REVISTA ESPANOLA DE FINANCIACIÓN Y CONTABILIDAD
Vol. XIX, n. 60
1989
pp. 689-700

Diego Prior Jiménez
Dpto. Economía de la Empresa
Universidad Autónoma de Barcelona

EL DILEMA ENTRE LA EFICIENCIA Y LA CALIDAD EN LAS EMPRESAS DE TRANSPORTE PUBLICO URBANO:
La frecuencia socialmente óptima

1. *Introducción y objetivos.*
2. *Descripción y formalización del modelo.*
3. *Aplicación y conclusiones.*

1. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

En un trabajo previo (1) se confeccionó un modelo de control de gestión aplicable a empresas de Transporte Público Urbano (T.P.U.), que permitía evaluar la eficiencia, la eficacia y la calidad de servicio que estas compañías ofrecen.

En aquel momento ya quedó apuntada la existencia de divergencias según el ámbito analizado. De esa forma, una empresa que persiga como único objetivo el aumento en eficiencia (productividad) o el control de sus costes limitará los recursos empleados (factor trabajo y autobuses, eminentemente), aunque ello redunde en una menor calidad de servicio, debido a la reducción del número de viajes ofrecidos.

(1) Véase Diego Prior, «El control de gestión en empresas reguladas: el caso del transporte público urbano», en *Revista Española de Financiación y Contabilidad*, vol. XVIII, núm. 59, 1988, págs. 429-455.

Dada esta situación, nuestro objetivo aquí es presentar una posible resolución del dilema eficiencia-calidad a partir de una aproximación al concepto de *frecuencia de servicio socialmente óptima* (aquella que minimiza los costes sociales, de explotación y de espera de los pasajeros, generados en la actividad del transporte). De esa forma, una frecuencia de servicio inferior a la frecuencia óptima incurrirá en unos costes sociales adicionales debidos a la pérdida de tiempo que soportan los usuarios.

2. DESCRIPCION Y FORMALIZACION DEL MODELO

Este modelo se ha establecido a partir del propuesto por Jan Owen Jansson en 1980 (2). En él se establece una función de costes sociales totales por línea que considera tres factores:

1. Coste de explotación de la línea, registrados internamente por la compañía que ofrece el servicio.
2. Coste del tiempo de espera de los pasajeros que, lógicamente, es soportado por ellos.
3. Coste del tiempo invertido por los pasajeros en el viaje.

Asimismo, y habiendo previamente relacionado las diversas variables que configuran cada uno de los costes somete a las condiciones de optimización la citada función de costes sociales totales por línea. De esta manera, el autor puede llegar a formular la frecuencia óptima del servicio de una línea.

Nuestro interés por dicho modelo viene dado porque nos podrá proporcionar alguna evidencia respecto a la calidad del servicio ofrecido mediante la comparación de las frecuencias óptimas y las realmente ofrecidas.

No obstante, el elevado grado de información que requiere nos forzaría a estimar un tanto arbitrariamente alguna de las variables enumeradas, perdiéndose entonces parte del poder explicativo del modelo.

---

(2) Jan Owen JANSSON, «A simple bus line model for optimisation of service frequency and bus size», *Journal of Transportation Economics and Policy*, volumen XIV, núm. 1, enero 1980, págs. 53-80.

Por ello, y para hacer posible una adaptación a un caso real hemos reelaborado el proceso de obtención de la frecuencia óptima, si bien intentando que las variables que se utilizan puedan ser obtenidas directamente, lo que, sin duda, confiere más realismo a las conclusiones que de él se deriven.

Vamos a partir de la definición del coste social total por día de una línea concreta:

COSTE TOTAL DIARIO DE UNA LINEA (C.T.)	=	COSTE EXPLOTACION DIARIO SOPORTADO POR LA COMPAÑIA (C.E.)	+	COSTE PARA LOS PASAJEROS DEL TIEMPO DE ESPERA (C.S.P.)

Consideramos aquí que el coste del tiempo de los pasajeros se concreta en el tiempo de espera a un autobús, ya que, una vez decidido éste por el transporte público, el tiempo que consume viajando dependerá en gran medida de variables no controlables, como son la velocidad y las características propias de cada uno de los trayectos.

Si definimos:

CT: coste total diario de una línea.
N: número de autobuses mantenido en una línea.
CD: coste diario de un autobús en servicio.
S: valor monetario de una hora de espera de los pasajeros.
H: horas de servicio ofrecidas por día.
B: promedio de pasajeros que utilizan el servicio por hora.
T: tiempo total empleado por vehículo en cubrir un trayecto (incluyendo el tiempo en las paradas).
F: frecuencia de servicio (flujo de autobuses por hora).

Podemos obtener:

Coste de explotación diario de la compañía

$$CE=N \cdot CD \qquad [1]$$

Coste para los pasajeros del tiempo de espera

Suponemos que la media del tiempo de espera de los pasajeros es la mitad del intervalo que se produce entre el paso por un mismo punto de dos autobuses consecutivos (3).

Siendo F la frecuencia (número de autobuses por hora), el intervalo de tiempo entre autobuses será:

$$\frac{1}{F}$$

Así pues, el tiempo de espera por pasajero será:

$$\frac{1}{2F}$$

El tiempo total de espera por hora:

$$B \cdot \frac{1}{2F}$$

Finalmente, el coste social por día será:

$$CSP = \frac{S.H.B}{2.F} \qquad [2]$$

La frecuencia por hora (F) será la razón entre el número de autobuses (N) y el tiempo total que necesita un vehículo para cubrir el trayecto (T).

$$F = \frac{N}{T} \qquad [3]$$

Introduciendo la expresión [3] en [2]:

$$CSP = \frac{S.H.B}{2.N/T}$$

(3) Estamos suponiendo que el momento de llegada de los pasajeros a una parada sigue una ley normal cuyo promedio coincide con la mitad de la frecuencia de la línea.

$$CSP=\frac{S.H.B.T}{2.N} \qquad [4]$$

Ahora ya podemos establecer el coste total diario de una línea:

$$CT=N\cdot CD+\frac{S.H.B.T}{2.N} \qquad [5]$$

Dada esta función de costes, nos interesa hallar el número de autobuses óptimo que minimice *CT* (ver gráfico 1). Para ello, igualamos a cero la derivada de *CT* respecto a *N*.

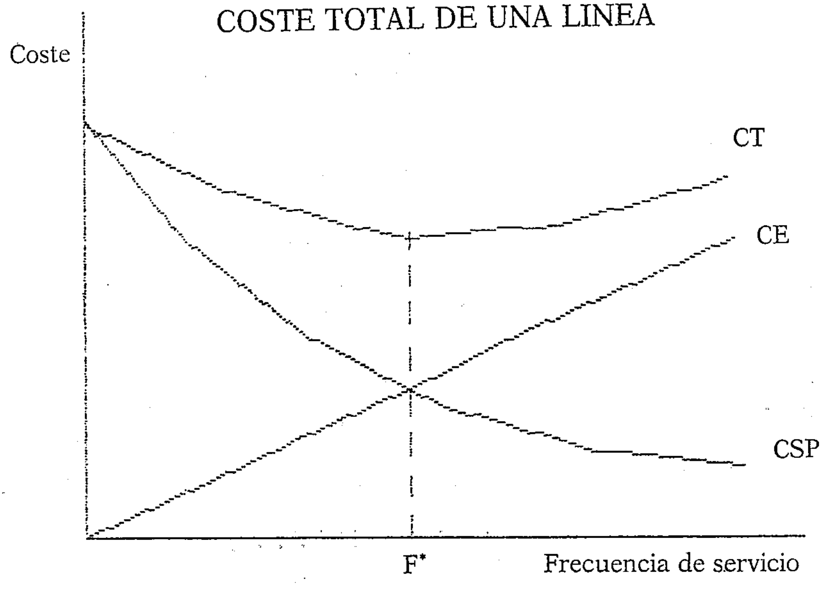
$$\frac{\delta CT}{\delta N}=CD-\frac{2.S.H.B.T}{4.N^2}=0$$

$$CD=\frac{S.H.B.T}{2.N^2}$$

$$N=(S.H.B.T/2.CD)^{1/2} \qquad [6]$$

GRÁFICO 1

COSTE TOTAL DE UNA LINEA



La expresión [6] nos permite obtener el número óptimo de autobuses por línea (4). La relación de N con el resto de variables es:

N aumenta cuando se producen incrementos en S, B, T
N disminuye cuando se produce incremento en CD.

También es posible hallar la frecuencia de servicio óptima (F) si consideramos que:

$$F=\frac{N}{T}$$

Por tanto, operando en [6]:

$$F=(S.H.B/2.CP.T)^{1/2}$$

Las funciones halladas nos permiten determinar para cualquier línea su frecuencia de servicio óptima (F) o el número de autobuses que deben operar en ella (N).

3. APLICACION Y CONCLUSIONES

La evaluación de la frecuencia de servicio que se ofrece en cada una de las líneas en explotación ha podido ser determinada para aquellas empresas de las que se ha podido obtener la información necesaria. Estas son: Las Palmas de Gran Canaria, Córdoba, Málaga, Sevilla y Marsella.

En el cuadro 1 puede observarse un resumen de los resultados obtenidos. En su elaboración se han seguido los siguientes pasos: inicialmente se tomaron las variables necesarias de cada línea en servicio de las empresas anteriormente mencionadas. Con ellas fue posible aplicar el modelo a cada línea y, por tanto, determinar su nivel de frecuencia óptima. Posteriormente, se comparó la frecuencia realmente ofrecida

(4) Estamos ante la minimización de la función de costes, ya que:

$$\frac{\delta^2 CT}{\delta N^2}=\frac{(4.S.H.B.T.N)}{4 \cdot N^2}>0$$

con la mencionada frecuencia óptima y, de ahí, se obtuvo la distancia que separaba ambas frecuencias (real y óptima). Finalmente, tales distancias se agruparon en los intervalos que se presentan en el cuadro 1 y se calculó su valor porcentual respecto al total de líneas. Quisiéramos, finalmente, puntualizar algunas consideraciones que han surgido en el proceso de cálculo y que harían posible una aplicación más ajustada:

— La valoración del tiempo de espera de los pasajeros se ha fijado a partir de la ganancia media por hora trabajada según estimación del I.N.E. (para las empresas españolas) y del I.N.S.E.E. (en el caso de Marsella). En nuestra aplicación hemos considerado que los pasajeros son homogéneos y, por tanto, valoran de igual forma su tiempo. Una aplicación más rigurosa debería conocer la estratificación de los pasajeros por tipos de renta y por tipos de viaje. A partir de aquí podrían establecerse unas valoraciones del tiempo diferentes para cada clase de viajero.

CUADRO 1

COMPARACION ENTRE FRECUENCIA OPTIMA DE SERVICIO Y FRECUENCIA OFRECIDA (en porcentaje del total de líneas)

	0.25 Fopt<F <0.50 Fopt	0.50 Fopt<F <0.75 Fopt	0.75 Fopt<F <1 Fopt	1 Fopt<F <1.25 Fopt
Las Palmas de Gran Canaria (1980)	44,45%	40,75%	7,40%	7,40%
Córdoba (1982) ...	—	75,00%	18,75%	6,25%
Málaga (1982) ...	38,47%	46,15%	15,38%	—
Sevilla (1983) ...	16,12%	54,85%	29,03%	—
Marsella (1981) ...	6,74%	25,86%	52,80%	14,60%

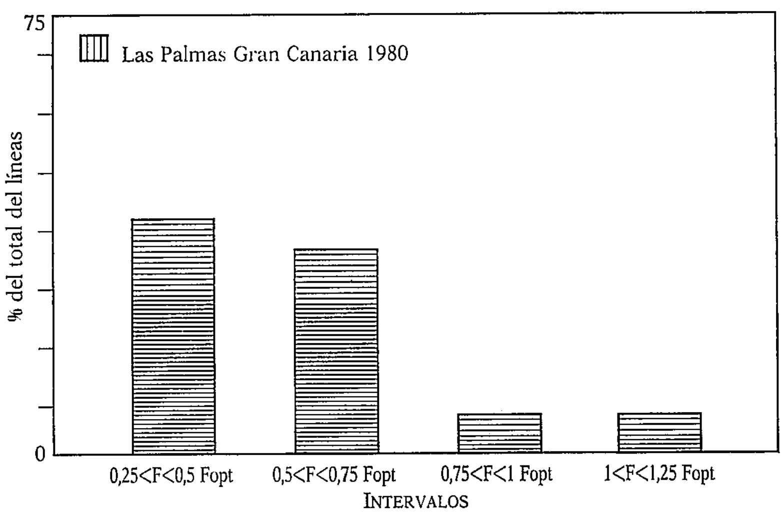
FUENTE: Elaboración propia.

— La frecuencia del servicio que hemos contrastado es un promedio diario de los viajes realizados. El servicio se enfrenta a situaciones de demanda punta con mayor afluencia de viajeros. En este sentido, cabría hacer comparaciones de la frecuencia que se ofrece en horas punta y en horas valle. Este proceder implica poder contar con un volumen de información exhaustivo, ya que los tramos horarios suelen diferir en cada línea.

— La función de costes de explotación de la compañía se ha definido lineal e independiente de las condiciones de explotación. Sin duda, sería mayor la aproximación si se pudiesen ajustar funciones de costes diferentes para horas punta y valle.

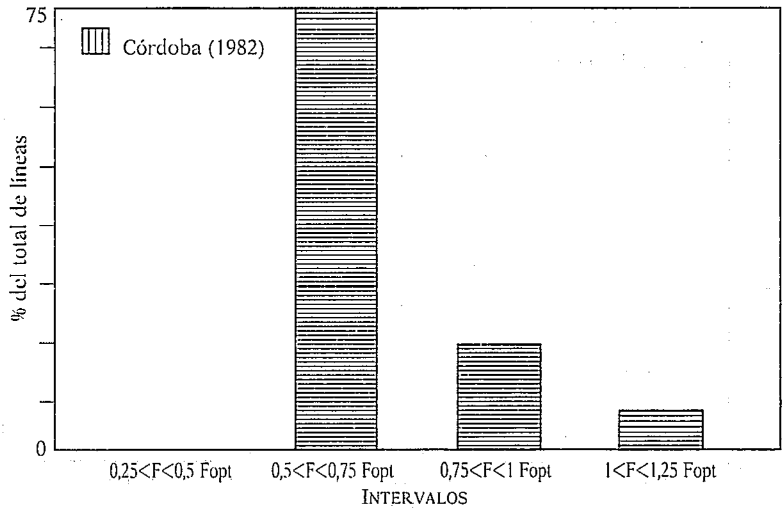
Los resultados ponen de manifiesto que la frecuencia de servicio ofrecida por las empresas españolas está por debajo de la que sería deseable socialmente (el promedio de líneas registra una frecuencia media que se sitúa entre el 50 y el 75 por 100 de la frecuencia óptima social). Estos resultados confirman los ya obtenidos en la aplicación del modelo que proponemos para el control integrado de gestión (5). En aquel momento indicamos que la calidad de servicio (en términos de kilómetros recorridos por habitante) de las empresas españolas era inferior en un 40,94 por 100 al estándar de empresas extranjeras. Estas conclusiones, sin embargo, deben tomarse con cautela. La superación de alguna de las limitaciones expresadas y la generalización del cálculo a una muestra de empresas superior y, para varios ejercicios, permitiría obtener una visión más fundamentada de la calidad de servicio de las E.T.U. españolas.

COMPARACION ENTRE FRECUENCIAS OPTIMAS Y OFRECIDAS

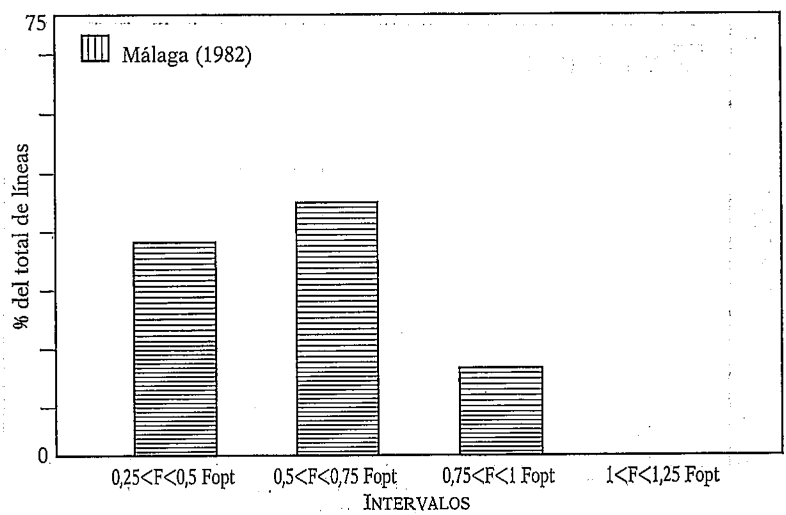


(5) Véase Diego PRIOR, *op. cit.*

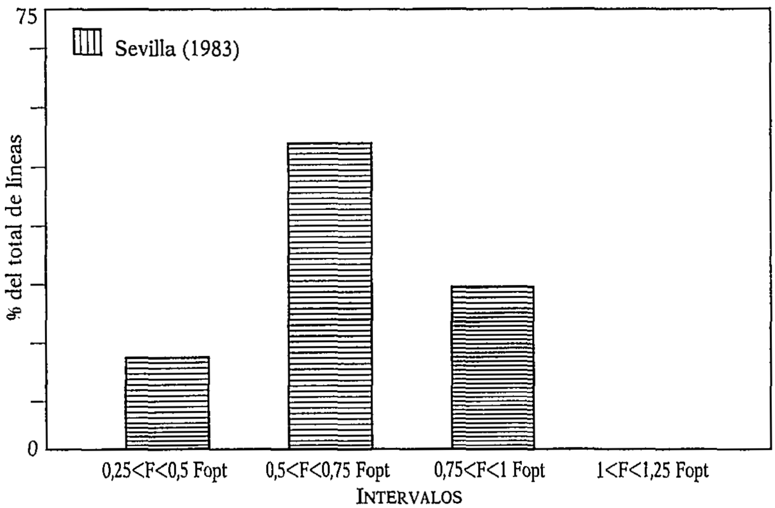
COMPARACION ENTRE FRECUENCIAS OPTIMAS Y OFRECIDAS



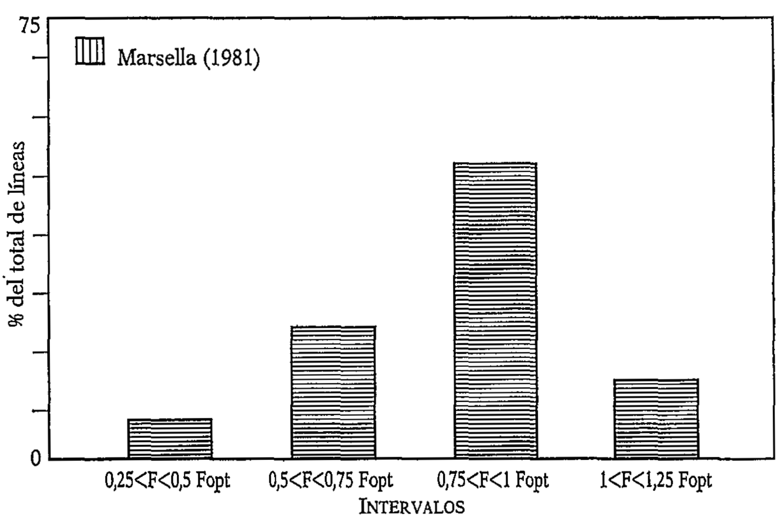
COMPARACION ENTRE FRECUENCIAS OPTIMAS Y OFRECIDAS



COMPARACION ENTRE FRECUENCIAS OPTIMAS Y OFRECIDAS



COMPARACION ENTRE FRECUENCIAS OPTIMAS Y OFRECIDAS



BIBLIOGRAFIA

JANSSON, Jan Owen: «MC princing of Scheduled Transport Service», *Journal of Transportation Economics and Policy,* vol. XIII, núm. 3, septiembre 1979.

— «A simple Bus Line Model for Optimisation of Service Frequency and Bus Size», *Journal of Transportation Economics and Policy,* vol. XIV, núm. 1, enero 1980.

MHORING, H.: «Optimisation and Scale Economics in Urban Bus Transportation», *American Economic Review,* vol. LXII, núm. 4, septiembre 1972.