ANALISIS DE LA PRODUCTIVIDAD DEL SECTOR TRANSPORTE DE CARGA

Patricio Donoso Ibáñez
Profesor Depto. de Ing. de Transporte
Director de Extensión
Pontificia Universidad Católica de Chile
Casilla 114-D, Santiago, Chile.

RESUMEN

La productividad del sector transporte de carga corresponde básicamente a la relación entre los productos transportados y los insumos o recursos utilizados en generar dicha posibilidad de transporte.

Históricamente se han desarrollado diferentes metodologías para representar la relación antes señalada.

El presente artículo entrega una visión general de los diferentes enfoques considerados a lo largo del tiempo, y además presenta una metodología simplificada para la obtención de un indicador de productividad en base a datos de series de tiempo.

Acta III Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte, 1987

1.- INTRODUCCION

La productividad se entiende normalmente como la eficiencia con que se puede producir un determinado producto a partir de la combinación de diferentes insumos o recursos, y generalmente se mide en base a la razón entre un volumen o cantidad de dichos productos (bienes o servicios) y los insumos utilizados en su creación.

Históricamente se han desarrollado diferentes metodologías que formalizan esa relación, y que permiten obtener indicadores sobre la productividad. El tipo de indicador más popular hasta ahora, es el que se obtiene de la razón entre la cantidad de producto y la mano de obra utilizada en generarlo. En el caso de aplicaciones para el sector transporte de carga, el producto se ha medido en unidades físicas, tales como toneladas, toneladas-milla, o toneladas-kilómetro, y la mano de obra en horas-hombre.

También han sido populares aquellos indicadores que en lugar de mano de obra consideran una cierta medida del "Capital" utilizado en la generación del producto.

Sin embargo, a pesar de que estos indicadores (que consideran un determinado factor o recurso) han sido de gran utilidad, especialmente para el análisis de variaciones resultantes de cambios de un cierto factor aislado, la medida de productividad más interesante y útil se obtiene de un contexto multifactor. En este caso, la productividad refleja el efecto combinado de una variedad de factores relevantes, y elimina los efectos de sustitución de un factor por otro. También en este contexto se han desarrollado numerosas metodologías diferentes para la obtención de la productividad. Más adelante en este artículo se describen algunos ejemplos representativos de dicho desarrollo.

El interés básico para analizar tanto el concepto de productividad como la evolución de los métodos para su estimación, radica en su importancia para la operación y posibles crecimientos de una empresa en particular, de un sector de la industria y a veces la economía completa.

Un aumento en la productividad de una cierta industria puede provenir de la utilización de nuevas tecnologías, de cambios en los volúmenes, composiciones o utilización de los insumos y de múltiples otras fuentes cuyo efecto interesa detectar y analizar en profundidad.

En el caso del sector transporte de carga, al igual que en otras áreas, la determinación de la productividad es también fundamental. Cabe señalar, por ejemplo, el incremento en el interés de académicos y técnicos en Estados Unidos por analizar los efectos de la productividad, especialmente debido a la disminución en los gastos correspondientes al sector transporte, como porcentaje del producto geográfico bruto, y a variaciones en las políticas estatales en cuanto a regulación o desregulación del sector.

El presente artículo incluye una visión resumida de las diferentes metodologías que se han utilizado históricamente en la medición de la productividad del sector transporte de carga. Se presentan los métodos que consideran un sólo factor y los multifactores, como asimismo algunas metodologías simples y otras más complejas.

2.- DESCRIPCION DE METODOLOGIAS

2.1 Productividad por mano de obra

La Oficina de Estadísticas Laborales de Estados Unidos (BLS, Bureau of Labor Statistics) prepara y publica periódicamente índices de productos por mano de obra utilizada, para diferentes sectores de la economía americana (sector agrícola, manufacturero, minero, etc.).

En el caso del transporte de carga se considera la relación entre las toneladas/millas totales de productos transportados y la mano de obra empleada en las industrias de ferrocarriles, transporte carretero y oleo- ductos nacionales.

Las Tablas Nº 1 y Nº 2 muestran algunos de los valores del indicador para los diferentes sectores. Cabe señalar que los índices sólo son válidos en aquellas situaciones donde el incremento en la productividad se puede atribuir únicamente a eficiencias en la utilización de la mano de obra.

TABLA Nº1

PRODUCTIVIDAD POR MANO DE OBRA (Ferrocarriles-BLS)

Año	Prod. por hora-mano	Prod. por de obra	Tasas de cambio anuales PHMO	PMO
73	96,4	96,4	9,5	8,3
74	93,7	94,6	-2,8	-1,9
75	89,5	88,5	-4,5	-6,4
76	95,4	95,3	6,1	7,7
77	100,0	100,0	4,8	4,9
78	101,5	104,5	4,5	4,5
79	101,7	105,4	0,2	0,9
80	107,3	105,5	2,5	0,1
81	111,5	108,8	3,9	3,1
82	115,8	110,1	3,9	1,2
83	141,9	136,3	22,5	23,8
84	152,6	147,9	7,5	8,5

TABLA Nº 2

PRODUCTIVIDAD POR MANO DE OBRA (Camiones, Oleoductos y Tpte.Marítimo y Fluvial- BLS)

Año	Camiones	Oleoductos	Tpte. Marítimo y Fluvial
73	96,6	96,8	95,2
74	93,3	93,8	94,1
75	89,2	93,2	95,0
76	100,3	94,7	99,3
77	100,0	100,0	100,0
78	99,8	101,2	129,5
79	98,6	102,5	125,6
80	94,3	93,5	141,6
81	98,7	87,9	138,9
82	93,3	90,9	143,6
83	101,0	93,7	154,3

Varios autores han propuesto modificaciones a las estimaciones del BLS, básicamente planteando ajustes en la composición y calidad de las horas-hombres (Denison, 1967). Los valores que entrega el BLS mensualmente son apropiados para establecer variaciones generales en la productividad, pero indudablemente son limitados al incorporar un solo factor.

2.2 Productividad por factores combinados

Los indicadores más comunes de este tipo consideran la relación entre producto y una combinación de capital y trabajo. La influencia relativa de cada factor se determina normalmente considerando sus costos unitarios (por ejemplo, tasa de retorno del capital); ejemplos de este tipo de medición se pueden encontrar en Solow (1957) y Kendrick (1961). Este último basó sus estimaciones en los índices anuales del producto geográfico bruto para el sector transporte. Consideró las horas-hombres empleadas y el capital en cuanto al valor de las estructuras, equipos, inventarios, capital de trabajo y terrenos disponibles en el sector.

La relación introducida por Kendrick (1961) denominada "productividad de factor total" es la siguiente:

$$TFP_i = \frac{Oi}{bLi+(a-b).Ki} \tag{1}$$

donde:
- Oi = producto del período i
- Ki = servicio de capital en el período i
- Li = servicio de mano de obra en el período i
- b = porcentaje del factor ingreso en un período base

A pesar de que este indicador de productividad es más apropiado que los valores del BLS, tiene la limitante de considerar sólo dos factores y una forma restrictiva de incorporar sus pesos relativos.

Solow (1957) presentó un esquema con una base teórica más sólida al relacionar el crecimiento en la productividad con el incremento en la producción. Si se considera la siguiente función de producción:

$$Q(t) = A(t)\, f[K(T), L(T)] \qquad (2)$$

donde: $Q(t)$ = producto
$K(t)$ = recurso capital
$L(t)$ = recurso mano de obra
$A(t)$ = índice de progreso tecnológico o "productividad multifactor"

se puede obtener una medida de las variaciones en el producto por unidad de mano de obra y capital, a través del término A(t).

Si se diferencia la ecuación anterior con respecto al tiempo y se divide por Q, se obtiene:

$$\frac{dQ/dt}{Q} = \frac{dA/dt}{A} + \delta f/\delta k\; k/f(K,L)\; \frac{dK/dt}{K} + \delta f/\delta L\; L/f(K,L)\; \frac{dL/dt}{L} \qquad (3)$$

La misma ecuación se puede escribir alternativamente de la siguiente forma:

$$\dot{Q}/Q = \dot{A}/A + E_{qk}\, \dot{K}/K + E_{ql}\, \dot{L}/L \qquad (4)$$

donde $\dot{Q}/Q$, $\dot{A}/A$, $\dot{K}/K$, $\dot{L}/L$ son las tasas geométricas de crecimiento y Eqk y Eql son las elasticidicades del producto respecto al capital y mano de obra respectivamente.

Si se asume que los mercados analizados son efectivamente competitivos y que existen retornos de escala constantes, las elasticidades son equivalentes al porcentaje que representan los costos de los factores individuales respecto al costo total, con lo que se obtiene:

$$E_{qk} = \frac{p_k K(t)}{p_k K(t) + p_l L(t)} \qquad E_{ql} = \frac{p_l L(t)}{p_k K(t) + p_l L(t)} \tag{5}$$

$$E_{qk} + E_{ql} = 1 \qquad p_k K(t) + p_l L(t) = p_q Q(t)$$

donde
P_K = precio de los servicios de capital
P_L = precio de la mano de obra
P_Q = precio del producto

Si la función de producción no presenta retornos constantes, entonces el término $\dot{A}/A$ incluirá tanto efectos de escala como efectos por avance o progreso tecnológico.

La funcioón de producción más usada es la de Cobb-Douglas (1934), con la siguiente forma:

$$Q = f(K,L) = A\ K^a\ L^b \tag{6a}$$

o, lo que es igual,

$$\ln Q = \ln A + a \ln K + b \ln L \tag{6b}$$

donde A, a y b son todas constantes positivas. Dado que esta función es lineal, en términos logarítmicos, resulta bastante fácil de usar. Sin embargo, impone a la vez severas restricciones tales como que la elasticidad de sustitución de capital y mano de obra sea igual a 1.

Otra función de producción interesante es la función CES ("Constant elasticity of substitution"), que también considera elasticidad de sustitución constante, pero no necesariamente igual a 1. La forma matemática de esta función es:

$$Q = \alpha \left[\delta K^{-\beta} + (1-\delta) L^{-\beta} \right]^{-1/\beta} \qquad (7)$$

donde: α es simplemente un parámetro de eficiencia; β es un parámetro de distribución y δ es un parámetro de sustitución (Arrow et al, 1961).

Además de las anteriores, se han desarrollado a partir de la década del 70 otras funciones más sofisticadas, que en general permiten una mayor variabilidad de las elasticidades de sustitución dependiendo de variaciones en los insumos considerados. Quizás la más importante en este sentido es la función "translogarítmica", utilizada, por ejemplo, por Christensen et al, (1973). Desarrollos como éste se produjeron a partir de la aplicación de la teoría de la dualidad al análisis económico. El concepto de dualidad corresponde a una hipótesis económica que sostiene que la función de costos de una firma provee toda la información necesaria para comprender su evolución tecnológica. Esto significa que es suficiente estimar una función de costos para poder estudiar la estructura tecnológica de una cierta empresa o industria.

2.3 Una aplicación de las funciones translogarítmicas a la industria de ferrocarriles.

Caves, Christensen y Swanson (1980) desarrollaron estimaciones de la productividad de los ferrocarriles americanos, utilizando métodos basados en la clásica teoría de la producción y las funciones translogarítmicas.

Estos métodos consideran que asociados a una función de transformación del tipo:

$$f(X,Y) = 0,$$

donde X es un vector de insumos e Y es un vector de productos, existe una función de costo que es dual a esa función de tranformación:

$$C(Y,W) = O,$$

donde C es la función de costos, W es un vector de precios de los insumos e Y, es el vector de productos antes mencionados.

La función de costo es lineal en los insumos, homogénea de grado uno y cóncava en los precios W:

$$C(x,w) = \sum_i w_i x_i$$

Para analizar el crecimiento en la productivad, y el cambio tecnológico, se introduce la variable tiempo en ambas funciones:

$$F(Y,X,T) = O \qquad C(Y, W, T,) = O$$

Sacando logarimos y diferenciando con respecto al tiempo se obtiene:

$$\frac{d\ln C}{dt} = \sum_i \frac{\delta \ln C}{\delta \ln y_i} \frac{\delta \ln y_i}{\delta t} + \sum_i \frac{\delta \ln C}{\delta \ln w_i} \frac{\delta \ln w_i}{\delta t} + \frac{\delta \ln C}{\delta t} \qquad (8)$$

Los términos del lado izquierdo de la ecuación pueden interpretarse como tasa de crecimiento de los costos; el primer término de la derecha corresponde a variaciones en los productos que afectan los costos; el segundo término representa cambios en los precios de los insumos; la última derivada parcial es una medida de la productividad.

La diferencia del logaritmo de la función de costo con respecto al tiempo es:

$$\frac{d\ln C}{dt} = \sum_i S_i \frac{d\ln x_i}{dt} + \sum_i S_i \frac{d\ln w_i}{dt} \qquad (9)$$

en que:

$$s_i = \frac{w_i \; x_i}{C}$$

Los efectos de productividad se pueden obtener de las últimas ecuaciones como sigue:

$$- \frac{\delta \ln C}{\delta t} = \sum_i \frac{\delta \ln C}{\delta \ln y_i} \frac{d \ln y_i}{dt} - \sum_i s_i \frac{d \ln x_i}{dt} \qquad (10)$$

Caves et al, (1980) usaron la siguiente aproximación descrita para la función anterior:

$$-(\ln C_t - \ln C_{t-1}) = \sum_i [\tfrac{1}{2} \frac{(\delta \ln C)}{\delta \ln y_i} + \tfrac{1}{2} \frac{(\delta \ln C)}{\delta \ln y_i}] (\ln y_{it} - \ln y_{it-1}) \qquad (11)$$
$$+ \sum_i [\tfrac{1}{2} s_{it} + \tfrac{1}{2} s_{it-1}] (\ln x_{it} - \ln x_{it-1})$$

Todos los valores, con la excepción de las elasticidades de los costos, son medibles.

Caves et al (1980) también consideraron el producto en toneladas de carga por largo de viaje, y a los insumos los representaron por mano de obra, estructura y equipos, combustible y materiales. Para estimar las elasticidades de costos usaron una función multiproducto-translogarítmica generalizada, con datos de sección cruzada:

$$\ln C = a_0' + \sum_i \alpha_i Y_i + \sum_i \beta_i \ln w_i + \tfrac{1}{2} \sum_i \sum_j \delta_{ij} Y_i Y_j \qquad (12)$$
$$+ \tfrac{1}{2} \sum_i \sum_j \gamma_{ij} \ln w_i \ln w_j + \sum_i \sum_j \phi_{ij} Y_i \ln w_j$$

Para asegurar la homogeneidad de la función de costos con respecto a los precios de los factores, se impusieron las siguientes restricciones:

$$\Sigma b_i = 1 \qquad \Sigma \phi_{ij} = 0 \qquad \Sigma \phi_{ij} = 0 \tag{13}$$

Usando análisis de regresión multivariada, Caves et al (1981) obtuvieron un crecimiento en la productividad de la industria de ferrocarriles en Estados Unidos de 1,5% para el período 1951-1974.

Diversos desarrollos posteriores han permitido perfeccionar la función utilizada por estos autores, especialmente en lo referente a que los precios sean iguales a los costos marginales en el caso de los ferrocarriles, y a que la función de producción esté sujeta a retornos constantes de escala (ver por ejemplo Friedlaender y Chiang, 1983; Friedlaender y Spady, 1981; Friedlaender y Schur, 1985).

Cabe señalar, sin embargo, que en general las metodologías consideradas son bastante sofisticadas y requieren datos de calidad y en cantidades no siempre fáciles de conseguir. En este sentido, y como una forma de obtener antecedentes sobre la productividad de manera aproximada pero rápida, se han desarrollado metodologías simplificadas como la que se presenta a continuación.

2.4 Modelo aproximado

Esta metodología considera la forma general de la función de producción siguiente (ver Donoso, 1986):

$$Q(t) = A(t)\, f(X_i)$$

donde X_i representa diferentes insumos y A (t) considera todas aquellas fuerzas que influencian las variaciones en el prolducto y que no están incluidas en aquellos cambios producidos por variaciones en los insumos. Para medir los cambios A (t) se utilizan datos de series de tiempo para estos productos y para los insumos, y se trata de estimar en forma estadística la función de producción.

La forma funcional utilizada, que corresponde a un modelo log-linear similar a Cobb-Douglas, se estima usando el método de mínimos cuadrados (regresión lineal múltiple):

$$\ln Q_t = \beta_1 + \beta_2 \ln L + \beta_3 \ln K + \beta_4 \ln F + \beta_5 \ln t + \beta_6 \ln J + \epsilon \qquad (14)$$

donde los β son parámetros; L, K, F, son insumos (mano de obra, servicios de capital y combustible); t es la variable tiempo y los J representan características operacionales del modo analizado.

El parámetro β_5 de la variable tiempo, representa entonces, en cierta forma, la tasa de crecimiento de la productividad para el período considerado. La inclusión de las características operacionales acrecienta las capacidades explicativas del modelo, y permite determinar posibles fuentes de variaciones en el producto, debido a avances tecnológicos o productividad ligada a características especificas.

La función de producción (14) también puede representarse de la siguiente forma:

$$Q = C \; L^{\beta_2} \; K^{\beta_3} \; F^{\beta_4} \; t^{\beta_5} \; J^{\beta_6}$$

Se puede observar adicionalmente que el residuo de la regresión antes planteada corresponde también a una estimación de productividad (de factor total), que considera toda la variabilidad del producto que no es explicada por las variables independientes consideradas.

La función log-linear (14) se estima incorporando diferentes variables, pero manteniendo siempre las correspondientes a los logaritmos de la mano de obra, el combustible y el capital, que representan la base de la función de producción subyacente y al mismo tiempo representan importantes fuentes de variabilidad. La variable tiempo se incluye para captar el efecto puro del paso del tiempo en la generación de producto, por lo que representa en sí misma una aproximación para el progreso tecnológico. El tipo de características operacionales que se pueden considerar son, por ejemplo, el peso promedio de la carga, sus dimensiones promedio, la capacidad de carga promedio, el número de viajes realizados en promedio, etc.

3.- CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha demostrado, en forma resumida, la evolución de las metodologías utilizadas para la estimación de indicadores de la productividad el sector transporte de carga. Las metodologías varían en cuanto a su base teórica, a su complejidad, al tipo de factores que incluyen, y a su confiabilidad estadística, entre otros aspectos.

Evidentemente, el tipo de modelo usado por Caves et al ,(1980) permite realizar inferencias más precisas respecto a la productividad, pero en general adolece del problema de falta de información adecuada y confiable para su estimación.

La última metodología presentada es menos restrictiva que aquella considerada por Kendrick (1961) dado que no impone restricciones a priori en los parámetros.

Sin embargo, asume una estructura lineal que no necesariamente representa adecuadamente el verdadero proceso productivo de la industria de transporte (es claro que una función CES puede ser tanto o más adecuada), no permite obtener la fuente precisa de la variación en la productividad, y no permite consistencia teórica en el análisis como es el caso de las formulaciones translogarítmicas.

Aun así, la incorporación de características operacionales permite de algún modo captar fuentes de variaciones y obtener una visión simplificado, aproximada y rápida, de las variaciones en la productividad.

REFERENCIAS

ARROW, K. J. CHENERY, H.B. MINHAS, B.S. y SOLOW, R.M. (1961). Capital Labor Substitution y Economic Efficiency. The Review of Economics and Statistics. Agosto ,225-250.

CAVES, D. W., CHRISTENSEN, L.R. y SWANSON, J. (1980). Productivity Growth in the U.S. Railroads. Bell Journal of Economics. Vol. Nº 11, Nº 1, 166-81.

CAVES, D.W., CHRISTENSEN, L, R. y SWANSON, J. (1981). Productivity Growth, Scale Economies and Capacity Utilization in U.S. Railroads: 1955-1974. American Economic Review 71, Nº 5, 994-1002.

CHRISTENSEN, L.R. ,JORGENSON, D.W. y LAU, L.J. (1973) Transcendental Logarithmic Production Frontiers. Review of Economics and Statistics. Febrero, 28-45.

COBB, C.B. y DOUGLAS, P.H. (1934). The Theory of Wages. MacMillan Company, Nueva York.

DENISON, R. (1967). The Sources of Economic Growth in the U.S. and the Alternatives Before us. The Brooking Institution, Nueva York.

DONOSO, P. (1986). Productivity Growth in the U.S. Freight Transportation Industry:1973-1984. MSc. Thesis, Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology.

FRIEDLAENDER, A.F. y SPADY, R. H.(1981). Freight Transport Regulation. The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

FRIEDLAENDER, A.F. y WANG CHIANG, S.J. (1983). Productivity Growth in the Regulated Trucking Industry. Res. Transp. Economics, No. 1, 149-84.

FRIEDLAENDER, A.F. y SCHUR B.S. (1985). Augmentation Effects and Technical Change in the Regulated Trucking Industry, 1974-1979. Analytical Studies in Transport Economics. Editado por A.F. Daughety, Cambridge University Press.

KENDRICK, J.W. (1961). Productivity Trends in the U.S.. Princeton University Press, Princeton.

SHEPERD, R.W. (1953). Cost and Production Functions. Princeton University Press, Princeton.

SOLOW, R.M. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. Review of Economics and Statistics., Agosto, 312-320.

VARIAN, H.R. (1978) Microeconomic Analysis. Norton Press, Nueva York.