

ANALISIS MULTIPRODUCTIVO DE COSTOS FERROVIARIOS EN SECCION
TRANSVERSAL: EL CASO EUROPEO

Sergio Jara Díaz, Marcela Munizaga Muñoz y Pedro Donoso Sierra

Universidad de Chile

Casilla 228-3, Santiago Chile

RESUMEN

Utilizando información anual acerca de trece ferrocarriles europeos observados durante diecisiete años, se estudia su estructura de costos mediante un análisis estadístico descriptivo agregado y la estimación de funciones de costo multiproductivas. Se trabaja con series de datos que incluyen costos de operación (salarios, energía y varios), flujos de carga y pasajeros, factores fijos e índices de precios de factores. El efecto de las diferentes conformaciones de la red ferroviaria es captado a través de su densidad (largo de línea /área del país), introducida como variable continua. Se obtienen resultados en términos de costos marginales, complementaridad de costos, elasticidad-precio de factores y el efecto red. Se estudia la sensibilidad de estos resultados a especificaciones alternativas y a estratificación por tamaño.

1. INTRODUCCION

La preocupación en torno al desempeño económico de los ferrocarriles en el mundo se ha incrementado notablemente en la última década, marcada por un ambiente de desregulación y financiamiento en los servicios de transporte. La existencia de economías de escala debido a la gran inversión inicial ha sido la base sobre la cual se ha justificado la existencia de subsidios, característica crónica de la operación ferroviaria. En los últimos años, sin embargo, han surgido iniciativas que apuntan a separar la administración financiera de vías, de la operación de material rodante. En estas circunstancias, parece más importante aún entender las características económicas estructurales de la operación ferroviaria, es decir, del movimiento de cosas y personas. No se trata sólo de analizar economías operativas de escala, sino también el comportamiento de costos marginales y la conveniencia de que una empresa movilice tanto carga como pasajeros. La herramienta apropiada para este tipo de análisis es la función de costo $C(W, X, Y)$, que representa el mínimo gasto necesario para producir el vector Y ; esto se logra adecuando el nivel de uso de insumos variables cuyos precios están contenidos en el vector W , considerando la existencia de insumos fijos, X (ver Apéndice). Una de las grandes dificultades de este enfoque en el caso de transporte, es el tratamiento del producto, de dimensiones normalmente inmanejables.

En este artículo se presenta una síntesis de un estudio de los costos operativos de los ferrocarriles europeos occidentales, usando información anual sobre gasto total, flujos de carga y pasajeros, variables de tamaño (línea, operarios), y componentes del gasto, referida a trece países durante diecisiete años. En la sección siguiente se describe la información disponible, así como las variables generadas a partir de ella, para luego realizar un análisis agregado de costos en la tercera sección. Más adelante se presenta los resultados de la estimación econométrica de funciones de costo multiproducto, donde la incorporación de la variable "densidad de red" se muestra necesaria. A partir del mejor modelo, se realiza estimaciones de las principales características económicas de la operación de los ferrocarriles europeos (grados de economías de escala y diversidad, complementariedad de costos y elasticidad precio de factores, entre otras). Por último, se sugiere algunas líneas de política y recomendaciones para futuras investigaciones.

2. DESCRIPCION DE LA INFORMACION

2.1. Los ferrocarriles europeos

Los ferrocarriles de Europa Occidental nacieron en su mayoría durante la primera mitad del siglo XIX, en forma de líneas aisladas construidas normalmente para movilizar materia prima entre puntos importantes. Evolucionaron hasta convertirse en grandes empresas públicas autónomas, arrastrando una tradición de servicio que se convirtió en una de sus características. Hoy ha pasado a primer plano la definición de estrategias de supervivencia, ya que son empresas que no cubren sus costos con ingresos propios, requiriendo de subvención estatal. El porcentaje de subsidio necesario oscila entre el 17% y el 68% de los costos, que corresponden a los casos de Suecia e Italia respectivamente (Gwilliam y Nash, 1979). Esta

situación ha provocado la generación de diversos enfoques y estrategias para enfrentar el déficit. Así, Dodgson (1984) propone un método para evaluar socialmente el cierre de algún servicio; se ha desarrollado análisis de demanda (e.g. McGeehan, 1984); se ha abogado por la discriminación de precios (Trotter, 1985); se ha criticado la estimación de costos variables (Joy, 1989) y, por ende, de las tarifas; se ha propuesto estímulos a la demanda, vía mejor servicio (Schönback y otros, 1990). El caso más drástico es el de Suecia, donde se menciona como solución separar la empresa en dos: una responsable de la infraestructura y otra del transporte propiamente tal (Jansson y Canderbring, 1989).

Por otra parte, los ferrocarriles europeos presentan gran diversidad de tamaños y formas de red; no se trata sólo del largo de líneas, sino también de su forma geométrica y el grado de cobertura del territorio (alto, en el caso de Bélgica, Alemania y Holanda; bajo en el de Noruega y Finlandia). Naturalmente, estas diferencias están relacionadas con las diferencias en la geografía económica y topografía de los países, lo que finalmente tiene incidencia en los costos. En los aspectos propiamente operacionales, que provocan diferencias de costo, Nash (1985) identifica factores como la carga media y tamaño de un tren, la densidad de tráfico (muy alta para Suiza y Holanda, muy baja para Irlanda), y la productividad de la mano de obra (baja para Italia). Por último, las empresas grandes utilizan en general tracción eléctrica en tanto que en las más pequeñas predomina la tracción diesel. Se observará que, en el contexto de funciones de costo, parte de estos factores son exógenos o fijos (línea, red, mano de obra) en tanto que otros son parte del proceso de adecuación de factores al nivel de producción (carga media y tamaño de un tren).

2.2. Datos disponibles

Previo a la estimación de una función de costo, es necesario definir las variables (vectores Y , W y X) y la forma funcional con las cuales se trabajará. Con respecto a la forma funcional, en este trabajo se decidió utilizar una función cuadrática, ya que es una forma flexible, que se ajusta muy bien en las inmediaciones del punto de aproximación y presenta la ventaja de poder ser evaluada en cualquier punto, siendo más confiable en torno al punto de aproximación. La definición operativa de variables a utilizar depende de la información disponible, pero debe considerarse que trabajos anteriores (Jara-Díaz, 1989; Jara-Díaz y otros, 1991) indican que se debe mantener el mayor nivel de desagregación posible en la especificación del producto.

Es preciso considerar que se trata de un pool de datos (varias empresas observadas durante varios años), por lo cual hay que tener especial cuidado con los problemas de heterocedasticidad y autocorrelación de errores, e incluir variables que den cuenta de las diferencias entre empresas.

La información disponible, recolectada y previamente tratada por Vigouroux (1989), incluye datos sobre la capacidad de transporte de la empresa, recursos físicos, movimiento anual de pasajeros y carga, y gasto en salarios, energía y varios. Desafortunadamente, no hay información de consumo de factores, lo que impide utilizar el lema de Shephard, que contribuye a mejorar la calidad de la estimación; sin embargo, eliminando algunas observaciones incompletas, la base

de datos consta de 175 puntos, con lo cual se tendrá grados de libertad suficientes para obtener una estimación confiable con un número razonable de variables.

Dada la información disponible, existen diversas formas posibles para describir el producto, tan agregadas como por ejemplo trenes-kilómetro o unidades de tráfico. En este trabajo, el vector de flujos utilizado es (P, PK, F, FK) que representan pasajeros, pasajeros kilómetro, toneladas y toneladas kilómetro, respectivamente; ésta corresponde a la especificación que mantiene la máxima desagregación posible. Este conjunto de variables permite diferenciar la influencia en los costos de mover pasajeros o carga, y la longitud del viaje.

A partir de los gastos en distintos items, se construye variables proxy de los precios de factores, ya que esta información no está disponible. Para el caso de salarios, el gasto en este ítem dividido en el número de operarios de la empresa da directamente el salario medio anual (WS). En el caso de gasto en varios, por ser este un ítem muy amplio, se considerará como estimador del índice de precios de insumos varios (WV) al gasto correspondiente dividido en los trenes kilómetro que cada empresa mueve anualmente. En cuanto al precio de la energía, se consideró que una proxy apropiada de consumo de energía son las toneladas kilómetro totales arrastradas anualmente (incluye peso de carga, pasajeros y equipo rodante), con lo cual la variable proxy de precio de energía puede ser calculada como el gasto en energía dividido en la variable mencionada.

De entre las variables que indican tamaño de la empresa y que pueden ser consideradas como factores fijos, se decidió incluir la longitud de vías (LT) y el número de operarios (S). Aún cuando no se puede determinar a priori si algunos insumos son fijos o no, un análisis cualitativo y cuantitativo de los antecedentes reportados permite formarse algunas opiniones previas; esto puede ser analizado y confirmado luego de estimar la función de costo.

Con una especificación que incluya las variables mencionadas, hay algunos elementos importantes que no son considerados, como por ejemplo la distribución espacial de los flujos o la existencia de congestión. Dadas las restricciones que impone la información disponible, se propone incorporar al modelo la variable continua densidad de red (R), calculada como la longitud de vías dividida en el área del país, que se espera recoja efectos que no tienen que ver con el tamaño sino con la forma de la red y su cobertura en el país que sirve.

La variable dependiente cuyo comportamiento se pretende explicar es Gasto Operativo Total Anual (CT).

En la Tabla 1 se presenta información sintética acerca de las variables definidas (media y coeficientes de variación), por país y para el total de la muestra. Se puede observar que hay diversidad de tamaño entre las empresas consideradas, siendo las más grandes Francia y Alemania Occidental, e Irlanda la más pequeña. Analizando los indicadores de producto se observa que, por ejemplo, Alemania mueve en promedio más pasajeros que Francia, pero Francia mueve más pasajeros kilómetro, lo que apoya la idea de distinguir flujo de flujo distancia en la especificación. Como fue mencionado en el punto anterior, también hay diferencias en términos de densidades de red, lo cual se

puede comprobar analizando la variable R. Hacemos notar que redes más grandes no significa países con mayor densidad de red, de lo cual se concluye que si efectivamente tamaño y densidad son dos efectos importantes, esto podrá ser captado con esta base de datos si la especificación lo permite.

TABLA 1
MEDIA Y COEFICIENTES DE VARIACION DE LAS VARIABLES
POR PAIS Y PARA EL TOTAL DE LA MUESTRA

media coef. de var.	P ·10 ⁶	PK ·10 ⁹	F ·10 ⁶	FK ·10 ⁹	WE	WV	S ·10 ³	LT ·10 ³	R	CT ·10 ³
INGLAT.	707.9 0.04	30.3 0.05	150.3 0.18	18.0 0.18	1.500 0.23	2.863 0.09	193.1 0.13	42.4 0.08	0.174 0.06	3362.9 0.08
SUIZA	219.3 0.06	8.7 0.08	44.5 0.08	6.7 0.09	1.060 0.09	1.965 0.11	37.8 0.03	7.2 0.03	0.173 0.03	736.3 0.04
IRLANDA	18.0 0.28	1.0 0.14	3.3 0.08	0.6 0.06	5.965 0.19	5.306 0.25	6.7 0.06	2.7 0.10	0.039 0.10	206.3 0.07
ALEMAN.	1027.6 0.04	30.2 0.04	314.1 0.09	62.3 0.07	1.560 0.17	1.723 0.17	331.9 0.18	65.4 0.02	0.263 0.02	4779.8 0.11
DINAMA.	119.0 0.16	3.7 0.20	7.6 0.09	1.9 0.09	2.259 0.30	2.430 0.28	18.1 0.07	4.7 0.01	0.109 0.01	354.0 0.06
ITALIA	382.7 0.05	38.3 0.05	56.7 0.06	18.0 0.05	0.776 0.24	4.754 0.31	213.6 0.03	30.2 0.02	0.100 0.02	3635.5 0.20
HOLANDA	192.7 0.08	8.7 0.06	21.2 0.09	3.2 0.08	1.980 0.20	1.143 0.22	26.9 0.02	6.9 0.02	0.204 0.02	439.7 0.08
NORUEGA	35.7 0.03	2.2 0.01	25.1 0.05	2.9 0.03	1.405 0.10	1.836 0.13	14.0 0.01	5.3 0.01	0.016 0.01	246.5 0.05
AUSTRIA	167.6 0.03	6.9 0.05	53.2 0.07	10.8 0.07	1.226 0.18	3.876 0.47	69.8 0.03	10.4 0.01	0.124 0.01	996.4 0.21
SUECIA	69.0 0.12	5.8 0.15	53.9 0.14	16.0 0.10	0.809 0.37	1.255 0.41	33.8 0.08	18.0 0.02	0.041 0.02	529.9 0.13
BELGICA	171.0 0.12	7.1 0.07	71.9 0.11	7.9 0.11	1.636 0.25	3.762 0.18	55.1 0.08	11.1 0.04	0.364 0.04	961.4 0.13
FRANCIA	712.7 0.08	56.0 0.11	194.7 0.18	62.4 0.11	0.831 0.19	2.798 0.05	241.5 0.07	72.1 0.09	0.131 0.09	3879.6 0.07
FINLAN.	36.5 0.14	3.0 0.09	27.6 0.10	7.4 0.11	1.106 0.23	1.064 0.24	23.5 0.04	9.0 0.01	0.027 0.01	247.7 0.09
TODOS	300.1 1.07	14.1 1.12	83.7 1.12	16.9 1.23	1.586 0.88	2.356 0.97	89.9 1.17	21.8 1.08	0.155 0.65	1621.9 1.01

3. ANALISIS AGREGADO DE COSTOS

Con la información descrita es posible realizar un análisis agregado de tipo monoproduktivo de los costos ferroviarios. Para ello se utiliza un indicador escalar del producto sumando PK y FK: las unidades de tráfico (UT), a partir del cual se puede representar el costo medio en la forma tradicional, como se ha hecho en la Figura 1. El rango de variación global de flujos (0 - 130000 UT/año) y de "costos medios" (0.02 - 1.6 £/UT) contempla la existencia de empresas de varios tamaños que se diferencian entre sí por el nivel de factores fijos. De esta forma, la envolvente representa una pseudo-curva de costos medios de largo plazo. Un punto fuera de la envolvente (sobre ella) pertenece a una curva de corto plazo, o bien es un punto ineficiente. Dado que en la figura no se controla los precios de factores, que hay dos factores fijos (S y LT), y que la composición del "producto" no es homogénea, no es posible visualizar directamente los puntos ineficientes. Sin embargo, son

candidatos a ello los puntos de mayor "costo medio" para un mismo nivel de "producto". Para tales puntos se comparó composición de flujo, nivel de precios de factores y factores fijos; se procedió a descartar aquellos que, sin presentar variaciones significativas en estas variables, presentaban un notorio costo medio superior. Con este procedimiento se eliminó una observación de Inglaterra, una de Suecia y todas las de Italia. Este último ferrocarril no parece responder a un comportamiento optimizador de factores ni en el corto ni en el largo plazo; esto coincide con aspectos ya discutidos (alto subsidio requerido, baja productividad de la mano de obra). La eliminación de estos puntos deja el número total de observaciones en 166. Cabe hacer notar que, a pesar de lo agregado del análisis, la envolvente de largo plazo y las curvas de corto plazo surgen en forma bastante nítida.

4. ANALISIS ECONOMETRICO

4.1. Variables y correlaciones

La correlación entre variables es un aspecto importante de analizar ya que, de ser alta, puede provocar problemas de multicolinealidad en la estimación. En la Tabla 2, se presenta los coeficientes de correlación entre todas las variables que serán incluidas en los modelos. Se puede observar que la correlación es relativamente alta entre las variables que indican producto, entre factores fijos, y entre factores fijos y producto; esto obliga a tratar con especial cuidado estas variables y a analizar como se comportan las correlaciones al multiplicar las variables por otras, ya que se usará una forma cuadrática.

TABLA 2
MATRIZ DE CORRELACION ENTRE VARIABLES

	CT	PD	PKD	FD	FKD	WED	WVD	S	LT	R
CT	1.00	0.98	0.93	0.96	0.91	-0.16	0.06	0.99	0.96	0.38
PD		1.00	0.91	0.94	0.87	-0.13	-0.03	0.96	0.92	0.43
PKD			1.00	0.85	0.90	-0.19	-0.01	0.89	0.96	0.28
FD				1.00	0.94	-0.19	-0.04	0.98	0.93	0.41
FKD					1.00	-0.23	-0.08	0.92	0.95	0.23
WED						1.00	0.34	-0.17	-0.22	-0.03
WVD							1.00	0.01	-0.05	0.22
S								1.00	0.95	0.37
LT									1.00	0.25
R										1.00

Al analizar las correlaciones de segundo orden (variables multiplicadas entre sí), se detecta algunos problemas serios que hacen ver la conveniencia de dejar sólo un factor fijo multiplicando a otras variables y de no incluir

todos los términos cruzados de producto, sino sólo algunos que permitan detectar efectos de interés.

4.2. Modelación

Como síntesis del análisis de variables y de correlaciones, se definió un modelo básico para la estimación, que considera el efecto de la densidad de la red sobre costos marginales y demanda por insumos. Luego de estimar gran cantidad de modelos que corresponden a variaciones sobre el modelo base, se obtuvo un mejor modelo, cuyos resultados en términos de derivadas con significado económico son presentados en la Tabla 3; el efecto red es presentado en la Tabla 4. Los resultados fueron obtenidos con el paquete estadístico TSP que, mediante la subrutina Analyz, permite estimar las derivadas y su t-estadístico a partir de los parámetros del modelo y su matriz de varianzas y covarianzas.

Este modelo, que consta de 26 parámetros a estimar, y en el que se incluye efectos de tercer orden (efecto de la densidad de la red sobre el consumo marginal de insumos) fue elegido por varias razones: es muy robusto (poco sensible a variaciones marginales en la especificación) y no presenta problemas de heterocedasticidad ni autocorrelación de errores. Desde el punto de vista de los resultados económicos, es un modelo sensato que no arroja signos contrarios a lo esperado. Como se puede ver en la Tabla 3, el modelo arroja costos marginales y demanda por factores positivos, y elasticidades precio propias negativas, entre otras cosas. Con el objeto de analizar el comportamiento del modelo en puntos alejados de la media, se calculó primeras derivadas por país, obteniéndose resultados razonables. Por último (y al igual que otros estimados) el modelo presenta un buen ajuste estadístico ($R^2=0.998$) y estimadores confiables en general.

En la Tabla 3, también se presenta resultados provenientes de estimar modelos con enfoques alternativos al propuesto: modelo sin R, modelos separados para países chicos y grandes, y modelo con dummy país. Cabe mencionar que, también en este caso, los resultados presentados corresponden al mejor modelo dentro de una serie de ellos estimados en cada caso.

El modelo sin R, aún cuando presenta resultados estadísticamente buenos y de significado económico que podría ser considerado razonable, es poco robusto. Este modelo corresponde a un enfoque que considere que no hay un efecto de la densidad de la red y que las otras variables mencionadas contienen información suficiente para explicar el gasto. Para verificar esta afirmación, se realizó el clásico test F que permite detectar la contribución de un conjunto de variables al poder explicativo del modelo, validando la hipótesis conjunta de que un grupo de coeficientes son nulos. Los resultados indicaron que, al 99% de significancia, se rechaza la hipótesis nula (coeficientes asociados a R son cero) con holgura.

El estimar modelos separados para países chicos y grandes corresponde a suponer que las empresas grandes tienen una función de costo distinta a la de los países chicos. Los resultados en términos de derivadas evaluadas en la media podrían ser considerados razonables, salvo algunos problemas; la elasticidad precio de la energía arroja un valor positivo en el modelo

TABLA 3
RESULTADOS DE LOS MODELOS
EN TERMINOS DE PRIMERAS Y SEGUNDAS DERIVADAS

MODELO	M1	M2	M3CH	M3GR	M4
CMg _F	5.56 (8.84)	5.03 (7.01)	3.33 (7.01)	3.40 (3.24)	2.10 (2.38)
CMg _P	2.75 (14.3)	2.25 (12.7)	0.69 (3.41)	4.45 (8.52)	0.76 (2.17)
X _E	44427 (2.01)	81205 (3.70)	29237 (4.05)	235182 (4.47)	87010 (3.81)
X _V	257085 (17.3)	253508 (16.8)	37059 (3.34)	401111 (12.0)	251184 (18.5)
$\frac{\partial C}{\partial S}$	2.30 (3.46)	3.44 (8.44)	18.0 (6.93)	2.99 (2.15)	1.08 (0.68)
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial F}$	-	-	-	2.43 (2.27)	0.38 (0.47)
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial P}$	-	-	-	1.41 (2.46)	0.16 (0.71)
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial UT}$	0.0013 (1.40)	0.0026 (2.62)	0.0072 (3.03)	-	-
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V \partial F}$	-	-	-	3.92 (3.78)	0.13 (0.24)
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V \partial P}$	-	-	-	1.03 (2.85)	1.01 (5.32)
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V \partial UT}$	0.0086 (11.9)	0.0085 (11.4)	0.0060 (2.65)	-	-
$\frac{\partial^2 C}{\partial F^2}$	3.53E-5 (2.98)	3.61E-5 (2.80)	7.26E-5 (0.52)	2.01E-5 (0.98)	-2.6E-6 (0.17)
$\frac{\partial^2 C}{\partial F \partial P}$	-2.3E-6 (0.83)	-5.2E-6 (1.74)	1.76E-5 (0.90)	2.87E-6 (0.70)	-1.7E-6 (0.43)
$\frac{\partial^2 C}{\partial P^2}$	-5.8E-6 (4.49)	-1.5E-6 (1.39)	-1.4E-5 (2.37)	-7.2E-6 (3.35)	5.47E-6 (2.49)
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial W_V}$	32570 (5.22)	26489 (4.00)	27889 (3.91)	89901 (2.55)	1618 (0.30)
η_E	-0.210 (0.41)	-0.417 (1.42)	-0.484 (2.15)	0.170 (0.26)	-0.321 (1.75)
η_V	-0.153 (2.08)	-0.179 (2.37)	-2.286 (2.05)	-0.025 (0.17)	0.075 (1.00)
R ² _c	0.9983	0.9979	0.9930	0.9984	0.9994

Nota: M1, modelo que incluye el efecto red; M2, modelo sin R; M3, modelos separados para países chicos y grandes; M4, modelo con dummy país. Los valores entre paréntesis corresponden al t-estadístico del estimador.

estimado para países grandes, y el costo marginal de pasajeros es mucho menor en el caso de países chicos que en el de países grandes, lo cual se contrapone con lo que se puede inferir del análisis agregado de costos medios. En cuanto a los resultados por país, se puede inferir que este tipo de modelación presenta problemas en puntos alejados de la media, ya que al calcular las primeras

derivadas por país, se encuentra muy pocas derivadas significativas y algunas significativas de signo incorrecto.

Los modelos con dummy país, que corresponden a suponer que hay diferencias entre empresas, tienen el problema de añadir gran cantidad de parámetros a estimar con lo cual se pierden grados de libertad y, por lo tanto, confiabilidad de la estimación; los resultados que aquí se presentan corresponden a un modelo como los anteriores, al que se agrega variables dummy aditivas para los distintos países. Los resultados no son muy buenos, como se puede ver en la Tabla 3; la capacidad de reproducir efectos observados en la media es limitada (muy pocas derivadas significativas). Además, en puntos alejados de la media, se presentan problemas aún más serios.

Luego de este análisis, no cabe duda que la variable R es importante y tiene que estar captando algún fenómeno; cabe señalar que ésta aparece influyendo significativamente sobre costos marginales y consumos marginales de insumos, como se muestra en la Tabla 4.

TABLA 4
EFECTO RED SOBRE COSTOS
MARGINALES Y CONSUMOS MARGINALES

$\frac{\partial^2 C}{\partial F \partial R}$	$\frac{\partial^2 C}{\partial P \partial R}$	$\frac{\partial^2 X_E}{\partial U \partial R}$	$\frac{\partial^2 X_V}{\partial U \partial R}$
18.0 (2.21)	-4.43 (1.53)	-0.0068 (0.90)	-0.0151 (3.25)

De los resultados de la estimación del modelo con R, se desprende, en primer lugar, que el número de operarios es un factor sólo en parte fijo, ya que su coeficiente (2.3 miles de £/año) es mucho menor que la tasa salarial media (11.3 miles de £/año); lo que significa que hay un aporte del insumo trabajo al gasto variable.

Los costos marginales estimados en la media son interpretables como el costo de mover una unidad adicional (un pasajero o una tonelada de carga) una distancia igual a la media. El costo marginal de mover un pasajero (2.75£) equivale a 6 centavos de libra por pasajero kilómetro. En el caso de la carga (5.56£) equivale a 3 centavos de libra por tonelada kilómetro.

Resultados interesantes que pueden ser calculados a partir del modelo estimado son los grados de economías de escala y de diversidad entre los movimientos de carga y pasajeros, en costos operativos. Estos resultados, estimados en la media de cada país, son presentados en la Tabla 5.

Por último, cabe mencionar que el coeficiente que indica complementariedad de costos, que aquí aparece como poco significativo, es sistemáticamente negativo en todos los modelos estimados.

TABLA 5
GRADOS DE ECONOMIAS DE ESCALA Y DE DIVERSIDAD
POR PAIS CALCULADOS CON MEJOR MODELO CON R

PAIS	s	t-est.	ED	t-est.
INGLATERRA	1.874	11.2	0.156	2.0
SUIZA	1.270	10.3	1.571	5.4
IRLANDA	1.244	5.1	11.781	5.1
ALEMANIA	1.488	10.0	0.029	0.3
DINAMARCA	1.133	7.5	2.931	6.1
HOLANDA	1.387	6.3	2.512	4.7
NORUEGA	1.387	7.5	2.097	2.8
AUSTRIA	0.999	13.8	1.140	7.1
SUECIA	1.253	7.3	0.614	1.9
BELGICA	1.407	8.1	2.534	5.8
FRANCIA	1.224	4.2	0.093	0.6
FINLANDIA	1.936	4.2	0.955	1.6

5. CONCLUSIONES

A partir de información agregada, se ha realizado un análisis de costos de la operación de los ferrocarriles europeos cuyo elemento central ha sido la estimación de una función de costo multiproducto que incluye efecto red. Desde un punto de vista metodológico, el resultado más importante es la superioridad del modelo que incluye la variable densidad de red, tanto en términos econométricos como de riqueza en su interpretación económica. En este sentido, es posible extraer una serie de conclusiones interesantes.

En primer lugar, y dentro del rango de valores observados, la densidad de red contribuye a elevar el costo marginal de la carga y a disminuir el de pasajeros, provocando además menor consumo marginal de los insumos energía y varios, es decir, el aumento del flujo provoca un consumo adicional más bajo en redes más densas. Por otra parte, los resultados sugieren que sólo parte de la mano de obra es en realidad fija en el plazo anual, ya que su coeficiente resulta inferior al valor de la tasa salarial media (cabe preguntarse si el ajuste de la parte variable proviene de contratos temporales, horas adicionales de trabajo, u otros mecanismos). En cuanto a costos marginales, su valor en la media indica que trasladar un pasajero requiere la mitad de recursos adicionales que una tonelada; sin embargo, como la distancia media de viaje de un pasajero es la cuarta parte de la de carga, para viajes comparables la relación es exactamente la inversa. Dichos costos son crecientes para la carga y decrecientes para los pasajeros; aunque no es estadísticamente significativo, se detecta en forma muy robusta complementariedad de costos entre ambos flujos, es decir, los costos marginales

decrecen al aumentar el otro tipo de flujo. Igualmente interesante es constatar las muy bajas elasticidades precio por el consumo de factores.

A partir de los resultados directos es posible calcular el grado de economías de escala y de diversidad en la operación ferroviaria para cada uno de los países. En cuanto a escala, se detecta significativos retornos crecientes en todos los casos salvo Austria (retornos constantes), en un grado variable entre 1.22 (Francia) y 1.94 (Finlandia). En el contexto de este análisis, esto debe ser interpretado como las ventajas operativas de una gran empresa sobre varias pequeñas produciendo fracciones del movimiento de carga y pasajeros (en la misma proporción), y también como una señal de las ventajas (desde el punto de vista de los propios costos) de expandir el nivel de operaciones dado el tamaño de la empresa. Se debe notar que estos resultados indican que no es posible cubrir costos operativos tarifando a costo marginal.

El grado de economías de diversidad entre movimientos de carga y pasajeros resultó positivo en todos los casos, indicando que no sería conveniente, desde un punto de vista operativo, dividir la actividad ferroviaria en dos empresas especializadas (carga y pasajeros); cabe señalar que sólo en los casos de Francia y Alemania (las empresas de mayor tamaño y producción) el grado de economías de diversidad no resulta significativamente distinto de cero, lo que indica que tal especialización generaría los mismos costos operativos.

Los resultados aquí reportados y analizados sugieren la conveniencia, desde el punto de vista de cada empresa ferroviaria, de expandir la producción, en particular el movimiento de pasajeros, para utilizar mejor su capacidad. Como éste es un análisis muy agregado, es probable que aquí se esté detectando la necesidad de inducir o atraer demanda en periodos de baja utilización, lo que hace de la tarificación diferenciada una herramienta interesante. Por otra parte, las ventajas de producción conjunta (carga - pasajeros) no parecen haber sido agotadas salvo en las empresas mayores.

Por último, el análisis presentado ilustra muy claramente los alcances y limitaciones del estudio de carácter monoproduktivo (del cual se pudo extraer información interesante), y la riqueza del enfoque multiproduktivo considerando adecuadamente las variables.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue parcialmente financiada por FONDECYT, proyecto 1217-91 y DTI (Universidad de Chile), proyecto I-3092/9011. Agradecemos a Christian Vigouroux su colaboración.

REFERENCIAS

Dodgson, J. (1984) "Railway costs and closures", *Journal of Transport Economics and Policy* 18, pp. 219.

Gwilliam, K. y C. Nash (1979) *A comparative study of european rail performance*, British Railway Board, Londres.

Jansson, J. y P. Canderbring (1989) "Swedish railway policy 1979-88", *Journal of Transport Economics and Policy* 23, pp. 329-337.

Jara-Díaz, S. (1989) "Analytical errors from pseudo multioutput transportation cost functions", no publicado aún.

Jara-Díaz, S., P. Donoso y J. Araneda (1991) "Estimation of marginal transport costs using the flow aggregation function approach". Por aparecer en *Journal of Transport Economics and Policy*.

Joy, S. (1989) "Railway costs and planning", *Journal of Transport Economics and Policy* 23, pp. 45-54.

Nash, C. (1985) "European Railway comparisons - what can we learn?", *International Railway Economics*, editado por K. Button y D. Pitfield, Gower Publishing Company Limited, pp. 237-269.

Schönbäck, W., J. Brötholer y S. Winbelbauer (1990) "The new railway concept in Austria", *Journal of Transport Economics and Policy* 24, pp. 219.

Trotter, S. (1985) "The price - discriminating public enterprise, with special reference to British Rail", *Journal of Transport Economics and Policy* 19, pp. 41.

Vigouroux, Ch. (1989) *Exploratory analysis in the estimation of transport cost functions for european railways*. Tesis de Master of Arts, Universidad de Leeds.

APENDICE

La función de costo corresponde al mínimo gasto necesario para producir el vector Y a precios dados W y con eventuales factores fijos \bar{X} . Es decir,

$$C(W, Y, \bar{X}) = \min \{ W \cdot X' / (X, \bar{X}, Y) \in T \} , \quad (1)$$

en que T corresponde al conjunto de los pares (X, Y) tecnológicamente factibles. Por simplicidad, en adelante se utilizará $C(Y)$ como notación para la función de costo. A partir de la función de costo se puede determinar:

costos marginales

$$m_i = \frac{\partial C}{\partial Y_i} ; \quad (2)$$

ecuaciones de demanda por insumos (lema de Shephard)

$$X_i = \frac{\partial C}{\partial W_i} ; \quad (3)$$

complementaridad de costos

$$\frac{\partial^2 C}{\partial Y_i \partial Y_j} = \frac{\partial m_i}{\partial Y_j} = \frac{\partial m_j}{\partial Y_i} ; \quad (4)$$

elasticidad precio de la demanda por insumos

$$\eta_i = \frac{\partial X_i}{\partial W_i} \cdot \frac{W_i}{X_i} = \frac{\partial^2 C}{\partial W_i^2} \cdot \frac{W_i}{X_i} ; \quad (5)$$

grado de economías de escala

$$s = \frac{C(Y)}{Y \cdot VC(Y)} ; \quad (6)$$

grado de economías de diversidad

$$ED = \frac{C(Y_r) + C(Y_m) - C(Y)}{C(Y)} , \quad (7)$$

en que Y_r e Y_m son subconjuntos del vector Y .

La función de costo debe cumplir:

$$C(Y) \geq 0 \quad \forall Y \quad (8)$$

$$m_i \geq 0 \quad (9)$$

$$X_i \geq 0 \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial Y_i \partial W_j} = \frac{\partial m_i}{\partial W_j} = \frac{\partial X_j}{\partial Y_i} \geq 0 \quad (\text{insumos normales}) \quad (11)$$

FIGURA 1

PSEUDO CURVA DE COSTOS MEDIOS

