

RECIBIDO: 30-06-99

ACEPTADO: 05-08-99

Francesc ROBUSTÉ ANTÓN
José Enrique PÉREZ FIAÑO

RESUMEN

El artículo analiza la situación presente del transporte público en Barcelona, España, y describe el proceso encaminado a definir un sistema tarifario integrado. Se han diseñado y aplicado con éxito diversas herramientas para ayudar a los responsables de la toma de decisiones en este delicado proceso. Una herramienta de generación de viajes permite visualizar la matriz de viajes. La herramienta de evaluación compara las alternativas de sistema tarifario propuestas con la actual; el programa informático estima la nueva matriz de viajes por modo, los nuevos ingresos, las tarifas unitarias por kilómetro, los usuarios "perdedores", y el incremento promedio de tarifas de estos usuarios afectados. Se han generado y evaluado diversas estructuras tarifarias, obteniendo conclusiones sobre su factibilidad técnica y económica y diversos elementos sociales y políticos durante su implantación.

PALABRAS CLAVE: TARIFA; TRANSPORTE PÚBLICO; SISTEMA; BARCELONA; INTEGRACIÓN MODAL.

DISEÑO DEL SISTEMA TARIFARIO INTEGRADO PARA LA RED DE TRANSPORTE PÚBLICO DE BARCELONA, ESPAÑA

ARTÍCULOS

ABSTRACT

The paper analyzes the current situation of public transport in Barcelona, Spain, and describes a process aimed at defining an integrated fare system. Several tools have been designed and successfully applied in Barcelona to help decision makers in this delicate process. A fare zone generation tool displays the trip origin/destination matrix. The evaluation tool compares a proposed fare alternative with the current situation; the program estimates the new trip matrix by mode, the new revenues of the system, the unit fares per kilometre, the "looser users", and the average fare increment of those affected users. Several fare structures have been generated and tested, allowing conclusions to be drawn about their technical and economic feasibility and about several social and political issues likely to be raised during their implementation.

KEY WORDS: FARES; PUBLIC TRANSPORTATION, SYSTEM; BARCELONA; MODAL INTEGRATION.

1/ INTRODUCCION

La integración tarifaria de todos los servicios y modos de transporte público que integran un área metropolitana constituye una decisión política con importantes consecuencias institucionales, económicas y financieras, y que afectan tanto a las administraciones como a los operadores y a los usuarios del sistema.

Dentro de este contexto global, la implantación de un proceso de integración tarifaria varía notablemente en función de las particularidades propias de cada ciudad, de la cantidad y tipo de los prestatarios del servicio, de los niveles socioeconómicos de los usuarios, de la estructura institucional existente y, en general, puede considerarse que su éxito dependerá de su adaptación a la complejidad topológica y funcional del territorio en el que se pretenda implantar.

Es debido a las razones anteriores que no se dispone de una metodología de aplicación universal, y que en la literatura técnica publicada, a lo sumo, puede distinguirse entre enfoques más o menos orientados a las necesidades comerciales y financieras de los operadores o a el reconocimiento de la movilidad de los usuarios y su reflejo sobre el territorio.

Partiendo de estas premisas básicas, el presente documento sintetiza el proceso de integración tarifaria llevado a cabo en el Area Metropolitana de Barcelona, en el que la ausencia de una estructura conceptual previa obligó al diseño de una metodología ad hoc que, sin embargo, uniformiza los conceptos e instrumentos técnicos disponibles dentro de un marco integrado que, eventualmente, podría ser aplicable a otros casos igualmente complejos en cuanto al impacto topológico de las relaciones entre oferta y demanda del transporte público.

La nueva propuesta de integrar el sistema tarifario nace con el objetivo de profundizar en las recomendaciones realizadas en un estudio previo (1992), cuya característica principal es su apuesta por un diseño funcionalista de las tarifas, en el que se promueve

un sistema de zonas con tarifa plana que se definen en función de la movilidad.

Este tipo de sistema con grandes zonas da lugar a desajustes importantes motivados por el hecho de no tener en cuenta la distancia de recorrido en la definición de las tarifas. El resultado práctico suele ser un gran número de usuarios económicamente perjudicados por el "efecto frontera" que se produce en los viajes entre dos zonas de tarifa plana.

En razón de lo anterior, la nueva propuesta de sistema tarifario se estructura en coronas con un ancho notablemente inferior al de las definidas en la propuesta de 1992, lo que permite una mejor adaptación a la situación preexistente, a la vez que se incluye la distancia como uno de los criterios básicos de tarificación.

En los apartados que siguen a continuación se realiza una descripción en detalle del enfoque metodológico propuesto, así como una introducción a la complejidad político-administrativa y funcional del sistema de transporte público del área metropolitana de Barcelona, como preámbulo necesario a la comprensión de la metodología adoptada.

2/ DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO GEOGRÁFICO E INSTITUCIONAL

2.1. Marco de referencia geográfico

El área de influencia metropolitana de Barcelona concentra una población de 4.228.048 habitantes en (1996), que representa el 70% de la región española de Cataluña, en una superficie de 3.237 km², equivalente al 10% del territorio regional.

Esta concentración demográfica supone, igualmente, importantes implicaciones políticas, dado que el gobierno regional pertenece a un partido, mientras que la capital y gran parte de los municipios de sus alrededores (50% de la población total) han estado gobernadas por otro partido durante los últimos 15 años.

A partir de estos antecedentes resultan comprensibles las dificultades políticas que ha supuesto la creación de una autoridad única, encargada de la gestión y planificación del sistema de transporte para el conjunto de los 163 municipios que integran la Región Metropolitana de Barcelona (RMB). La nueva Autoridad del Transporte Metropolitano (ATM), nacida en 1997 como resultado del acuerdo entre las diferentes administraciones, tiene entre sus competencias la planificación y coordinación de las decisiones en materia tarifaria de todos los modos de transporte dentro de un marco organizativo que tiende a su progresiva integración.

Para el momento actual, sin embargo, la organización del sistema de transporte público de Barcelona se encuentra en un proceso de transición, tanto en lo que respecta al nivel administrativo como al operacional. La situación actual, caracterizada por el solape de competencias entre autoridades, resulta compleja y poco práctica. El gobierno regional de Cataluña tiene competencias en planificación (tanto en usos del suelo como en transporte) y controla la fijación de las tarifas a través de la Comisión de Precios. Por otra parte, dentro de la Región Metropolitana, también ha de tenerse en cuenta la autoridad de la Entidad Metropolitana del Transporte (EMT, que agrupa a los municipios de la conurbación de Barcelona) sobre la gestión y organización de la oferta; así como, con la dependencia de la compañía ferroviaria RENFE respecto al gobierno central, quien otorga el subsidio anual que se canaliza a través de los denominados contratos-programa.

2.2. Organización y oferta del sistema de transporte público

La complejidad física y funcional de la Región Metropolitana de Barcelona obliga a diferenciar la oferta de servicios del área de la conurbación de Barcelona (10 municipios), del resto de ciudades que conforman su zona de influencia metropolitana.

En el área de la conurbación, la oferta de transporte incluye una red de 5 líneas de metro (76 km), 66 líneas de autobuses urbanos y 2 líneas de ferrocarril suburbano operadas por la

empresa regional Ferrocarriles de la Generalitat de Cataluña. El ámbito metropolitano, por su parte, incluye 18 ciudades de menor tamaño en las que existen servicios locales de transporte urbano, que se comunican con el área central de Barcelona a través de una red de 57 líneas de autobuses interurbanos, a los que hay que sumar las 4 líneas del sistema ferroviario de cercanías operado por la empresa nacional RENFE.

La diversidad modal de la oferta se refleja igualmente en la organización de los prestatarios del servicio. Así, RENFE (Ferrocarriles Españoles) y FGC (Ferrocarriles Catalanes) son empresas públicas pertenecientes al Estado y al gobierno regional, respectivamente. El gobierno catalán también tiene la titularidad del metro, aunque la concesión pertenece a la Entidad Metropolitana del Transporte (EMT), y la operación es, a su vez, responsabilidad de la empresa pública Ferrocarril Metropolitano de Barcelona. La empresa pública Transportes de Barcelona presta la mayoría de los servicios urbanos de autobuses de Barcelona, aunque existen otras compañías privadas que también operan algunas rutas. En otras redes urbanas de la RMB, los operadores pueden ser igualmente privados o compañías públicas municipales. Todas las empresas prestatarias de servicios interurbanos son, sin embargo, privadas.

Resulta necesario señalar, por otra parte, que en su conjunto la calidad del sistema de transporte público ha mejorado notablemente durante la presente década: todas las compañías ferroviarias (RENFE, ferrocarriles españoles, FGC, ferrocarriles catalanes, y FMB, el metro) están operando material móvil nuevo y con frecuencias de metro (cada 6 a 10 minutos) en recorridos suburbanos. Los autobuses de Transportes de Barcelona, el operador público de Barcelona, también se han renovado con unidades de piso bajo y aire acondicionado. De igual manera, las compañías de transporte operadas por empresas privadas han seguido también estas tendencias de modernización en función de sus posibilidades económicas.

Esta preocupación generalizada por la mejora de la calidad en la prestación del servicio responden, en gran medida, a la

presencia creciente del vehículo privado como el medio de transporte dominante dentro del conjunto del área metropolitana.

Los cambios que han ocurrido sobre la red vial en la última década han sido de gran importancia, y serán aún más importantes en la próxima. En particular, las nuevas inversiones en autopistas y carreteras se han traducido en un claro retroceso del transporte público respecto al uso del transporte privado: como media diaria anual el tráfico de acceso a Barcelona ha crecido un 50% en el período 1986-1994, con una tasa de incremento anual del 5,2%.

Dentro de este contexto, la integración de tarifas y servicios entre las empresas de transporte constituye un paso esencial para reforzar la competitividad de los modos públicos frente al modo privado.

2.3. La preocupación por los incrementos tarifarios

La tasa de ingresos respecto a los gastos operacionales del metro y de los operadores de autobuses de la ciudad de Barcelona era del 54,7% hace algunos años, y actualmente se aproxima al objetivo del 60%. Los niveles tarifarios del sistema de transporte público están sujetos al control de las administraciones central y regional, las cuales, en las últimas décadas, prácticamente no han tenido en consideración las propuestas de incrementos solicitadas por los operadores y concesionarios. Estas reticencias al incremento de tarifas responden generalmente a ideas preconcebidas que, posiblemente, pudieron haber sido válidas en el pasado, pero que hoy en día no se corresponden con el comportamiento de la demanda. Seguidamente, se exponen algunas de las premisas más frecuentemente utilizadas para desestimar posibles aumentos de tarifas.

Una falsa premisa de uso generalizado es que el incremento en las tarifas del transporte público nunca es políticamente aconsejable, debido a que los ciudadanos del segmento de bajos ingresos (para quienes, teóricamente, el transporte público más que un servicio es una necesidad) podrían realizar

manifestaciones públicas y protestas. Algunos antiguos técnicos recuerdan aún una famosa Huelga General en Barcelona que se produjo hace ya varias décadas como protesta al incremento en la tarifa de los tranvías, pero que probablemente fue la respuesta a otros factores políticos más que a el incremento tarifario en sí mismo. Lo cierto es que en Barcelona, prácticamente no se ha producido ningún tipo de presión social contra incrementos razonables de precios en los últimos 15 años (oscilando alrededor del aumento del IPC, índice de precios al consumidor).

La presión social actual está más enfocada hacia el reclamo de mayores servicios y, especialmente de mejor calidad, en el sistema de transporte público. Esta tendencia general fue inicialmente identificada por Boyle (1985), aun cuando tuvo que rechazar estadísticamente su hipótesis de que los usuarios del transporte público se habían vuelto menos sensibles a los incrementos de tarifas.

En la literatura especializada se demuestra profusamente que la elasticidad de la demanda a incrementos tarifarios en el sistema de transporte público, se sitúa en torno a -0.3 (Goodwin y Williams, 1985; de Rus, 1990; Fowkes, Sherwood y Nash, 1993; etc.). En particular, Goodwin y Williams (1985) muestran en un estudio realizado para varias ciudades del Reino Unido, que los usuarios del sistema de transporte público son menos sensibles al precio (-0.3) que al servicio medido en cantidad de vehículos-km ofertados (+0.5). Matas (1991), por su parte, identifica un comportamiento similar, aunque en este caso los usuarios del transporte público en Barcelona son menos sensibles al precio que a la calidad. Las reglas de buena práctica aplicadas por los operadores muestran que incrementos tarifarios inferiores al 5% no suelen generar reacciones negativas en la demanda (Giannopoulos, 1989).

Los resultados obtenidos por Matas (1991), con una elasticidad de la demanda a la tarifa del -0.15, confirman los datos empíricos de los operadores en cuanto a que los usuarios tienden a tomar decisiones consistentes en la elección modal y que son menos sensibles a los incrementos tarifarios de lo que cabría suponer.

Otra equivocación frecuente que impide a los políticos el asumir mayores incrementos tarifarios es el suponer que aumentar el precio del transporte público, el cual se considera una necesidad básica, conllevaría un aumento del índice de precios al consumidor, que es el parámetro base para negociar los incrementos salariales y para controlar la inflación. Lo sorprendente de este argumento radica en que al utilizar la fórmula española para el cálculo del mencionado índice, los aumentos de la tarifa del transporte público suponen apenas el 0,58% al IPC, mientras que la continua fluctuación del precio de la gasolina representa alrededor del 4%.

2.4. Pasos hacia la integración tarifaria

Seguidamente se enumeran algunos de los últimos pasos dados en el proceso de integración tarifaria:

- En el período 1981-82, la línea urbana de FGC se incorporó a la tarificación plana del metro (aunque los transbordos entre ambos subsistemas continuaron pagándose tanto en dinero como en coste de tiempo e incomodidad para el usuario).
- En 1991, RENFE definió un sistema de tarifas zonales que convergía en precios con otros operadores ferroviarios de viajes suburbanos y simplificaba las tarifas de base kilométrica.
- Gracias a una iniciativa política del AMB, en 1993 se introdujo la tarjeta mensual T-MES limitada exclusivamente a operadores públicos de autobús y metro. El éxito inmediato de esta tarjeta se produjo prácticamente sin que se realizara ningún tipo de publicidad.
- En 1995, RENFE y el resto de los operadores del AMB (EMT) adoptan la T-MES.
- La Autoridad Metropolitana del Transporte (ATM) se crea en 1997.
- En 1998 se liberalizan los transbordos entre metro y la red urbana de FGC.
- A principios de 1999 todos los autobuses de *Transportes de Barcelona* cuentan con máquinas para el control de boletos magnéticos, lo que permite la integración entre los subsistemas autobús-metro y autobús-autobús.

3/ ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE TARIFAS Y COMPORTAMIENTO DE LA DEMANDA EN BARCELONA

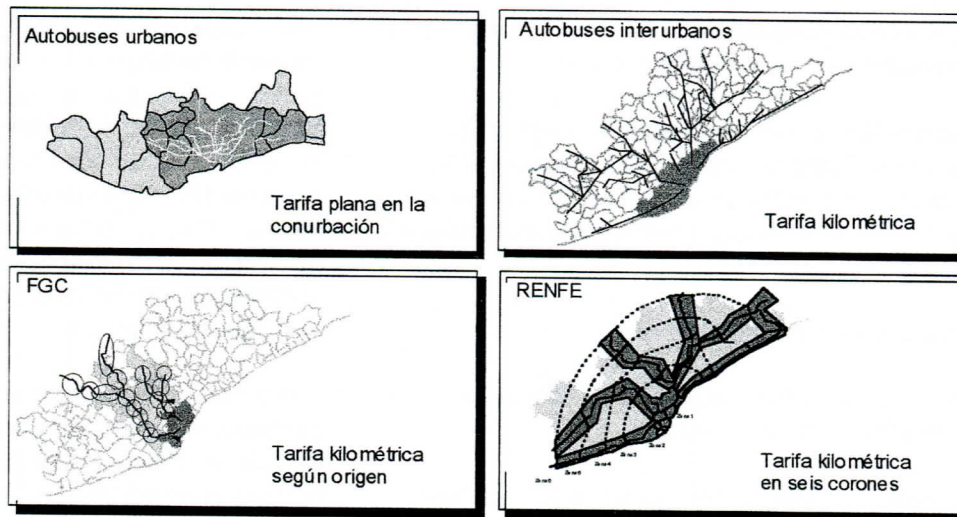
Existen tres elementos clave a la hora de establecer una integración tarifaria entre diferentes operadores de transporte público. El primer aspecto tiene que ver con la organización topológica del territorio, el segundo con la tipología de títulos y el tercero, con los mecanismos de reparto de ingresos, compensación y financiamiento; entendidos estos últimos como la manera de satisfacer las necesidades financieras de los operadores a través de un pago justo de la oferta de servicios prestados, a la vez que se garantiza minimizar el perjuicio económico a los usuarios.

De acuerdo con lo anterior, el primer paso de todo proceso de integración tarifaria consiste en identificar la organización territorial de la oferta de transporte, a fin de determinar las diferencias topológicas que existen en los sistemas de tarificación de los diferentes modos, como primer paso para precisar los posibles puntos de contacto y divergencias.

3.1. Estructura de tarifas y títulos de transporte

Antes de llevar a cabo la integración tarifaria, los ferrocarriles suburbanos y los operadores de autobuses interurbanos tenían tarifas proporcionales a la distancia de recorrido o asimiladas a escalones (secciones). Los autobuses urbanos, por su parte, se basaban en tarifas planas. En Barcelona, el metro tiene una tarifa plana independiente del uso que se dé a la red; el sistema de buses urbanos tiene tarifa plana en el interior de una línea (a diferencia del caso del metro): los transbordos entre líneas o entre autobuses y metro deben pagarse dos veces; al igual que los transbordos entre diferentes operadores ferroviarios (Metro, RENFE y FGC).

Antes de 1993, no existía ningún tipo de integración tarifaria y los diferentes operadores de transporte público utilizaban sus propios boletos. Desde junio de 1999 existe un boleto especial que, con un descuento sobre la suma de las tarifas, permite

FIGURA 1**SISTEMAS TARIFARIOS EXISTENTES**

realizar transbordos entre autobús y metro y entre distintas líneas de autobús. En la figura 1 se ilustran los diferentes sistemas de tarificación existentes en el ámbito de la RMB.

Una vez identificada la base topológica de los diferentes sistemas tarifarios existentes, resulta necesario avanzar en la comprensión de la estructura de títulos, en la que igualmente existen diferencias y similitudes en cuanto a formatos y precios entre los agentes modales.

Los tipos de formatos tarifarios vigentes son: el boleto sencillo (un sentido), boleto de 10 viajes en metro o autobuses (T-1), boleto de 10 viajes sólo en metro (T-2, algo más barato que el T-1 pero con demanda decreciente), los pases mensual (T-MES) y diario (T-DIA); y, finalmente, un pase de 50 viajes a realizar en 30 días, que fue implantado en 1993 como una alternativa a la libertad que ofrece la T-MES, pero que ha tenido muy poca aceptación entre los usuarios.

3.2. Comportamiento del usuario de la tarjeta mensual

Debido a la gran preocupación expresada por los operadores (particularmente, aquellos de capital público), en relación con la aceptación de las tarjetas mensuales (las cuales, utilizadas extensivamente, podrían suponer importantes pérdidas de ingresos), y en parte también motivado por el riesgo de lo desconocido (competencias políticas, técnicas y económicas) acerca de la nueva Autoridad del Transporte Metropolitano, una de las primeras actividades del estudio consistió en realizar una encuesta a los nuevos usuarios de la tarjeta mensual, que se complementó con reuniones de intercambio de experiencias entre usuarios representativos (dinámica de grupos) seleccionados de forma representativa en función de su edad, sexo y nivel socioeconómico.

De acuerdo con los resultados de la encuesta, las principales razones por la que los nuevos usuarios compraban la T-MES

eran los siguientes (el grado de importancia asignado en una escala de [0,10] se muestra entre paréntesis): ahorro de costos por el volumen medio de viajes (8,6), comodidad (8,0) y libertad de transbordo (7,4). Alrededor del 81% de los usuarios ahorran dinero utilizando la T-MES.

Actualmente, la T-MES es un pase personal y no transferible; el 63% de los usuarios podrían considerar el pagar un precio más alto para poder despersonalizar las tarjetas, con lo que diferentes usuarios podrían utilizar separadamente la misma tarjeta.

La principal preocupación de los operadores era que el usuario de la T-MES podría cambiar su comportamiento utilizando el sistema de transporte público más de lo que realmente lo necesita. La encuesta de antes y después mostró que prácticamente no se detectaban cambios en los patrones de movilidad. Antes de usar la T-MES, el usuario potencial realizaba una media de 3,07 viajes/día usando para ello 3,7 enlaces unimodales; las cifras equivalentes con la T-MES eran de 3,13 viajes diarios y 3,7 enlaces/día.

Lo anterior significa que el usuario de la T-MES, generalmente un empleado o un estudiante, no parece verse inclinado a realizar un mayor número de viajes, ni a aprovechar las ventajas de la intermodalidad. En resumen, puede afirmarse que el comprador de la T-MES es un usuario maduro que está satisfecho con el producto: el 96,6% de los compradores de la T-MES continúan comprando el pase cada mes.

4/ DEFINICIÓN DEL ESQUEMA METODOLÓGICO

Dada la notable diferenciación que existía entre las estructuras tarifarias y títulos de transporte de cada modo, el punto de partida de la integración tarifaria se orientó necesariamente hacia la uniformidad de conceptos, precios e instrumentos de tarificación.

En este sentido, una vez identificadas las diferentes estructuras tarifarias existentes y analizado el efecto sobre la demanda de

la T-MES, en su carácter de primer paso hacia la integración, se fijaron los objetivos del proceso y se definió una metodología de generación y evaluación de alternativas capaz de abarcar la complejidad del sistema existente dentro de un marco conceptual integrado.

4.1. Objetivos y guías de diseño

Como paso previo a la generación de alternativas se definieron un conjunto de objetivos de carácter general que, a su vez, podían desagregarse en diferentes objetivos operacionales o más específicos. Los objetivos generales tenían en cuenta tanto los aspectos relativos a la imagen del nuevo sistema como las necesidades particulares de los usuarios, los efectos económicos sobre los operadores y el marco institucional que debía diseñarse. Los objetivos que guiaron el proceso de definición y selección de alternativas fueron los siguientes:

- Mejorar la imagen actual del sistema de transporte público metropolitano.
- Mantener o mejorar los niveles de cobertura actuales, sin que ello suponga un aumento importante del costo de transporte para los usuarios.
- Simplificar la estructura institucional existente, manteniendo un cierto grado de autonomía comercial de los operadores.
- Fomentar el uso del transporte colectivo metropolitano y cautivar al usuario dando un servicio efectivo a las diferentes necesidades de desplazamiento.
- Diseñar una estructura tarifaria común, fácilmente interpretable, y que reconozca la utilización real del sistema de transporte.

La formulación de las alternativas debía tener en cuenta tanto los aspectos topológicos, así como una propuesta de títulos de transporte acompañada de sus respectivos niveles de precios y resultados económicos esperados. A fin de satisfacer estos requerimientos, la evaluación se realizó en dos niveles de precisión, cada uno de los cuales contaba con sus propios indicadores. Los indicadores utilizados en el primer nivel de

evaluación fueron los siguientes:

- Ingresos totales
- Inversión total requerida
- Costo de gestión del sistema tarifario
- Demanda total
- Tarifa promedio por kilómetro
- Legibilidad y comprensión del nuevo sistema tarifario (medida en términos cuantitativos)

Una vez descartadas mediante la aplicación de los indicadores anteriores, aquellas alternativas que no cumplieran con los objetivos básicos de la integración tarifaria, se llevó a cabo una segunda evaluación en la que se utilizaron indicadores que requerían de un nivel de información más detallada, o que suponían un análisis exhaustivo de la bondad funcional y financiera de las condiciones de desarrollo de una alternativa tarifaria en particular.

Dada la ausencia de una autoridad de transporte metropolitano sólida tanto política como económicamente, resultó necesario asumir explícitamente algunas "reglas de buena práctica" de los operadores para llevar a cabo el proyecto de integración tarifaria: uniformidad de los boletos existentes, integración "paso a paso", propuestas económicamente factibles, etc. En una palabra, se decidió la implementación de un concepto "evolucionario" del sistema tarifario, en contraposición a uno "revolucionario".

Las zonas tarifarias debían tener una superficie mayor a 20 km² ($\phi \approx 4,5$ km), debido a que éste es el tamaño promedio de un municipio. Las divisiones administrativas municipales, aparte de ser la unidad mínima de información en la RMB, también representan una unidad coherente en términos sociales y políticos. En este sentido, sólo los municipios de gran extensión o con áreas físicamente separadas o con usos muy diferenciados, se consideraron susceptibles de ser fraccionados en dos o más zonas tarifarias.

Las zonas tarifarias de gran tamaño tienen efectos de "frontera" más fuertes (definidos por el "salto" en precios del transporte

que supone pasar de una zona a otra) y un patrón de demanda decreciente para ingresos totales constantes. Asumiendo que $\tau = A+Bd$ sea la función continua de un sistema tarifario de base kilométrica, si introducimos cualquier sistema zonal con un ancho Z homogéneo, se tiene que para una distancia L recorrida en un corredor de transporte ($L \approx 14$ km en Barcelona), $\tau^0 = BL$ (tarifa de distancia continua) y $\tau^1 = BZ(L/Z)^+$ (tarifa zonal), donde $(\bullet)^+$ indica el entero superior más cercano al argumento. Dado que $\tau^1 \geq \tau^0$, la demanda t se reduce siguiendo la expresión (ϵ es la elasticidad de la demanda a la tarifa):

$$\frac{t^1}{t^0} = 1 + \epsilon \left[\left(\frac{L}{Z} \right)^+ \frac{Z}{L} - 1 \right]$$

Haciendo $t_1 = \delta t_0$ ($0 < \delta < 1$), es necesario resolver la siguiente ecuación implícita para determinar el tamaño de la zona tarifaria Z: ($X=L/Z$):

$$(X)^+ = \frac{\delta + \epsilon - 1}{\epsilon} X$$

La solución no es única, pero sólo el X mínimo (capaz de garantizar que Z sea máximo) se considera relevante. Para $\epsilon = -0.3$ y $L = 14$, $Z \approx 15$ km. En tal sentido, el tamaño razonable de las zonas tarifarias debería situarse entre 5 y 15 km de diámetro.

Desde la perspectiva de la distancia, podemos asumir que la tarifa suele estar definida por un término constante (independiente de la longitud del viaje) más un segundo término proporcional a la distancia de viaje, pero con una estructura cóncava (reduciéndose la contribución de cada unidad para distancias cada vez mayores):

$$\tau = A + B\theta^d d$$

con $0 \leq \theta \leq 1$. Nótese que si $\theta = 0$, tenemos una estructura de tarifa plana ($\tau = A$), mientras que si $\theta = 1$, se definiría un sistema tarifario basado exclusivamente en la distancia ($\tau = A+Bd$). De

hecho, $100(1-\theta)\%$ es el descuento unitario por kilómetro que el sistema tarifario introduce para viajes de largo recorrido. En la práctica, se toma $\theta = 0,995$, con lo que $\tau = 59+7,4(0,995)^d$ d (en pesetas).

Cuando se produce un cambio tarifario entre un origen i y un destino j , la nueva demanda t_{ij} se estima a partir de la definición incremental de la elasticidad (k es el modo):

$$t_{ij}^{k1} \approx t_{ij}^{k0} \left[1 + \epsilon_{ij}^k \frac{\tau_{ij}^{k1} - \tau_{ij}^{k0}}{\tau_{ij}^{k0}} \right]$$

Siguiendo los trabajos de Daskin *et al.* (1988) se adoptó una función de elasticidad variable en función de la distancia para los corredores metropolitanos: $\epsilon_{ij}^k = \alpha_k d_{ij}^{\beta k}$ con $\alpha = -0,5$ para el modo ferroviario y $\alpha = -0,3$ para los autobuses, y $\beta = -0,4$ para el ferrocarril y $\beta = -0,2$ para el autobús, respectivamente.

4.2. Metodología de evaluación de las alternativas

La metodología de evaluación es directa. Sea t_{ij}^{k0} el número de viajes entre un origen i y un destino j a través del modo k en el sistema tarifario actual (superíndice 0), y que τ_{ij}^{k0} es la tarifa pagada (las tarjetas multiviaje y los pases temporales se han homogeneizado al precio promedio de un boleto sencillo en un sentido). El número total de viajes es $T_0 = \sum_k \sum_i \sum_j t_{ij}^{k0}$, y los ingresos actuales pueden representarse como $I_0 = \sum_k \sum_i \sum_j t_{ij}^{k0} \tau_{ij}^{k0}$. La tarifa unitaria promedio es

$$f_0 = \frac{1}{T_0} \sum_k \sum_i \sum_j t_{ij}^{k0} \frac{\tau_{ij}^{k0}}{d_{ij}^k}$$

donde d_{ij}^k es la distancia recorrida en la red de transporte del modo k ; nótese que f_0 no coincide con la tarifa promedio del sistema que se define como $F_0 = I_0/T_0$.

Para un nuevo sistema de zonas tarifarias, se requiere convertir las antiguas zonas de transporte (i,j) en las nuevas (I,J). Las

matrices de viaje t_{IJ}^{k0} se estimaron a partir de t_{ij}^{k0} y las matrices de tarifas en las nuevas zonas τ_{IJ}^{k0} se calcularon de acuerdo con $\tau = 59+7,4(0,995)^d$ d. El cambio en las tarifas supone un cambio en la demanda, dada su elasticidad al precio, obteniendo finalmente t_{IJ}^{k1} . Con esta matriz se calculan el nuevo total de T_1 , los nuevos ingresos I_1 y la nueva tarifa unitaria promedio f_1 .

La demanda inducida fue estimada *grosso modo* como el porcentaje de mejora que suponía la tarifa unitaria promedio. Dado que un nuevo sistema tarifario siempre crea "ganadores" y "perdedores" respecto al *statu quo*, se considera que la desviación estándar σ de la tarifa unitaria promedio es un indicador apropiado, en el sentido de que, para el mismo promedio, un sistema tarifario con una tarifa unitaria heterogénea es equivalente a crear menos demanda inducida que otro sistema con tarifas unitarias homogéneas. En este sentido, la demanda inducida fue calculada siguiendo la expresión:

$$\min \left[0; 1 - \frac{f_1 e^{-\sigma_1/f_1}}{f_0 e^{-\sigma_0/f_0}} \right]$$

Una vez que se obtiene la demanda total resultante (después de la aplicación de las elasticidades y de la demanda inducida), resulta posible calcular los nuevos ingresos.

Un nuevo sistema tarifario puede compararse con otro a partir de una serie de indicadores capaces de describir su "idoneidad" para adaptarse a las condiciones concretas del sistema de transporte: demanda, ingresos, tarifa unitaria, tarifa promedio y demanda inducida.

Se prestó una atención especial a aquellos usuarios cuyas nuevas tarifas fueran superiores a las actuales. En estos casos, la tabla de evaluación del "segundo nivel" incorporó los resultados incluyendo información numérica de los siguientes indicadores:

- Tarifa unitaria promedio (PTA/km) y porcentaje de variación respecto al valor actual

- Desviación estándar de las tarifas unitarias (PTA/km)
- Porcentaje de viajes con incrementos tarifarios superiores al 10%
- Incremento de la tarifa unitaria para aquellos cuya nueva tarifa sube más de un 10%
- Desviación estándar de la tarifa unitaria para los usuarios que soportan incrementos tarifarios superiores al 10%
- Variación de la demanda (viajes/día), y porcentaje de variación respecto al volumen actual
- Porcentaje de variación de los ingresos globales
- Grado de comprensión de las zonas tarifarias (cualitativo)
- Grado de comprensión de la escala de precios (cuantitativo)

5/ GENERACIÓN Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

5.1. Herramienta de análisis de la movilidad de viajeros y generación de zonas

Para el análisis gráfico de las relaciones de movilidad entre las diferentes áreas que integran la Región Metropolitana se desarrolló una aplicación *ad hoc* en formato C++. Como ya se ha mencionado, la RMB incluye 163 municipios que generan y atraen alrededor de 7,5 millones de viajes en un día promedio laborable, el 36% de los cuales corresponden a la ciudad de Barcelona. La herramienta desarrollada permite ilustrar gráficamente el total de viajes atraídos y/o generados, jerarquizando la importancia de las relaciones intermunicipales mediante un gradiente de intensidad de colores.

Esta herramienta de análisis gráfico de la movilidad fue modificada posteriormente para ayudar en la generación de zonas tarifarias, de acuerdo con el comportamiento de la demanda (otras alternativas del nuevo sistema tarifario se generaron a partir de la oferta existente en la red de transporte). Se llevaron a cabo los siguientes pasos:

1. En primer lugar, se identificaron zonas tarifarias "semilla" (usualmente aquellas con más de 50.000 habitantes): las zonas tarifarias se construyeron a partir de estos municipios

- "semilla", los cuales actuaban como polos de centralidad.
2. El diámetro promedio de las zonas tarifarias se definió tomando en cuenta la localización de la demanda y la estructura espacial de la oferta de servicios.
3. Dependiendo del tamaño de la zona tarifaria definida, se identificaron los municipios próximos a cada "semilla".
4. A través de un proceso iterativo, se verificaron las relaciones de movilidad entre el municipio "semilla" y aquellos que pertenecen a su corona de proximidad, garantizando la continuidad física de las zonas y un mínimo de movilidad recíproca entre la población central y las periféricas.
5. Se verificó, igualmente, cuándo una población periférica podía pertenecer a una o más ciudades "semilla", asignándola finalmente a aquella con las que tenía una relación de movilidad más intensa.
6. Los pasos 3, 4 y 6 se repitieron sucesivamente para las poblaciones de la segunda corona de proximidad a cada "semilla", hasta que todos los municipios de la RMB fueron asignados a una zona tarifaria.

5.2. Herramienta de evaluación de la configuración tarifaria

La metodología de evaluación tarifaria descrita previamente se ha implementado a través de un programa informático elemental con una precisión adecuada a la información disponible. Para evitar un tratamiento engorroso de los grafos multimodales a través de cualquier paquete comercial de simulación de la demanda, fue necesario hacer algunas simplificaciones.

Los municipios son la base del sistema zonal y se calcularon distancias euclídeas a lo largo de los corredores que incluían un factor de ruta. Se aplicaron algunas reglas heurísticas para calcular las distancias entre cada par de municipios, tomando en cuenta las siguientes posibilidades:

- Orígenes y destinos pertenecientes al mismo corredor ferroviario
- Orígenes y destinos pertenecientes a corredores diferentes

- Sólo el origen pertenece a un corredor ferroviario
- Sólo el destino pertenece a un corredor ferroviario
- Ningún origen o destino pertenece a un corredor ferroviario

Para cada corredor ferroviario se calibró una formulación lineal $\tau = A + Bd$ que simulaba el sistema tarifario existente. Los nuevos sistemas tarifarios suponen una versión continua de $\tau = A + B(\theta)^{d}$.

Los resultados que se obtienen del modelo computacional son los siguientes:

- Estadísticas
 - Superficie zonal promedio
 - Tamaño zonal promedio (diámetro)
- Demanda
 - Nueva demanda total y por modo
 - Porcentaje de variación
 - Demanda inducida
- Tarifas
 - Nuevas tarifas por modo
 - Porcentaje de variación
 - Tarifa global promedio
 - Tarifa unitaria promedio y desviación estándar
- Ingresos
 - Nuevos ingresos
 - Porcentaje de variación

5.3. Selección del sistema tarifario

Barcelona y su área metropolitana representan una concentración de viajes tal, que cualquier pequeña modificación en la tarifa o variaciones en la demanda podrían suponer importantes cambios en los ingresos del sistema. Se prestó una atención especial a la definición de la zona "central", siguiendo diferentes criterios, tales como: políticos y funcionales, demanda de viajes, y oferta de transporte público.

Prácticamente ningún criterio de base no topográfica "cortaba" los municipios o sectores de una forma que pudiera percibirse

como "injusta" (movilidad con origen en el hogar, oferta de servicios de transporte público, isocronas, indicadores de accesibilidad, cohesión de la red de transporte público, densidad mínima de la oferta de transporte público, etc.). Debido a que la red de metro está integrada en una tarifa plana y que se prevé su estabilidad en el tiempo con escasas extensiones previstas, un criterio de fácil comprensión fue el de considerar que los municipios cubiertos por la Red Metro constituían la base de la zonificación o zona central.

Una vez que se definió la configuración de la zona central, se generaron diversas alternativas de sistemas zonales posibles:

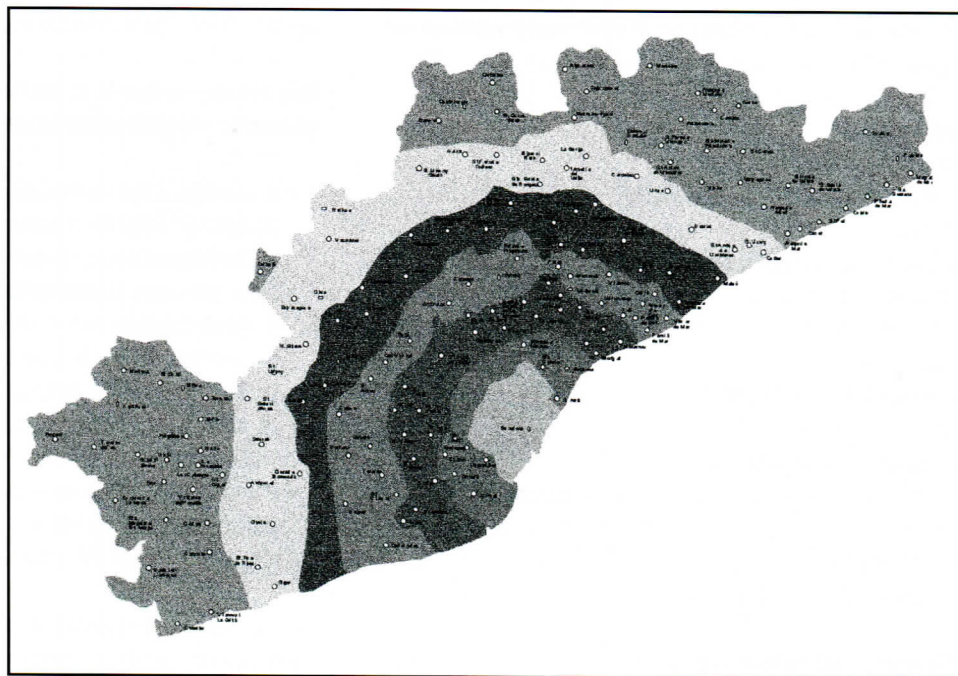
- Configuración en mosaico con 16 zonas basadas en el comportamiento de la demanda (zonas tarifarias con $\phi \approx 20$ km).
- Configuración en mosaico con 38 zonas basadas en la demanda (zonas tarifarias con $\phi \approx 10$ km).
- Configuración de mosaico con 58 zonas basadas en criterios de oferta (zonas tarifarias con $\phi \approx 8$ km).
- Reestructuración de la alternativa "C" en formato de coronas, organizadas a partir de criterios de oferta y demanda.
- Alternativa con sólo 9 zonas generadas en un estudio previo realizado en 1992.
- Sistema actual (Alternativa cero).

La alternativa D se seleccionó a partir de una tabla de evaluación parcial basada en los criterios de la sección 4, que se ajustaron y desarrollaron en detalle para conocer la variación que supondría en el negocio de cada operador (los operadores de autobuses pequeños se agruparon).

Igualmente, se definieron las configuraciones de boletos a partir de la combinación de las perspectivas de unioperador y multioperador con los formatos de boletos sencillos, tarjetas multiviajes y pases temporales con un número ilimitado de desplazamientos. La tecnología de los boletos de transporte está basada en bandas magnéticas, compatibles con la futura implantación de tarjetas inteligentes.

FIGURA 2

**REPRESENTACIÓN
DE LAS CORONAS
TARIFARIAS DE LA
ALTERNATIVA D**



6/ CONCLUSIONES

La integración del sistema tarifario del área metropolitana de Barcelona es un proceso en marcha que, probablemente, será implementado de forma progresiva en los próximos años. En este sentido, durante los últimos años se han ido tomando acciones que refuerzan esta impresión. A finales de 1999 todos los autobuses de Transportes de Barcelona estarán adaptados tecnológicamente para la integración tarifaria. La implementación final dependerá, por tanto, de aspectos políticos y de posibles restricciones económicas.

Con base en estos condicionantes políticos y económicos, se ha desarrollado una metodología de evaluación de posibles opciones de integración tarifaria que reconozcan la complejidad administrativo-territorial de la Región Metropolitana de Barcelona y de sus 163 municipios, a la vez que considere los intereses de los diferentes operadores del sistema de transporte, sin que el resultado final suponga un perjuicio económico para los usuarios y, consecuentemente, la posible politización del proceso.

La metodología técnica desarrollada y los diferentes elementos que componen la propuesta de implantación apuestan, por lo tanto, por llevar a cabo un proceso evolucionario en vez de uno revolucionario, que sea capaz de ir tejiendo intereses y necesidades de usuarios, operadores y administraciones, dentro de un marco único de referencia. El éxito de este marco organizativo descansa básicamente sobre tres pilares comunes: un esquema topológico de tarificación que tiene en cuenta criterios tanto de oferta como de demanda, un sistema de boletos unificado y estructurado a partir de la extensión de la tarjeta mensual T-MES a todos los usuarios y operadores, y finalmente, una mejora tecnológica destinada a universalizar los instrumentos de validación y control tarifario al conjunto de los operadores.

Los diferentes elementos metodológicos aplicados se han traducido, por otra parte, en el desarrollo de programas informáticos *ad hoc* con una vocación estrictamente práctica. En este sentido, la utilización de herramientas de modelística de los

efectos tarifarios han demostrado ser de gran utilidad a la hora de valorar la opción topológica y de estructura tarifaria más adecuada a las particularidades de oferta y demanda de la RMB.

Resulta necesario mencionar que, posiblemente, la mayor dificultad técnica que supone el desarrollo y posterior implantación de un proceso de integración tarifaria viene determinada por las restricciones de información y por la falta de uniformidad en los datos y en los sistemas de tarificación que aplican los diferentes operadores. Estos problemas de partida han sido solucionados parcialmente con la obtención de una fórmula común a todos los agentes involucrados, en la que se toma como referencia la tarifa unitaria calculada a partir de la conjunción de esquemas tarifarios de base kilométrica y de base plana.

El resultado de la metodología presentada permite, por tanto, aproximarse con mayor detalle al número y localización de los usuarios afectados (bien positiva o negativamente) por la integración de las tarifas, reduciendo así los riesgos de perjuicio económico asociados inevitablemente a un proceso de estas características.

NOTAS Este artículo está basado en el estudio del nuevo sistema tarifario asociado al Plan Intermodal de Transporte de Barcelona, otorgado a Advanced Logistics Group S.A. por la Autoridad del Transporte Metropolitano (ATM) en 1996, y dirigido por los autores en colaboración con la empresa suiza SMA and Partners.

R E F E R E N C I A S

ADVANCED LOGISTICS GROUP S.A. AND SMA AND PARTNERS (1997)
New Fare System Associated to the Intermodal Transport Plan of Barcelona, project for the Autoridad Metropolitana del Transporte (Metropolitan Transport Authority), Barcelona, Spain (in Catalan).

BOYLE, D.K. (1985)
 "Are Transit Riders Becoming Less Sensitive to Fare Increases?" *Transportation Research Record* 1039, 43-45.

DASKIN, M.S., J.L. SCHOFER and A.E. HAGHANI (1988)
 "A Quadratic Programming Model for Designing and Evaluating Distance-Based and Zone Fares for Urban Transit". *Transportation Research* 22:1, 25-44.

DE RUS, G. (1990)
 "Public Transport Demand Elasticities in Spain". *Journal of Transport Economics and Policy* 24:2, 189-201.

FOWKES, A.S., K. SHERWOOD, and C.A. NASH (1993)
 "Segmentation of the Travel Market in London: Estimates of elasticities and Values of Time". University of Leeds, Institute of Transport Studies. Working paper 345.

GIANNOPOULOS, G.A. (1989)
Bus Planning and Operation in Urban Areas: A Practical Guide, Avebury, Gower Publishing Company Ltd., Chapter 7, pp. 216-229.

GOODWIN, P.B. and H.C.W.L. WILLIAMS (1985)
 "Public Transport Demand Models and Elasticity Measures: An Overview of Recent British Experience". *Transportation Research* 19:3, 253-259.

JANSSON, J.O. (1984)
Transport System Optimization and Pricing, Chapters 3 and 6, John Wiley & Sons.

MATAS, A. (1991)
 "Urban Transport Demand: Elasticity and Value of Time Analysis". *Investigaciones Económicas* XV:2, 249-267 (in Spanish).

NASH, C.A. (1982)
Economics of Public Transport, Chapter 7, pp. 100-113, Longman Group Ltd.