

---

*NOTICIAS Y COMENTARIOS*

---

**PROGRAMAS DE SIMULACIÓN DEL  
TRANSPORTE PÚBLICO: EL PAQUETE DE PROGRAMAS  
UTPS Y LA CONSTRUCCIÓN DE LA RED  
EN EL ÁMBITO METROPOLITANO MADRILEÑO**

La planificación analítica del transporte en regiones urbanas necesita, por la profunda complejidad del sistema de transporte, de instrumentos capaces de tener en cuenta de un modo global e integrado todos los elementos de éste.

Uno de estos instrumentos, imposible de concebir sin el desarrollo de las computadoras, lo constituyen los programas de simulación del transporte público que posibilitan la modelización tanto de la oferta como de la demanda.

Este tipo de programas requieren dos «inputs» fundamentales: la descripción de la red de transporte multimodal en forma de grafo y una matriz de viajes origen-destino a nivel de zonas de transporte, procedente, en general, de las Encuestas Domiciliarias.

Con estos «inputs», el programa se encarga de calcular un camino óptimo (o varios) entre cada par de zonas, a partir de la red descrita, y de asignar los viajes detectados entre las zonas a las líneas de transporte que conforman ese camino.

Como un elemento más en el proceso de planificación, se utilizan para la evaluación de alternativas de transporte, tales como creación de nuevas líneas, nuevas estaciones de metro, de ferrocarril, etc. Gracias a estos programas se puede prever el impacto de la nueva actuación en el sistema, así como su rentabilidad económica y social.

El Consorcio Regional de Transportes de Madrid ha venido utilizando el paquete de programas UTPS (Urban Transportation Planning Systems) desarrollado por los organismos americanos UMTA (Urban Mass Transportation Administration) y FHWA (Federal Highway Administration). El paquete se compone de, aproximadamente, veinte programas interdependientes que ofrecen un gran elenco de «outputs» impresos, si bien tiene como inconveniente el gran coste de su utilización, al precisar ordenadores de grandes dimensiones (en la actualidad existe una versión para pc).

Este programa, como todos los de su tipo, puede ser utilizado también para simular el transporte en vehículo privado.

En UTPS los programas que permiten la descripción de la red son HNET e INET, mientras que los que permiten la asignación de los viajeros son UPATH y ULOAD.

El programa HNET contiene la red de tráfico rodado (calles, carreteras, etc.). La red se concibe en forma de grafo, es decir, una trama de arcos definidos por pares de nodos. Los nodos, por regla general, lo constituyen las intersecciones de las infraestructuras viarias. Para cada arco deben o pueden definirse los siguientes atributos: longitud, velocidad de flujo libre, velocidad observada, además de una serie de códigos adicionales que permiten identificar las características de la vía y el tipo de área en el que se encuentra el arco. Las características del arco son simétricas, es decir, son las mismas en los dos sentidos, si bien con un código adicional se puede optar entre permitir el tráfico en ambos sentidos o sólo en uno.

El programa INET contiene la descripción de la red de transporte público. En él se describen las líneas de transporte público (itinerario, frecuencia de paso, período horario de funcionamiento, etc.) y se completa el grafo creando los arcos y nodos, que definen el transporte con infraestructuras propia (metro y ferrocarril), y los tramos que se realizan a pie (transbordos y acceso de la población a la red de transporte).

Los atributos de estos arcos, a diferencia de los creados para definir la red viaria, son fundamentalmente tres: modo (código que diferencia el tipo de arco según las características del tipo de transporte para el que se utiliza, diferenciándose hasta ocho modelos), longitud del arco y tiempo o velocidad.

El programa UPATH pretende simular la elección del usuario en transporte público, considerando que éste elige en su desplazamiento el camino de menor impedancia (camino mínimo). El programa calcula la impedancia total del desplazamiento en transporte público, como la suma de tres impedancias: de espera, de viaje y de transbordo. Cada una de estas impedancias es calculada por medio de unas fórmulas compuestas de unos coeficientes que ponderan los atributos de los arcos y las líneas (tiempo, longitud, frecuencia de paso), además de los datos referentes a tarifas, que son introducidos en este programa, y de unos

parámetros que delimitan estos cálculos (tiempo máximo y mínimo de espera, de transbordo, etc.). Coeficientes y parámetros son definidos para cada modo de transporte. En este programa también se definen el número de transbordos permitidos en un viaje, así como la prohibición del transbordo entre determinados modos.

El programa ULOAD se encarga de asignar la matriz de viajes a la red de transporte. Tiene como «inputs» la red (HNET e INET), el archivo de caminos mínimos (UPATH) y la matriz origen destino, asignando los viajes entre cada par de zonas al camino de menor impedancia. En el caso de que un segmento del camino esté servido por dos o más líneas, los viajes se reparten proporcionalmente a la frecuencia de las mismas. El programa brinda, entre otros, los siguientes informes («outputs»): volumen de viajes por modo, por nodo, por línea de transporte y volumen asignado a cada arco.

La construcción y definición de la red de transporte público viene muy determinada por los datos observados que se dispongan sobre ésta. La red madrileña consta de 483 zonas de transporte (repartidas entre el municipio de Madrid y 48 municipios de su Corona Metropolitana), y de un grafo con cerca de 2.000 nodos y 9.000 arcos. En ella se distinguen los siguientes modos de transporte (tipos de arco): a pie, transbordo en metro y ferrocarril, conector de centroide, metro, ferrocarril, transporte urbano de Madrid (EMT), microbús, y transporte interurbano y urbano de los municipios periféricos.

La construcción de la red de tráfico rodado (HNET) debe garantizar la descripción del itinerario de todas las líneas de transporte que utilizan el viario (EMT, líneas interurbanas). Por ello, es necesario chequear una a una todas las líneas, creando nodos y arcos cuando los itinerarios no queden recogidos. La longitud de los arcos viene dada por la distancia real, medida sobre el plano, que recorre el autobús en el tramo que representa el arco. Dada la limitación en el número de nodos, el grafo siempre resulta una simplificación del viario, por lo que los problemas más comunes aparecen cuando un mismo arco representa tramos de diferente longitud, bien porque es paso de dos o más autobuses que describen itinerarios, bien porque la ida y vuelta de uno difiere ligeramente en ese tramo. Para que cuando el ordenador obtenga la longitud total de la línea y ésta difiera lo menos posible de la longitud

observada, se opta en el primer caso por deformar la longitud de otros arcos de esas líneas y, en el segundo caso, por obtener una media de las dos longitudes medidas.

El tiempo de recorrido de los arcos es obtenido por el ordenador a través de una curvas de conversión velocidad vehículo privado/vehículo transporte público. Estas curvas son diferentes en función del tipo de infraestructura viaria y el tipo de área donde se localiza el arco.

La construcción de la red de transporte público con infraestructura propia (metro y ferrocarril) (INET), no adolece de los problemas que presenta la anterior. Los nodos vienen definidos por las estaciones, de modo que la distancia de los diferentes arcos viene dada por la distancia observada entre éstas. El cálculo del tiempo de recorrido se realiza de un modo directo, al introducir para cada arco, bien la velocidad observada para cada línea, bien el tiempo de recorrido observado entre las estaciones.

En la definición de las líneas de transporte (INET), el itinerario viene descrito por la secuencia de los nodos por los que pasa la línea. Para cada línea puede optarse por definir uno o, en el caso de que ida y vuelta difieran significativamente, dos itinerarios. La distribución de las paradas se modeliza anteponiendo un signo a los nodos, en la descripción del itinerario.

La construcción del grafo se completa con la definición de los arcos que representan los tramos realizados a pie: transbordos y acceso de la población a la red transporte público (INET).

Los atributos de estos arcos son una distancia medida sobre el plano, y una velocidad constante que se ha fijado en 4 Km/h., si bien, en la red de metro, al disponerse de datos observados, se definió el tiempo directamente.

Los transbordos se realizan en la red a través de los nodos, en el momento en que un mismo nodo es utilizado por varias líneas, como ocurre, en general, en el transporte de superficie (EMT, interurbanos).

Cuando no se da esta coincidencia se definen arcos para así permitir el transbordo. Esta situación se presenta en lugares donde existen terminales de línea cercanas y, sobre todo, en las redes de metro y ferrocarril, ya que en éstas se definen tantos nodos por estación, como

líneas pasen por ella. El acceso desde la superficie a la estación también queda modelizado por uno de estos arcos, quedando garantizado de este modo los transbordos metro-autobús.

El acceso de la población a la red de transporte público queda representado a nivel de zona de transporte. Las zonas de transporte son las unidades espaciales definidas para la recogida de datos sobre movilidad en las encuestas origen-destino. En el grafo se representan por medio de un nodo, denominado centroide, que se localiza estimando el centro de gravedad de la atracción generación de los viajes producidos en esa zona.

Los arcos que unen estos nodos con los de la red de transporte se denominan conectores de centroide, y sus atributos son los mismos que los demás arcos a pie, una longitud y la velocidad constante (4 Km/h.), si bien es de destacar que su longitud no es una distancia física concreta, sino que constituye una medida estimada sobre el plano con ayuda del centroide, que trata de recoger la accesibilidad de toda la zona a una o varias líneas de transporte. Así, a la hora de crear los conectores de centroide, se debe tener presente la distribución de los posibles centros de atracción generación de la zona y su relación espacial con las distintas líneas de transporte. Cada zona de transporte debe quedar conectada a todas las líneas de transporte accesibles desde ella.

Una vez creada la red y ejecutada una primera asignación, comienza la fase de optimización, que consiste en comparar los «output» del programa (longitud, tiempo de recorrido, volumen de viajeros por línea) con datos observados, y ajustar las curvas de velocidad del programa HNET y los parámetros y coeficientes del programa UPATH, para que las diferencias sean mínimas. Una vez optimizada la red, sólo queda tenerla constantemente actualizada para disponer de ella de un modo eficaz.

En Madrid, ha sido utilizada en diversos estudios: cierre de la línea 6 de metro, pasillo verde ferroviario, conexión de las líneas 7, 8 y 10 de metro, acceso al Aeropuerto de Barajas, etc.

Domingo MARTÍN DUQUE  
Francisco Javier RODRÍGUEZ RANZ