de Investigació* (1994).
3. Grau, R., Barceló J. “The Design of GETRAM”. *UPC. Departamento de EIO. LIOS. Report de Investigació* (1993).
4. Grau, R.,. “GETRAM’s Application Programming Interface. Version 1.0. Technical Description.”. *UPC. Departamento de EIO. LIOS. Document de Recerca* (1994).
5. Hearn, D.W. “Practical and Theoretical Aspects of Aggregation Problems in Transportation Planning Models”. *Transportation Planning Models*. Editor: M. Florian. Elsevier Science Publishers B.V. North Holland. pp 257-287 (1984).
6. INRO Consultants, EMME/2 User’s Manual. Software Release 6.0 (1992).
7. Jörnsten, K., Nguyen, S.. “On the Estimation of a Trip Matrix from Network Data”. *Centre de Recherche sur les Transports de Montréal. Publication #153* (1979).
8. Lamond, B. “Balancement de Matrices et Optimisation d’Entropie”. *Centre de Recherche sur les Transports de Montréal. Publication #211* (1980).
9. Nguyen, S. “Estimating an O-D Matrix from Observed Flows”. *Transportation Planning Models*. Ed: M. Florian. B.V. North Holland. pp. 363-380 (1984) .
10. Ortúzar, J.D., Willumsen, L.G. “Modelling Transport”. John Wiley (1990).
11. Robillard, P. “Estimating an O-D matrix from observed link volumes”. *Transportation Res. 9*. pp. 123-128 (1975).
12. Spiess, H. “A Gradient Approach for the O-D Matrix Adjustment Problem”. *Centre de Recherche sur les Transports de Montréal. Publication 693*, (1990).
13. Spiess, H. “A Maximum Likelihood Model for Estimating Origin-Destination Matrices”. *Transportation Res.-B Vol. 21B*, pp. 395-412 (1987).
14. UPC. Departamento de EIO. LIOS. “GETRAM Environment. Tedi: The GETRAM Editor User’s Guide. AIMSUN2 User’s Manual” (1995).
15. Van Vliet, D., Willumsen, L.G. (1981). “Validation of the ME2 Model for Estimating Trip Matrices from Traffic Counts”. *Actas del 8th International Symposium on Transportation and Traffic Theory* (1981).
16. Van Zuylen, J.H., Willumsen, L.G. “The Most Likely Trip Matrix Estimated from Traffic Counts”. *Transportation Res. 14B*, pp. 281-293 (1980).