

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL

M966
1991
M925
c. 2

ESTIMACION DE UNA FUNCION DE COSTO MULTIPRODUCTO PARA
FERROCARRILES EUROPEOS DE RED HETEROGENEA

MARCELA ADRIANA MUNIZAGA MUÑOZ



00000

Profesor Guía : SERGIO JARA DIAZ

Profesores de Comisión : PEDRO DONOSO SIERRA
PABLO SERRA BANFI

MEMORIA PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO CIVIL

SANTIAGO - CHILE

Noviembre 1991

0000 910137

Las Funciones de la Oficina de Educación de la Universidad son una herramienta fundamental para la evaluación de políticas de desarrollo. En el caso del programa de desarrollo existe una gran preocupación por las formas de implementación, los recursos y el financiamiento de las acciones. Los estudiantes deben de tener de los cursos de desarrollo el problema de desarrollo en un contexto, por ejemplo, la existencia de recursos de capital humano a los que se debe dar un uso adecuado para mejorar las condiciones de vida.

AGRADECIMIENTOS

en los cursos de desarrollo en materia de gestión y desarrollo económico de la zona, de diversidad y otros programas de interés.

Quiero expresar mi agradecimiento a los profesores de comisión de este trabajo de título, muy especialmente a Pedro Donoso y a mi profesor guía y tutor, Sergio Jara, por tener la paciencia de reunirse semanalmente conmigo durante todo el desarrollo de este trabajo y estar siempre dispuestos a conversar de cualquier tema.

variable función de los (longitud de los divisores en área del país).

Aprovecho además esta instancia de agradecimiento para recordar a la familia Slater Muñoz, que me acogió en los momentos difíciles, y agradecer a Jaime Gibson por haber sido mi profesor del CI430.

evaluación económica de los sistemas educativos, el análisis microeconómico de los recursos humanos, permitir definir la especificación más adecuada y eficiente para los recursos. Los recursos humanos son un factor de producción clave en el desarrollo y a partir de estos se pueden definir estrategias de desarrollo que permitan mejorar el nivel de vida de la población. La cooperación de resultados con los recursos humanos es un aspecto importante del desarrollo. Los recursos humanos son un factor de producción clave en el desarrollo y a partir de estos se pueden definir estrategias de desarrollo que permitan mejorar el nivel de vida de la población.

Los resultados muestran que el modelo propuesto es efectivamente mejor que los modelos tradicionales, dada la restricción de información disponible. Se concluye que el modelo de desarrollo es un modelo de desarrollo que permite mejorar el nivel de vida de la población. Los recursos humanos son un factor de producción clave en el desarrollo y a partir de estos se pueden definir estrategias de desarrollo que permitan mejorar el nivel de vida de la población.

RESUMEN

Las funciones de costo de empresas de transporte son una herramienta fundamental para la evaluación de políticas de operación. En el caso del transporte ferroviario existe una gran preocupación por las formas de operación más adecuadas y el financiamiento de las empresas. Los antecedentes sobre la base de los cuales se discute el problema ferroviario suelen ser escasos; por ejemplo, la existencia de economías de escala debido a los altos costos fijos, es usada como argumento para justificar subsidios. La estimación de una función de costo multiproducto confiable permitiría evaluar el impacto en los costos de distintas estrategias de gestión, y detectar economías de escala, de diversidad y otras propiedades de interés.

En este trabajo, utilizando información previamente recolectada acerca de trece países de Europa Occidental observados durante 17 años, se estima una función de costos operativos con un enfoque multiproducto. Se trabaja con una especificación agregada de producto, mejorada por la incorporación de la variable densidad de red (longitud de vías dividida en área del país). La variable densidad de red tiene por objeto homogeneizar empresas que producen vectores de flujo distintos. La revisión de la teoría básica en el tema y de trabajos afines reportados en la literatura, el análisis cualitativo y estadístico descriptivo de las empresas modeladas, el análisis monoproduktivo de costos medios, permitieron definir la especificación más adecuada y eliminar puntos ineficientes. Los modelos fueron estimados utilizando una función cuadrática, y a partir de éstos se calculó costos marginales, elasticidades precio de demanda por insumos, complementaridad de costos, grado de economías de diversidad, etc. La comparación de resultados, con modelos provenientes de enfoques alternativos tradicionalmente usados, permitió estudiar el aporte de la especificación propuesta.

Los resultados muestran que el modelo propuesto es efectivamente mejor que los modelos tradicionales, dada la restricción de información disponible. Se muestra estadísticamente que la densidad de la red tiene un efecto significativo en la explicación del gasto. El modelo permite obtener información que puede ser útil para la gestión de estas empresas ferroviarias; se detecta economías de escala y de diversidad en costos operativos para la gran mayoría de los países analizados, lo cual sugiere que sería adecuado implementar una política que fomente el uso de transporte ferroviario.

1 INTRODUCCION

- 1.1 Presentación del problema 2
- 1.2 Contenido de la memoria 3

2 TEORIA BASICA Y ANTECEDENTES

- 2.1 Introducción 6
- 2.2 Teoría de las funciones de costo 7
- 2.3 Estimación de funciones de costo multiproducto en transporte
- 2.3.1 Teoría básica de la estimación 10
 - 2.3.2 Tratamiento de cortes transversales y pooles de datos 15
 - 2.3.3 Funciones de costos ferroviarios 17
 - 2.3.4 Síntesis 20

3 DESCRIPCION DE LOS DATOS

- 3.1 Introducción 23
- 3.2 Los ferrocarriles europeos 24
- 3.3 Información disponible 26
- 3.4 Análisis estadístico descriptivo
- 3.4.1 Descripción de las variables 30
 - 3.4.2 Análisis agregado de costos 32
 - 3.4.3 Correlación entre variables 42
- 3.5 Síntesis 45

4 ESTIMACION DE UNA FUNCION DE COSTO PARA EL CASO DE FERROCARRILES EUROPEOS	
4.1 Introducción	47
4.2 Estimación de un modelo con R	
4.2.1 Definición del modelo base	48
4.2.2 Mejor modelo con R	52
4.3 Especificaciones alternativas	
4.3.1 Modelo sin R	57
4.3.2 Modelos separados para países chicos y grandes	59
4.3.3 Modelo con dummy país	60
4.4 Análisis de resultados	62
CAPITULO 5	
5. CONCLUSIONES	
INTRODUCCION	
5.1 Síntesis	67
5.2 Comentarios y conclusiones	68
REFERENCIAS	72
ANEXO A : RESULTADOS DE ESPECIFICACIONES QUE INCLUYEN DENSIDAD DE RED	
ANEXO B : RESULTADOS DE ESPECIFICACIONES QUE NO INCLUYEN DENSIDAD DE RED	
B.1 Modelos sin R	
B.2 Modelos para países grandes y chicos	
B.3 Modelo con dummy país	

1.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS DATOS

La información ferroviaria se caracteriza por un gran volumen y por la necesidad de mantenerla actualizada, ya que los datos de tráfico, ingresos y gastos cambian constantemente y afectan a la operación económica de la empresa. Por otro lado, los datos de tráfico y de ingresos se refieren a períodos de tiempo relativamente cortos, lo que dificulta el análisis de tendencias a largo plazo. Además, la información de tráfico y de ingresos se refiere a períodos de tiempo relativamente cortos, lo que dificulta el análisis de tendencias a largo plazo. Además, la información de tráfico y de ingresos se refiere a períodos de tiempo relativamente cortos, lo que dificulta el análisis de tendencias a largo plazo.

Salvo lo mencionado, la información que se tiene acerca de los movimientos de los coches ferroviarios es escasa. En particular, existe poca información acerca de la existencia o no de servicios de coches en ciertos períodos complementarios de coches o de otros servicios que para ser desarrollados se necesitan de mano de obra adicional.

CAPITULO 1

INTRODUCCION

En este capítulo se presenta una descripción general de la información que se tiene acerca de los movimientos de los coches ferroviarios. Se describe la estructura de los datos y se discute la necesidad de una base de datos que permita el análisis de los movimientos de los coches ferroviarios.

La existencia de una base de datos actualizada y previamente probada por Vigoreux (1963), con información anual acerca de los países de Europa Occidental observados durante 19 años, permite realizar una muestra de datos para el análisis de los movimientos de los coches ferroviarios en distintos períodos de tiempo. Este análisis se realiza con el propósito de determinar la necesidad de una base de datos que permita el análisis de los movimientos de los coches ferroviarios.

Esta base de datos, como es frecuente, contiene información confiable pero incompleta. En particular, los datos de tráfico se refieren a niveles de pasajeros, mercancías, toneladas y toneladas-kilómetros de tráfico mensualmente por línea férrea. Esta información es suficiente para el análisis de las tendencias de tráfico y de ingresos a largo plazo, pero no permite el análisis de los movimientos de los coches ferroviarios en períodos de tiempo relativamente cortos. Por lo tanto, se requiere una base de datos que permita el análisis de los movimientos de los coches ferroviarios en períodos de tiempo relativamente cortos.

1.1 PRESENTACION DEL PROBLEMA

El transporte ferroviario se caracteriza por su gran capacidad y por requerir de mucha inversión. Dada la ventaja de poder mover gran cantidad de pasajeros y carga, de especial interés social y estratégico, y la particular estructura de costos, generalmente las empresas ferroviarias reciben fuertes subsidios. En los últimos años se ha cuestionado la forma de operación de muchas empresas ferroviarias y se ha propuesto diversas políticas de operación tendientes a superar los problemas de déficit financiero que éstas presentan. La base sobre la cual se discute el problema del financiamiento de las empresas ferroviarias y se justifican los subsidios, suele ser las fuertes economías de escala que provocan los altos costos fijos.

Salvo lo mencionado, la información que se tiene acerca de las características de los costos ferroviarios es escasa. En particular, existe poca información acerca de la existencia o no de economías de escala en costos operativos, complementaridad de costos o economías de diversidad entre movimientos de pasajeros y carga, u otros efectos que para ser detectados requieren de una función de costo confiable que al menos distinga entre movimientos de pasajeros y carga. Por esto, resulta particularmente interesante estimar una función de costos operativos con un enfoque multiproducto.

La existencia de una base de datos recolectada y previamente tratada por Vigouroux (1989), con informaciones anuales acerca de trece países de Europa Occidental observados durante 17 años, permite estimar una función de costo común para empresas de diversos tamaños, redes diferentes y vectores de flujo distintos, permitiendo así estudiar efectos de interés económico en un amplio rango.

Esta base de datos, como es frecuente, contiene información confiable pero agregada. En particular, los flujos movidos se conocen a nivel de pasajeros, pasajeros-kilómetro, toneladas y toneladas-kilómetro movidos anualmente por cada empresa. Esto presenta un interesante desafío: ¿cómo estimar una función de costo común a varias empresas con tan diferentes características, utilizando medidas agregadas de producto?. Sobre la base de trabajos

reportados que analizan el problema de la especificación del producto en transporte (Jara-Díaz, 1982; Jara-Díaz, Donoso y Araneda, 1991), se propone incluir en la modelación la variable continua densidad de red, calculada como la longitud de vías dividida en el área del país. Se espera que esta variable recoja efectos que no es posible detectar con la información disponible de producto, como por ejemplo la distribución espacial de los flujos o la influencia de la congestión, elementos que, según la evidencia empírica reportada por Jara-Díaz, Donoso y Araneda (1991) influyen en los costos marginales.

Los objetivos de este trabajo son estudiar el efecto de la variable densidad de red sobre la especificación de una función de costo común a varias empresas, comparar la especificación propuesta con especificaciones provenientes de enfoques alternativos, obtener resultados de interés económico de la estimación y sus implicancias en términos de política para los ferrocarriles europeos, y analizar los aspectos que serían interesantes para investigaciones futuras.

1.2 CONTENIDO DE LA MEMORIA

Con el objeto de situar al lector en el contexto de la teoría microeconómica que es usada en este trabajo, y en lo que se ha hecho en trabajos anteriores, en el capítulo 2 se hace una síntesis de la teoría de las funciones de costo multiproducto, y una revisión de la estimación de funciones de costo en transporte, que contiene algunos aspectos importantes de la teoría de la estimación, el tratamiento de cortes transversales y pooles de datos, y una síntesis de trabajos reportados sobre estimación de funciones de costos ferroviarios.

El capítulo 3 se centra en el caso estudiado; en este se realiza un análisis cualitativo de las empresas ferroviarias analizadas sobre la base de antecedentes reportados, la definición de las variables a utilizar y un estudio estadístico de estas variables. Como parte del estudio estadístico se incluye un análisis agregado de costos medios que es útil para visualizar el tipo de función de costo a estimar.

Las estimaciones de modelos con el enfoque propuesto y con enfoques alternativos son presentadas en el capítulo 4, que contiene la definición de los modelos, los resultados de la estimación y el análisis de estos resultados.

En el capítulo de conclusiones se hace una breve síntesis del trabajo, se discute el problema metodológico planteado en el punto 1.1 a la luz de los resultados obtenidos y se discute los resultados económicos y sus implicancias en términos de políticas de operación.

CAPÍTULO 2

TEORÍA BÁSICA Y ANTECEDENTES

2.1. INTRODUCCION

El objetivo de este capítulo es ofrecer una visión general del estado de la teoría microeconómica y del estado actual de la investigación en el sector, el problema que es tratado en este trabajo de titulación.

Este trabajo se basa en la teoría microeconómica de la producción, que es descrita brevemente en el punto siguiente. El problema de la estimación econométrica de funciones de costo multigrado, y el caso particular de transporte, son tratados en el **CAPITULO 2** este abarca el tratamiento del problema de transporte; el problema de la estimación de funciones de costo en general, y el caso de costo de tiempo (costo de tiempo) se presentan además algunas especificaciones recuadradas en la literatura, para ilustrar lo que se ha hecho en la estimación de funciones de costo y en el tratamiento de costo de tiempo en transporte y en particular en estimación de funciones de costos ferroviarios.

2.1 INTRODUCCION

El objetivo de este capítulo es situar dentro del contexto de la teoría microeconómica y del estado actual de la investigación en el sector, el problema que es tratado en este trabajo de título.

Este trabajo se basa en la teoría microeconómica de la producción, que es descrita brevemente en el punto siguiente. El problema de la estimación econométrica de funciones de costo multiproducto, y el caso particular de transporte, son tratados en el punto 2.3; este abarca el tratamiento del producto en transporte, el problema de la estimación de funciones de costo en general, y el caso de cortes transversales observados en serie de tiempo (pool de datos). Se presentan además algunas experiencias reportadas en la literatura, para ilustrar lo que se ha hecho en la estimación de funciones de costo y en el tratamiento de pool de datos en transporte y en particular en estimación de funciones de costos ferroviarios.

2.2 TEORIA DE LAS FUNCIONES DE COSTO

Una función de costo es, por definición, la solución al problema de minimizar el gasto necesario para producir un vector de productos Y , dados los precios de factores W y sujeto a una tecnología dada. Analíticamente:

$$\begin{aligned} & \text{Min}_x W \cdot X && (2.2.1) \\ & \text{s.a. } (X, Y) \in T \\ \Rightarrow & X^*(W, Y) \\ \Rightarrow & C(W, Y) = W \cdot X^*(W, Y) \end{aligned}$$

con:

W : Vector de precios de insumos.

X : Vector de demanda por insumos.

Y : Vector de productos.

T : Conjunto de pares (X, Y) tecnológicamente factibles, es decir, tal que Y puede ser producido con X .

$C(W, Y)$: Función de costo.

En el caso en que algunos de los insumos no pueden ser ajustados durante el periodo analizado de modo de minimizar el gasto, se habla de **factores fijos**, y la función de costo de **corto plazo** se obtiene resolviendo el siguiente problema de optimización :

$$\begin{aligned} & \text{Min}_{X_i} \sum_i W_i \cdot X_i + \sum_j W_j \cdot X_j && (2.2.2) \\ & \text{s.a. } (X, Y, \bar{X}) \in T \\ \Rightarrow & X_i^*(W, Y, \bar{X}) \\ \Rightarrow & C(W, Y, \bar{X}) = \sum_i W_i \cdot X_i^* + \sum_j W_j \cdot \bar{X}_j \end{aligned}$$

con:

\bar{X} : Vector de factores fijos.

$C(W, Y, \bar{X})$: Función de costo de corto plazo.

El corto plazo se define como un periodo en que hay factores que no pueden ser modificados para minimizar el gasto; por consiguiente, en el largo plazo, no hay factores fijos. La función de costo de largo plazo puede ser obtenida a partir de la de corto plazo, optimizando con respecto al nivel de los factores fijos.

La restricción tecnológica puede ser reemplazada por una función de transformación $F(X,Y)=0$, que representa optimalidad; analíticamente la función de transformación se define como:

$$(X,Y) \in T \Leftrightarrow F(X,Y) \geq 0 \quad (2.2.3)$$

tal que $F(X,Y)=0$ representa optimalidad.

De este modo, $F(X,Y)=0$ entrega las combinaciones óptimas de X para producir Y . Para que varias empresas tengan a una misma función de costo, es necesario verificar que todas tienen, en el largo plazo, acceso a la misma tecnología.

Algunas características de la tecnología pueden ser detectadas a través de la función de costo. En particular, el grado de economías de escala S , que se define como la máxima tasa de crecimiento del producto, cuando todos los insumos aumentan proporcionalmente, puede ser calculado como :

$$S = \frac{C(Y)}{Y \cdot \nabla C(Y)} \quad (2.2.4)$$

$S > 1$ indica existencia de economías de escala, es decir, se está en un punto en que con una empresa más grande, se podría producir con menor gasto en recursos que con varias empresas produciendo una proporción dada del total. Si S es menor que 1, se cumple exactamente lo contrario y se dice que hay deseconomías de escala. El caso $S=1$ denominado caso de retornos constantes a escala, indica que se está trabajando con el tamaño óptimo de empresa, para esa proporción de producto.

A partir de la función de costo, se define el costo marginal m_i del producto Y_i , como la derivada de la función de costo con respecto a Y_i ; éste representa cuanto cuesta producir una unidad adicional del producto i . En general, el

costo marginal dependerá de los niveles de producción, de los precios de insumos y del nivel de insumos fijos.

Otra propiedad que tiene la función de costo, está sintetizada por el llamado Lema de Shephard, que muestra que las demandas por factores pueden ser obtenidas de la función de costo.

Lema de Shephard:

$$\frac{\partial C(W, Y)}{\partial W_1} = X_1(W, Y) \quad (2.2.5)$$

con:

W_1 : Precio del factor 1.

X_1 : Demanda por el factor 1.

A partir de esta ecuación de demanda por factores, pueden ser calculadas las elasticidades precio, propia y cruzada, de la demanda por estos factores. La elasticidad precio propia se calcula como :

$$\eta_1 = \frac{\partial X_1}{\partial W_1} \cdot \frac{W_1}{X_1} = \frac{\partial^2 C}{\partial W_1^2} \cdot \frac{W_1}{X_1}, \quad (2.2.6)$$

e indica la proporción en que variará la demanda por el insumo i ante una variación en el precio de éste; en el caso de un insumo normal, se tiene que η_1 es menor o igual que cero, es decir, que ante un aumento en el precio la demanda por el insumo disminuye o se mantiene.

La elasticidad precio cruzada, es:

$$\eta_{1j} = \frac{\partial X_1}{\partial W_j} \cdot \frac{W_j}{X_1} = \frac{\partial^2 C}{\partial W_1 \partial W_j} \cdot \frac{W_j}{X_1}, \quad (2.2.7)$$

y representa la proporción en que variará la demanda por el insumo i al variar el precio del insumo j ; se espera que η_{1j} sea negativa si se trata de insumos complementarios y positivo si se trata de insumos alternativos.

En el caso multiproductivo, se puede detectar efectos adicionales, como por ejemplo la existencia o no de complementariedad de costos. Esto se mide a través de

$$\frac{\partial^2 C}{\partial Y_i \partial Y_j} = \frac{\partial m_i}{\partial Y_j} = \frac{\partial m_j}{\partial Y_i}, \quad (2.2.8)$$

e indica la ventaja (si es menor que cero) o desventaja (si es mayor que cero) local de producir en conjunto Y_i e Y_j .

Otra propiedad que puede ser detectada en el caso multiproductivo es el grado de economías de diversidad, definido como:

$$ED = \frac{C(Y_R) + C(Y_{M-R}) - C(Y_M)}{C(Y_M)}, \quad (2.2.9)$$

en que Y_M es el vector producto de una empresa e Y_R , Y_{M-R} , son subconjuntos de ese vector. El grado de economías de diversidad indica las ventajas (si es mayor que cero) o desventajas (si es menor que cero) de diversificar la producción. En otras palabras, $ED > 0$ significa que, dado el nivel de producción, una sola empresa produciendo los M elementos de Y , tendría un menor gasto que dos empresas tales que una produzca un subconjunto R de Y y la otra el resto.

2.3 ESTIMACION DE FUNCIONES DE COSTO MULTIPRODUCTO EN TRANSPORTE

2.3.1 TEORIA BASICA DE LA ESTIMACION

Como se vio en el punto 2.2, una función de costo es la solución al problema de minimizar el gasto, sujeto a una restricción tecnológica representada por la función de transformación.

Para estimar una función de costo, se observan en la literatura dos tratamientos alternativos. Un enfoque utilizado es suponer una estructura de

producción (función de transformación) y estimar la función de costo dual a ella; la forma funcional más utilizada en la literatura para este tipo de tratamiento es la Cobb-Douglas (Keeler, 1974; Pozdena y Merewitz, 1978; McMullen 1987).

Otra forma de enfrentar el problema es suponer una forma funcional para la función de costo y estimarla. En este último caso, es preciso que la forma funcional no imponga restricciones sobre la estructura de producción de la cual proviene (ver McFadden 1978); en este sentido, Spady y Friedlaender (1978) utilizan, aparentemente por primera vez en transporte, la función translog, que es una forma flexible y tiene la ventaja de permitir obtener mediante un adecuado análisis de los valores de los coeficientes estimados muy fácilmente elasticidades en el punto de aproximación. La principal ventaja de la función translog, es que mediante un adecuado análisis de los valores de los coeficientes estimados, permite recuperar la estructura de producción de la cual proviene (Cobb-Douglas, Constant Elasticity of Substitution). A partir de este artículo, nos encontramos con muchos trabajos en que se utiliza esta especificación. Otra forma funcional flexible que no impone restricciones a priori es la función cuadrática, que presenta la ventaja de permitir recuperar en forma sencilla los costos marginales en el punto de aproximación, y además, puede ser evaluada cuando algunos componentes del vector Y son nulos, lo que no es posible en la forma translog (ver Jara-Díaz, 1983).

El tratamiento que se dará al problema de este trabajo, es estimar la función de costo directamente, utilizando una función cuadrática desviada con respecto a la media; ésto se debe a las bondades que la forma cuadrática presenta.

De la sección anterior, tenemos que la tecnología puede ser representada por una función de X e Y (ec. 2.2.3), y la función de costos es una función de \bar{X} , Y y W (ec. 2.2.2) si hay factores fijos, y de Y y W (ec. 2.2.1) si no los hay. Cualquiera sea la forma de enfrentar el problema de la estimación, es necesario definir los vectores X , \bar{X} , Y y W .

Dado que el vector X debe ser entendido como aquel que contiene todos los insumos necesarios para producir Y , la definición de X puede ser hecha observando la forma de operación de la(s) empresa(s) que se pretende modelar; en el caso de transporte, estos insumos generalmente son energía, trabajo,

repuestos, etc. Los factores fijos (\bar{X}) serán aquellos insumos que no se ajustan ante cada variación del producto o de los precios. Los precios, en general, pueden ser obtenidos de los registros de las empresas o bien observando el mercado.

La definición del producto en transporte es un problema más complejo, que ha sido ampliamente discutido. Jara-Díaz (1982) realiza un estudio de las distintas especificaciones utilizadas hasta ese momento, y como conclusión define el producto en transporte como un vector Y tal que $Y = \{Y_{ij}^{kt}\}$, donde Y_{ij}^{kt} es el flujo de distintas cosas o personas (k), entre un origen i y un destino j , durante el periodo t ; esta definición llegará a ser aceptada como la descripción correcta. Este enfoque permite interpretar las distintas "especificaciones de producto" como formas de agregación; es decir, sabemos que el producto es $Y = \{Y_{ij}^{kt}\}$, pero dado que las actividades normales de las empresas de transporte involucran vectores de dimensiones inmanejables, alguna forma de agregación es necesaria, aún cuando al agregar se produzca una pérdida de información (Jara-Díaz, Donoso y Araneda, 1991 b). Cabe hacer notar que sólo en un sistema muy sencillo sería posible mantener desagregación espacial; por ejemplo, Jara-Díaz y Winston (1981) estiman una función de costo para dos pequeñas empresas ferroviarias, sin agregar espacialmente, ya que la dimensión del vector producto y la información disponible lo permiten.

Las formas más antiguas de agregación implícita son las llamadas unidades de tráfico, que corresponden a la suma de los pasajeros kilómetro y las toneladas kilómetro movidas por la empresa en un cierto período, y las unidades del tipo vehículo-distancia, más agregadas aún.

Keeler (1974) representa un primer avance, enfatizando la diferencia de los movimientos de pasajeros y carga para el caso de transporte ferroviario, y estimando una función de costo considerando un vector Y de dos componentes (Ton-milla de carga y Ton-milla de pasajeros).

Spady y Friedlaender (1978) desarrollan el enfoque de producto hedónico, que es una función ψ de una medida agregada de producto y de características que dan cuenta de la forma como se generó ese producto. Entre estas características se consideran la longitud media del viaje, tamaño medio del cargamento, porcentaje de carga que viaja en camiones no llenos, etc. A partir

de ese punto, encontramos una tendencia a usar este tipo de enfoque (Wang, 1981; Gillen y otros, 1990; por ejemplo) o bien un tratamiento similar que consiste en incluir, en la función de costo, variables del tipo señalado, pero no a través de una función hedónica sino directamente (Caves y otros, 1984; McMullen, 1987; Gagné, 1990; Ying, 1990; por ejemplo). Este tipo de enfoque tiene dos problemas importantes, el primero es que hay una confusión entre las características operativas que deben ser incluidas en la función de costo porque se trata de elementos fijados exógenamente, y aquellas que forman parte del proceso minimizador de costos. En este sentido, Gillen y otros (1990) señalan explícitamente que las características que ellos incluyen en la función hedónica pueden ser tratadas como exógenas por una política de gobierno de mucha regulación, este supuesto no aparece en los otros trabajos mencionados; sin embargo, características tales como el tamaño de embarque, por ejemplo, difícilmente podrán ser tratadas como exógenas. Otro problema que este tipo de tratamientos presenta es que no permite detectar propiedades multiproductivas ya que agrega a un elemento.

Jara-Díaz (1988) estima una función de costo multiproducto para el caso de camiones en Chile, manteniendo algún grado de desagregación espacial; un vector de flujos entre 14 pares origen-destino, se redujo a uno de 4. El criterio de agregación fue definir grupos relativamente homogéneos en cuanto a distancias al origen, número de destinos y contexto geográfico (clima, topografía). Los resultados ya que permiten detectar diferencias significativas entre los costos marginales de los distintos componentes del vector de flujos, y estas diferencias no son proporcionales a la distancia; además permite detectar la existencia de economías de diversidad para algunos grupos de flujos. Una conclusión metodológica importante de este trabajo es que se comprueba, una vez más, que las medidas agregadas como ton-kilómetro son poco adecuadas.

Jara-Díaz (1989) introduce el concepto de pseudo función de costo, que es una función $\tilde{C}(\tilde{Y})$ que es una aproximación de la verdadera función de costos $C(Y)$, donde \tilde{Y} representa un vector que describe en forma sintética el producto en transporte. En este trabajo se señala que algunas de estas descripciones pseudo vectoriales pueden generar resultados erróneos cuando son usadas en el contexto multiproductivo. Se muestra analíticamente que en una especificación del tipo $\tilde{Y} = (\text{Ton-milla}_k, \text{distancia media}_k)$, se obtiene un estimador sesgado

del grado de economías de escala S ; este problema no se produce si la especificación usada es (volumen -distancia, volumen) que es una alternativa que contiene igual cantidad de información.

Jara-Díaz, Donoso y Araneda (1991) desarrollan un enfoque para estimar costos marginales, reduciendo la dimensión del producto mediante una matriz de agregación compuesta por funciones que intentan captar los diferentes factores físicos y operacionales que influyen sobre los costos marginales en los distintos pares origen destino servidos. La búsqueda de factores y de funciones debe ser hecha por el modelador en términos del conocimiento que éste tenga del sistema de transporte que es estudiado; se señalan como muy importantes en este sentido, características como la estructura de la red, las reglas de operación, las condiciones físicas y los factores ambientales. Se aplica este enfoque al caso de camiones en Chile utilizando los factores: distancia, topografía, ubicación relativa de destinos, niveles de flujos, densidad de la red y congestión.

Una observación trivial, pero no por eso poco importante, es que el nivel de desgregación que es posible mantener en cada caso está acotado por la información disponible. También hay una restricción al nivel de agregación que es posible manejar por los grados de libertad necesarios para obtener una estimación confiable, que dependen del número de observaciones y el número de variables.

Un problema que se presenta en la estimación de funciones de costo en general, es que los puntos ineficientes producen sesgo en la estimación (ver Judge y otros (1984), pp. 827-828); por lo cual es muy importante detectarlos y eliminarlos de la base de datos. Un punto ineficiente es aquel en que no se produce con mínimo gasto, y este, por definición, no pertenece a la función de costo. Una forma de detectarlo es a través de la comparación con otro(s) punto(s) de muy similares características de flujos, precios, factores fijos, etc.; si aquel del cual se sospecha tiene un costo mayor, es probable que ello que demuestre que el punto no representa optimalidad.

2.3.2 TRATAMIENTO DE CORTES TRANSVERSALES Y POOLES DE DATOS

Se llama pool de de datos a una base que combina corte transversal y serie de tiempo, es decir, agrupa información de varias empresas u otro tipo de unidades observadas durante varios períodos. El problema cuando se usa este tipo de datos para estimar una relación, es especificar un modelo que permita modelar adecuadamente las diferencias de comportamiento en las unidades del corte transversal (empresas), así como alguna diferencia en el comportamiento en el tiempo para una unidad dada del corte transversal. Si suponemos que los coeficientes de las variables son los mismos para las distintas empresas y a lo largo del período en que estas son observadas, al estimar la función de costo hay que tener especial cuidado con los problemas de heterocedasticidad y autocorrelación de errores, que se presentarán si la hipótesis mencionada no es válida. Si suponemos que algunos coeficientes de las variables independientes son distintos para las distintas empresas, ésto se puede incorporar al modelo mediante el uso de variables dummy. Estos casos y otros, son analizados en detalle en Judge y otros (1984), Capítulo 13.

A continuación se entregan algunos antecedentes de trabajos en transporte, que han sido reportados, en los que se utiliza cortes transversales o pool de datos. Este análisis se centra en el tratamiento de las variables utilizadas en cada modelación para recoger heterogeneidades.

Spady y Friedlaender (1978) estimaron una función de costo para 168 firmas de camiones en EEUU; ellos utilizaron como variables: precios de combustible, capital y salarios; la forma de modelar producto utilizada, es mediante la variable toneladas-Kilómetro, e incorporando las heterogeneidades del producto a través de la función hedónica.

Siguiendo la misma línea, Wang (1981) estima una función de costos similar para un corte transversal de empresas de transporte de carga en el mismo país, pero introduce algunos elementos nuevos. Ella utiliza como variables hedónicas: la longitud media del viaje, la desviación estándar de ésta, el tamaño medio de la flota y su desviación estándar, y el número de pares origen-destino. Introduce además, medidas que tienen que ver con la forma de la red, como por ejemplo su conectividad, que es medida a través de la

fracción entre el número total de arcos conectados y el máximo posible de enlaces, o bien:

$$\text{network density : } \psi = \frac{[\sum \sqrt{f_j}]^2}{\sum f_j \cdot n \cdot (n-1)}, \quad (2.3.1)$$

con:

f_j : Flujo en el arco j .

n : Número de nodos.

así, ψ mide concentración de flujo en la red. También utiliza una medida que indica características del trazado, IDRI (indirect routing index), que es definida como:

$$\text{IDRI} = \frac{\sum \text{ton}_{ij} \cdot d_{ij}^1}{\sum \text{ton}_{ij} \cdot d_{ij}^0}; \quad (2.3.2)$$

con:

d_{ij}^0 : distancia directa entre los puntos i y j .

d_{ij}^1 : distancia por la ruta entre los puntos i y j .

y una medida de densidad de terminales. Todas estas medidas necesitan gran cantidad de información para ser calculadas, con lo cual la aplicabilidad de este tratamiento dependerá de la información disponible.

Más tarde, Gagné (1990) estima un modelo para 403 empresas de camiones de Quebec y Ontario (Canadá) utilizando una especificación muy parecida a la de Spady y Friedlaender en cuanto a las variables consideradas, pero sin incluir una función hedónica. En el mismo país, Ying (1990) en un estudio sobre regulación en el caso de camiones, estima una función de costos para 68 firmas observadas durante el periodo 1975-84, usando una especificación que tiene como variables: el vector de precios, una medida agregada de producto, un vector de características operativas y una variable continua t que indica el año de la observación.

Para el caso de transporte aéreo (Giller y otros 1990), estimaron un modelo para 3 empresas observadas durante algunos años. El modelo incluye producto hedónico, variables dummy para las empresas y el número de puntos servidos, P como una medida del tamaño de la red. Para construir el vector de precios, ajusta los precios observados según cambio tecnológico. En cuanto al vector Y considerado, se distingue según el tipo de servicio (carga - pasajeros, vuelos regulares - charter).

En síntesis, cuando se dispone de información en corte transversal, es preciso incorporar las fuentes de heterogeneidad en el modelo y si esto no es posible, será necesario incluir variables dummy por empresa, que recojan las diferencias entre empresas. En el caso de pool de datos, si se esperan heterogeneidades temporales que no pueden ser captadas por el modelo planteado, será necesario incluir una variable que de cuenta del periodo de la observación, recogiendo variaciones con el tiempo. En cuanto a las formas que han sido utilizadas en transporte para estimar funciones de costo en corte transversal o pool de datos, se destaca el trabajo de Wang (1981) en que se incorpora, mediante varias variables, la forma de la red a la función de costo; otras formas en que explícitamente se trata este caso como especial es incorporando variables dummy por empresa (Giller y otros, 1990) o la variable (continua) año (Ying, 1990).

2.3.3 FUNCIONES DE COSTOS FERROVIARIOS

Los sistemas de transporte ferroviario, han sido objeto de mucha especulación en cuanto a la presencia de economías de escala y a su rentabilidad, sin embargo, la mayoría de los trabajos que se ha hecho al respecto son más bien cualitativos. A continuación se presenta algunos trabajos reportados en que efectivamente se estiman funciones de costo, la mayoría de ellos son para ferrocarriles norteamericanos y utilizan una base de datos creada por la Comisión de Comercio Interestatal (ICC).

Keeler (1974) estima un modelo para 56 empresas ferroviarias norteamericanas observadas durante 3 años, utilizando como base las siguientes funciones de tecnología:

$$Q_1 = A_1 \cdot T_1^\alpha \cdot R_1^{\beta_1} \cdot F_1^{\gamma_1} \cdot L_1^{\delta_1}, \quad (2.3.3)$$

con:

Q_1 : toneladas-milla de carga (1) o pasajeros (2).

T : millas de track

R : Equipo rodante

F : Consumo de combustible

L : Trabajo utilizado por unidad de tiempo.

a partir de las cuales deriva funciones de costo de corto plazo, imponiendo algunas restricciones, como asumir el mismo grado de retornos a escala para pasajeros y carga. Obtiene además, la función de costos de largo plazo, optimizando la función de costos de corto plazo sobre T, que es el factor fijo considerado. Sus resultados indican la existencia de economías de densidad de tráfico¹, pero retornos constantes a escala. Como conclusiones metodológicas, señala que es necesaria información más desagregada de producto para obtener resultados más fidedignos.

También para el caso de ferrocarriles norteamericanos, Harris (1977) realiza un estudio en el que incluye datos de 55 empresas observadas durante 2 años. El problema es enfrentado utilizando una función de costo lineal y considerando como variables independientes: las toneladas de carga transportadas, las toneladas-milla transportadas y el largo de las vías. Para corregir un problema de heterocedasticidad detectado, incorpora variables dummy para distinguir zonas urbanas y rurales, y estima una función de costos medios dividiendo todas las variables por las toneladas-milla transportadas. La función que finalmente estima es la siguiente:

$$\frac{TC}{RTM} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \frac{RFT}{RTM} + \beta_2 \cdot \frac{RFT}{RTM} \cdot URB + \beta_3 \cdot \frac{MR}{RTM} + \beta_4 \cdot \frac{MR}{RTM} \cdot URB \quad (2.3.4)$$

¹Economías de densidad de tráfico se definen como ventajas, desde el punto de vista de costos medios, de tener una mayor densidad (Unidades de tráfico / Longitud de vías).

con:

TC : Costos totales

RFT : Toneladas de carga transportada

RTM : Toneladas-milla transportadas

MR : Millas de ruta

URB : Variable dummy (1 para zona urbana)

los resultados de este trabajo indican existencia de economías de densidad de tráfico. Un aporte metodológico de éste es mostrar que no es correcto suponer que es lo mismo utilizar GTM (toneladas milla totales) o RTM (toneladas milla comerciales), ya que la relación entre la primera variable y la segunda, es distinta para las distintas empresas.

Braeutigam y otros (1980) estiman una función de costos de corto plazo para una pequeña empresa ferroviaria norteamericana que es observada mensualmente. En este trabajo se consideran como factores ajustables mensualmente los carros, el combustible, las locomotoras y el personal (supuesto discutible). Como factor fijo, se utiliza un índice calculado como longitud de vías de la mejor calidad dividida en la longitud de vías totales, que más parece acercarse a un indicador de tecnología que a uno de tamaño. Finalmente, pese a disponerse de información muy desagregada y de criticarse estudios anteriores por usar medidas agregadas de producto, se construye como medida de éste, un vector que contiene la suma de los carros-milla y la velocidad media de servicio. Para estimar la función de costos se utiliza una especificación del tipo translog y se incorpora información mediante el uso de las ecuaciones de demandas derivadas e imponiendo homogeneidad lineal en los precios.

Harmatuck (1979) reconoce la heterogeneidad del producto y la incorpora a la función de costo utilizando un vector Y de 3 componentes: toneladas, toneladas milla y proporción de carga pesada (que indica la composición del tráfico); agrega además a la especificación dummies aditivas según región. La base de datos utilizada para este trabajo, es la misma utilizada en Keeler (1974) pero en este caso, se trabajó con el promedio de las observaciones de los 3 años y se eliminó algunas empresas. Finalmente, la función de costo que se estima es una función translog del vector Y mencionado, de un vector de 5 precios de insumos (mantenimiento y costos de capital de vías y estructuras, mantenimiento y costos de capital de equipos, gastos de patios, gastos de

trenes, otros gastos), millas de ruta como factor fijo, y las variables dummy región mencionadas. Como conclusiones metodológicas del trabajo, se menciona la necesidad de utilizar formas flexibles que incluyan múltiples dimensiones del producto ferroviario y dimensiones espaciales de la planta física.

Jara-Díaz y Raggio (1990) incorporan la dimensión espacial del producto, distinguiendo tráfico de carga y pasajeros al Norte y Sur del país. En este trabajo, se estiman funciones de costo por separado, una para administración y otra para tracción y mantenimiento, dadas la influencia del cambio tecnológico y la posibilidad de usar lemma de Shephard en la función de costos de tracción y mantenimiento, y la sospecha de inercia en los costos de administración. Además de esto, se incorporó variables que dieran cuenta de cambios de política (dummies) e innovación tecnológica (% de tracción eléctrica, diesel y carbón). El tipo de información con que se trabajó es una gran base de datos (1953-1982) con información anual.

2.3.4 SINTESIS

Tradicionalmente, para la estimación de funciones de costo multiproducto en transporte, se han usado dos formas alternativas: suponer una estructura de producción y estimar la función de costos dual a ella, o suponer una forma funcional directamente, que no imponga restricciones sobre la estructura de producción subyacente. Con respecto a la forma funcional a utilizar para la función de costo, la translog presenta la ventaja de permitir recuperar la estructura de producción de la cual proviene y la cuadrática presenta ventajas desde el punto de vista del análisis microeconómico de los resultados, que es muy directo.

Por tratarse de un pool de datos, 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.

En cuanto al caso particular de transporte ferroviario, generalmente el largo de líneas es tratado como factor fijo; se señala en la literatura una influencia en los costos del volumen y tipo de tráfico, de la distancia que

éste es movido y de la distribución espacial. Para definir las variables con que se estimará la función de costos, es preciso hacer un análisis detallado del caso particular a estudiar y de la información disponible.

CAPÍTULO 3
DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS



3.1 INTRODUCCION

Para modelar la función de costo de un grupo de empresas, se precisa estudiar el funcionamiento de estas en la mejor forma posible, para así incorporar en la modelación aquellos elementos que las empresas tienen presente. En este capítulo se presenta un estudio cualitativo de las características de estas, que se realiza a través de la recolección de estadísticas secundarias y el estudio estadístico de los datos con que se trabaja, que para tal fin se define una definición operativa de las variables mencionadas en el capítulo anterior (vector producto, vector de precios de insumos, factores fijos), considerando el tipo de información disponible. A partir del análisis estadístico descriptivo, se analizan las diferencias entre países.

CAPITULO 3

DESCRIPCION DE LOS DATOS

Previo a la estimación, es necesario hacer un análisis de los problemas que podrían presentar los datos, que pudieran contraponerse con los supuestos básicos del método MCO (Mínimos Cuadrados Ordinarios). En este contexto, se utiliza una forma simplificada de ver costos medios, que permite, mediante un análisis de tipo descriptivo, detectar una idea de la forma de la función de costos y detectar puntos ineficientes. Finalmente, se analiza la correlación entre las variables, considerando que se trata de un modelo cuadrático.

3.1 INTRODUCCION

Para modelar la función de costo de un grupo de empresas, es preciso entender el funcionamiento de éstas en la mejor forma posible, para así incorporar en la modelación aquellos elementos que se espera tengan relevancia. En este capítulo se presenta un estudio cualitativo de los ferrocarriles europeos, que es realizado a través de la recopilación de antecedentes publicados, y un estudio estadístico de los datos con que se trabajó, que pasa por la definición operativa de las variables mencionadas en el capítulo anterior (vector producto, vector de precios de insumos, factores fijos), considerando el tipo de información disponible. Como primera parte del análisis estadístico descriptivo, se analizan las diferencias entre países.

Previo a la estimación, es necesario hacer un análisis de los problemas que podrían presentar los datos, que pudieran contraponerse con los supuestos básicos del método MCO (Mínimos Cuadrados Ordinario). En este contexto, se utiliza una forma simplificada de ver costos medios, que permite, mediante un análisis de tipo monoproductivo, darse una idea de la forma de la función de costos y detectar puntos ineficientes. Finalmente, se analiza la correlación entre las variables, considerando que se trata de un modelo cuadrático.

3.2 LOS FERROCARRILES EUROPEOS

Al analizar el mercado del transporte ferroviario en general, y en particular el caso de los ferrocarriles europeos, nos encontramos con empresas tratando de definir estrategias de supervivencia, ya que en general no cubren costos y son subvencionadas por el estado. Gwilliam y Nash (1979) publican una tabla en que aparece para distintos países de Europa occidental, el porcentaje de los costos totales que es financiado por los ingresos de la empresa (ver Tabla 3.2.1) que en el mejor de los casos es del orden del 80 %. El caso de Italia es particularmente negativo en este aspecto, ya que logra cubrir sólo el 32 % de sus costos; más adelante volveremos sobre este especial caso.

TABLA 3.2.1
PORCENTAJE DE COSTOS
FINANCIADOS POR INGRESOS
Fuente: Gwilliam y Nash 1979

Pais	% de financiamiento
Suecia	83.1
Inglaterra	71.2
Alemania	61.2
Dinamarca	61.0
Noruega	59.6
Holanda	55.5
Finlandia	50.2
Bélgica	49.6
Italia	32.0

Las estrategias para enfrentar el problema de déficit son diversas. Dodgson (1984) propone un método para evaluar socialmente el cierre de un servicio ferroviario; Mc Geehan (1984) realiza un estudio de la demanda en Irlanda encontrando que ésta es inelástica; Trotter (1985) señala que los ferrocarriles ingleses parecen ser una industria adecuada para la discriminación de precios; Joy (1989) habla de una tendencia a que los usuarios paguen sólo los costos variables pero dice que éstos son mal estimados; Janson y Canderbring (1989) tratan el caso de Suecia mencionando

como solución el separar la empresa en una responsable de la infraestructura y otra responsable del transporte ferroviario; Schönback y otros (1990) proponen para Austria mejorar el servicio. Todas estas proposiciones son novedosas e interesantes, sin embargo la evaluación de cada una de ellas requiere la estimación de la función de costo que permite detectar las propiedades mencionadas en el capítulo 2, y es precisamente en esto en lo que se ha avanzado poco.

Nash (1985) realiza un análisis estadístico descriptivo de los costos ferroviarios en las empresas europeas (Europa Occidental). En este trabajo se describe la estructura de tales costos, y se plantea que éstos pueden ser divididos en (a) costos de operación de los trenes, que dependerán fundamentalmente de los trenes-Kilómetro y carros-Kilómetro movidos, de la longitud de las rutas servidas y de las toneladas y pasajeros cargados; (b) costos de vías y señalización (operación y mantenimiento) que dependerán del largo y status de la vía; (c) gasto en terminales que dependerá principalmente del volumen manejado en el terminal y del tipo de tráfico; y (d) administración. Se señala que según un estudio realizado por la Universidad de Leeds, para una muestra de 10 países europeos, los costos de operación de trenes representan del orden del 45 % de los costos totales, el costo de mantenimiento de vías es del orden del 25 %, el gasto en terminales del orden del 15 % y el gasto en administración también del orden del 15 %.

Nash estudia las diferencias que hay entre países, que pueden tener incidencia en los costos ferroviarios. En primer lugar se señala la topografía y la geografía económica que son características totalmente exógenas. Dentro de los aspectos operacionales, se indica que la carga media del tren tiene un papel determinante en los costos unitarios ya que parte de los costos depende del número de trenes más que del tamaño de éstos, y se detecta que hay diferencias significativas en el tamaño medio de tren para los distintos países; se señala además que el nivel de gasto depende también de la composición del tráfico (carga o pasajeros, servicio de corta o larga distancia). Como principales insumos utilizados se indican trabajo, combustible, materiales y capital. Se detectan densidades de tráfico en general distintas, muy altas para Suiza y Holanda y muy bajas para Irlanda, por ejemplo. Se realiza un análisis de productividad asociada a la mano de obra comparando para los distintos países el cociente entre trenes-kilómetro y número de operarios (relación de productividad) y resulta que hay diferencias significativas, e Italia es el

país que tiene una menor relación de productividad; Italia y Bélgica son señalados como las dos empresas ferroviarias más ineficientes de la muestra. También son detectadas diferencias en la tecnología que utilizan las distintas empresas; en general, las más grandes utilizan un gran porcentaje de tracción eléctrica y las menores, tracción diesel.

Para efectos de este trabajo, es útil detectar los elementos que tienen influencia en los costos, y dentro de éstos, los que forman parte del proceso minimizador y los que son exógenos o no pueden ser ajustados ante cambios en la demanda. El hecho de que exista tanta diferencia entre la llamada "relación de productividad" de la mano de obra para los distintos países, indica que el número de operarios es un factor más bien fijo (que no se ajusta a la demanda); lo mismo indican las grandes diferencias entre densidades de tráfico para la variable longitud de vías. Factores como la carga media del tren, ciertamente pueden ser ajustadas según la demanda; éste último, entonces, no debe ser considerado en la función de costos.

3.3 INFORMACION DISPONIBLE

Los datos con que se trabajará fueron recolectados y previamente tratados por Vigouroux (1989) y corresponden a 13 empresas de ferrocarriles europeos observados en serie de tiempo durante 17 años (1971-1987). Los países estudiados son: Inglaterra, Suiza, Irlanda, Alemania Occidental, Dinamarca, Italia, Holanda, Noruega, Austria, Suecia, Bélgica, Francia y Finlandia. La información recolectada incluye datos sobre la capacidad de transporte de la empresa, recursos físicos, movimiento anual, y gasto en salarios, energía y varios; cada observación está formada por las siguientes variables:

Longitud de líneas [Km].

Longitud de vías [Km].

Capacidad de transporte de pasajeros [Vehículos].

Capacidad de transporte de pasajeros [Asientos].

Capacidad de transporte de carga [Vehículos].

Capacidad de transporte de carga [Ton].

Número de operarios de la empresa.

Trenes-Kilómetro correspondientes al movimiento anual de la empresa.
Trenes-Kilómetro de pasajeros y carga.
Toneladas-Kilómetro arrastradas.
Toneladas-Kilómetro arrastradas correspondientes a trenes de pasajeros y a trenes de carga.
Miles de pasajeros transportados por la empresa.
Millones de pasajeros-Kilómetro transportados.
Miles de toneladas transportadas por la empresa.
Millones de toneladas-Kilómetro transportadas.
Gasto en salarios.
Gasto en energía.
Gasto en varios, materiales, servicios rentados a terceros.

Dado que no todas las observaciones contienen información completa, algunos puntos debieron ser eliminados, quedando 185 observaciones completas.

Dentro de estas variables, tenemos algunas que indican tamaño (longitud de vías: LT, longitud de líneas: LL, y número de operarios: S), otras que indican producto, aunque en forma muy agregada (trenes-Kilómetro: TRK, pasajeros: P, pasajeros-Kilómetro: PK, toneladas: F, toneladas-Kilómetro: FK) y hay información de los costos en cada observación separados en 3 ítems (gasto en salarios: GS, energía: GE y varios: GV). Lamentablemente, no hay información de demanda por factores, lo que no permite utilizar el lemma de Shephard, ni hay información sobre precios de insumos. Habría sido deseable saber algo más acerca del producto, como por ejemplo su distribución espacial, y algo más acerca de la red ferroviaria de cada empresa.

Dada la información disponible, existen diversas especificaciones posibles. En particular para el producto, se puede considerar una especificación muy agregada como por ejemplo trenes-kilómetro o trenes-kilómetro de pasajeros o carga, que fue lo usado por Vigouroux (1989). También pueden usarse unidades de tráfico, que tiene las limitaciones señaladas en el capítulo 2. En este trabajo, la forma de agregación que se utilizará es (P, PK, F y FK), ya que este conjunto de variables permite diferenciar la influencia en los costos de mover pasajeros o carga y la longitud del viaje, y porque la forma alternativa que considera ambos efectos: P, PK/P (distancia media que los pasajeros son transportados), F, FK/F (distancia media que la carga es transportada), como fue dicho en el punto 2.3.1 produce sesgo en la estimación del grado de

economías de escala; una especificación similar a la que hemos decidido utilizar fue usada por Harmatuck (1979). Esta especificación, sin embargo, no contiene información acerca de la forma como se generó el producto agregado; en particular, no es posible captar ningún efecto relacionado con la distribución espacial de los flujos movidos.

A partir de los gastos en distintos items, es posible construir variables proxi de los precios de factores, es decir, variables que tengan un comportamiento similar al que debería tener el precio del factor. Para el caso de salarios, la aproximación no es necesaria, ya que el gasto en staff dividido por el staff de la empresa, nos da directamente el salario medio anual (WS).

En el caso de gasto en varios, por ser este item muy amplio, consideraremos como estimador del índice de precios de insumos varios, al gasto correspondiente dividido en los trenes-kilómetro que cada empresa mueve anualmente (WV); esta definición es la misma utilizada por Vigouroux (1989).

En cuanto al precio de la energía, en base al enfoque presentado por Spady y Friedlaender (1978), es necesario encontrar una proxi de consumo de energía y así es posible calcular WE (proxi de precio de la energía) como el gasto en energía dividido en esta proxi. Dentro de la información disponible, se consideró que la variable más apropiada para este efecto era toneladas-kilómetro arrastradas, ya que esta incluye el peso de carga, pasajeros y los equipos rodantes; sería deseable haber incluido algún factor por pendiente, pero la información disponible no lo permite.

Cabe hacer notar que se espera que las variables previamente definidas WS, WE y WV, tengan un comportamiento similar a los precios, que son desconocidos, y si se derivan demandas por factores de la función de costos, se espera que tengan un comportamiento similar a las demandas reales, que son desconocidas; por lo tanto, sólo se podrá analizar tendencias, es decir, a lo más podremos averiguar si la demanda es elástica o inelástica, si hay sustitución o complementariedad entre factores, y otras cosas del tipo existe - no existe algún efecto.

Como insumos fijos, pueden ser considerados LL o LT y S, aunque no es posible determinar a priori si algunos insumos son fijos o no. En algunos casos, esto puede ser determinado a partir de la función de costos, sin embargo, el análisis de los ferrocarriles europeos presentado anteriormente, indica que tanto el número de operarios como la vía son, al menos en parte, insumos fijos. El hecho de incluir S como factor fijo, implica excluir WS del modelo y, de hecho, se espera que el coeficiente de S sea WS. Con respecto a las vías, hay dos variables que dan cuenta de la cantidad de vías que la empresa posee: LL o LT; no pueden ser consideradas ambas porque están altamente correlacionadas. En este trabajo se decidió utilizar longitud de vías (LT) y no de líneas (LL) por considerarse que representa mejor las restricciones que la vía impone a la empresa en términos de movimientos que es posible o no realizar.

Hasta este punto, hay varios efectos que no son considerados en la especificación, dadas las restricciones que impone la información disponible; se propone incorporar al modelo una variable continua, que llamaremos densidad de red (R), calculada como la longitud de vías dividida en el área del país, que esperamos recoja efectos que no tienen que ver con el tamaño, sino más bien con la forma de la red y su cobertura en el país en que sirve. Por ejemplo, una red más densa puede ser más eficiente por permitir rutas más cortas o menos eficiente por problemas de congestión; esta variable entonces, podría dar cuenta, en parte, de la forma como se generó el producto agregado que consideramos en esta especificación. Es decir, R contribuye a captar parcialmente la distribución espacial de los flujos movidos.

La variable dependiente cuyo comportamiento se pretende explicar es Gasto Operativo Total Anual (CT), que corresponde a la suma de los gastos en los distintos items (energía, salarios y varios). Para llevar estos gastos a unidades comparables, es necesario llevarlos a una misma moneda de un mismo año, para lo cual se utilizaron dos factores de corrección, uno por año y otro por país, dejando finalmente las observaciones en libras esterlinas de 1987; en adelante, por simplicidad se hablará sólo de libras.

3.4 ANALISIS ESTADISTICO DESCRIPTIVO

3.4.1 DESCRIPCION DE LAS VARIABLES

Con el objeto de observar diferencias entre países, y la variación que presentan las variables, se presentan en la Tabla 3.4.1, para cada país y para el total de la muestra, los promedios de cada una de las variables previamente definidas y sus coeficientes de variación. De entre estas variables, las que indican tamaño de la empresa, son S y LT; si observamos estas variables (ver Tabla 3.4.1), encontraremos que hay diversidad de tamaño entre las empresas consideradas. Las empresas más grandes son Francia y Alemania Occidental y la más pequeña es Irlanda. Además se observa que hay coherencia entre tamaño y producción, es decir, las empresas más grandes producen más. Con respecto al producto, hay elementos interesantes, como por ejemplo el que Alemania mueva

TABLA 3.4.1
MEDIA Y COEFICIENTE DE VARIACION DE LAS VARIABLES
SEGUN PAIS Y PARA EL TOTAL DE LA MUESTRA

media (coef de var)	P ·10 ³	PK ·10 ⁶	F ·10 ³	FK ·10 ⁶	WE	WV	S	LT [km]	R
ING	707894 (0.04)	30327 (0.05)	150274 (0.18)	18049 (0.16)	1.500 (0.23)	2.863 (0.09)	193092 (0.13)	42367 (0.06)	0.174 (0.06)
SUI	219312 (0.06)	8721 (0.08)	44506 (0.08)	6717 (0.09)	1.060 (0.09)	1.965 (0.11)	37829 (0.03)	7163 (0.03)	0.173 (0.03)
IRL	18020 (0.28)	988 (0.14)	3326 (0.08)	599 (0.06)	5.965 (0.19)	5.306 (0.25)	6681 (0.06)	2716 (0.10)	0.039 (0.10)
ALE	1027634 (0.04)	30226 (0.04)	314097 (0.09)	62347 (0.07)	1.560 (0.17)	1.723 (0.17)	331872 (0.15)	65389 (0.02)	0.263 (0.02)
DIN	118953 (0.16)	3661 (0.20)	7642 (0.09)	1865 (0.09)	2.259 (0.50)	2.430 (0.26)	18139 (0.07)	4700 (0.01)	0.109 (0.01)
ITA	382659 (0.05)	38319 (0.05)	56710 (0.06)	18019 (0.05)	0.776 (0.24)	4.754 (0.31)	213634 (0.03)	30151 (0.02)	0.100 (0.02)
HOL	192710 (0.08)	8671 (0.06)	21157 (0.09)	3194 (0.08)	1.980 (0.20)	1.143 (0.22)	26949 (0.02)	6890 (0.02)	0.204 (0.02)
NOR	35694 (0.03)	2218 (0.01)	25072 (0.05)	2924 (0.03)	1.405 (0.10)	1.836 (0.13)	14015 (0.01)	5255 (0.01)	0.016 (0.01)
AUS	167636 (0.03)	6936 (0.05)	53208 (0.07)	10762 (0.07)	1.226 (0.18)	3.876 (0.47)	69841 (0.03)	10416 (0.01)	0.124 (0.01)
SUE	68985 (0.12)	5773 (0.14)	53854 (0.14)	15982 (0.10)	0.809 (0.37)	1.255 (0.41)	33753 (0.08)	17985 (0.02)	0.041 (0.02)
BEL	171018 (0.12)	7054 (0.07)	71910 (0.11)	7889 (0.11)	1.636 (0.25)	3.762 (0.18)	55101 (0.08)	11097 (0.04)	0.364 (0.04)
FRA	712698 (0.08)	55968 (0.11)	194689 (0.18)	62415 (0.11)	0.831 (0.19)	2.798 (0.05)	241495 (0.07)	72069 (0.09)	0.131 (0.09)
FIN	36475 (0.14)	3018 (0.09)	27621 (0.10)	7373 (0.11)	1.106 (0.23)	1.064 (0.24)	23516 (0.04)	9021 (0.01)	0.027 (0.01)
TOT	300086 (1.07)	14114 (1.12)	83671 (1.12)	16936 (1.23)	1.586 (0.68)	2.356 (0.57)	89937 (1.17)	21075 (1.08)	0.155 (0.65)

en promedio más pasajeros que Francia anualmente, pero Francia mueva más pasajeros-Kilómetro; además se observan diferencias en la relación de orden para carga y pasajeros para los distintos países. Esto refuerza la idea de especificar el producto distinguiendo entre pasajeros y toneladas, y entre volumen y volumen-distancia.

Otra diferencia importante es la forma de las redes y la cobertura que éstas tienen en el país. Países como Francia, Alemania, Bélgica, Suiza y Holanda, tienen redes muy densas con amplia cobertura del área del país; otros países como Suecia, Finlandia, Noruega e Irlanda, tienen redes más bien pequeñas para el tamaño del país. Hacemos notar que redes más grandes no significa países con mayor densidad de red, de lo cual podemos concluir que si efectivamente tamaño y densidad son dos efectos diferentes, esto podrá ser captado con esta base de datos si la especificación del modelo lo permite.

TABLA 3.4.2
GASTOS EN DISTINTOS ITEMS: PROMEDIOS
POR PAIS Y PARA EL TOTAL DE LA MUESTRA
[MILLONES DE LIBRAS ESTERLINAS 87]

VAR: PAIS:	GS	GE	GV	CT
ING	1916.98	224.33	1221.55	3362.86
SUI	506.76	37.46	192.06	736.28
IRL	118.72	18.40	69.20	206.31
ALE	3354.78	396.30	1028.75	4779.83
DIN	216.51	26.41	111.02	353.95
ITA	2140.13	86.28	1409.06	3635.47
HOL	263.02	50.79	125.89	439.70
NOR	167.49	18.26	60.74	246.49
AUS	569.91	45.44	381.06	996.41
SUE	364.53	36.38	128.96	529.87
BEL	556.12	58.88	345.36	961.36
FRA	2290.42	211.98	1377.19	3879.59
FIN	178.00	23.48	46.18	247.67
TOT	1013.98	98.08	509.88	1621.94

Con respecto a los coeficientes de variación (cuociente entre desviación estándar y media de las observaciones) , se observa que éstos aumentan significativamente para el total de la muestra, lo cual favorece la estimabilidad.

En la Tabla 3.4.2, se presentan los gastos en distintos items. Se observa que el item más importante es el gasto en salarios, que corresponde a del orden del 60% del gasto total; el gasto en energía es del orden del 10% y el gasto en varios, del orden del 30%. Se observa que el costo total es monotamente creciente con el producto agregado, lo cual es razonable.

3.4.2 ANALISIS AGREGADO DE COSTOS

Utilizando un enfoque simplificado, es posible construir curvas COSTO MEDIO-PRODUCTO, que permitan obtener algunas conclusiones importantes, sin estimar aún un modelo y que pueden ser útiles para la especificación de éste y el tratamiento de las variables.

El gráfico 3.4.1 fue obtenido definiendo Unidades de tráfico (PK+FK) como producto, y Gasto Total dividido en UT, como Costo Medio; las observaciones se mueven entre prácticamente cero y casi 130.000 UT/año en el caso de producto y entre 0.20 y 1.60 L/UT de costo medio. Dado que estamos planteando que hay factores fijos, la envolvente de los puntos del gráfico, puede ser interpretada como una aproximación a la curva de costos medios de largo plazo. El hecho de que un punto no pertenezca a esta envolvente indica que éste pertenece a una curva de costo medio de corto plazo o que se trata de un punto ineficiente. Si no se trata de un punto ineficiente, debería darse alguna de las siguientes condiciones: hay algún insumo que no está en el nivel óptimo dado el nivel de producción y los precios de factores; el punto corresponde a precios de factores distintos que el resto; la composición del producto es distinta. Si se trata de un punto ineficiente, éste debe ser detectado y eliminado. Es preciso recordar que se está analizando un problema de multiproducción con un enfoque monoprodutivo, por lo cual no se puede hacer afirmaciones concluyentes.

FIGURA 3.4.1 : TOTAL DE LA MUESTRA

CURVA DE COSTOS MEDIOS

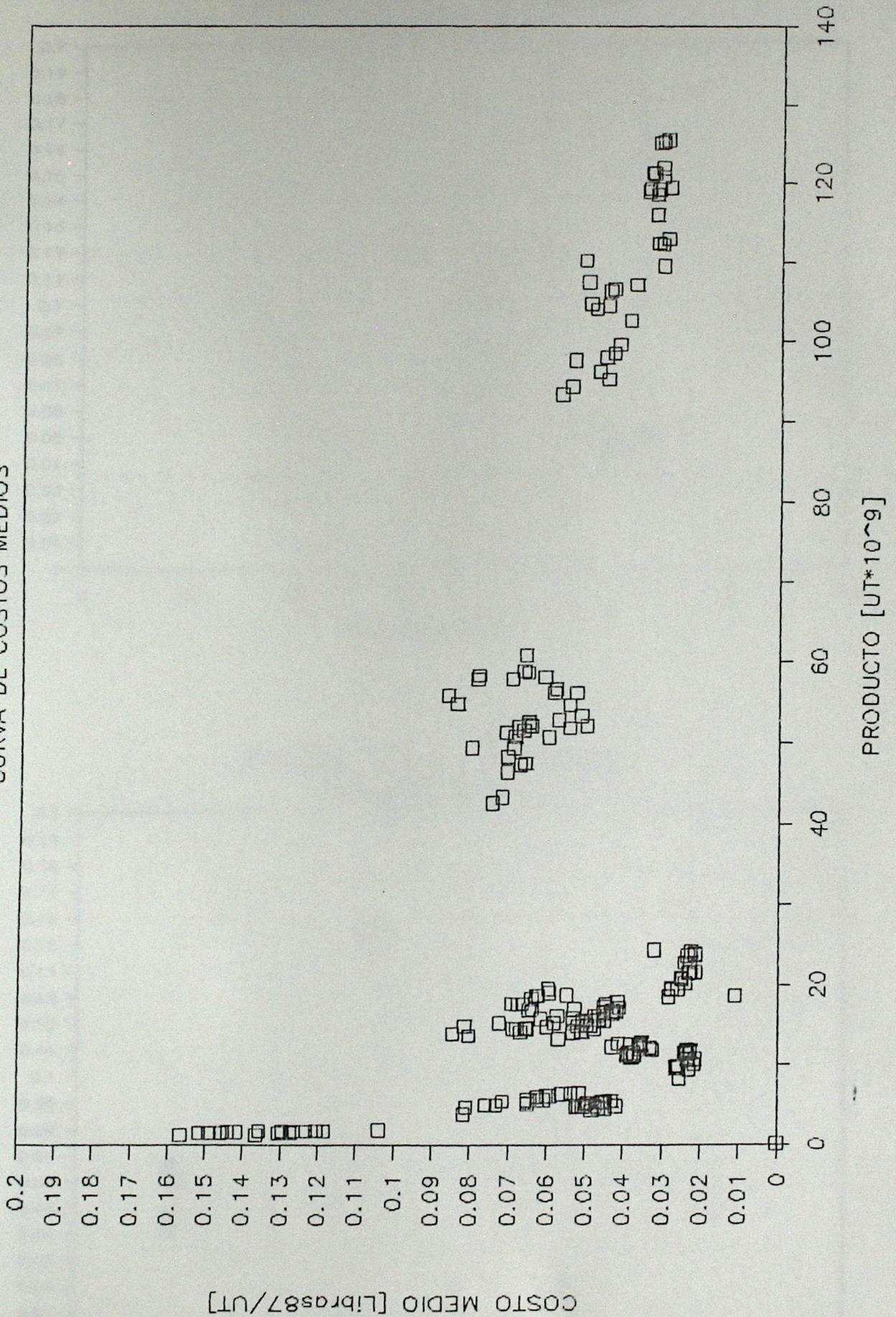


FIGURA 3.4.2 : ALEMANIA

CURVA DE COSTOS MEDIOS

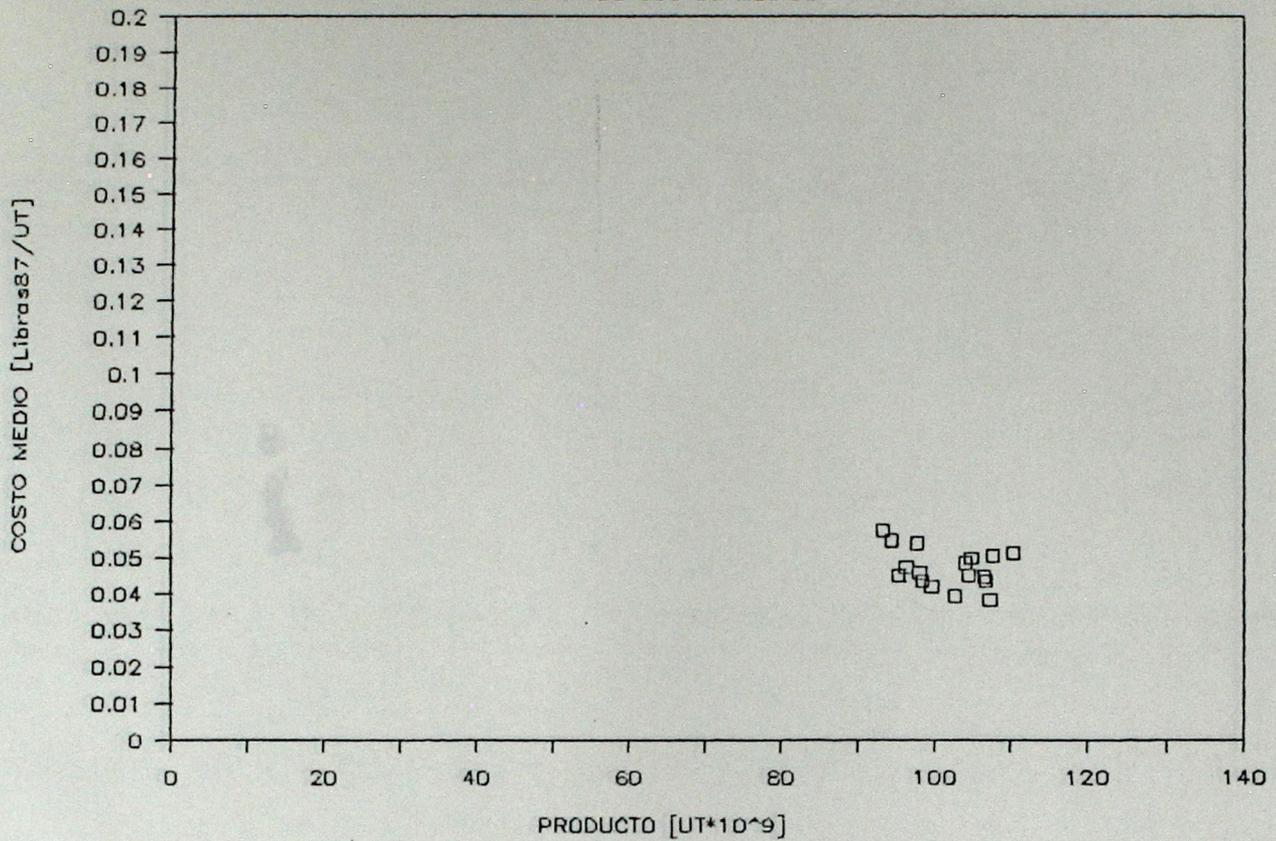


FIGURA 3.4.3 : AUSTRIA

CURVA DE COSTOS MEDIOS

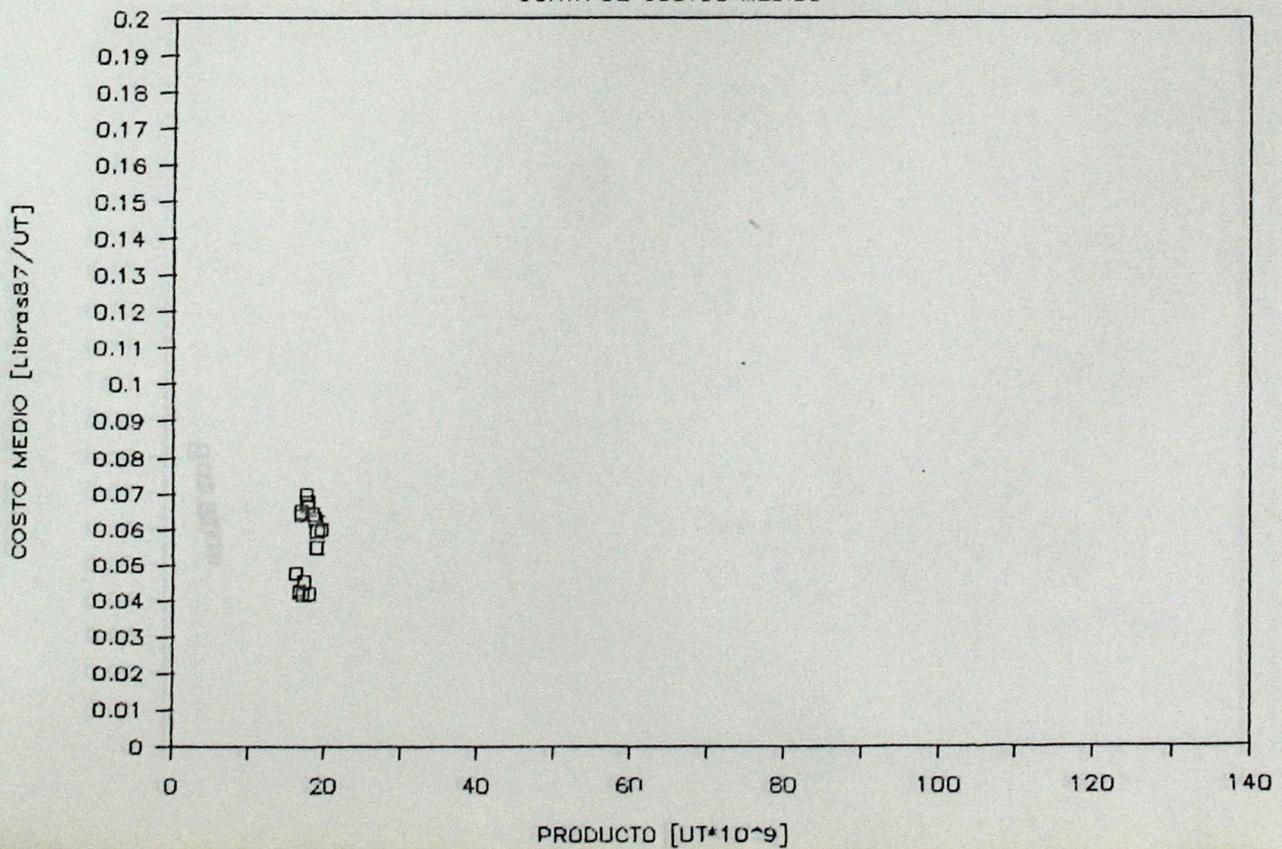


FIGURA 3.4.4 : BELGICA

CURVA DE COSTOS MEDIOS

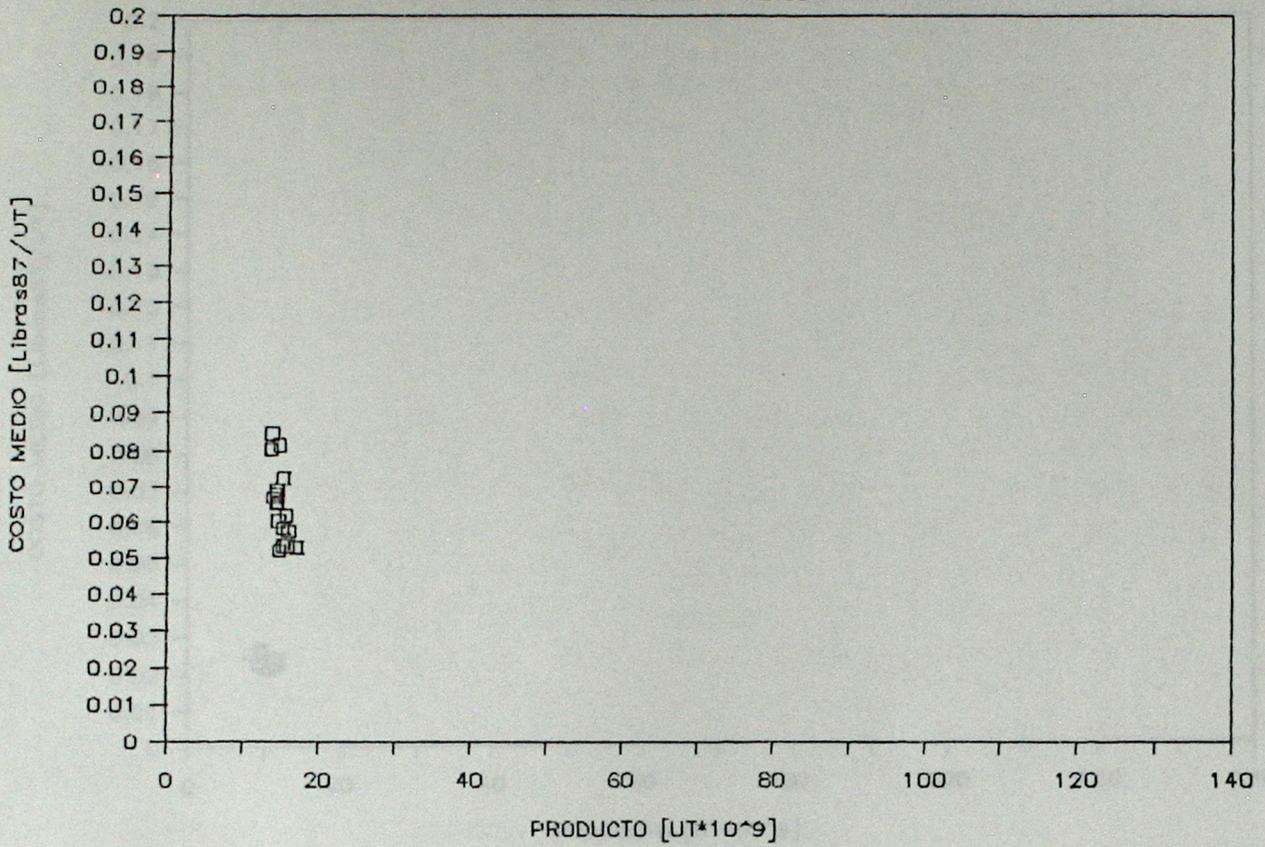


FIGURA 3.4.5 : DINAMARCA

CURVA DE COSTOS MEDIOS

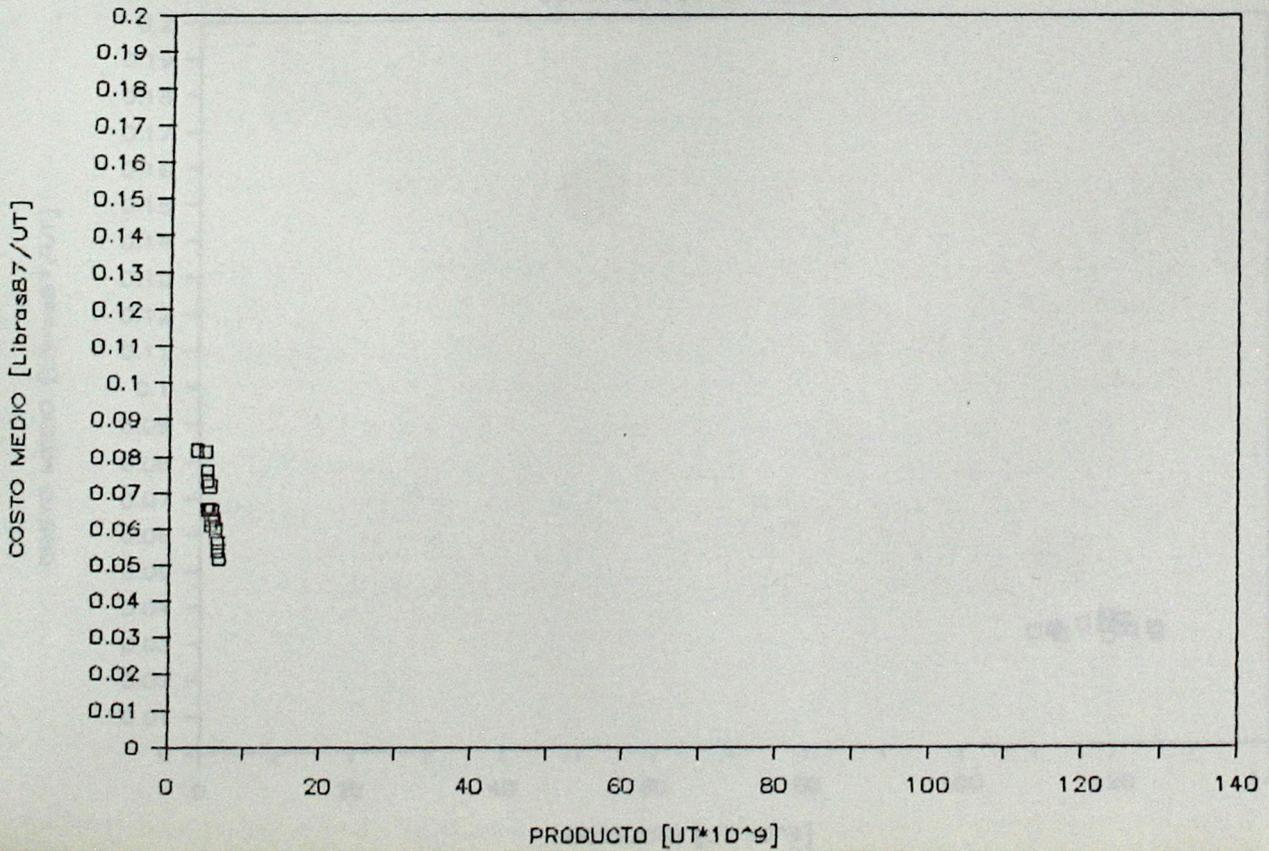


FIGURA 3.4.6 : FINLANDIA

CURVA DE COSTOS MEDIOS

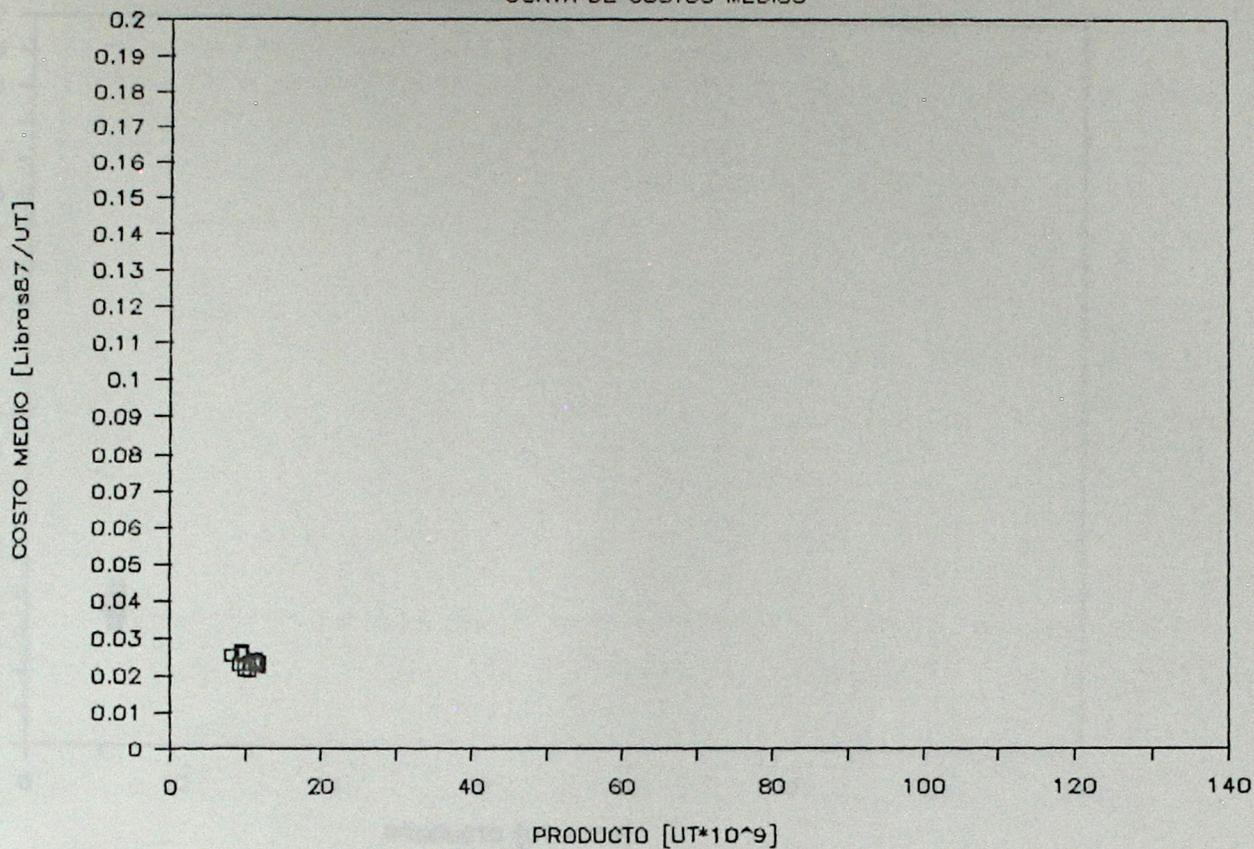


FIGURA 3.4.7 : FRANCIA

CURVA DE COSTOS MEDIOS

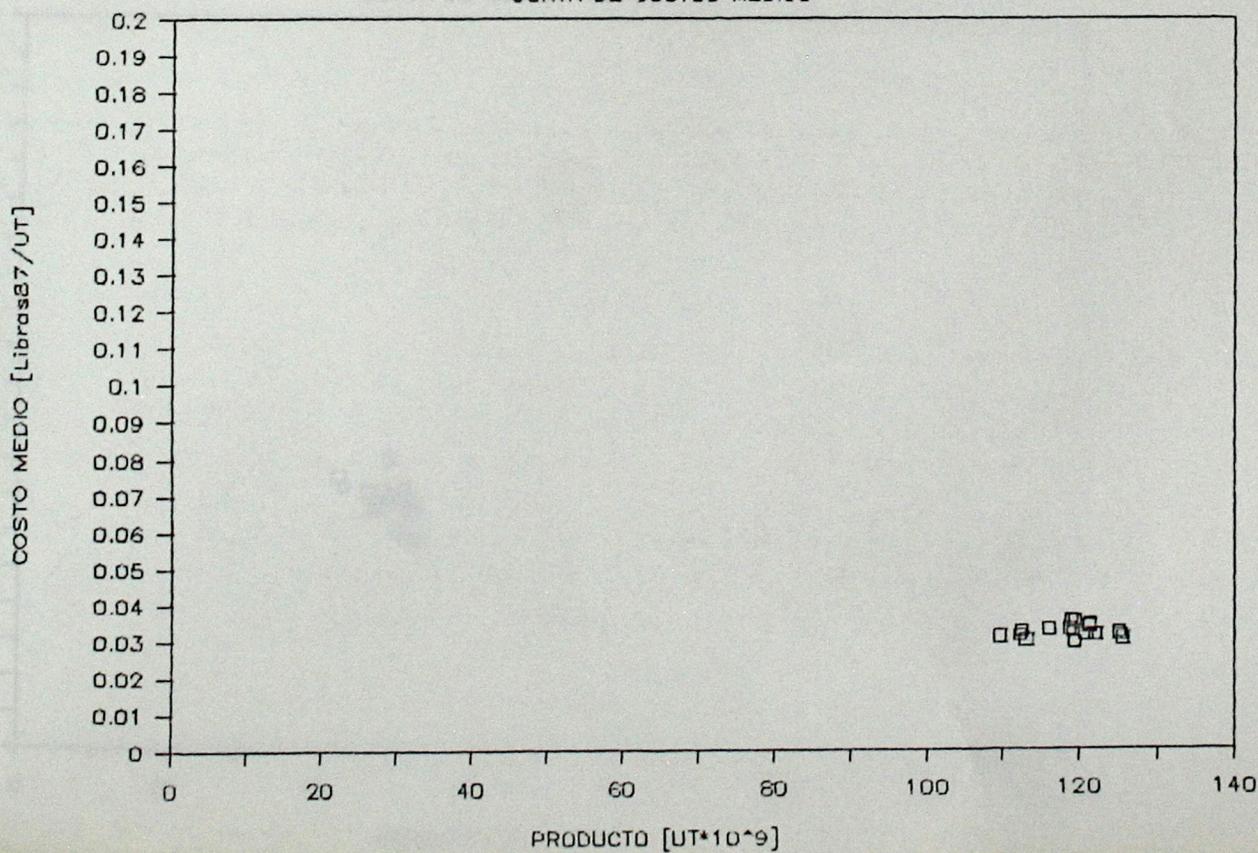


FIGURA 3.4.8 : HOLANDA

CURVA DE COSTOS MEDIOS

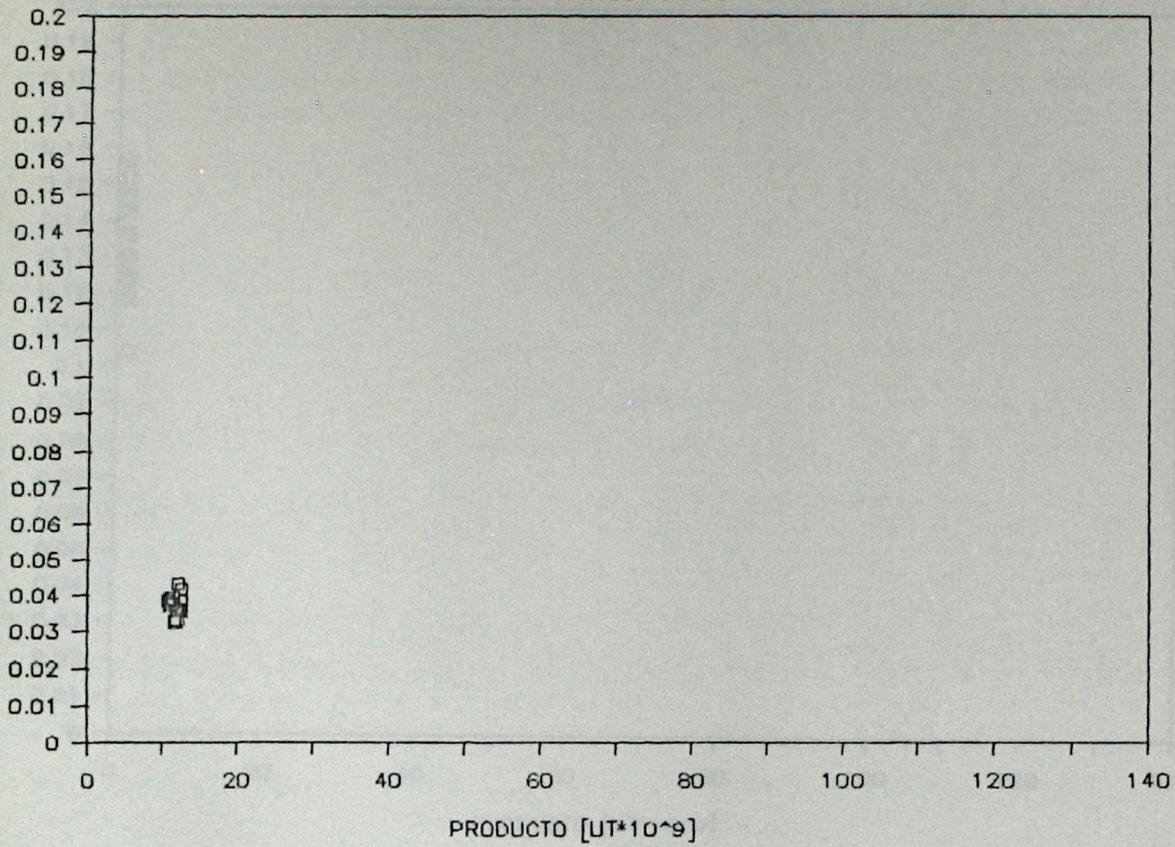


FIGURA 3.4.9 : INGLATERRA

CURVA DE COSTOS MEDIOS

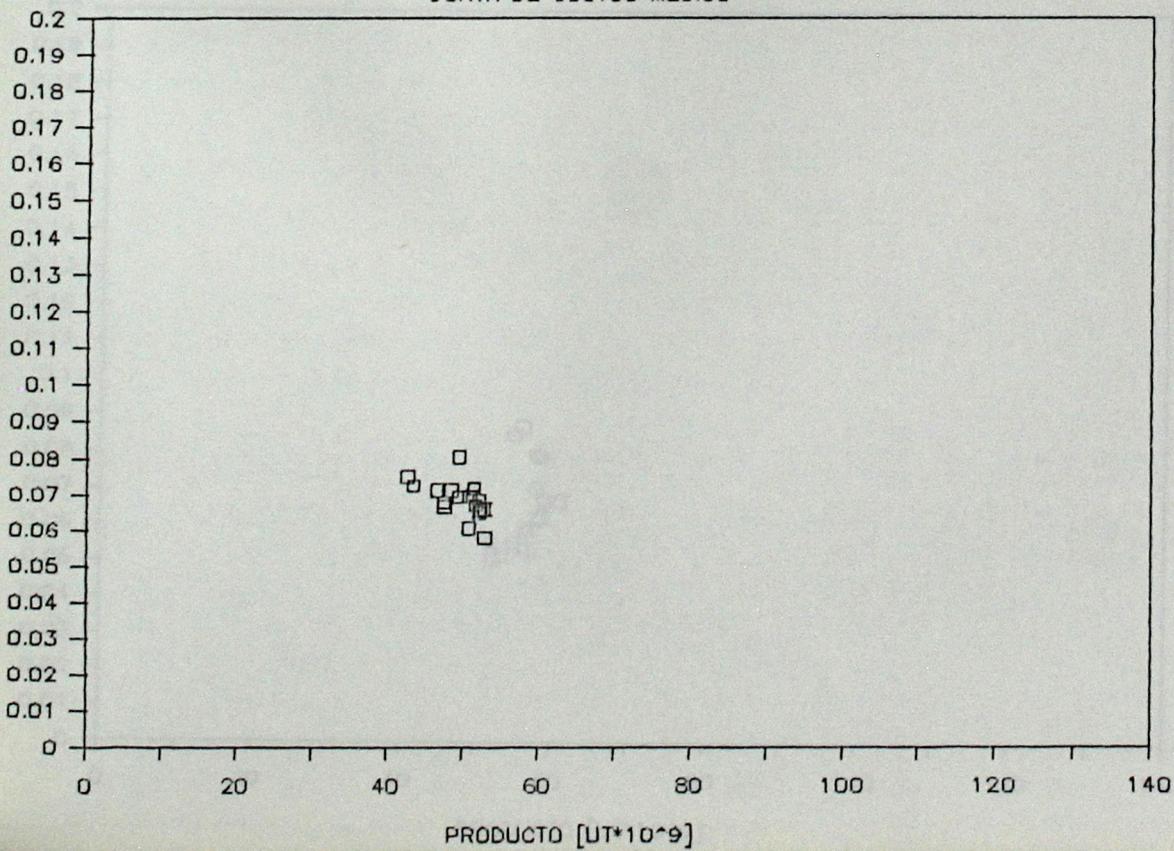


FIGURA 3.4.10 : IRLANDA

CURVA DE COSTOS MEDIOS

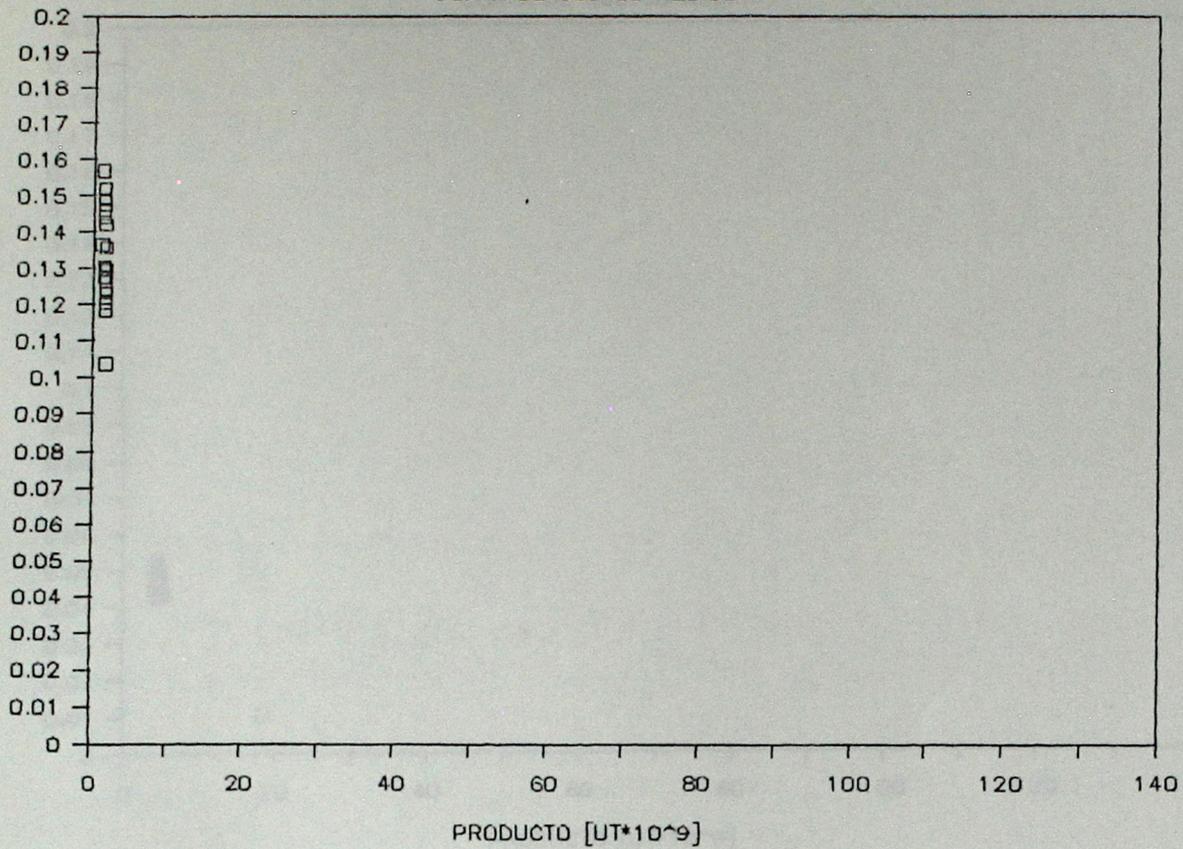


FIGURA 3.4.11 : ITALIA

CURVA DE COSTOS MEDIOS

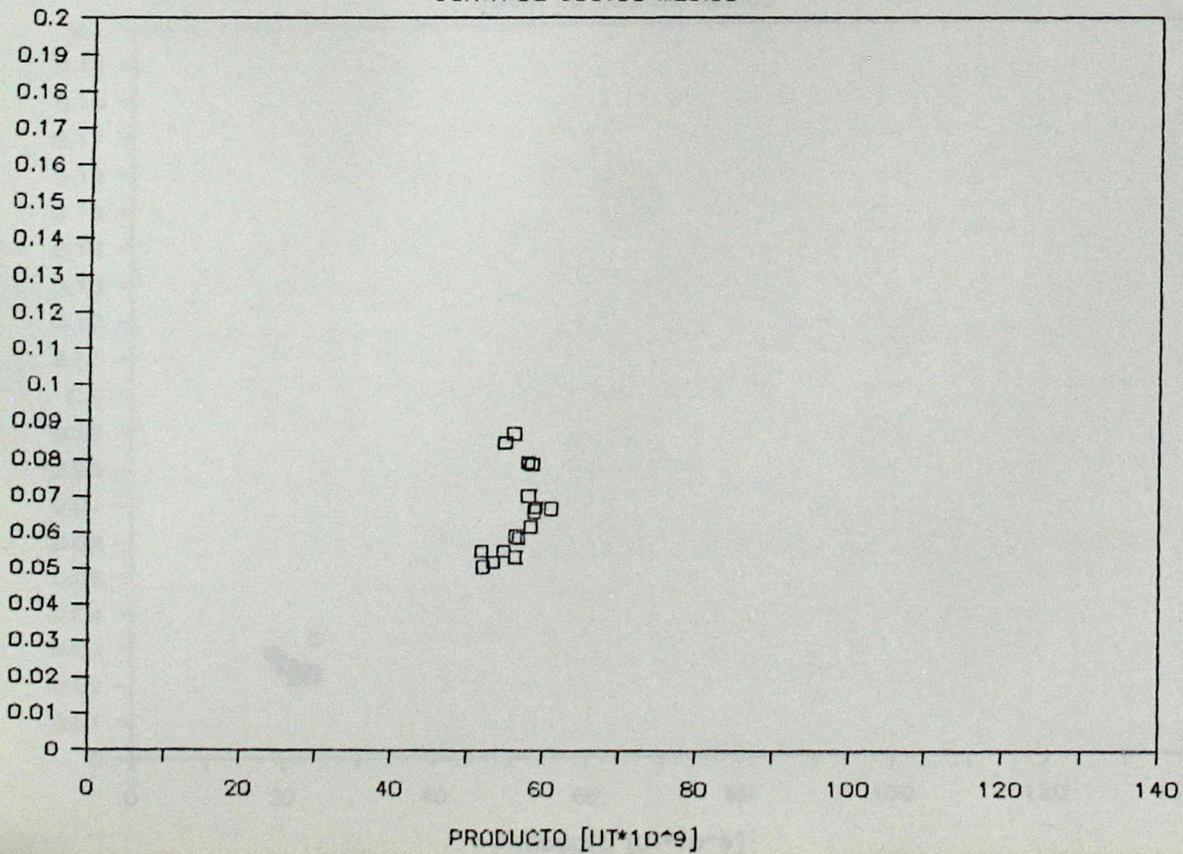


FIGURA 3.4.12 : NORUEGA

CURVA DE COSTOS MEDIOS

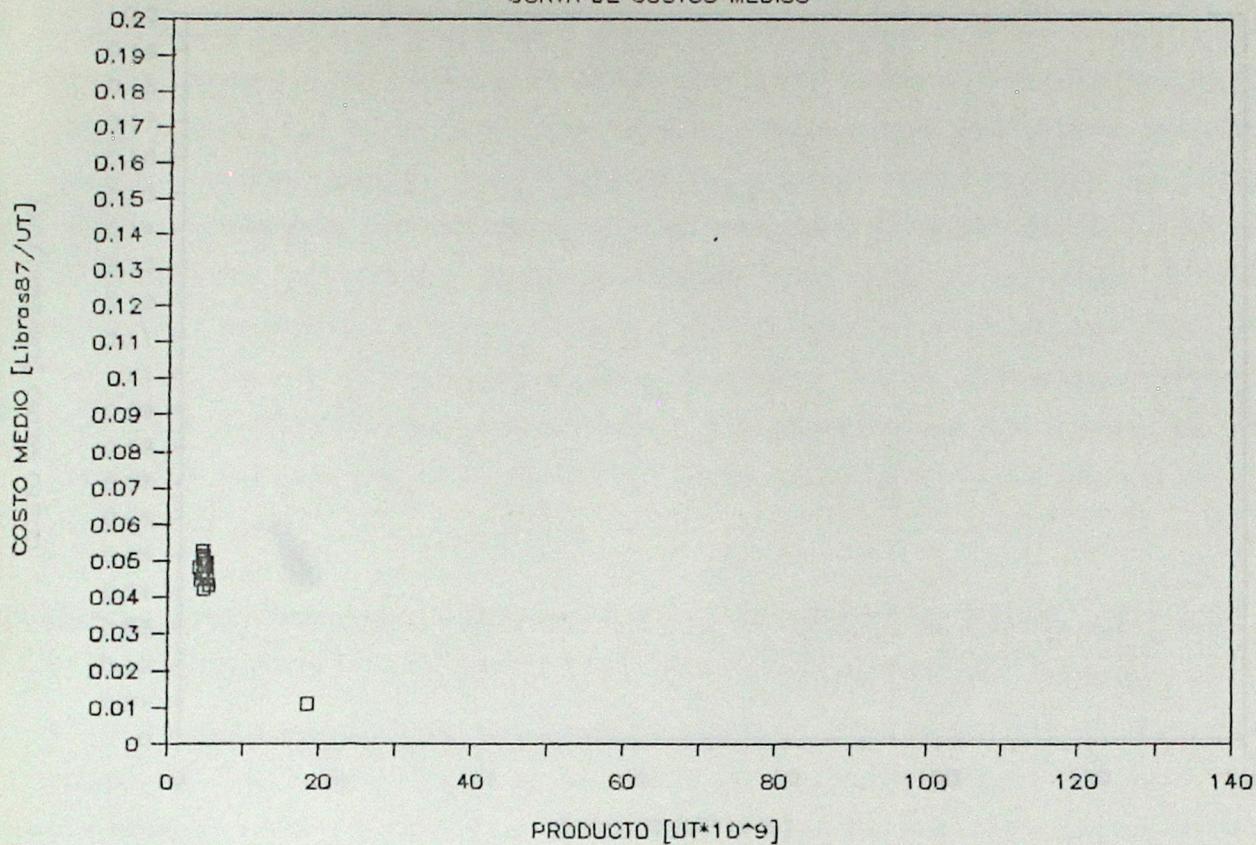


FIGURA 3.4.13 : SUECIA

CURVA DE COSTOS MEDIOS

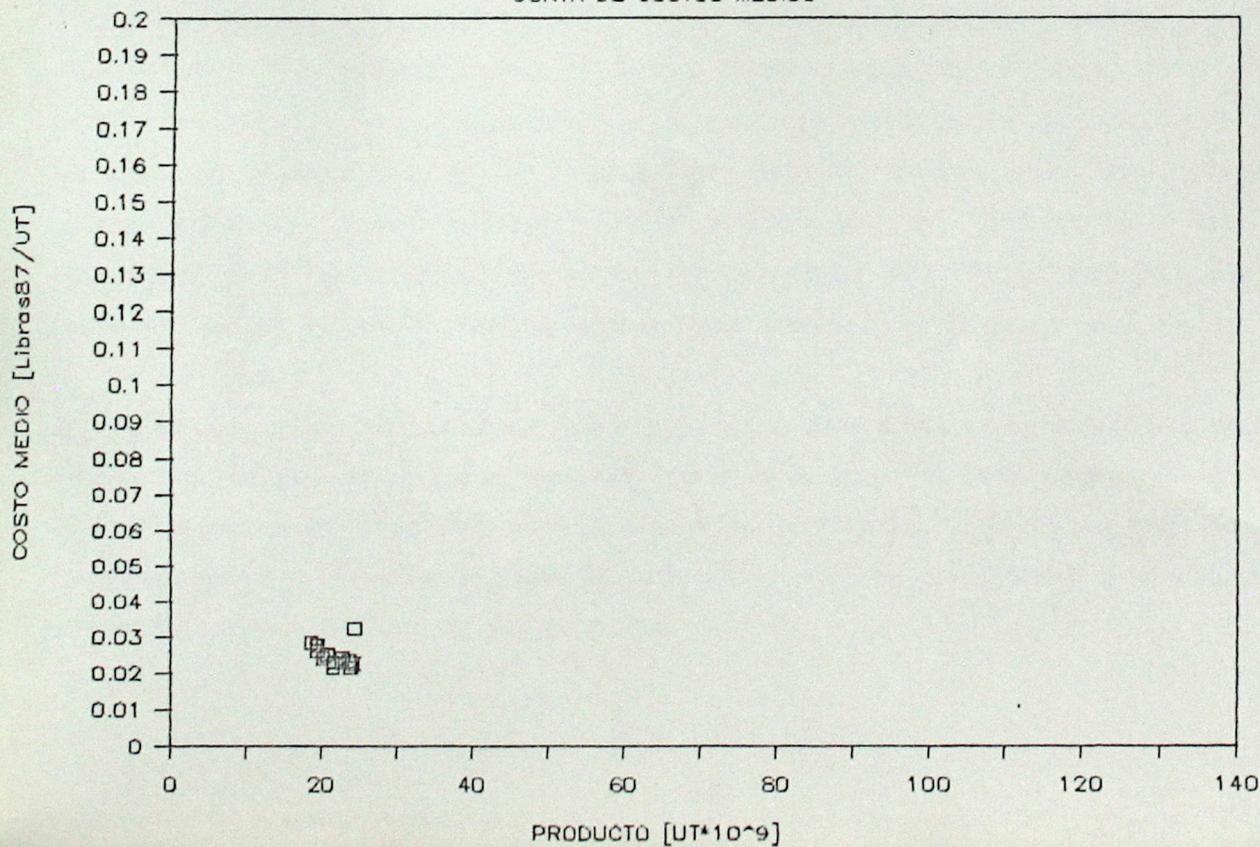
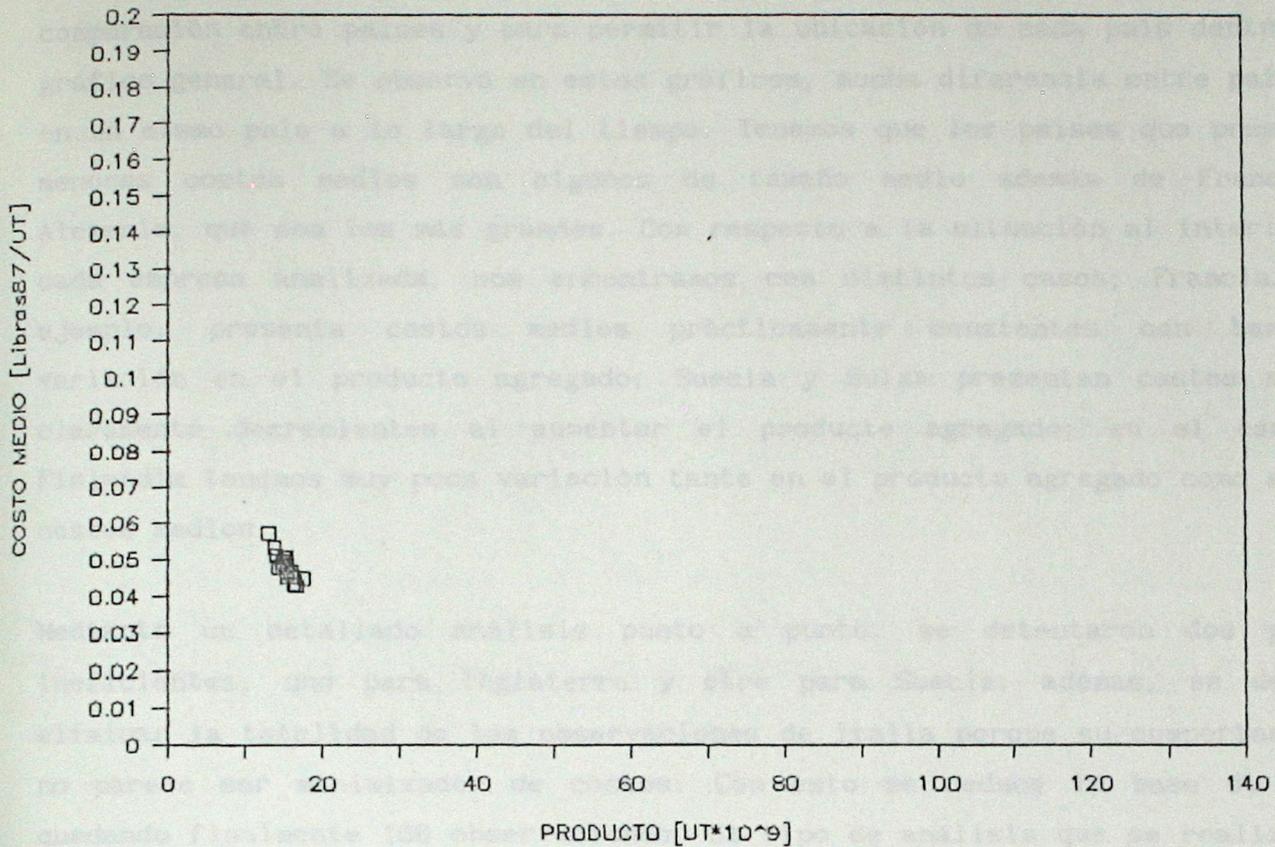


FIGURA 3.4.14 : SUIZA

CURVA DE COSTOS MEDIOS



En los gráficos 3.4.2 a 3.4.14, se entregan curvas de costos medios por país. En estos gráficos se mantuvo la escala del gráfico 3.4.1 para facilitar la comparación entre países y para permitir la ubicación de cada país dentro del gráfico general. Se observa en estos gráficos, mucha diferencia entre países y en un mismo país a lo largo del tiempo. Tenemos que los países que presentan menores costos medios son algunos de tamaño medio además de Francia y Alemania, que son los más grandes. Con respecto a la situación al interior de cada empresa analizada, nos encontramos con distintos casos; Francia, por ejemplo, presenta costos medios prácticamente constantes con bastante variación en el producto agregado; Suecia y Suiza presentan costos medios claramente decrecientes al aumentar el producto agregado; en el caso de Finlandia tenemos muy poca variación tanto en el producto agregado como en los costos medios.

Mediante un detallado análisis punto a punto, se detectaron dos puntos ineficientes, uno para Inglaterra y otro para Suecia; además, se decidió eliminar la totalidad de las observaciones de Italia porque su comportamiento no parece ser minimizador de costos. Con esto se reduce la base de datos quedando finalmente 166 observaciones. El tipo de análisis que se realizó fue estudiar todos los puntos que estuvieran en una misma vertical y que tuvieran costos medios distintos; luego, analizar todos los elementos que no son considerados en estas curvas tan agregadas de costos medios, como la composición del producto (P, PK, F, FK), los precios de factores, y los factores fijos; si todos los elementos mencionados no son significativamente distintos y hay un punto que presenta costo medio mayor, éste podría ser un punto ineficiente. El caso de Italia es particularmente interesante, ya que parece no pertenecer a la curva de costos medios que le corresponde, presentando un gasto aparentemente mayor que el necesario. Esto queda reforzado por la observación hecha en el punto 3.2, en términos, de ser el país que cubre un menor porcentaje de sus costos.

En síntesis, aún cuando este análisis deja fuera muchos aspectos, que serán considerados en el modelo que se estimará, parece vislumbrarse curvas de costos medios más bien decrecientes con el producto, y se diría que en general la gran mayoría de los países parece encontrarse, en promedio, por sobre la curva de costos medios de largo plazo.

3.4.3 CORRELACION ENTRE VARIABLES

En primer lugar, analizaremos la correlación entre variables y entre productos de variables, dada la forma del modelo a estimar (cuadrático). En la Tabla 3.4.3, en que se entregan los coeficientes de correlación entre variables, podemos ver que la correlación es relativamente alta entre las variables que indican producto, entre factores fijos y entre factores fijos y producto; esto nos obliga a tratar con especial cuidado estas variables y a analizar como se comportan las correlaciones al multiplicarlas por otras. Todos estos análisis fueron hechos para la base de datos corregida; es decir, no están contenidos los puntos anteriormente descartados (todas las observaciones de Italia, una de Inglaterra y una de Suecia).

De la Tabla 3.4.4 podemos ver, en primer lugar, altísimos coeficientes de correlación entre el producto de cada elemento de Y y ambos factores fijos ($FD \cdot S$ y $FD \cdot LT$, $FKD \cdot S$ y $FKD \cdot LT$, $PD \cdot S$ y $PD \cdot LT$, $PKD \cdot S$ y $PKD \cdot LT$); hacemos notar, además, que hay más coeficientes de correlación muy altos (mayores que 0.97), asociados a toneladas que a pasajeros, y también hay más asociados a LT que a S .

De este análisis podemos concluir, en primer lugar, que el hecho de incluir en el modelo términos cruzados de producto con ambos factores fijos, traería problemas de multicolinealidad. Además, de eliminarse alguno de los factores fijos, es LT el que debería ser eliminado ya que presenta mayores problemas de alta correlación.

Para el caso de los términos cruzados precios-factores fijos, también se presenta el mismo problema: altas correlaciones entre $WED \cdot S$ y $WED \cdot LT$, y entre $WVD \cdot S$ y $WVD \cdot LT$; pero en este caso, es indiferente desde el punto de vista de correlación entre variables, eliminar cualquiera de los dos factores fijos. Se sugiere dejar LT multiplicando los precios de energía y varios, y no S , ya que se espera que el tamaño de vías tenga mayor efecto sobre la demanda por energía y varios que sobre número de operarios.

Con respecto a las correlaciones entre los componentes del vector Y multiplicados entre sí, observamos que los mayores coeficientes de correlación están asociados a la variable FD (ver Tabla 3.4.5); los coeficientes de

TABLA 3.4.3
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

TABLA 3.4.4
CORRELACIONES ASOCIADAS A FACTORES FIJOS

	FDS	FDLT	FKDS	FKDLT	PDS	PDLT	PKDS	PKDLT	WEDS	WEDLT	WVDS	WVDLT
FD	0.96	0.98	0.95	0.91	0.97	0.96	0.92	0.82	-0.71	-0.59	0.05	0.13
FKD	0.90	0.96	0.96	0.98	0.90	0.94	0.96	0.92	-0.80	-0.75	0.07	0.18
PD	0.90	0.93	0.88	0.86	0.95	0.97	0.93	0.85	-0.65	-0.54	0.10	0.20
PKD	0.77	0.86	0.84	0.91	0.83	0.92	0.96	0.98	-0.79	-0.77	0.27	0.42
S	0.95	0.97	0.94	0.91	0.97	0.97	0.95	0.86	-0.76	-0.63	0.15	0.23
LT	0.86	0.93	0.91	0.95	0.90	0.96	0.97	0.95	-0.80	-0.77	0.18	0.30
FDS	1.00	0.98	0.97	0.89	0.98	0.94	0.90	0.76	-0.67	-0.52	-0.06	0.01
FDLT		1.00	0.99	0.96	0.98	0.98	0.95	0.86	-0.72	-0.61	-0.01	0.09
FKDS			1.00	0.97	0.95	0.95	0.95	0.86	-0.76	-0.64	-0.02	0.09
FKDLT				1.00	0.89	0.94	0.97	0.95	-0.80	-0.75	0.06	0.20
PDS					1.00	0.98	0.93	0.81	-0.65	-0.51	-0.04	0.05
PDLT						1.00	0.97	0.90	-0.69	-0.60	0.03	0.15
PKDS							1.00	0.96	-0.81	-0.74	0.15	0.28
PKDLT								1.00	-0.81	-0.80	0.23	0.40
WEDS									1.00	0.95	-0.37	-0.47
WEDLT										1.00	-0.36	-0.47
WVDS											1.00	0.96
WVDLT												1.00

TABLA 3.4.5
MATRIZ DE CORRELACION ENTRE PRODUCTOS DE VARIABLES

	FD ²	FDFKD	FDPD	FDPKD	FKD ²	FKDPD	FKDPKD	PD ²	PDPKD	PKD ²
FD	0.954	0.947	0.963	0.954	0.899	0.949	0.837	0.951	0.918	0.717
FKD	0.888	0.947	0.893	0.972	0.976	0.954	0.954	0.879	0.940	0.856
PD	0.883	0.873	0.929	0.933	0.834	0.913	0.821	0.959	0.948	0.765
PKD	0.738	0.802	0.786	0.921	0.866	0.853	0.936	0.827	0.961	0.952
FD ²	1.000	0.979	0.988	0.929	0.897	0.962	0.785	0.947	0.860	0.610
FDFKD		1.000	0.966	0.966	0.967	0.986	0.881	0.924	0.898	0.717
FDPD			1.000	0.945	0.887	0.973	0.801	0.984	0.905	0.655
FDPKD				1.000	0.970	0.982	0.948	0.938	0.975	0.852
FKD ²					1.000	0.961	0.964	0.853	0.915	0.838
FKDPD						1.000	0.908	0.956	0.948	0.778
FKDPKD							1.000	0.799	0.939	0.951
PD ²								1.000	0.936	0.695
PDPKD									1.000	0.903
PKD ²										1.000

Del análisis de los datos y de las curvas de regresión se observan correlación llamados "muy altos" se observan para FD^2 , $FD \cdot FKD$, $FD \cdot PD$ y $FD \cdot PKD$ con otros productos de variables. Por lo tanto la eliminación de la variable FD de la especificación del modelo probablemente permita obtener un modelo con mejores indicadores estadísticos; sin embargo no debemos olvidar el punto de vista microeconómico, que nos dice que es necesario distinguir toneladas de toneladas-Kilómetro.

Dada la definición de variables hecha en el capítulo anterior, en particular la forma de definir proxies de precios, se podría pensar que el modelo corre el riesgo de ser autoexplicativo; es decir, que al multiplicar los precios por las otras variables, en particular los elementos del vector producto, se obtenga algo muy parecido a los gastos respectivos. Para verificar la existencia de este problema, se analizó la correlación del gasto en energía y varios, que forman parte del costo total (variable dependiente) y las variables definidas WE y WV multiplicadas por los componentes de Y (ver Tabla 3.4.6). Como se puede ver, la correlación de WE y WV , y de cada uno de los

productos de variables con el gasto respectivo y con el costo total, es bastante baja, lo cual indica que no está presente el problema mencionado.

TABLA 3.4.6
COEFICIENTES DE CORRELACION

Var	CT	GE	GV
WED	-0.157	-0.049	-0.182
WVD	0.057	-0.066	0.230
PD·WED	-0.710	-0.519	-0.740
PKD·WED	-0.615	-0.416	-0.708
FD·WED	-0.712	-0.503	-0.710
FKD·WED	-0.616	-0.418	-0.653
PD·WVD	0.259	0.003	0.533
PKD·WVD	0.392	0.159	0.647
FD·WVD	0.198	-0.005	0.495
FKD·WVD	0.266	0.001	0.534

3.5 SINTESIS

Del análisis de los datos y de las curvas agregadas de costos medios, se concluye en primer lugar que es necesario eliminar la totalidad de las observaciones de Italia y otros dos puntos, ya que parecen no ajustarse al supuesto de minimización de gasto.

Del análisis de la correlación entre variables, se desprende que no pueden ser incluidos en el modelo ambos factores fijos multiplicando a las otras variables, porque ésto provocaría problemas de multicolinealidad; el incluir en un modelo todos los elementos del vector producto multiplicando a otras variables, también traería problemas de multicolinealidad. Este análisis también permite comprobar que el modelo no es autoexplicativo.

Hay elementos que no pueden ser dilucidados a partir de este análisis; como por ejemplo, determinar si el número de operarios es un insumo fijo o no. Este tipo de problemas, serán parte de la estimación de modelos que es realizada en el próximo capítulo.

4.1 INTRODUCCION

El punto central de este trabajo es utilizar un índice de costo para la evaluación de una decisión en el capítulo 2 (ferrocarriles europeos), por las variables relacionadas. La innovación fundamental introducida consiste en incorporar la variable decisión de red (R) para captar heterogeneidades, como se justificó anteriormente, se analiza varias especificaciones alternativas y se comprueba empíricamente su importancia.

CAPITULO 4

ESTIMACION DE UNA FUNCION DE COSTO PARA EL CASO DE FERROCARRILES EUROPEOS

En las partes 4.2 y 4.3 se presentan las estimaciones económicas de los costos por A y los enfoques alternativos respectivamente. El análisis de resultados, que corresponde al punto 4.4, es hecho en términos de los indicadores estadísticos y de la capacidad de reproducción de propiedades económicas de los aleatorios estocásticos.

4. ESTIMACION DE UN MODELO CON R

4.1 DEFINICION DEL MODELO BASE

Con el fin de definir un modelo base para la estimación, se define el siguiente conjunto de las funciones y ecuaciones derivadas de la función de costo, y el modelo resultante (ver tabla 4.1.1).

4.1 INTRODUCCION

Como se ve en los capítulos 2 y 3, el costo es esencialmente función de

El punto central de este trabajo es estimar una función de costo para la base de datos descrita en el capítulo 3 (ferrocarriles europeos), con las variables mencionadas. La innovación fundamental introducida corresponde a incorporar la variable densidad de red (R) para captar heterogeneidades, como se justificara anteriormente; se analiza varias especificaciones alternativas y se comprueba estadísticamente su importancia. Los resultados se contrastan con los obtenidos de enfoques que no incorporan la variable R: un modelo que contiene todas las variables mencionadas salvo R, funciones de costo distintas para países grandes y chicos, y modelos con variables dummy para cada empresa distinta.

En los puntos 4.2 y 4.3 se presentan las estimaciones econométricas de los modelos con R y los enfoques alternativos respectivamente. El análisis de resultados, que corresponde al punto 4.4, es hecho en términos de los indicadores estadísticos y de la capacidad de reproducción de propiedades económicas de los distintos modelos.

4.2 ESTIMACION DE UN MODELO CON R

4.2.1 DEFINICION DEL MODELO BASE

Con el fin de definir un modelo base para la estimación, se utiliza el significado económico de las primeras y segundas derivadas de la función de costo, y el análisis estadístico (correlación entre variables).

Como se viera en los capítulos 2 y 3, el gasto es potencialmente función del vector Y producido, de los precios de insumos y de los factores fijos, variables que también contribuyen a explicar sus primeras derivadas (costos marginales y demanda por factores). Como se dijera en el punto 3.3, en este trabajo se incorpora la variable R que se espera contribuya a captar la distribución espacial de los flujos movidos, que podría influir en los costos marginales y demanda por factores, por lo cual se incluye en el modelo las variables del vector de flujo y precios de insumos multiplicadas por R ². La Tabla 4.2.1 resume esta especificación general.

TABLA 4 2.1
VARIABLES DEL MODELO GENERAL

FD	FKD	PD	PKD	WED	WVD	S	LT	
FD ²	FD·FKD	FD·PD	FD·PKD	FD·WED	FD·WVD	FD·S	FD·LT	FD·R
	FKD ²	FKD·PD	FKD·PKD	FKD·WED	FKD·WVD	FKD·S	FKD·LT	FKD·R
		PD ²	PD·PKD	PD·WED	PD·WVD	PD·S	PD·LT	PD·R
			PKD ²	PKD·WED	PKD·WVD	PKD·S	PKD·LT	PKD·R
				WED ²	WED·WVD	WED·S	WED·LT	WED·R
					WVD ²	WVD·S	WVD·LT	WVD·R

Para este modelo básico (ver Tabla 4.2.1), podemos deducir las ecuaciones de

²Formalmente, si se asume que $\partial C/\partial Z = f(R)$, entonces la función C , en el caso de una cuadrática tendrá la forma $C = \dots + \alpha \cdot Z \cdot R$.

costos marginales, demanda por factores y las derivadas de éstas con respecto a distintas variables, que serán útiles para la interpretación de los modelos. Todas las ecuaciones que se presentan, son evaluadas en la media de las observaciones; la letra B indica que es el parámetro asociado a la variable que acompaña, por ejemplo BF es el coeficiente de la variable F.

Costos marginales³ ($\frac{\partial C}{\partial Y}$) :

$$Cmg_F = BF + BFS \cdot \bar{S} + BFLT \cdot \bar{LT} + BFR \cdot \bar{R} + (BFK + BFKS \cdot \bar{S} + BFKLT \cdot \bar{LT} + BFKR \cdot \bar{R}) \cdot dm_F \quad (4.2.1)$$

$$Cmg_P = BP + BPS \cdot \bar{S} + BPLT \cdot \bar{LT} + BPR \cdot \bar{R} + (BPK + BPKS \cdot \bar{S} + BPKLT \cdot \bar{LT} + BPKR \cdot \bar{R}) \cdot dm_P \quad (4.2.2)$$

Demanda por factores ($\frac{\partial C}{\partial W}$) :

$$X_E = BWE + BWES \cdot \bar{S} + BWELT \cdot \bar{LT} + BWER \cdot \bar{R} \quad (4.2.3)$$

$$X_V = BWV + BWVS \cdot \bar{S} + BWVLT \cdot \bar{LT} + BWVR \cdot \bar{R} \quad (4.2.4)$$

Derivada de costos marginales con respecto a precios de factores:

$$\frac{\partial^2 C}{\partial P \cdot \partial WE} = BPWE + BPKWE \cdot dm_P \quad (4.2.5)$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial F \cdot \partial WE} = BFWWE + BFKWE \cdot dm_F \quad (4.2.6)$$

³Las derivadas con respecto a producto no pueden ser calculadas directamente, ya que existe dependencia entre $Y = \sum y_i$ e $YK = \sum y_i \cdot d_i$ ($Y = P$ ó F), siendo y_i el flujo en el par origen-destino i . En este trabajo se aproximó dYK/dY como la distancia media (dm_Y), con lo cual la exactitud de la aproximación depende de la variabilidad del diferencial de y_i ($e = \sum dy_i \cdot [d_i - dm_Y]$); si dy_i es igual para todo i , el error es nulo.

$$\frac{\partial^2 C}{\partial P \cdot \partial W_V} = BPWV + BPKWV \cdot dm_P \quad (4.2.7)$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial F \cdot \partial W_V} = BFWV + BFKWV \cdot dm_F \quad (4.2.8)$$

Estas ecuaciones (4.2.5 a 4.2.8) representan la variación de los costos marginales ante una variación en el precio de un factor; o bien como afecta a la demanda por factores, un cambio en el nivel de flujos.

Derivada de los costos marginales con respecto a producto:

$$\frac{\partial^2 C}{\partial F^2} = 2 \cdot BFF + 2 \cdot BFKFK \cdot dm_F + 2 \cdot BFFK \cdot dm_F \quad (4.2.9)$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial F \cdot \partial P} = BFP + BFKPK \cdot dm_F \cdot dm_P + BFPK \cdot dm_P + BFKP \cdot dm_F \quad (4.2.10)$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial P^2} = 2 \cdot BPP + 2 \cdot BPKPK \cdot dm_P + 2 \cdot BPPK \cdot dm_P \quad (4.2.11)$$

La ecuación 4.2.10 permite detectar la existencia de complementariedad de costos entre los movimientos de pasajeros y carga.

Derivada de la demanda por factores con respecto a precios de factores:

$$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E^2} = 2 \cdot BWEWE \quad (4.2.12)$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \cdot \partial W_V} = BWEWV \quad (4.2.13)$$

$$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V^2} = 2 \cdot BWVWV \quad (4.2.14)$$

Las ecuaciones 4.2.12 y 4.2.14 indican como varía la demanda por un factor al aumentar su propio precio; la ecuación 4.2.13 permite detectar efecto

sustitución o complementariedad entre factores.

Si consideramos ahora el análisis estadístico realizado en el capítulo anterior, es muy probable que al estimar el modelo básico presentado, se encuentren serios problemas de multicolinealidad. El paso siguiente es eliminar variables que tengan correlación muy alta con otras.

En primer lugar, se dejará un modelo de modo tal que los costos marginales y la demanda por factores dependan sólo de un factor fijo, ya que ambos factores fijos están altamente correlacionados (entre sí y con las variables de producto) y también lo están las otras variables multiplicadas por los factores fijos. Como fue sugerido en el capítulo anterior, en el caso de los costos marginales se eliminarán los términos asociados al factor fijo LT ($FD \cdot LT$, $FKD \cdot LT$, $PD \cdot LT$, $PKD \cdot LT$), ya que presentan mayores problemas de alta correlación. En el caso de demanda por factores, es indiferente desde el punto de vista del problema que estamos tratando de evitar (multicolinealidad) el eliminar uno u otro; si interpretamos físicamente el fenómeno, es más razonable pensar que la demanda por energía y varios dependa del largo de las vías y no del número de operarios; por esto, se eliminarán los términos $WED \cdot S$ y $WVD \cdot S$.

Parece razonable, eliminar además los términos $FD \cdot PKD$ y $PD \cdot FKD$, ya que no permiten detectar efectos de interés económico, y como se puede ver de la Tabla 3.4.4, no es conveniente estimar un modelo que incluya todos los términos cruzados de los elementos del vector producto, por un problema de multicolinealidad.

También es preciso eliminar todos los términos de segundo orden asociados FD (FD^2 , $FD \cdot FKD$, $FD \cdot PD$, $FD \cdot PKD$, $FD \cdot WED$, $FD \cdot WVD$, $FD \cdot S$, $FD \cdot R$), ya que es la variable que presenta mayores problemas de correlación con otras, tanto en primer como en segundo orden.

En este punto, podemos definir el modelo base para la estimación (ver Tabla 4.2.2).

Una variación de este enfoque, que tiene por objeto reducir el número de parámetros a estimar, consiste en imponer que la demanda por factores dependa de una medida más agregada de producto, por ejemplo, Unidades de Tráfico (UT);

esto se dejará como especificación alternativa al modelo base, para ver si presenta mejoras.

TABLA 4.2.2
MODELO BASE PARA LA ESTIMACION

FD	FKD	PD	PKD	WED	WVD	S	LT	
-	-	-	-	-	-	-	-	-
	FKD ²	-	FKD·PKD	FKD·WED	FKD·WVD	FKD·S	-	FKD·R
		PD ²	PD·PKD	PD·WED	PD·WVD	PD·S	-	PD·R
			PKD ²	PKD·WED	PKD·WVD	PKD·S	-	PKD·R
				WED ²	WED·WVD	-	WED·LT	WED·R
					WVD ²	-	WVD·LT	WVD·R

4.2.2 MEJOR MODELO CON R

A partir del modelo base definido en el punto anterior, se estimó una serie de especificaciones alternativas, que corresponden a pequeñas variaciones sobre el modelo base. En la Tabla 4.2.3 se presenta los resultados, en términos de las derivadas con significado económico, de la estimación de los mejores modelos y en el Anexo A se presenta los valores de los coeficientes de las variables originales y las derivadas de primer orden por país; los resultados fueron obtenidos con el paquete estadístico TSP que, mediante la subrutina Analyz, permite obtener las derivadas y su t-estadístico a partir de los parámetros del modelo y su matriz de varianzas y covarianzas. Cabe hacer notar que, en términos de ajuste (R^2 corregido), todos los modelos son muy buenos; por esto, la elección del mejor modelo se hará en términos de los efectos que cada uno de ellos es capaz de capturar.

Para la definición de los modelos a estimar, no es posible usar sólo consideraciones económicas que indican qué variables es razonable incluir, dado el problema mencionado de correlación entre variables.

Como indicadores de bondad de los modelos, se espera que estos reproduzcan: costos marginales positivos, demanda por factores positiva, segunda derivada

de la función de costo con respecto a producto y precios de factores positiva cuando se trata de insumos normales, segunda derivada de la función de costo con respecto a precios de factores negativa. En particular, se espera un buen comportamiento de los modelos en la media, pero también es deseable un comportamiento razonable por país.

Como se puede ver en la Tabla 4.2.3, todos los modelos presentan primeras derivadas de signo correcto, aunque hay algunos problemas con las segundas derivadas.

Una especificación que considere varios términos cruzados producto-precios de insumos, presenta problemas con el signo de las derivadas representadas por las ecuaciones 4.2.5 a 4.2.8, que pueden ser interpretadas, como se dijo, como la variación de los costos marginales ante una variación en el precio de un factor, o bien la variación en la demanda por factores que provoca un aumento en la producción. Por tratarse de insumos normales, estas derivadas deben ser positivas o nulas; en el caso del modelo base que incluye varios términos cruzados, se obtienen algunos resultados de signo negativo y significativos ($t\text{-est} > 2.0$). Este problema no se presenta al considerar en la especificación sólo un término cruzado para cada insumo con una medida agregada de producto como es Unidades de Tráfico.

Como se puede ver en la Tabla 4.2.4, hay varios modelos que no presentan derivadas significativas de signo incorrecto (modelos 3,4,5 y 6). Entre los cinco primeros modelos, los mejores son los modelos 3 y 4, pero presentan un problema de signo (ver Anexo A): para estos modelos, el coeficiente de la variable LT es negativo, probablemente debido a la alta correlación entre LT, S y las variables que indican producto. Por esto, se estiman los modelos 5 y 6 que corresponden a la misma especificación de los modelos 3 y 4 respectivamente, salvo que no se incluye la variable LT, considerando que el efecto tamaño será recogido por la variable S y por el nivel de producción.

TABLA 4.2.3
 MODELOS CON R: RESULTADOS EN TERMINOS DE PRIMERAS Y
 SEGUNDAS DERIVADAS EVALUADAS EN LA MEDIA DE LAS OBSERVACIONES

MODELO	Base	¹ Mod6	² Mod8	³ Mod12	⁴ Mod11	Mod17 ⁵	Mod16 ⁶
CMg _F	3.66 (6.00)	5.50 (8.76)	5.10 (7.15)	6.16 (9.19)	6.24 (9.15)	5.32 (8.61)	5.56 (8.94)
CMg _P	3.14 (14.0)	3.33 (14.7)	2.33 (12.4)	3.13 (14.0)	2.93 (14.2)	2.79 (14.4)	2.75 (14.3)
X _E	68720 (3.25)	67072 (3.29)	87033 (3.79)	37165 (1.76)	39658 (1.82)	46388 (2.17)	44427 (2.01)
X _V	244826 (19.3)	230388 (18.1)	243125 (16.9)	235441 (16.7)	255547 (17.5)	243090 (17.2)	257095 (17.3)
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial F}$	-1.64 (2.22)	-	-	-	-	-	-
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial P}$	-0.390 (1.94)	-	-	-	-	-	-
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial UT}$	-	-0.0022 (0.73)	-0.0023 (0.68)	⁸ 0.47E-4 (0.94)	⁹ 0.22E-4 (1.01)	0.0012 (1.33)	0.0013 (1.40)
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V \partial F}$	1.60 (3.10)	-	-	-	-	-	-
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V \partial P}$	1.56 (10.4)	-	-	-	-	-	-
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V \partial UT}$	-	0.0175 (8.72)	0.0167 (7.80)	0.0073 (10.4)	0.0083 (11.5)	0.0079 (11.5)	0.0086 (11.9)
$\frac{\partial^2 C}{\partial F^2}$	-6.4E-6 (0.48)	³ 3.33E-5 (2.79)	³ 3.48E-5 (2.60)	³ 3.04E-5 (2.63)	³ 3.16E-5 (2.66)	³ 3.45E-5 (2.93)	³ 3.53E-5 (2.96)
$\frac{\partial^2 C}{\partial F \partial P}$	⁵ 5.60E-6 (1.90)	-4.1E-6 (1.64)	-4.7E-6 (1.67)	-3.0E-6 (1.11)	-3.2E-6 (1.18)	-1.9E-6 (0.69)	-2.3E-6 (0.83)
$\frac{\partial^2 C}{\partial P^2}$	-5.2E-6 (4.82)	-5.0E-6 (4.25)	-1.7E-6 (1.35)	-6.4E-6 (4.95)	-5.6E-6 (4.40)	-6.1E-6 (4.67)	-5.8E-6 (4.49)
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E^2}$	-8071 (0.76)	-12171 (1.02)	-24669 (1.92)	-2951 (0.23)	-4670 (0.34)	-2929 (0.22)	-5887 (0.42)
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial W_V}$	19268 (3.46)	34612 (5.97)	33648 (5.09)	25292 (4.35)	33554 (5.45)	26098 (4.38)	32570 (5.22)
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V^2}$	-19027 (2.56)	-30690 (3.73)	-29868 (3.17)	-15410 (1.87)	-19986 (2.38)	-13508 (1.60)	-16643 (1.98)
$\frac{\partial^2 C}{\partial F \partial S}$	-2.0E-5 (2.81)	-3.7E-5 (5.21)	-3.0E-5 (3.73)	-4.7E-5 (7.01)	-4.7E-5 (6.86)	-4.6E-5 (6.74)	-4.7E-5 (6.81)
$\frac{\partial^2 C}{\partial P \partial S}$	¹ 1.03E-5 (3.34)	¹ 1.83E-5 (5.70)	¹ 1.32E-5 (3.71)	² 2.19E-5 (6.80)	² 2.11E-5 (6.54)	¹ 1.93E-5 (6.10)	¹ 1.96E-5 (6.11)
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial LT}$	14.4 (3.63)	6.96 (1.62)	8.11 (1.66)	-	-	-	-
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V \partial LT}$	-14.2 (5.26)	-16.4 (5.44)	-13.2 (4.22)	-	-	-	-
$\frac{\partial^2 C}{\partial F \partial R}$	6.21 (0.90)	11.0 (1.47)	3.81 (0.45)	21.3 (2.63)	14.9 (1.84)	23.8 (2.88)	18.0 (2.21)
$\frac{\partial^2 C}{\partial P \partial R}$	-1.52 (0.64)	-0.61 (0.23)	-0.94 (0.31)	-4.35 (1.53)	-3.31 (1.14)	-5.67 (1.97)	-4.43 (1.53)
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial R}$	302646 (2.18)	-15851 (0.11)	-	260387 (1.80)	-	333962 (2.28)	-
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V \partial R}$	202824 (2.26)	516212 (6.30)	-	393581 (4.47)	-	259507 (3.40)	-
η_E	-0.186 (0.75)	-0.288 (1.02)	-0.450 (1.79)	-0.126 (0.23)	-0.187 (0.33)	-0.100 (0.22)	-0.210 (0.41)
η_V	-0.183 (2.65)	-0.314 (4.04)	-0.289 (3.44)	-0.154 (1.97)	-0.184 (2.51)	-0.131 (1.68)	-0.153 (2.08)

TABLA 4.2.4
 MODELOS CON R: SIGNIFICANCIA DE LOS MODELOS

MODELO	COEFICIENTES SIGNIFICATIVOS		DERIVADAS SIGNIFICATIVAS		
	[numero]	[%]	SIGNO CORRECTO	SIGNO INCORRECTO	TODAS
Mbase	21	64	7	1	16
Mod1	17	61	6	1	14
Mod2	16	59	6	1	12
Mod3	16	59	4	-	10
Mod4	15	56	5	-	11
Mod5	14	54	5	-	14
Mod6	14	54	6	-	12

La diferencia entre los modelos 5 y 6 radica en la forma de especificar el efecto red sobre la demanda por factores; en el modelo 5 se considera como un efecto directo sobre la demanda por factores, y en el modelo 6 se considera como un efecto de segundo orden. Analizando el fenómeno que hay detrás de lo que llamamos efecto red (distribución de flujos, estructura de la red), parece más razonable pensar que la densidad de la red afecta el consumo marginal de factores y no la demanda directamente; por esto, aceptaremos el modelo 6 como el mejor fundamentado teóricamente, dejando el modelo 5 como un buen modelo, que puede ser útil para analizar robustez.

Mediante un análisis visual de los residuos se comprueba que no hay problemas de heterocedasticidad ni de autocorrelación de errores.

Con el objeto de analizar el comportamiento de los modelos en puntos alejados de la media, en el Anexo A, se presentan derivadas de primer orden (costos marginales y demanda por factores) evaluadas en el promedio por país de las variables; sólo son consideradas las derivadas de primer orden, ya que las de segundo orden son constantes e iguales a las presentadas en la Tabla 4.2.3. Cabe señalar que la variable que presenta más problemas en los extremos es XE (proxi de demanda por energía). El modelo 6, que ha sido considerado como el mejor, no arroja ninguna derivada significativa de signo incorrecto; al

comparar éste con otros, se observa que aquellas derivadas de primer orden que son significativas, presentan mayor robustez que las otras.

No cabe duda que la variable R es importante y tiene que estar captando algún fenómeno; de hecho, aparece influyendo significativamente sobre costos marginales y consumos marginales de insumos. Sin embargo, es necesario verificar si la variable R tiene un efecto global importante. Por ello se realizó el clásico test F para todas las especificaciones. Como es sabido, la idea del test es detectar la contribución que un conjunto de variables realiza sobre el poder explicativo del modelo. Esto se capta a través de la disminución observada de los errores. El estadígrafo F se calcula como

$$F = \frac{(SCER - SCENR) / (q^{\circ}lR - q^{\circ}lNR)}{(SCENR / q^{\circ}lNR)} \approx F(q^{\circ}lR - q^{\circ}lNR, q^{\circ}lNR) \quad (4.2.1)$$

SCENR: Suma del cuadrado de los errores del modelo no restringido (con R).

SCER: Suma del cuadrado de los errores del modelo restringido (sin R).

$q^{\circ}lNR$: Grados de libertad del modelo no restringido (número de observaciones menos número de parámetros).

$q^{\circ}lR$: Grados de libertad del modelo restringido (número de observaciones menos número de parámetros más número de restricciones).

El test F sirve para validar la hipótesis conjunta de que algunos parámetros son cero. Si el valor de F calculado es mayor que el valor crítico de la distribución F para ese número de grados de libertad, se rechaza la hipótesis nula. En este caso la hipótesis probada es que todos los parámetros asociados a la variable R son nulos, que corresponde a postular que la densidad de la red no tiene un efecto importante. Los resultados siempre indicaron que al 99% de significancia se rechaza la hipótesis nula (coeficientes asociados a R son cero). Para el caso particular del modelo 6, la suma del cuadrado de los errores del modelo no restringido (138 grados de libertad) es de $0.587968 \cdot 10^{12}$, y del modelo restringido (145 grados de libertad), es de $0.744520 \cdot 10^{12}$; con estos valores, el valor de F calculado es de 5.24, siendo el valor crítico $F_{99\%}(7, 138) = 2.64$. Como se ve el test es pasado con un amplio margen. Como conclusión de esto se puede decir que cualquiera sea la especificación considerada de los modelos que incorporan densidad de red, la variable R es importante en términos globales.

4.3 ESPECIFICACIONES ALTERNATIVAS

4.3.1 MODELO SIN R

Postular que la densidad de la red no tiene un efecto importante, equivale a decir que las otras variables (vector producto, precios de insumos, nivel de insumos fijos) son suficiente para explicar adecuadamente la variación de costos entre países. Siguiendo este enfoque, se estimó una serie de modelos sin R, de los cuales se presenta los cuatro mejores. Al igual que en el caso anterior, los resultados se muestran en términos de derivadas con significado económico, evaluadas en la media de las observaciones, y en el Anexo B se entrega resultados en detalle (coeficientes estimados y valores por país).

De entre estos modelos, los mejores resultados corresponden al modelo 4, ya que presenta un alto porcentaje de coeficientes significativos (63.6%), y es el único que no arroja derivadas de signo incorrecto significativas, ni en la media ni por país (en los otros 3 modelos la derivada de consumo por varios con respecto a LT es negativa).

Este mejor modelo puede ser considerado muy razonable si se mira aisladamente, sin embargo, se trata de un modelo poco robusto. Esto se puede ver comparando los modelos 3 y 4 de entre las especificaciones sin R, y los modelos 5 y 6 de entre los modelos con R analizados en el punto anterior. En el caso de los modelos con R, la diferencia entre los modelos 5 y 6 consiste en eliminar dos términos ($WED \cdot R$, $WVD \cdot R$) y agregar otros dos ($WED \cdot UT \cdot R$, $WVD \cdot UT \cdot R$); esto provoca variaciones menores que el 6% en las derivadas de primer orden, y menores que el 20% en todas las derivadas de segundo orden salvo $\partial^2 C / \partial WE^2$ que varía en un 50% (siendo en ambos casos no significativa). Al comparar ahora los modelos 3 y 4, que difieren sólo en un término ($WVD \cdot LT$), se producen variaciones de hasta un 30% en derivadas de primer orden (XE) y en cuanto a las derivadas de segundo orden, siete de las diez calculadas presentan una variación mayor que el 20%; la segunda derivada con respecto a precio de varios y producto agregado varía en un 50% y en ambos casos es significativa.

TABLA 4.3.1
 MODELOS SIN R: RESULTADOS
 EN TERMINOS DE DERIVADAS EVALUADAS
 EN LA MEDIA DE LAS OBSERVACIONES

MODELO	Mod1	Mod2	Mod3	Mod4
CMg _F	3.91 (5.36)	2.38 (3.55)	4.47 (6.39)	5.03 (7.01)
CMg _P	2.99 (13.2)	3.01 (14.3)	2.38 (13.8)	2.25 (12.7)
X _E	108877 (4.48)	117726 (4.79)	116114 (5.10)	81205 (3.70)
X _V	271620 (18.6)	276565 (19.1)	254422 (17.6)	253508 (16.8)
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial F}$	0.6863 (0.73)	0.1814 (0.20)	-	-
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial P}$	-0.0638 (0.73)	0.1060 (0.51)	-	-
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial UT}$	-	-	0.0037 (3.81)	0.0026 (2.62)
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V \partial F}$	0.3148 (0.49)	1.3846 (2.59)	-	-
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V \partial P}$	1.6142 (9.15)	1.7044 (10.4)	-	-
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V \partial UT}$	-	-	0.0167 (7.58)	0.0085 (11.4)
$\frac{\partial^2 C}{\partial F^2}$	7.44E-6 (0.42)	9.88E-6 (0.65)	4.61E-5 (3.67)	3.61E-5 (2.80)
$\frac{\partial^2 C}{\partial F \partial P}$	-1.4E-6 (0.38)	0.34E-6 (1.02)	-7.1E-6 (2.45)	-5.2E-6 (1.74)
$\frac{\partial^2 C}{\partial P^2}$	1.39E-7 (0.07)	-3.5E-6 (3.25)	-8.1E-7 (0.76)	-1.5E-6 (1.39)
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E^2}$	-24630 (2.10)	-32466 (2.77)	-26551 (2.01)	-21353 (1.55)
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial W_V}$	14466 (2.06)	25797 (4.00)	35842 (5.31)	26489 (4.00)
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V^2}$	-11188 (1.31)	-26065 (3.13)	-32402 (3.67)	-19278 (2.25)
$\frac{\partial^2 C}{\partial F \partial S}$	5.46E-6 (0.40)	-1.7E-5 (2.52)	-2.9E-5 (5.18)	-3.2E-5 (5.35)
$\frac{\partial^2 C}{\partial P \partial S}$	-2.1E-6 (0.43)	4.84E-6 (1.69)	1.16E-5 (4.40)	1.30E-5 (4.76)
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial LT}$	2.31 (0.52)	3.00 (0.68)	-	-
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V \partial LT}$	-7.76 (2.33)	-13.1 (4.24)	-12.7 (3.93)	-
η_E	-0.359 (1.93)	-0.437 (2.39)	-0.363 (1.89)	-0.417 (1.42)
η_V	-0.097 (1.34)	-0.222 (3.24)	-0.300 (3.92)	-0.179 (2.37)

4.3.2 MODELOS SEPARADOS PARA PAISES CHICOS Y GRANDES

Otro enfoque posible, corresponde a suponer que hay diferencias entre las funciones de costo de las empresas, y que estas diferencias se deben al tamaño. Este enfoque motiva estimar funciones de costo por separado para países chicos y grandes. Se estimó una serie de modelos bajo este enfoque. Los resultados reportados corresponden al mejor de los modelos en cada caso. Las Tablas 4.3.2 y 4.3.3 contienen las derivadas evaluadas en la media, y en el Anexo B se entrega resultados en detalle (coeficientes estimados, en Tablas B.2.1 y B.2.2; valores por país, en Tablas B.2.2 y B.2.4).

TABLA 4.3.2
 MODELO PARA PAISES CHICOS: RESULTADOS EN TERMINOS DE
 PRIMERAS Y SEGUNDAS DERIVADAS EVALUADAS
 EN LA MEDIA DE LAS OBSERVACIONES

Derivada	Estimador	t-est	Derivada	Estimador	t-est
CMg_F	3.33	7.01	$\frac{\partial^2 C}{\partial P^2}$	-1.41E-5	2.37
CMg_P	0.69	3.41	$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E^2}$	-10999	2.63
X_E	29237	4.05	$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial W_V}$	27989	3.91
X_V	37059	3.34	$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V^2}$	-31224	3.00
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial U}$	0.0072	3.04	$\frac{\partial^2 C}{\partial F \partial S}$	-2.48E-4	1.94
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V \partial U}$	0.0060	2.65	$\frac{\partial^2 C}{\partial P \partial S}$	1.25E-4	3.74
$\frac{\partial^2 C}{\partial F^2}$	7.26E-5	0.52	η_E	-0.484	2.15
$\frac{\partial^2 C}{\partial F \partial P}$	1.76E-5	0.90	η_V	-2.286	2.05

TABLA 4.3.3
 MODELO PARA PAISES GRANDES: RESULTADOS EN TERMINOS DE
 PRIMERAS Y SEGUNDAS DERIVADAS EVALUADAS
 EN LA MEDIA DE LAS OBSERVACIONES

Derivada	Estimador	t-est	Derivada	Estimador	t-est
CMg_F	3.40	3.24	$\frac{\partial^2 C}{\partial P^2}$	-7.20E-6	3.35
CMg_P	4.45	9.52	$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E^2}$	31116	0.26
X_E	235162	4.47	$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial W_V}$	89901	2.55
X_V	401111	12.0	$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V^2}$	-3669	0.17
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial F}$	2.43	2.27	$\frac{\partial^2 C}{\partial F \partial S}$	-2.59E-5	2.91
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial P}$	1.41	2.46	$\frac{\partial^2 C}{\partial P \partial S}$	0.1227	2.43
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V \partial F}$	2.92	3.78	$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial LT}$	-24.49	2.34
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V \partial P}$	1.03	2.85	$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V \partial LT}$	-12.41	2.24
$\frac{\partial^2 C}{\partial F^2}$	2.01E-5	0.98	η_E	0.170	0.26
$\frac{\partial^2 C}{\partial F \partial P}$	2.87E-6	0.70	η_V	-0.025	0.17

En cuanto a los resultados en términos de derivadas evaluadas en la media, éstos podrían ser considerados razonables, salvo algunos problemas; la elasticidad precio de la energía arroja un valor positivo en el modelo 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 realizado en el capítulo 3. Los resultados por país no son buenos, ya que hay pocas derivadas de primer orden significativas, hay varias de signo incorrecto e incluso hay una significativa de signo incorrecto (costo marginal de pasajeros para Dinamarca), según se puede constatar en el Anexo B.

4.3.3 MODELO CON DUMMY PAIS

Si se supone que cada empresa tiene un comportamiento distinto a las otras, correspondería estimar funciones de costo distintas para distintas empresas; si se supone que cada empresa tiene una función de costo con algunos elementos

diferentes, se puede incorporar a la función de costo variables dummy afectando algunas variables. Para el caso de la base de datos analizada, no es factible estimar funciones de costo distintas para cada empresa pues la cantidad de observaciones es insuficiente. Se intentaron tres formas alternativas de especificación con variables dummy, tratando de privilegiar los efectos más importantes sin perder muchos grados de libertad. Las formas estudiadas son: modelo con dummy país aditiva, modelo con dummy país afectando la parte fija de los costos marginales, y modelo con dummies aditivas y dummies afectando los costos marginales. Las dos últimas formas arrojaron muy malos resultados, debido a que los grados de libertad son pocos; siguiendo con el criterio utilizado, se presenta sólo los resultados de la especificación con dummy aditiva, que resultó ser la mejor.

Los resultados de este modelo no son buenos; como se puede ver de la Tabla 4.3.4, la capacidad de reproducir efectos observados en la media es limitada (muy pocas derivadas significativas). En cuanto al comportamiento por país (ver Tabla B.3.2), el modelo arroja costos marginales significativamente negativos para varios países (Inglaterra, Suiza, Holanda, Noruega, Bélgica).

TABLA 4.3.4
 MODELO CON VARIABLES DUMMY: RESULTADOS EN TERMINOS DE
 PRIMERAS Y SEGUNDAS DERIVADAS EVALUADAS
 EN LA MEDIA DE LAS OBSERVACIONES

Derivada	Estimador	t-est	Derivada	Estimador	t-est
CMg_F^F	2.10	2.36	$\frac{\partial^2 P}{\partial P^2}$	5.47E-6	2.49
CMg_P	0.76	2.17	$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E^2}$	-17610	1.98
X_E	87010	3.61	$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial W_V}$	1618	0.30
X_V	251194	18.5	$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V^2}$	7954	1.02
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial F}$	0.36	0.47	$\frac{\partial^2 C}{\partial F \partial S}$	2.29E-5	2.14
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial P}$	0.16	0.71	$\frac{\partial^2 C}{\partial P \partial S}$	-8.41E-6	1.59
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V \partial F}$	0.13	0.24	$\frac{\partial^2 C}{\partial W_E \partial LT}$	-1.10	0.25
$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V \partial P}$	1.01	5.32	$\frac{\partial^2 C}{\partial W_V \partial LT}$	0.76	0.24
$\frac{\partial^2 C}{\partial F^2}$	-2.62E-6	0.17	η_E	-0.321	1.75
$\frac{\partial^2 C}{\partial F \partial P}$	-1.65E-6	0.43	η_V	0.075	1.00

4.4 ANALISIS DE RESULTADOS

El análisis econométrico confirma la superioridad esperada del modelo que incluye la variable densidad de red, que puede ser considerado el mejor de los estimados, ya que los modelos separados para países chicos y grandes, y el modelo con dummy país presentan problemas importantes. Si bien el modelo sin R arroja resultados estadísticos razonables, es poco robusto y el test F indica que la variable R efectivamente contribuye a explicar la variación del gasto.

De los resultados de la estimación de modelos con R, se puede concluir, en primer lugar, que hay un efecto significativo de la densidad de la red en los costos marginales y en la demanda marginal por insumos. Se concluye que, suponiendo todo lo demás constante, redes más densas tendrán mayores costos marginales de carga, menores costos marginales de pasajeros, y menor consumo marginal (entendido como la derivada de la demanda con respecto a producto) de cada uno de los insumos considerados.

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 (47km en el caso de transporte de pasajeros y 202km en el de carga). El costo marginal de mover un pasajero (2.75 L) equivale a 6 centavos de libra por pasajero kilómetro. En el caso de la carga (5.56 L) equivale a 3 centavos de libra por tonelada kilómetro. Es decir, si analizamos en torno a la media y para distancias similares, mover un pasajero consume el doble de recursos que mover una tonelada de carga.

Analizando el coeficiente de la variable S, se puede concluir que el número de operarios es un factor sólo en parte fijo, ya que este coeficiente (2.3 miles de L/año) es menor que la tasa salarial media (11.3 miles de L/año). Esto significa que parte del gasto en salarios es variable con el nivel de producción; esto podría ser explicado porque al haber más demanda se contrata más personal o porque los mismos empleados trabajan horas extraordinarias.

Se detecta además cierta complementariedad de costos entre pasajeros y carga

(coeficiente poco significativo pero sistemáticamente negativo), costos marginales crecientes para el caso de carga y decrecientes para pasajeros, y demanda por energía prácticamente inelástica.

Si se considera que el modelo con R es efectivamente el mejor, se puede concluir que al estimar un modelo sin R se cometerían los siguientes errores: costos marginales en la media un poco menores que los reales, demanda por energía en la media mucho mayor, sobreestimación de elasticidades, costos marginales por país mucho mayores para algunos y mucho menores para otros, demanda por factores de los distintos países mayores que las reales.

En el caso de los modelos separados para países chicos y grandes, no son comparables los resultados en el punto de aproximación porque éstos son distintos, pero se puede analizar aquellos elementos que son constantes (derivadas de segundo orden); este modelo arroja resultados erróneos con respecto a la existencia de complementaridad de costos. Los resultados por país son, en general, muy distintos a los obtenidos con los modelos con R; los costos marginales de pasajeros son mayores en gran parte de los casos, los costos marginales de carga son muy distintos (mayores en unos casos y menores en otros), algo similar sucede con las demandas por factores siendo mayores las demandas por energía y distintas las demandas por varios.

El mejor modelo con variables dummy arroja conclusiones opuestas a las obtenidas del modelo con R con respecto a las derivadas de los costos marginales; del primero se obtienen costos marginales mucho menores y demanda por energía mucho mayor, y se concluiría que la demanda por varios es inelástica. Los resultados por país, también en este caso, son muy distintos a los obtenidos con los modelos con R.

El grado de economías de escala para las distintas empresas, calculado a partir de los resultados del mejor modelo con R, se entrega en la Tabla 4.4.1. Se detecta economías de escala para todos los países salvo Austria, que presenta un grado de economías de escala muy cercano a uno. Cabe hacer notar que, dadas las componentes de costo incluidas (y explicadas), un valor de s mayor que uno significa ventajas, desde el punto de vista de los costos operacionales, de una gran empresa sobre empresas pequeñas, o bien ventajas de expandir la producción, es decir, si se tratara de empresas que movieran más flujo los costos serían menores. Este concepto, economías de escala en el

corto plazo (manteniendo el tamaño de la empresa constante), ha sido llamado economías de densidad de tráfico (Harris 1977).

TABLA 4.4.1
 GRADOS DE ECONOMIAS DE ESCALA Y DE DIVERSIDAD
 POR PAIS CALCULADOS CON MEJOR MODELO CON R

PAIS	s	t-est.	ED	t-est.
INGLATERRA	1.674	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	1.367	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	5.6
FRANCIA	1.224	4.2	0.093	0.6
FINLANDIA	1.936	4.2	0.955	1.6

El grado de economías de diversidad entre movimiento de pasajeros y carga, también es entregado en la Tabla 4.4.1. Como se puede ver, se detecta economías de diversidad significativas para todos los países salvo los más grandes (Francia y Alemania). Estos resultados, sin embargo, deben ser analizados con cuidado, ya que se trata de una estimación econométrica y la función cuadrática puede presentar problemas en los extremos; en rigor, el grado de economías de diversidad no debiera ser mayor que 1 ni menor que -1, y aquí se observan valores mayores que 1 para varios países. El problema radica en la necesidad de evaluar la función de costo para componentes nulas de flujo, zona en la cual no hay observaciones. Cabe hacer notar que este mismo fenómeno es reportado por Jara-Díaz (1988) en un estudio de transporte de carga en camiones en Chile, donde también se usó una especificación cuadrática para el cálculo de ED.

Es importante la adecuada interpretación del grado de economías de diversidad en el caso aquí estudiado: dado el nivel de flujos movido en cada país, los

resultados indican que en ninguno de ellos sería conveniente separar la producción en una empresa encargada del transporte de carga y otra de pasajeros. No se puede inferir de aquí conclusiones con respecto a si los niveles de flujo movidos son óptimos o no, o si en otros niveles de flujo sería inconveniente separar la producción.

En síntesis, la consideración de la densidad de red contribuye a una adecuada interpretación del proceso productivo de los ferrocarriles europeos mediante una función de costo multiproducto, permitiendo detectar en mejor forma los costos marginales, consumo de factores, economías de escala, complementaridad de costos y economías de diversidad.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

5.1 SINTESIS

El desafío más interesante que se ha presentado en este trabajo, ha sido estimar una función de costo multiproducto común a varias empresas observadas durante varios años (pool de datos), utilizando información más bien agregada. Los objetivos centrales son (i) estudiar el efecto de incluir la variable densidad de red en la especificación, como una forma de homogeneizar empresas que producen vectores de flujo distintos y (ii) obtener resultados de interés a partir de la estimación de modelos.

En el capítulo 2 se ha presentado la teoría básica que es usada en este trabajo y se ha revisado algunos antecedentes relacionados con la estimación de funciones de costo multiproducto en transporte, como por ejemplo las ventajas y desventajas de las distintas formas funcionales y especificaciones usadas, las formas de enfrentar la estimación cuando se trata de cortes transversales y pooles de datos, y la estimación de funciones de costos ferroviarios. Las principales conclusiones de este análisis son la decisión de usar una función cuadrática por las ventajas que ésta presenta (flexible, puede ser estimada en cualquier punto), la evidencia indiscutible de que es preciso mantener el mayor grado de desagregación posible en el producto, y las consideraciones especiales que es preciso tener cuando se trata de un pool de datos (verificar heterocedasticidad y autocorrelación de errores, e incluir variables que den cuenta de las diferencias entre empresas).

La información disponible, descrita en el capítulo 3, fue considerada muy confiable pero agregada; en particular la información acerca de los flujos movidos se encuentra en términos de toneladas de carga movidas, pasajeros transportados, toneladas kilómetro, pasajeros kilómetro, entre otras variables más agregadas aún. Precisamente debido a este problema, en este trabajo se ha propuesto incorporar la variable continua densidad de red (R), calculada como longitud de vías dividida en área del país, con el objeto de mejorar la especificación captando heterogeneidades y ayudando a explicar mejor el producto.

Las empresas analizadas, trece países de Europa Occidental, cubren un amplio rango de tamaños, formas de red, producción, etc.; por ejemplo Noruega, que es

la empresa más pequeña, tiene del orden de 14.000 empleados y 5.000 kilómetros de vía, y Francia, que es la más grande, tiene más de 330.000 empleados y 65.000 kilómetros de vía. Esto hace particularmente interesante el análisis agregado de costos medios del tipo monoprodutivo, realizado también en el capítulo 3, donde se pudo ver una pseudo curva de costos medios de largo plazo. Este análisis, en conjunto con un análisis de cada una de las variables, permite (bajo ciertas condiciones) detectar y eliminar puntos ineficientes (que no pertenecen a la función de costo) que, de no ser eliminados, hubieren producido sesgo en la estimación; de este modo se eliminó una observación de Inglaterra, una de Suecia y todas las de Italia (cabe hacer notar que Italia aparece señalado en la literatura como el país que requiere un mayor subsidio y el de menor productividad de mano de obra, de entre los aquí analizados).

El estudio estadístico de los datos permitió además detectar un problema de alta correlación entre variables, que debió ser considerado en la estimación de modelos.

En el capítulo 4 se ha estimado econométricamente modelos con la especificación propuesta y con enfoques alternativos. Los resultados fueron expuestos en términos de indicadores estadísticos y derivadas con significado económico (costos marginales, demanda por factores, complementaridad de costos, grado de economías de escala, economías de diversidad, etc.). El análisis econométrico y económico de los resultados permitió obtener conclusiones muy interesantes como existencia de economías de escala y de diversidad en casi todos los países, complementaridad de costos entre movimientos de pasajeros y carga, entre otras cosas, y muestra la indiscutible superioridad del modelo con R.

5.2 COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Desde el punto de vista metodológico, el resultado más importante es que esta experiencia sugiere que la variable densidad de red contribuye a explicar mejor el gasto, en el caso en que se trabaja con producto agregado, en sección transversal y se tiene poca información acerca del patrón espacial de flujos y rutas. Esta variable puede ser generada con muy poca información, tiene un

efecto muy significativo contribuyendo a explicar mejor el producto y permite obtener un modelo justificado teóricamente, sensato y robusto a pesar de lo agregado del producto. Cabe señalar que el modelo obtenido con este enfoque es superior (tanto en términos econométricos como de riqueza en su interpretación económica) a los obtenidos con enfoques alternativos tales como modelos sin R, modelos separados para países chicos y grandes y modelos con dummy país.

La función de costo estimada permite detectar una serie de efectos que pueden ser de interés para definir políticas de operación. Como se vio en el capítulo anterior, se detecta economías de escala y economías de diversidad para la gran mayoría de los países analizados, y se detecta cierta complementaridad de costos entre los movimientos de pasajeros y carga. Los resultados del grado de economías de diversidad son particularmente interesantes, ya 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.

El valor en la media de los costos marginales indica que, para distancias similares, trasladar una tonelada de carga requiere la mitad de recursos adicionales que un pasajero. Se detecta además que los costos marginales son crecientes en el caso de la carga y decrecientes en el caso de los pasajeros.

Resulta interesante constatar que la demanda por energía es inelástica a su precio y que hay substitución entre los insumos energía y varios.

Con respecto al efecto red, hay un efecto positivo sobre los costos marginales de carga y negativo sobre los costos marginales de pasajeros; es decir, suponiendo todo lo demás constante, redes más densas tendrán mayores costos marginales de carga y menores costos marginales de pasajeros. Existe también un efecto negativo sobre el consumo marginal de insumos (efecto de tercer orden); es decir, suponiendo todo lo demás constante, el aumento del flujo provoca un consumo adicional más bajo, de los insumos energía y varios, en redes más densas.

En términos de las implicancias de política, los resultados indican que potencialmente en varios países se debería aumentar la producción para aprovechar economías de escala, especialmente el transporte de pasajeros, dado

que se detectan costos marginales decrecientes para pasajeros y se detecta complementariedad de costos; esto contribuiría a un mejor aprovechamiento de la capacidad instalada. Dado que se trata de un análisis agregado (información anual sumada sobre todos los pares O/D), es probable que aquí se esté detectando la necesidad de inducir demanda en periodos de baja utilización o en rutas de menor demanda; de ser efectivo, la tarificación diferenciada constituiría una herramienta interesante. La estimación de modelos con un enfoque multiproducto, utilizando información adecuadamente desagregada, permite detectar este tipo de elementos.

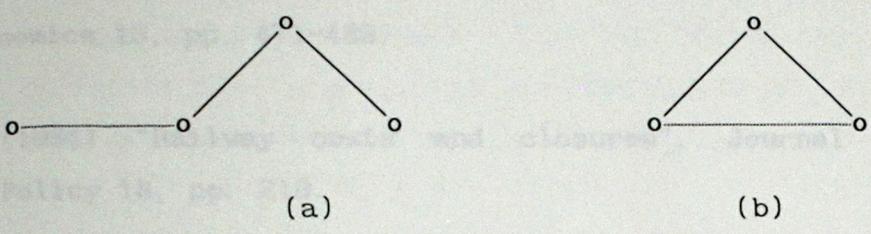
Las economías de diversidad detectadas en casi todos los países indican que no sería en ningún caso conveniente separar la producción de flujos de pasajeros y carga; en el caso de las dos empresas más grandes sería indiferente, ya que tal especialización generaría los mismos costos operativos.

Con respecto a puntos que pueden ser útiles para investigaciones futuras, sería muy interesante utilizar el enfoque introducido con una base de datos en que se disponga de mayor información y comparar los resultados con los de un enfoque que utilice medidas más desagregadas de producto. Cabe destacar la riqueza del análisis multiproductivo, que permite detectar gran cantidad de efectos, y la utilidad práctica del análisis monoproductivo, que mediante un trabajo extremadamente sencillo, que requiere de poca información, permite vislumbrar algunos elementos.

Cabe señalar que la variable densidad de red ha sido aquí utilizada para homogeneizar una sección transversal; si se tratase de una serie de tiempo el enfoque sería distinto. En este último caso, no sería correcto incluir en un modelo las variables longitud de vías y densidad de la red, y sería preciso optar por una de las dos, ya que como el área del país se mantiene constante, la varianza de ambas variables es la misma. Para decidir cual de las dos variables es adecuado incluir en cada caso, es necesario tener alguna información adicional. Si los kilómetros de vía de una red aumentan, esto puede deberse a dos fenómenos: una expansión de la red que lleva a incluir nuevos pares O/D al vector de flujos servido (Figura 5.2.1a), o bien la generación de rutas alternativas para servir el mismo patrón de flujos con una mejor cobertura (Figura 5.2.1b); de la misma forma se puede analizar una disminución de la longitud de vías. Los elementos mencionados tienen efectos

distintos en la función de costo; el primero tiene que ver con tamaño, por lo cual sería indispensable en este caso incluir en la modelación un indicador de tamaño; el segundo, en cambio, tiene que ver con la conectividad de la red, por lo cual una variable del tipo densidad de red sería lo adecuado. No debemos olvidar que el enfoque más adecuado también depende de la información de flujos disponible.

FIGURA 5.2.1



REFERENCIAS

- Braeutigam, R., A. Daughety y M. Turnquist (1980) "The estimation of hybrid cost functions for a railroad firm", Document 425-07, Northwestern University.
- Caves, D., L. Christensen y M. Thretheway (1984) "Economies of density versus economies of scale: why trunk and local service airline costs differ", *Rand Journal of Economics* 15, pp. 471-489.
- Dodgson, J. (1984) "Railway costs and closures", *Journal of Transport Economics and Policy* 18, pp. 219.
- Gagné, R. (1990) "On the relevant elasticity estimates for cost structure analysis of the trucking industry", *The Review of Economics and Statistics* 22, pp. 160-164.
- Gillen, D., T. Oum, y M. Tretheway (1990) "Airline cost structure and policy implications", *Journal of Transport Economics and Policy* 24, pp. 9-34.
- Gwilliam, K. y C. Nash (1979) *A comparative study of european rail performance*, British Railway Board, Londres.
- Harmatuck, D. (1979) "A policy sensitive railway cost function", *The Logistics and Transportation Review* 15, 277.
- Harris, R. (1977) "Economies of traffic density in the rail freight industry", *The Bell Journal of Economics* 8, 556.
- Jansson, J. y P. Canderbring (1989) "Swedish railway policy 1979-88", *Journal of Transport Economics and Policy* 23, pp. 329-337.
- Jara-Díaz, S. (1982) "The estimation of transport cost functions: a methodological review", *Transportation Review* 2, pp. 257-278.

- Jara-Díaz, S. (1983) "Freight transportation multioutput analysis", *Transportation Research* 17 A, pp. 429-438.
- Jara-Díaz, S. (1988) "Multioutput analysis of trucking operations using spatially disaggregated flows", *Transportation Research* 22 B, pp. 159-171.
- Jara-Díaz, S. (1989) "Analytical errors from pseudo multioutput transportation cost functions", no publicado aún.
- Jara-Díaz, S., P. Donoso y J. Araneda (1991 a) "Estimation of marginal transport costs using the flow aggregation function approach". Por aparecer en *Journal of Transport Economics and Policy*.
- Jara-Díaz, S., P. Donoso y J. Araneda (1991 b) "Best partial flow aggregation in transport cost functions". Por aparecer en *Transportation Research* B.
- Jara-Díaz, S. y C. Raggio (1990) "Análisis estadístico de costos ferroviarios en un ambiente políticamente cambiante", *Cuadernos de Economía* 80, pp.17-30.
- Jara-Díaz, S. y C. Winston (1981) "Multiproduct transportation cost functions: scale and scope in railaroad operations", *Proceedings 8th Conference of the European Association for Research in Industrial Economics Vol 1*, Universidad de Basle.
- Joy, S. (1989) "Railway costs and planning", *Journal of Transport Economics and Policy* 23, pp. 45-54.
- Judge, G., W. Griffiths, R. Hill, H. Lütkepohl y T. Lee (1984) *The theory and practice of econometrics*, second edition. John Wiley and Sons, Inc.
- Keeler, T. (1974) "Railroad costs, returns to scale and excess capacity", *The Review of Economics and Statistics* 56, pp. 201-208.
- 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.

- Mc Geehan, H. (1984) "Forecasting the demand for inter - urban railway travel in the Republic of Ireland", *Journal of Transport Economics and Policy* 18, pp. 275.
- Mc Mullen, S. (1987) "The impact of regulatory reform on U.S. motor carrier costs", *Journal of Transport Economics and Policy* 21, pp. 307-319.
- Pozdena, R. y L. Merewitz (1978) "Estimating cost functions for rail rapid transit properties", *Transportation Research* 12, pp. 73-78.
- Schönbäck, W., J. Brötholer y S. Winbelbauer (1990) "The new railway concept in Austria", *Journal of Transport Economics and Policy* 24, pp. 219.
- Spady, R. y A. Friedlaender (1978) "Hedonic cost functions for the regulated trucking industry", *The Bell Journal of Economics* 9, pp. 159-179.
- 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.
- Wang, J. (1981) "Economies of scale and scope in multiproduct industries: a case of study of the regulated U.S. trucking industry" Tesis de Doctor of Philosophy, Massachusetts Institute of Technology.
- Ying, J. (1990) "The inefficiency of regulating a competitive industry: productivity gains in trucking following reform", *The Review of economics and Statistics* 22, pp. 191-201.

TABLA A.1
 MODELO BASE
 COEFICIENTES ESTIMADOS

VARIABLE	COEFICIENTE	t-estad.
cte	1176098	14.4
FD	0.4189	0.70
FKD	0.0195	3.50
PD	2.8753	4.61
PKD	- 0.0081	0.50
WED	- 281700	2.91
WVD	512358	9.06
S	2.2544	4.12
LT	5.9663	1.47
FKD ²	- 7.32 EXP-11	0.48
FKD·PKD	5.05 EXP-10	1.90
FKD·WED	- 7.86 EXP-3	2.22
FKD·WVD	7.66 EXP-3	3.10
FKD·S	- 9.51 EXP-8	2.81
FKD·R	0.0297	0.90
PD ²	- 6.11 EXP-7	0.45
PD·PKD	- 9.56 EXP-9	0.22
PD·WED	- 0.8513	3.98
PD·WVD	- 0.1672	0.83
PD·S	2.26 EXP-5	7.61
PD·R	- 26.881	6.20
PKD ²	- 5.24 EXP-10	1.31
PKD·WED	0.0087	1.64
PKD·WVD	0.0326	6.29
PKD·S	- 2.32 EXP-7	3.09
PKD·R	0.4786	4.51
WED ²	- 4035.5	0.76
WED·WVD	19268	3.46
WED·LT	14.395	3.63
WED·R	302646	2.18
WVD ²	- 9514.7	2.56
WVD·LT	- 14.191	5.26
WVD·R	202824	2.56

$R_c^2 : 0.999042$
 $\sum \text{errores}^2 : 0.31091 \cdot 10^{12}$

TABLA A.2
 MODELO 1 (ex 6)
 COEFICIENTES ESTIMADOS

VARIABLE	COEFICIENTE	t-estad.
cte	1377436	16.3
FD	1.1735	1.75
FKD	0.0286	4.84
PD	3.7106	5.61
PKD	- 0.0364	2.20
WED	- 77220	0.75
WVD	495330	7.87
S	2.4017	3.91
LT	- 4.9683	1.21
FKD ²	3.81 EXP-10	2.79
FKD·PKD	- 3.72 EXP-10	1.64
FKD·S	- 1.79 EXP-7	5.21
FKD·R	0.0528	1.47
PD ²	- 1.09 EXP-6	0.86
PD·PKD	- 9.27 EXP-8	2.35
PD·S	2.48 EXP-5	8.75
PD·R	- 33.517	6.88
PKD ²	4.61 EXP-10	1.24
PKD·S	- 1.23 EXP-7	1.63
PKD·R	0.6210	5.21
WED ²	- 6086	1.02
WED·WVD	34612	5.97
WED·LT	6.9635	1.62
WED·R	- 15851	0.11
WVD ²	- 15345	3.73
WVD·LT	- 16.380	5.44
WVD·R	516212	6.30
UT·WED	- 0.0022	0.73
UT·WVD	0.0175	8.72

$R_c^2 : 0.998721$
 $\sum \text{errores}^2 : 0.42733 \cdot 10^{12}$

TABLA A.3
 MODELO 2 (ex 8)
 COEFICIENTES ESTIMADOS

VARIABLE	COEFICIENTE	t-estad.
cte	1110245	13.3
FD	2.6106	3.64
FKD	0.0221	3.52
PD	2.0245	2.98
PKD	- 0.0139	0.77
WED	- 83963	0.76
WVD	521353	7.59
S	2.4925	3.55
LT	5.2203	1.23
FKD ²	3.99 EXP-10	2.60
FKD·PKD	- 4.28 EXP-10	1.67
FKD·S	- 1.45 EXP-7	3.73
FKD·R	0.0182	0.45
PD ²	- 1.55 EXP-6	1.14
PD·PKD	- 3.54 EXP-9	0.08
PD·S	2.27 EXP-5	7.13
PD·R	- 18.247	4.15
PKD ²	3.21 EXP-10	0.76
PKD·S	- 1.79 EXP-7	2.09
PKD·R	0.3266	2.80
WED ²	- 12334	1.92
WED·WVD	33648	5.09
WED·LT	8.1138	1.66
WVD ²	- 14934	3.17
WVD·LT	- 13.202	4.22
UT·WED	- 0.0023	0.68
UT·WVD	0.0167	7.80

$R_c^2 : 0.998316$
 $\sum \text{errores}^2 : 0.57078 \cdot 10^{12}$

TABLA A. 4
 MODELO 3 (ex 12)
 COEFICIENTES ESTIMADOS

VARIABLE	COEFICIENTE	t-estad.
cte	1392639	17.2
FD	0.9130	1.25
FKD	0.0295	4.82
PD	2.2511	3.37
PKD	- 0.0078	0.45
WED	- 3320	0.11
WVD	174247	8.14
S	2.8776	4.50
LT	- 9.0488	2.87
FKD ²	3.48 EXP-10	2.63
FKD·PKD	- 2.67 EXP-10	1.11
FKD·S	- 2.25 EXP-7	7.01
FKD·R	0.1021	2.63
PD ²	6.60 EXP-7	0.46
PD·PKD	- 8.80 EXP-8	1.99
PD·S	2.29 EXP-5	7.31
PD·R	- 21.362	4.32
PKD ²	2.93 EXP-10	0.70
PKD·S	- 1.87 EXP-8	0.23
PKD·R	0.3209	2.67
WED ²	- 1476	0.23
WED·WVD	25292	4.35
WED·R	260387	1.80
WVD ²	- 7705	1.87
WVD·R	393581	4.47
UT·WED	8.47 EXP-4	0.94
UT·WVD	7.27 EXP-3	10.4

$R_c^2 : 0.998645$
 $\sum \text{errores}^2 : 0.54547 \cdot 10^{12}$

TABLA A.5
 MODELO 4 (ex 11)
 COEFICIENTES ESTIMADOS

VARIABLE	COEFICIENTE	t-estad.
cte	1360237	17.0
FD	0.7489	1.00
FKD	0.0353	5.76
PD	2.1670	3.22
PKD	- 0.0116	0.66
WED	39658	1.62
WVD	255547	17.5
S	2.6481	3.93
LT	- 6.5872	2.28
FKD ²	3.62 EXP-10	2.66
FKD·PKD	- 2.91 EXP-10	1.18
FKD·S	- 2.24 EXP-7	6.86
FKD·R	0.0713	1.84
PD ²	- 1.78 EXP-7	0.13
PD·PKD	- 6.36 EXP-8	1.48
PD·S	2.46 EXP-5	6.70
PD·R	- 20.736	3.99
PKD ²	2.61 EXP-10	0.61
PKD·S	- 6.60 EXP-8	0.77
PKD·R	0.3288	2.64
WED ²	- 2335	0.34
WED·WVD	33554	5.45
WVD ²	- 9993	2.38
UT·WED	0.0022	1.61
UT·WVD	0.0111	9.72
UT·WED·R	- 0.0083	1.12
UT·WVD·R	- 0.0177	3.75
$R_c^2 : 0.998328$ $\sum \text{errores}^2 : 0.56686 \cdot 10^{12}$		

TABLA A.6
 MODELO 5 (ex 17)
 COEFICIENTES ESTIMADOS

VARIABLE	COEFICIENTE	t-estad.
cte	1241529	19.6
FD	1.2617	1.70
FKD	0.0217	3.85
PD	1.3442	2.22
PKD	0.0111	0.67
WED	- 5536	0.18
WVD	202741	10.4
S	2.4503	3.84
FKD ²	3.95 EXP-10	2.93
FKD·PKD	- 1.69 EXP-10	0.69
FKD·S	- 2.22 EXP-7	6.74
FKD·R	0.1137	2.88
PD ²	- 1.17 EXP-6	0.90
PD·PKD	- 4.59 EXP-8	1.07
PD·S	2.43 EXP-5	7.65
PD·R	- 13.781	3.21
PKD ²	1.89 EXP-10	0.44
PKD·S	- 9.30 EXP-8	1.20
PKD·R	0.1529	1.42
WED ²	- 1464	0.22
WED·WVD	26098	4.38
WED·R	333962	2.28
WVD ²	- 6754	1.60
WVD·R	259507	3.40
UT·WED	0.0012	1.33
UT·WVD	0.0079	11.5

$R_c^2 : 0.998308$
 $\sum \text{errores}^2 : 0.57779 \cdot 10^{12}$

TABLA A.7
 MODELO 6 (ex 16)
 COEFICIENTES ESTIMADOS

VARIABLE	COEFICIENTE	t-estad.
cte	1257505	18.7
FD	0.8794	1.16
FKD	0.0293	5.22
PD	1.6129	2.54
PKD	0.0012	0.07
WED	44427	2.01
WVD	257095	17.3
S	2.3045	3.46
FKD ²	4.05 EXP-10	2.96
FKD·PKD	- 2.04 EXP-10	0.83
FKD·S	- 2.26 EXP-7	6.81
FKD·R	0.0859	2.22
PD ²	- 1.25 EXP-6	0.97
PD·PKD	- 4.23 EXP-8	0.99
PD·S	2.60 EXP-5	7.09
PD·R	- 16.660	3.37
PKD ²	2.09 EXP-10	0.48
PKD·S	- 1.22 EXP-7	1.46
PKD·R	0.2308	1.94
WED ²	- 2944	0.42
WED·WVD	32570	5.22
WVD ²	- 8321	1.98
UT·WED	0.0023	1.67
UT·WVD	0.0109	9.46
UT·WED·R	- 0.0068	0.90
UT·WVD·R	- 0.0151	3.25

$R_c^2 : 0.998278$
 $\sum \text{errores}^2 : 0.58797 \cdot 10^{12}$

TABLA A.8
 MODELO BASE
 COSTOS MARGINALES Y DEMANDA POR FACTORES
 EVALUADOS EN LA MEDIA DE CADA PAIS

PAIS	Cmg_p	Cmg_F	X_E	X_V
INGLATERRA	2.98 (10.0)	2.61 (3.82)	176201 (3.80)	406485 (7.52)
SUIZA	1.75 (8.00)	3.58 (5.47)	-27309 (1.21)	202732 (12.6)
IRLANDA	6.52 (5.27)	1.12 (0.30)	44696 (1.65)	4366 (0.19)
ALEMANIA	2.70 (5.45)	-0.16 (0.17)	-30173 (0.28)	693515 (12.6)
DINAMARCA	1.72 (4.73)	3.25 (3.01)	-4777 (0.55)	54977 (4.00)
HOLANDA	0.17 (0.61)	1.90 (2.35)	4548 (0.26)	221979 (10.9)
NORUEGA	2.51 (4.30)	1.72 (2.45)	21803 (1.18)	-3158 (0.22)
AUSTRIA	5.02 (17.4)	6.13 (5.37)	36738 (1.40)	94911 (12.5)
SUECIA	1.25 (1.43)	3.70 (2.74)	106175 (3.03)	30985 (1.45)
BELGICA	2.69 (5.78)	4.05 (4.08)	134230 (3.92)	125148 (6.59)
FRANCIA	2.93 (4.60)	8.17 (5.72)	465897 (4.16)	1135919 (8.74)
FINLANDIA	0.52 (0.58)	2.47 (1.85)	38084 (1.67)	14438 (0.86)

TABLA A.9
 MODELO 1
 COSTOS MARGINALES Y DEMANDA POR FACTORES
 EVALUADOS EN LA MEDIA DE CADA PAIS

PAIS	Cmg_P	Cmg_F	X_E	X_V
INGLATERRA	3.61 (11.4)	2.00 (2.79)	194001 (3.99)	179566 (4.69)
SUIZA	2.04 (9.10)	4.12 (6.01)	-2349 (0.10)	187700 (11.5)
IRLANDA	5.64 (4.98)	12.7 (4.06)	55476 (1.84)	15480 (0.61)
ALEMANIA	3.17 (6.41)	0.63 (0.65)	195312 (2.57)	814566 (15.0)
DINAMARCA	2.77 (8.28)	6.13 (5.64)	2678 (0.31)	50414 (4.66)
HOLANDA	1.24 (4.66)	1.77 (2.01)	-36516 (2.16)	202293 (9.58)
NORUEGA	2.50 (3.97)	2.47 (3.13)	998 (0.05)	-26728 (1.70)
AUSTRIA	4.61 (16.2)	10.9 (11.8)	80046 (3.10)	95746 (11.2)
SUECIA	0.86 (0.92)	4.00 (2.60)	39434 (1.55)	65758 (3.31)
BELGICA	2.32 (4.84)	7.56 (7.97)	78211 (2.25)	177577 (9.22)
FRANCIA	2.08 (3.28)	7.83 (4.80)	252579 (2.51)	873161 (13.5)
FINLANDIA	0.66 (0.67)	1.46 (0.95)	-7692 (0.36)	22290 (1.19)

TABLA A.10
 MODELO 2
 COSTOS MARGINALES Y DEMANDA POR FACTORES
 EVALUADOS EN LA MEDIA DE CADA PAIS

PAIS	Cmg_p	Cmg_F	X_E	X_V
INGLATERRA	3.00 (9.39)	2.58 (3.19)	236488 (4.28)	236746 (5.92)
SUIZA	1.26 (5.73)	3.91 (5.06)	10445 (0.38)	159992 (9.22)
IRLANDA	4.37 (3.50)	12.2 (3.64)	-1926 (0.06)	52671 (1.88)
ALEMANIA	2.67 (4.25)	1.39 (1.25)	261291 (3.02)	853995 (13.8)
DINAMARCA	1.60 (4.88)	5.40 (4.21)	-2599 (0.26)	55445 (4.52)
HOLANDA	0.60 (2.09)	1.42 (1.43)	-33786 (2.20)	159445 (7.05)
NORUEGA	1.64 (2.35)	3.26 (3.65)	6111 (0.38)	28718 (2.04)
AUSTRIA	3.39 (13.9)	10.4 (10.3)	91723 (3.22)	103347 (10.7)
SUECIA	0.47 (0.45)	3.85 (2.18)	65801 (3.00)	135385 (7.72)
BELGICA	1.94 (3.55)	6.99 (6.46)	89755 (4.82)	65517 (6.36)
FRANCIA	3.70 (5.53)	8.08 (4.37)	330413 (3.06)	989886 (13.9)
FINLANDIA	0.25 (0.23)	1.50 (0.85)	5838 (0.34)	79633 (4.37)

TABLA A. 11
 MODELO 3
 COSTOS MARGINALES Y DEMANDA POR FACTORES
 EVALUADOS EN LA MEDIA DE CADA PAIS

PAIS	Cmg_p	Cmg_F	X_E	X_V
INGLATERRA	3.09 (9.88)	1.37 (1.84)	69416 (1.99)	292472 (9.72)
SUIZA	1.98 (7.93)	5.40 (7.82)	20296 (1.17)	121777 (11.0)
IRLANDA	4.96 (8.90)	9.78 (6.99)	43461 (1.29)	40653 (1.45)
ALEMANIA	3.38 (6.12)	1.29 (1.20)	108971 (1.36)	799361 (13.3)
DINAMARCA	2.72 (7.66)	7.52 (7.35)	1671 (0.17)	48619 (4.07)
HOLANDA	1.54 (5.44)	5.09 (6.56)	1664 (0.10)	143683 (7.70)
NORUEGA	3.35 (5.00)	2.80 (3.24)	-33670 (1.50)	105713 (5.85)
AUSTRIA	3.90 (15.0)	7.96 (9.29)	57205 (2.64)	93597 (9.82)
SUECIA	2.59 (2.60)	6.55 (4.13)	-26119 (1.03)	120054 (6.07)
BELGICA	1.61 (3.20)	7.50 (7.36)	113141 (2.96)	179926 (8.33)
FRANCIA	1.66 (2.35)	4.60 (2.66)	118075 (1.25)	834399 (11.7)
FINLANDIA	2.71 (2.62)	4.51 (2.92)	-45130 (1.95)	42374 (2.05)

TABLA A.12
 MODELO 4
 COSTOS MARGINALES Y DEMANDA POR FACTORES
 EVALUADOS EN LA MEDIA DE CADA PAIS

PAIS	Cmg _p	Cmg _F	X _E	X _V
INGLATERRA	3.03 (10.1)	1.30 (1.71)	70099 (1.98)	384062 (15.7)
SUIZA	1.79 (7.41)	5.26 (7.49)	16938 (0.93)	120813 (10.7)
IRLANDA	5.36 (9.04)	12.9 (8.99)	62435 (1.73)	37400 (1.27)
ALEMANIA	3.29 (6.18)	0.99 (0.89)	20607 (0.20)	719376 (11.0)
DINAMARCA	2.45 (7.12)	7.95 (7.70)	3400 (0.34)	44683 (3.38)
HOLANDA	1.40 (4.96)	4.77 (6.09)	-12869 (0.64)	149851 (7.65)
NORUEGA	2.83 (4.26)	2.98 (3.39)	-30798 (1.19)	-19623 (0.86)
AUSTRIA	3.75 (14.1)	8.69 (9.76)	76541 (3.53)	94643 (9.81)
SUECIA	1.84 (1.84)	6.56 (4.16)	-11070 (0.53)	155235 (9.20)
BELGICA	1.45 (2.79)	6.33 (6.11)	99574 (2.88)	154619 (8.07)
FRANCIA	2.06 (3.02)	5.33 (2.98)	156515 (1.65)	986209 (12.9)
FINLANDIA	1.87 (1.80)	4.39 (2.87)	-42587 (1.87)	46204 (2.07)

TABLA A.13
 MODELO 5
 COSTOS MARGINALES Y DEMANDA POR FACTORES
 EVALUADOS EN LA MEDIA DE CADA PAIS

PAIS	Cmg_p	Cmg_F	X_E	X_V
INGLATERRA	2.46 (10.8)	1.34 (1.75)	86744 (2.47)	274718 (7.56)
SUIZA	1.75 (7.21)	4.60 (7.10)	24794 (1.40)	233268 (5.96)
IRLANDA	5.18 (9.16)	8.90 (6.36)	35768 (1.04)	254339 (5.51)
ALEMANIA	2.42 (5.36)	2.15 (2.04)	151441 (1.87)	384030 (4.96)
DINAMARCA	2.45 (6.98)	5.92 (6.72)	-1851 (0.19)	225673 (6.00)
HOLANDA	1.33 (4.75)	4.27 (5.77)	6441 (0.37)	274170 (5.69)
NORUEGA	3.53 (5.17)	2.02 (2.40)	-44611 (1.97)	179028 (5.93)
AUSTRIA	3.68 (14.5)	6.96 (8.67)	60452 (2.72)	198112 (6.51)
SUECIA	3.04 (3.01)	4.20 (3.01)	-29647 (1.14)	199666 (7.60)
BELGICA	1.57 (3.03)	7.40 (7.09)	132914 (3.44)	286957 (4.59)
FRANCIA	2.11 (2.99)	5.84 (3.40)	157817 (1.65)	326665 (3.91)
FINLANDIA	3.15 (3.01)	2.09 (1.58)	-54007 (2.29)	191496 (6.28)

TABLA A. 14
 MODELO 6
 COSTOS MARGINALES Y DEMANDA POR FACTORES
 EVALUADOS EN LA MEDIA DE CADA PAIS

PAIS	Cmg_p	Cmg_F	X_E	X_V
INGLATERRA	2.57 (11.4)	1.17 (1.53)	81054 (2.28)	268474 (11.8)
SUIZA	1.66 (6.98)	4.60 (7.08)	16737 (0.91)	228389 (12.0)
IRLANDA	5.52 (9.26)	11.7 (8.63)	53784 (1.48)	289707 (5.27)
ALEMANIA	2.62 (5.82)	1.72 (1.59)	62866 (0.62)	305679 (3.19)
DINAMARCA	2.34 (6.77)	6.63 (7.64)	75 (0.01)	238267 (8.24)
HOLANDA	1.28 (4.55)	4.14 (6.57)	-15651 (0.77)	271828 (9.90)
NORUEGA	3.07 (4.62)	2.25 (2.70)	0.29 (0.32)	202364 (5.38)
AUSTRIA	3.66 (13.7)	7.74 (9.68)	76139 (3.46)	200201 (10.7)
SUECIA	2.28 (2.29)	4.79 (3.44)	-5937 (0.28)	288298 (9.26)
BELGICA	1.41 (2.68)	6.35 (6.04)	91985 (2.64)	237383 (7.84)
FRANCIA	2.17 (3.15)	6.39 (3.64)	189544 (1.99)	351412 (4.27)
FINLANDIA	2.32 (2.24)	2.53 (1.93)	-39215 (1.70)	218559 (6.84)

TABLA B.1.1
 MODELO SIN R - 1
 COEFICIENTES ESTIMADOS

VARIABLE	COEFICIENTE	t-estad.
cte	1140793	14.6
FD	- 0.8653	0.53
FKD	0.0205	3.47
PD	0.3265	0.56
PKD	0.0539	4.50
WED	60216	0.60
WVD	435201	6.08
S	2.6314	4.06
LT	5.2301	1.25
FD ²	3.45 EXP-5	3.15
FD·PD	- 2.38 EXP-5	4.40
FD·WE	1.1529	1.27
FD·WV	- 1.0606	1.79
FD·S	3.44 EXP-5	1.88
FKD ²	- 7.05 EXP-10	2.47
FKD·PKD	2.02 EXP-9	3.93
FKD·WED	- 2.23 EXP-3	0.48
FKD·WVD	6.58 EXP-3	2.28
FKD·S	- 1.38 EXP-7	3.19
PD ²	5.38 EXP-7	0.25
PD·PKD	7.54 EXP-8	1.67
PD·WED	- 0.8219	2.84
PD·WVD	- 0.1988	0.76
PD·S	1.14 EXP-5	2.14
PKD ²	- 1.59 EXP-9	3.41
PKD·WED	0.0143	2.09
PKD·WVD	0.0342	5.29
PKD·S	- 2.55 EXP-7	3.12
WED ²	- 12315	2.10
WED·WVD	14465	2.06
WED·LT	2.3090	0.52
WVD ²	- 5594	1.31
WVD·LT	- 7.7620	2.33

$R_c^2 : 0.999042$
 $\sum \text{errores}^2 : 0.31091 \cdot 10^{12}$

TABLA B. 1.2
 MODELO SIN R - 2
 COEFICIENTES ESTIMADOS

VARIABLE	COEFICIENTE	t-estad.
cte	1052222	13.2
FKD	0.0185	3.72
PD	- 0.5124	1.17
PKD	0.0583	4.95
WED	54478	0.55
WVD	553401	8.30
S	3.6203	5.79
LT	6.0138	1.38
FKD ²	1.13 EXP-10	0.65
FKD·PKD	3.06 EXP-10	1.02
FKD·WED	8.68 EXP-4	0.20
FKD·WVD	6.63 EXP-3	2.59
FKD·S	- 7.98 EXP-8	2.52
PD ²	- 5.47 EXP-6	3.76
PD·PKD	1.24 EXP-7	2.80
PD·WED	- 0.6854	2.94
PD·WVD	- 0.3942	1.67
PD·S	2.14 EXP-5	6.07
PKD ²	- 1.02 EXP-9	2.43
PKD·WED	0.0149	2.47
PKD·WVD	0.0396	6.41
PKD·S	- 3.13 EXP-7	3.79
WED ²	- 16233	2.77
WED·WVD	25797	4.00
WED·LT	3.0011	0.68
WVD ²	- 13032	3.13
WVD·LT	- 13.136	4.24

R_c² : 0.998489
 \sum errores² : 0.51219·10¹²

TABLA B.1.3
 MODELO SIN R - 3
 COEFICIENTES ESTIMADOS

VARIABLE	COEFICIENTE	t-estad.
cte	1063779	15.4
FD	2.1770	3.71
FKD	0.0235	5.34
PD	0.1512	0.37
PKD	0.0223	2.04
WED	116114	5.10
WVD	521911	7.47
S	3.3921	4.96
LT	2.4726	0.88
FKD ²	5.28 EXP-10	3.67
FKD·PKD	- 6.42 EXP-10	2.45
FKD·S	- 1.40 EXP-7	5.18
PD ²	- 4.20 EXP-6	3.20
PD·PKD	6.59 EXP-8	1.68
PD·S	1.97 EXP-5	6.02
PKD ²	1.08 EXP-10	0.28
PKD·S	- 1.53 EXP-7	1.97
WED ²	- 13275	2.01
WED·WVD	35842	5.31
WVD ²	- 16201	3.67
WVD·LT	- 12.692	3.93
UT·WED	0.0037	3.81
UT·WVD	0.0167	7.58

$R_c^2 : 0.998073$
 $\sum \text{errores}^2 : 0.67199 \cdot 10^{12}$

TABLA B. 1.4
 MODELO SIN R - 4
 COEFICIENTES ESTIMADOS

VARIABLE	COEFICIENTE	t-estad.
cte	1075640	14.9
FD	1.9123	3.13
FKD	0.0285	6.43
PD	0.1471	0.34
PKD	0.0177	1.54
WED	81205	3.70
WVD	253508	16.8
S	3.5270	4.92
LT	0.3374	0.12
FKD ²	4.14 EXP-10	2.80
FKD·PKD	- 4.70 EXP-10	1.74
FKD·S	- 1.51 EXP-7	5.35
PD ²	- 3.26 EXP-6	2.41
PD·PKD	3.89 EXP-8	0.96
PD·S	1.93 EXP-5	5.63
PKD ²	1.57 EXP-10	0.38
PKD·S	- 1.19 EXP-7	1.47
WED ²	- 10676	1.55
WED·WVD	26489	4.00
WVD ²	- 9639	2.24
UT·WED	0.0026	2.62
UT·WVD	0.0085	11.4

$R_c^2 : 0.997880$
 $\sum \text{errores}^2 : 0.74445 \cdot 10^{12}$

TABLA B.1.5
 MODELO SIN R - 1
 COSTOS MARGINALES Y DEMANDA POR FACTORES
 EVALUADOS EN LA MEDIA DE CADA PAIS

PAIS	Cm_{g_p}	Cm_{g_f}	X_E	X_V
INGLATERRA	2.56 (7.69)	3.54 (3.30)	60584 (0.77)	582949 (8.84)
SUIZA	2.09 (8.75)	2.08 (2.68)	96084 (1.93)	140687 (4.81)
IRLANDA	8.16 (6.72)	7.07 (1.47)	81750 (0.94)	-55971 (1.08)
ALEMANIA	1.79 (3.36)	1.30 (1.11)	-137283 (0.55)	947575 (6.24)
DINAMARCA	1.92 (5.17)	3.31 (2.43)	87520 (1.37)	-12349 (0.33)
HOLANDA	1.13 (4.49)	2.50 (2.16)	89922 (1.42)	145713 (3.63)
NORUEGA	2.50 (5.49)	3.41 (3.91)	147600 (2.11)	-48982 (1.14)
AUSTRIA	4.47 (11.3)	3.75 (2.99)	135011 (3.36)	72291 (3.91)
SUECIA	2.53 (2.93)	2.46 (1.60)	177661 (4.01)	51003 (1.69)
BELGICA	3.53 (8.87)	4.10 (4.23)	130180 (3.32)	58664 (2.68)
FRANCIA	4.24 (6.42)	7.86 (3.94)	409970 (2.13)	1508876 (9.45)
FINLANDIA	1.67 (2.23)	3.39 (2.27)	153387 (2.54)	-17424 (0.44)

TABLA B.1.6
 MODELO SIN R - 2
 COSTOS MARGINALES Y DEMANDA POR FACTORES
 EVALUADOS EN LA MEDIA DE CADA PAIS

PAIS	Cmg_p	Cmg_F	X_E	X_V
INGLATERRA	2.37 (8.27)	1.41 (2.23)	159174 (2.83)	473813 (9.38)
SUIZA	1.59 (8.47)	1.28 (1.97)	48952 (1.96)	206497 (11.8)
IRLANDA	9.24 (7.80)	6.05 (1.41)	-20299 (0.67)	37040 (1.36)
ALEMANIA	1.02 (2.02)	1.15 (1.09)	150933 (1.17)	718657 (10.5)
DINAMARCA	1.24 (3.65)	2.49 (1.95)	1913 (0.19)	66510 (4.96)
HOLANDA	0.75 (3.87)	0.59 (0.71)	11495 (0.65)	240428 (11.5)
NORUEGA	3.18 (8.98)	0.76 (1.55)	54115 (2.82)	33603 (2.69)
AUSTRIA	4.60 (14.4)	3.87 (3.58)	114848 (3.89)	94758 (10.5)
SUECIA	2.40 (3.25)	1.52 (1.04)	138315 (3.45)	80286 (3.20)
BELGICA	4.23 (13.8)	2.12 (3.51)	97619 (5.40)	83653 (8.16)
FRANCIA	4.46 (6.65)	7.90 (4.97)	699322 (5.15)	1371587 (8.97)
FINLANDIA	1.96 (3.11)	0.57 (0.41)	70507 (2.73)	57364 (3.18)

TABLA B.1.7
 MODELO SIN R - 3
 COSTOS MARGINALES Y DEMANDA POR FACTORES
 EVALUADOS EN LA MEDIA DE CADA PAIS

PAIS	Cmg_p	Cmg_F	X_E	X_V
INGLATERRA	2.84 (10.3)	1.66 (2.39)	199594 (5.16)	257529 (6.11)
SUIZA	1.40 (8.31)	2.54 (3.39)	57576 (3.39)	164090 (10.1)
IRLANDA	6.12 (9.75)	16.5 (9.72)	-4859 (0.14)	56849 (1.93)
ALEMANIA	1.49 (3.39)	1.83 (1.77)	358428 (4.05)	889170 (13.9)
DINAMARCA	1.56 (5.55)	5.41 (5.17)	2849 (0.28)	59945 (5.42)
HOLANDA	1.19 (7.20)	0.66 (0.73)	-9697 (0.75)	-282776 (2.69)
NORUEGA	2.15 (6.35)	2.72 (3.96)	5166 (0.32)	32967 (2.56)
AUSTRIA	3.27 (14.8)	9.43 (9.58)	130082 (5.50)	104621 (10.2)
SUECIA	1.21 (1.68)	2.73 (1.69)	62461 (3.42)	146224 (8.53)
BELGICA	3.11 (14.5)	5.96 (8.91)	104814 (5.62)	68332 (6.43)
FRANCIA	4.59 (7.33)	7.12 (4.08)	479313 (4.66)	1024084 (13.8)
FINLANDIA	1.29 (1.98)	0.55 (0.36)	5134 (0.32)	87079 (5.26)

TABLA B.1.8
 MODELO SIN R - 4
 COSTOS MARGINALES Y DEMANDA POR FACTORES
 EVALUADOS EN LA MEDIA DE CADA PAIS

PAIS	Cmg_p	Cmg_F	X_E	X_V
INGLATERRA	2.63 (9.26)	1.54 (2.13)	139664 (3.75)	346026 (11.2)
SUIZA	1.45 (8.21)	3.75 (5.22)	41775 (2.41)	68720 (4.79)
IRLANDA	4.22 (10.1)	12.1 (9.04)	-10265 (0.29)	63411 (2.08)
ALEMANIA	2.21 (5.29)	1.66 (1.53)	247136 (2.81)	820168 (12.6)
DINAMARCA	1.51 (5.13)	6.39 (5.99)	1108 (0.10)	7143 (0.39)
HOLANDA	1.39 (8.48)	2.86 (3.81)	-8865 (0.66)	78512 (9.30)
NORUEGA	2.08 (5.86)	3.58 (5.24)	4370 (0.26)	-7310 (0.48)
AUSTRIA	2.71 (15.3)	7.62 (8.35)	94648 (4.13)	55556 (1.90)
SUECIA	1.66 (2.23)	6.40 (4.65)	44638 (2.41)	129553 (12.2)
BELGICA	2.54 (15.4)	5.00 (7.66)	75781 (4.22)	45130 (1.63)
FRANCIA	4.00 (6.28)	5.70 (3.18)	334591 (3.32)	923267 (12.0)
FINLANDIA	1.76 (2.61)	4.58 (3.79)	3884 (0.23)	55328 (4.58)

TABLA B.2.1
 MODELO PARA PAISES GRANDES
 COEFICIENTES ESTIMADOS

VARIABLE	COEFICIENTE	t-estad.
cte	2499356	7.76
FKD	0.0351	3.90
PD	- 2.7298	3.00
PKD	0.1119	3.92
WED	1059195	2.90
WVD	818709	4.44
S	2.9863	2.15
LT	- 14.538	2.11
FKD ²	2.40 EXP-10	0.98
FKD·PKD	2.91 EXP-10	0.70
FKD·WED	0.0119	2.27
FKD·WVD	0.0143	3.78
FKD·S	- 1.26 EXP-7	2.91
PD ²	- 6.36 EXP-6	3.25
PD·PKD	1.12 EXP-7	1.78
PD·WVD	- 0.5251	1.58
PD·S	3.07 EXP-5	6.17
PKD ²	- 1.14 EXP-9	2.02
PKD·WED	0.0294	2.46
PKD·WVD	0.0323	3.71
PKD·S	- 3.84 EXP-7	2.91
WED ²	15558	0.26
WED·WVD	89901	2.55
WED·LT	- 24.494	2.34
WVD ²	- 1835	0.17
WVD·LT	- 12.413	2.24
$R_c^2 : 0.998373$ $\sum \text{errores}^2 : 0.30096 \cdot 10^{12}$		

TABLA B.2.2
 MODELO PARA PAISES GRANDES
 COSTOS MARGINALES Y DEMANDA POR FACTORES
 EVALUADOS EN LA MEDIA DE CADA PAIS

PAIS	Cmg_p	Cmg_F	X_E	X_V
INGLATERRA	2.92 (6.69)	1.59 (1.42)	184218 (2.55)	320515 (3.93)
ALEMANIA	1.93 (2.48)	0.80 (0.58)	305592 (2.03)	794880 (9.54)
AUSTRIA	5.28 (6.33)	6.01 (3.39)	273899 (4.43)	110889 (8.32)
SUECIA	6.25 (3.97)	-1.75 (0.70)	-132301 (1.37)	77722 (2.11)
BELGICA	5.37 (5.72)	3.67 (3.58)	229151 (5.14)	100707 (5.65)
FRANCIA	4.33 (3.17)	8.67 (4.23)	708872 (4.21)	1349900 (6.52)

TABLA B.2.3
 MODELO PARA PAISES CHICOS
 COEFICIENTES ESTIMADOS

VARIABLE	COEFICIENTE	t-estad.
cte	277698	2.82
FD	- 2.2660	1.21
FKD	0.0626	2.79
PD	2.4136	1.98
PKD	- 0.1120	3.25
WED	29237	4.05
WVD	37059	3.34
S	17.955	6.93
LT	- 38.839	2.41
FKD ²	1.04 EXP-9	0.52
FKD·PKD	2.20 EXP-9	0.90
FKD·S	- 1.33 EXP-6	1.94
PD ²	- 2.66 EXP-5	2.73
PD·PKD	1.14 EXP-6	3.42
PD·S	- 7.19 EXP-5	1.28
PKD ²	- 1.60 EXP-8	4.65
PKD·S	4.60 EXP-6	3.21
WED ²	- 5500	2.63
WED·WVD	27989	3.91
WVD ²	- 15612	3.00
UT·WED	0.0072	3.04
UT·WVD	0.0060	2.65
$R_c^2 : 0.992997$ $\sum \text{errores}^2 : 0.13684 \cdot 10^{11}$		

TABLA B.2.4
 MODELO PARA PAISES CHICOS
 COSTOS MARGINALES Y DEMANDA POR FACTORES
 EVALUADOS EN LA MEDIA DE CADA PAIS

PAIS	Cmg_p	Cmg_F	X_E	X_V
SUIZA	0.54 (1.37)	0.48 (0.42)	79662 (4.31)	45138 (2.12)
IRLANDA	3.21 (3.45)	13.0 (3.09)	19321 (1.34)	-4507 (0.39)
DINAMARCA	-1.65 (2.29)	5.47 (1.33)	7987 (1.58)	5082 (0.47)
HOLANDA	-0.05 (0.13)	1.80 (1.09)	20780 (2.02)	75780 (5.44)
NORUEGA	1.93 (2.63)	0.90 (0.49)	-2011 (0.21)	-2578 (0.19)
FINLANDIA	5.80 (4.34)	3.34 (1.61)	17534 (1.99)	44447 (3.61)

TABLA B.3.1
 MODELO CON DUMMY PAIS ADITIVA
 COEFICIENTES ESTIMADOS

VARIABLE	COEFICIENTE	t-estad.
cte	2541628	7.56
FD	- 5.0838	2.32
FKD	0.0340	3.18
PD	- 1.8514	3.06
PKD	0.0606	4.35
WED	125929	1.41
WVD	297303	4.64
S	1.0635	0.68
LT	- 6.4734	1.36
FD ²	- 8.72 EXP-5	3.15
FD·FKD	1.05 EXP-6	5.07
FD·PD	- 2.72 EXP-5	5.73
FD·WED	1.2971	1.63
FD·WVD	0.4856	0.84
FD·S	1.11 EXP-4	5.30
FKD ²	- 3.11 EXP-9	6.53
FKD·PKD	2.68 EXP-9	6.13
FKD·WED	- 1.02 EXP-3	0.26
FKD·WVD	- 4.77 EXP-4	0.17
FKD·S	- 4.58 EXP-7	5.39
PD ²	7.03 EXP-6	3.42
PD·PKD	- 8.61 EXP-8	1.76
PD·WED	- 0.9303	3.70
PD·WVD	- 0.3732	1.91
PD·S	1.54 EXP-6	0.27
PKD ²	- 4.93 EXP-10	1.07
PKD·WED	0.0180	2.80
PKD·WVD	0.0302	5.50
PKD·S	- 8.83 EXP-8	0.88
WED ²	- 6323	1.55
WED·WVD	1496	0.30
WED·LT	- 0.4902	0.12
WVD ²	3150	0.89
WVD·LT	- 1.5999	0.54
DALE	655623	3.53
DFRA	931959	2.00
DSUE	- 1643899	5.49
DBEL	- 1475707	6.01
DAUS	- 1478292	6.12
DFIN	- 1996787	6.31
DSUI	- 1432999	5.43
DHOL	- 1666824	5.95
DNOR	- 1988000	6.21
DDIN	- 1797153	5.62
DIRL	- 2118059	6.17

$R_c^2 : 0.999430$
 $\sum \text{errores}^2 : 0.16835 \cdot 10^{12}$

TABLA B.3.2
 MODELO CON DUMMY PAIS ADITIVA
 COSTOS MARGINALES Y DEMANDA POR FACTORES
 EVALUADOS EN LA MEDIA DE CADA PAIS

PAIS	Cmg_p	Cmg_F	X_E	X_V
INGLATERRA	1.35 (3.73)	-5.98 (2.70)	105078 (2.66)	603984 (12.3)
SUIZA	0.25 (0.67)	-4.26 (3.50)	66035 (3.05)	135494 (7.09)
IRLANDA	4.29 (3.33)	6.45 (1.76)	11834 (0.50)	-4818 (0.25)
ALEMANIA	2.72 (6.18)	1.12 (1.19)	121665 (1.21)	766796 (16.9)
DINAMARCA	0.14 (0.28)	4.51 (2.86)	11940 (1.15)	12600 (0.77)
HOLANDA	-0.73 (1.78)	-3.34 (2.72)	50475 (3.10)	130895 (5.36)
NORUEGA	-0.65 (1.15)	-7.17 (3.56)	94620 (4.63)	2466 (0.17)
AUSTRIA	1.72 (3.88)	3.02 (2.69)	88212 (4.22)	110160 (16.4)
SUECIA	-0.33 (0.40)	7.61 (3.54)	152168 (3.75)	80393 (3.61)
BELGICA	0.75 (1.70)	-6.78 (2.82)	108715 (4.40)	121736 (7.31)
FRANCIA	4.04 (5.67)	7.23 (4.21)	569196 (2.97)	1327587 (10.5)
FINLANDIA	-1.49 (1.87)	7.47 (3.98)	107860 (4.44)	14150 (0.85)

