

# UN ESTUDIO DE MOVILIDAD Y PLANIFICACIÓN DEL TRANSPORTE COLECTIVO DE ZARAGOZA

Montero Mercadé, L.(UPC), Singla Obiols, J. (ALG)

## ABSTRACT

*Zaragoza is a medium size spanish city that has been involved in a Movility Survey and Bus Network Modelization project sponsored by the local administration and the transportation operator (TUZSA). The updating of movility information and the development of a model of urban transportation for planification purposes have been the goals of the present study that took 18 months for completion.*

**Keywords:** *Demand survey, planification, urban networks, assignment models.*

## INTRODUCCIÓN

La actualización y mejora de la información disponible sobre movilidad municipal es un paso previo imprescindible en el desarrollo de un Plan Estratégico de mejora del transporte colectivo, financiado y dirigido por TUZSA y realizado por la consultora ALG S.A. Se consideró ineludible la realización de una Encuesta de Movilidad, denominada EMOZ'93 para conocer los detalles de la movilidad municipal. Los objetivos fijados *a priori* para EMOZ'93 son:

- Cuantificar la movilidad urbana por modos de transporte y periodos del día en los distintos días tipo genéricamente considerados (laborable, sábado y festivo), mediante matrices de movilidad origen-destino entre zonas de transporte.
- Conocer las motivaciones y características de la movilidad modal.
- Obtener datos de carácter socioeconómico que intervienen en las características de la movilidad individual: edad, nivel de motorización, lugar de residencia, nivel educativo del responsable familiar, etc. Captación de información adicional de interés consistorial: disponibilidad de segundas viviendas, aparcamiento, etc.
- Obtención de los datos necesarios para la calibración de los modelos de demanda clásicos a formular durante el desarrollo del Plan Estratégico: modelos de generación y atracción de viajes, distribución y reparto modal (pie-mecánicos y autobús-privado).
- Evaluar la satisfacción de los usuarios del transporte colectivo y determinar los segmentos de mercado usuarios potenciales del autobús, de cara a definir una estrategia de mejora continua del servicio y captación de los no usuarios.

Los objetivos del Plan Estratégico de mejora del transporte colectivo consisten en determinar las actuaciones sobre la oferta del transporte urbano que permitan una adecuación más ajustada a la demanda, a nivel de usuario y a nivel de compañía explotadora. La consecución de los objetivos se traduce en las siguientes tareas:

- Síntesis de los antecedentes previos y propuesta metodológica (esquema clásico de planificación en las cuatro etapas comúnmente aceptadas).
- Modelización de la demanda: generación/atracción, distribución y reparto modal.

- Modelización de la oferta mediante el entorno de planificación URBAN/SYS.
- Análisis de la calidad del servicio percibida por los usuarios de TUZSA.
- Diagnóstico de la situación actual y generación de alternativas.
- Propuestas a corto y medio plazo.

La aportación del gran volumen de datos necesarios para el correcto desarrollo del esquema anterior proceden, para la demanda de la Encuesta de Movilidad (en parte), y en la modelización de la oferta de transporte colectivo, de la empresa TUZSA. El Ayuntamiento de Zaragoza aportó a su vez, un gran número de datos de especial interés en la calibración de los modelos de demanda.

## **METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE MOVILIDAD (EMOZ'93)**

La consecución de los objetivos del estudio de movilidad se estructuró en las siguientes tareas principales:

- Zonificación del ámbito de estudio.
- Diseño del Plan de Muestreo. Definición de la técnica de muestreo y estimación del tamaño de la muestra necesario para la consecución de un error global fijado a priori, e inferior al 2%.
- Diseño de/de los Cuestionario/s de la Encuesta. Elaboración de las preguntas necesarias para la consecución de los objetivos del estudio de movilidad, de manera consecuente con el plan de muestreo seleccionado.
- Trabajo de campo. Organización, control de los encuestadores y explotación de la encuesta. Implica la selección, formación y documentación de los encuestadores; el control de calidad sistemático reflejado en la revisión del trabajo de campo de los encuestadores, la depuración del 100% de los cuestionarios, la contraentrevista personal del 10% de los cuestionarios, la supervisión telefónica del 20% de los cuestionarios y los controles telefónicos adicionales vinculados al proceso de depuración. La explotación de la encuesta conlleva la codificación de las preguntas abiertas y la verificación del rango de valores de las preguntas cerradas. La grabación de la encuesta se realiza por duplicado. Esta amplia y laboriosa tarea fue realizada por la empresa DYM, S.A. bajo la dirección de TUZSA y ALG.
- Expansión de la muestra. Determinación de los factores de expansión a aplicar a la muestra, en función de las cotas de relación muestra-población, según la estratificación definida por el cruce de las variables distrito, sexo y grupo de edad (en franjas de 5 años).
- Análisis de los resultados. Básicamente un estudio de estadística descriptiva, dirigido a la síntesis y realce de los aspectos más sobresalientes de la movilidad municipal.

A continuación se detallan los aspectos técnicos más relevantes de las anteriores etapas.

### **ZONIFICACIÓN**

El ámbito de interés es todo el término municipal de Zaragoza, que se divide en 120 zonas de transporte, agrupación de secciones censales y que ostentan características interiores de homogeneidad comportamental con respecto a la movilidad: compatibilidad con las

unidades administrativas municipales, homogeneidad urbanística, socioeconómica y de acceso al sistema de transporte. Se da un tratamiento especial a las zonas industriales (no habitadas). Las áreas de sondeo se definen como agrupación perfecta de zonas de transporte, constituyendo un número de 50 áreas de sondeo.

## DISEÑO DEL PLAN DE MUESTREO

La población de Zaragoza, según el Censo de 1.991, se sitúa alrededor de los 600.000 habitantes, concentrados básicamente en el área urbana de un término municipal de gran extensión. La división administrativa contempla 12 distritos municipales, dos de los cuales tienen un carácter no urbano.

El universo de estudio son todos los residentes en el municipio de Zaragoza con una edad superior a los 14 años (94% de la población). Las unidades de muestreo consideradas son los individuos, con el objetivo de eliminar correlaciones intrafamiliares, facilitar el trabajo de campo y asegurar una mayor fiabilidad estadística en el proceso de expansión.

La encuesta contempla dos contactos con cada individuo integrante de la muestra y la autocumplimentación de un cuadernillo donde debían anotarse datos relativos a todos los desplazamientos realizados por el encuestado durante una semana.

El diseño de la muestra se realiza a partir de la división municipal en 50 áreas de sondeo, donde por muestreo no probabilista, según la distribución en los distritos urbanos por cotas de sexo y edad, se realizaron 110 entrevistas, de manera que la muestra final resultante fue de 5.506 individuos. El error global resultante se sitúa por debajo del 2% y el error muestral absoluto, en áreas de sondeo, se sitúa por debajo del 10%, a un nivel de confianza del 95% e indeterminación máxima ( $p=q=0.5$ ).

Los entrevistadores deben respetar las cuotas por sexo y grupo de edad en su distrito de trabajo y les son asignadas un número de entrevistas que debe seleccionar mediante la técnica de barrido (llamar a todas las puertas necesarias hasta conseguir las cotas requeridas), con la limitación de no poder realizar más de una entrevista por edificio y siempre dentro del hogar del encuestado.

## DISEÑO DE LA ENCUESTA: DEFINICIÓN DE LOS CUESTIONARIOS

Los cuestionarios empleados en EMOZ'93 son tres, uno para cada etapa de la recogida de información y con objetivos diferenciales:

- Cuestionario de primera visita. Recoge la información de la caracterización socioeconómica de los individuos, así como los datos de interés consistorial.
- Cuadernillo de movilidad. Diseñado para ser autocumplimentado y recoger la información de todos los desplazamientos de duración superior a 5 minutos realizados por los encuestados en una semana.

- Cuestionario de segunda visita o de opinión. Recogida de la evaluación cualitativa de la calidad del transporte urbano de autobuses, conjuntamente con información cuantitativa sobre los hábitos de movilidad modal y deseos de cambio.

## CUESTIONARIO DE PRIMERA VISITA

Los objetivos de recogida de información asignados a esta primera parte de la encuesta son:

1. Características del individuo seleccionado: sexo, edad, estado civil, rol familiar, actividad profesional, etc.
2. Nivel de motorización y dificultad percibida de aparcamiento.
3. Características de la vivienda de residencia habitual.
4. Disponibilidad de segunda residencia y regimen de uso.

## CUADERNILLO DE MOVILIDAD

Este cuadernillo requiere de un diseño esmerado puesto que debe ser autocumplimentado por cualquier persona que sepa leer y escribir: debe ser claro y exhaustivo en el aspecto de previsión de todas las posibles respuestas. El cuadernillo se estructura en tres partes:

1. Las instrucciones de cumplimentación ejemplificadas en un caso práctico, donde se indica para un desplazamiento dado su motivo, origen, destino (en forma de dirección) y los modos de transporte empleados, y si es autobús, el título y la línea usada. El uso de un modo determina una etapa del desplazamiento.
2. Una lista tabulada para anotar los desplazamientos semanales.
3. Espacio libre para anotar dudas o comentarios

## CUESTIONARIO DE SEGUNDA VISITA

Este cuestionario se dirige a la captación de los hábitos de desplazamiento y a la valoración de los modos de transporte empleados en los desplazamientos tipo. Los desplazamientos tipos se clasifican en trabajo, estudio, compras, ocio y otros; discriminados en día laborable y en fin de semana.

Los individuos han empleado el autobús menos de 2 veces durante el último mes se consideran *no usuarios*, y el resto *usuarios*. Para los usuarios, se recoge información adicional sobre las razones de uso del autobús, los títulos de transporte conocidos y empleados, y el nivel de conocimiento de las posibilidades de desplazamiento en autobús.

Todos los individuos son preguntados acerca de la frecuencia semanal de los desplazamientos tipo y en incidencias habituales (más de una vez por semana) se requiere información sobre el modo de transporte habitual, el modo deseado, y en caso de no coincidir ambos se analiza la razón de la discordancia. Cuando el autobús no es el modo habitual se analiza el porqué.

La parte final contiene una encuesta de opinión sobre la calidad del servicio de autobús, mediante una valoración de 1 a 10 de la importancia y de la percepción del servicio en los siguientes aspectos: frecuencia, amplitud de horario, itinerarios, facilidad de acceso, comodidad, precio, trato de los empleados, rapidez, limpieza, facilidad de enlace, información sobre incidencias e información general de la oferta.

## EXPANSIÓN DE LA MUESTRA

La muestra de EMOZ'93 resultante se ratificó significativa y válida para la realización de un proceso de expansión poblacional. Las cuotas por sexo y grupo de edad por distrito determinan los estratos, y sus magnitudes absolutas a nivel muestral y poblacional permiten determinar un peso o coeficiente de expansión a asignar a cada estrato: es un proceso de estimación de totales poblacionales a partir de totales muestrales en un plan de muestreo complejo que mezcla la extracción simple y sin reposición de los individuos contenidos en las unidades primarias (las secciones censales). Todas las encuestas pertenecientes al mismo estrato tienen asignado un coeficiente de expansión idéntico.

Concretamente, se requieren de 336 coeficientes de expansión distintos, con un valor medio de 89,501. Obsérvese que a mayor magnitud, menor representatividad del estrato.

## EL MODELO URBANO DE PLANIFICACIÓN: DESARROLLO Y RESULTADOS

Una valoración realizada *a priori* y corroborada por las autoridades municipales y la propia compañía explotadora, es la gran calidad del servicio ofertado y en general, el buen funcionamiento de la red de transporte urbano de TUZSA. Zaragoza es una ciudad con una movilidad punta no demasiado acusada, en comparación a otras ciudades españolas, con la particularidad de una fuerte movilidad al mediodía con destino al hogar en días laborables. Durante los fines de semana, las puntas de movilidad son más acusadas, especialmente en desplazamientos hacia zonas comerciales, lo que dificulta la configuración de un servicio de transporte eficiente, pero tratados con atención en la actualidad. El resultado de este análisis no es una reestructuración radical de una red de transporte que *funciona bien*, sino la diagnosis de los puntos deficitarios en la confrontación oferta-demanda que orienten la remodelación parcial de la red.

Los puntos tratados a continuación se refieren a aspectos técnicos de las etapas de modelización de la oferta y la demanda; etapas que han podido cubrirse satisfactoriamente gracias a la cantidad y calidad de la información disponible.

## LOS MODELOS DE LA DEMANDA CALIBRADOS

Los modelos de generación y atracción están directamente relacionados con la caracterización poblacional y socioeconómica de las zonas de transporte que integran el ámbito del estudio (120 zonas). Se desarrollan modelos distintos para la generación y para la atracción de viajes. La producción de viajes se relaciona con las características de población, renta, accesibilidad, etc. La atracción de viajes se relaciona principalmente con los usos del suelo: tipología y cantidad de empleo, plazas escolares, etc.

En el presente estudio se han calibrado modelos de regresión lineal agregados (a nivel de zona). Estos modelos pueden explicar la variación de la generación de viajes debido a las diferencias entre zonas y requieren, por tanto, la homogeneidad interior de éstas.

La calibración de los modelos de demanda es muy satisfactoria, puesto que en general, se han obtenido coeficientes de correlación múltiple por encima de 0.85. La tarea de calibración resulta laboriosa puesto que la relación entre los totales generados o atraídos por motivos y las variables explicativas no resulta lineal en prácticamente ningún caso: se han ensayado numerosas transformaciones en las variables de los modelos hasta conseguir dar con la más adecuada en cada caso. Los motivos considerados han sido: trabajo, estudio, compras, ocio y otros.

Los modelos de distribución de la demanda asumen el conocimiento de los totales de viajes generados y atraídos en las zonas de transporte por los diversos motivos considerados y resultan imprescindibles en las prognósis de movilidad futura cuando los cambios urbanísticos y de usos del suelo modifican sustancialmente los patrones de movilidad de una matriz base de partida. Los modelos de distribución de la demanda con restricciones dobles más conocidos son los modelos de gravedad y pueden calibrarse cómodamente con el paquete URBAN/SYS. Es de notar; sin embargo, que si se desea realizar una prognósis de la demanda en un horizonte temporal corto con una matriz base de buena calidad, como en el presente estudio, y únicamente se dispone de información agregada del crecimiento esperado en las producciones/atracciones de las zonas de transporte, los métodos de factor de crecimiento de restricción doble constituyen la mejor solución. Estos métodos consideran la existencia de información sobre la variación en las producciones/atracciones de cada zona y desarrollan procesos iterativos que consiguen satisfacer, aproximadamente, ambas restricciones simultáneamente.

Los modelos de reparto modal son probablemente lo más importantes dentro del esquema de planificación del transporte, y a su vez, son los más inciertos en cuanto a la bondad de sus resultados. Los factores que influyen en la selección del modo de viaje son muy variados: características del viajero (disponibilidad de automóvil, renta, estructura familiar, etc), del tipo de desplazamiento (motivo y hora del día) y propiamente del sistema de transporte (tiempo de viaje, acceso, comodidad, etc). En este estudio, se han calibrado modelos de reparto bimodal agregados, que básicamente calibran una curva de aspecto exponencial que representa la proporción modal a partir de la diferencia de coste del viaje en dos modelos:

- Reparto modal pie-mecánicos
- Reparto modal autobús sobre movilidad total. El clásico reparto colectivo-privado se ha mostrado de infrutuosa modelización en la ciudad de Zaragoza.

Las curvas de reparto modal modelizadas discriminan entre modos por el factor tiempo de viaje (obtenido a partir de promedios de los datos muestrales de EMOZ'93). Los datos de partida son los valores de viajes O/D para cada relación y modo. El reparto modal en este caso viene determinado por una proporción  $P_{i,j}^k$  tal que:

$$P_{i,j}^1 = \frac{1}{1 + \exp(-\lambda (t_{i,j}^2 + \delta - t_{i,j}^1))} \quad \forall i, j$$

$$P_{i,j}^2 = 1 - P_{i,j}^1 \frac{\exp(-\lambda (t_{i,j}^2 + \delta - t_{i,j}^1))}{1 + \exp(-\lambda (t_{i,j}^2 + \delta - t_{i,j}^1))} \quad \forall i, j$$

Tomando el cociente entre las dos proporciones anteriores y posteriormente logaritmos de ambos lados de la ecuación resultante, queda una expresión lineal respecto a las dos incógnitas ( $\lambda$  y  $\delta$ ) que pueden calibrarse mediante regresión lineal simple a partir de los datos.

## MODELIZACIÓN DE LA RED DE AUTOBUSES URBANOS

Los modelos de asignación de la demanda o de simulación de redes de transporte, requieren de la representación sistematizada de los elementos relacionados. En este estudio ha resultado imprescindible la informatización de los datos de partida y procesado mediante utilidades DBASE para definir los archivos de entrada de datos para la construcción del modelo de la red en el paquete de planificación URBAN/SYS. Se han empleado los programas de TRANSIT UTILITIES para la construcción, calibración y explotación del modelo.

Los modos URBAN/SYS que intervienen en la modelización son: conectores, arcos de transferencia recorridos a pie (intraTUZSA y con posibles alternativas externas), y arcos base interparadas de las líneas de autobús TUZSA y no TUZSA. El volumen del modelo resultante es:

- Centroides: 126. Nodos base: 520.
- Arcos base: 840. Conectores: 500. Arcos de transferencia: 275.

Una de las claves para el desarrollo de un modelo operativo, consiste en la numeración adecuada de los nodos del modelo referida directamente a las zonas de transporte de la zonificación base.

Los recorridos de las líneas deben transcribirse a sucesión de paradas: (código de línea, sentido, nº de parada en la línea). El código de la línea coincide con el asignado en el modelo a la línea en el sentido de ida, el sentido responde a la codificación 1:ida y 2:vuelta. A partir de estas, aproximadamente, 1300 *paradas-línea*, deben agruparse las que comparten marquesina, y que dan lugar a lo que se denomina *paradas-red* (unas 790). Las paradas-red se numeran según su ubicación en las zonas de transporte. Los nodos base se definen a partir de la agrupación de paradas-red, según los siguientes criterios:

- Un rango de proximidad entre paradas-red (alrededor 50 m en zonas conflictivas).
- No se pueden agrupar paradas-red con duplicidad de paradas-línea y en el caso de marquesinas enfrentadas, las paradas-línea originales no pueden ser disjuntas.

La calibración realizada para un día laborable medio, a partir de las cargas globales y perfiles de carga suministrados por TUZSA, ha logrado un error medio en las 4 líneas principales del 8%, y un promedio global del 15%. Los perfiles de carga han sido reproducidos satisfactoriamente.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos por EMOZ'93 han sido corroborados por expertos municipales y se han mostrado de gran valía en su posterior utilización modelística en el Plan Estratégico.

Las conclusiones del Plan Estratégico de mejora han sido asumidas por TUZSA, quien siempre muy consciente de su papel al servicio de los ciudadanos de Zaragoza, desea mantener e incluso mejorar, una ya alta calidad del servicio confirmada por los resultados de EMOZ'93. El análisis detallado de la Encuesta de Opinión ha permitido establecer los aspectos fundamentales que valoran los habitantes de Zaragoza (mediante un análisis factorial por componentes principales), y diseñar una miniencuesta telefónica, que a coste reducido para TUZSA, puede emplearse para seguir el pulso de percepción anual del transporte urbano de autobuses.

La realización de este proyecto ha requerido del trabajo y colaboración de todo el equipo técnico y de soporte de ALG, S.A. TUZSA facilitó su amplia información disponible; así como, el Ayuntamiento de Zaragoza.

## BIBLIOGRAFIA

1. Ortúzar, J.D., Willumsen, L.G. "Modelling Transport". Wiley and Sons (1.990).
2. Kanafani, A. "Transportation Demand Analysis". Mc.Graw Hill (1983).
3. URBAN/SYS versión 7.2. Manual de Usuario. The Urban Analysis Group (California). Distribuidor oficial en la Península Ibérica: ALG, S.A.
4. Heathington, K.W., Graeub W.C. (1975). "The need for evaluation: research need for evaluating urban public transportation". Sp. Report No. 155, Transp.Res. Board.
5. Müller C. (1987). "A framework for Evaluating level of service for Airport Terminals". Transportation Planning and Technology, Vol. 16, 45-61.

## AUTORES

Lidia Montero Mercadé<sup>(1)</sup> y Jordi Singla Obiols<sup>(2)</sup>

<sup>1,2</sup> Advanced Logistic Group S.A. C/Comte d'Urgell 240 1-C 08036 Barcelona  
Tlfno. (93) 4.30.40.16. Fax (93) 4.19.55.24. E-mail: alg@cinet.fcr.es.

<sup>1</sup>Actualmente: Dpto. de Estadística e Investigación Operativa. Universitat Politècnica de Catalunya. Facultat de Matemàtiques i Estadística. Edif. U. C/Pau Gargallo 5, 08028 Barcelona. Tlno.(93) 4.01.58.83. Fax (93) 4.01.58.55. E-mail: lmontero@eio.upc.es