



*Instituto de Investigaciones Socio Económicas*

Documento de Trabajo No. 02/07  
Febrero 2007

**Modelos de Eficiencia Económica:  
El Transporte Ferroviario**

*por:*  
*Jorge G.M. Leitón Quiroga*

## **Modelos de Eficiencia Económica: El Transporte Ferroviario**

Por: Jorge G.M Leiton Quiroga\*

### **Resumen**

En este estudio se realiza una aplicación empírica de los modelos de eficiencia económica tradicionalmente utilizados. Se desarrolla una exposición comparativa de los siguientes modelos de eficiencia económica: Análisis de Envoltura de Datos (DEA), Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios Corregidos (COLS), Análisis Estocástico de Frontera (SFA). En el caso particular del transporte ferroviario en Bolivia, se recomienda el uso de la combinación de los resultados de los modelos DEA y COLS, debido a que se encontró que las funciones de costos –por ejemplo los costos de mantenimiento- de este tipo de servicio son inflexibles ante perturbaciones estocásticas. Finalmente, se debe resaltar algunas de las limitaciones en la aplicación empírica de los modelos de eficiencia económica; directamente relacionadas a la calidad y periodicidad de la información disponible y la imposibilidad de observar directamente los efectos de las innovaciones tecnológicas que pudiera sufrir algún operador de servicios ferroviarios.

### **Abstract**

The research applies the traditional economic efficiency models to a particular case study in Bolivia. The research develops around the results of the following economic efficiency models: Data Envelop Analysis (DEA), Corrected Ordinary Least Squares (COLS), Stochastic Frontier Analysis (SFA). Therefore, the results for the Railway's System in Bolivia shows that the DEA and COLS models are more suitable for the type of data used which is based on costs functions –i.e. maintenance costs- that are rigid to stochastic perturbations. Finally, among the research findings, there are constraints to empirically use these models due to the data quality and periodicity, also the models do not allow to arise results from current technological innovations within the Railway's System in Bolivia.

---

\* Jefe de Investigaciones del IISEC - Universidad Católica Boliviana 'San Pablo'  
El autor agradece a dos referees anónimos. Todos los comentarios, errores y omisiones son de entera responsabilidad del autor.

## **1. Introducción**

El presente estudio tiene como objetivo realizar una comparación de los métodos de medición de la eficiencia económica en el caso específico de transporte ferroviario de carga y pasajeros, aplicado al caso boliviano. La investigación se realiza en torno a modelos de eficiencia económica con características paramétricas y no paramétricas, que permiten distinguir los diferentes supuestos teóricos que fundamentan el uso de uno u otro instrumento.

En efecto, se realiza una distinción entre modelos de optimización y modelos estocásticos. En este estudio comparativo se desarrollan los siguientes modelos de eficiencia económica: Análisis de Envoltura de Datos, Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios Corregidos, Análisis Estocástico de Frontera.

La información relevante fue obtenida de la Superintendencia de Transportes de Bolivia y se realizaron diferentes entrevistas con los operadores ferroviarios en el país de manera que se puedan obtener resultados acordes tanto a las necesidades de regulación por un lado, como a las necesidades operativas de las empresas que ofrecen este servicio.

Los datos estadísticos utilizados corresponden a un trayecto ferroviario de importancia en el país, pero se mantiene la confidencialidad y anonimato de la empresa estudiada a pedido explícito de las fuentes de información.

El documento de investigación sigue el siguiente orden. En la segunda sección se exponen las características de transporte ferroviario, en la tercera parte se presentan los modelos de eficiencia económica y posteriormente los resultados de la aplicación de dichos modelos. Finalmente se presentan las conclusiones.

## **2. Características del transporte ferroviario**

### **2.1. Operaciones**

Un estudio de eficiencia económica del transporte ferroviario debe tomar en cuenta las características propias del sector para poder ser replicadas en los modelos microeconómicos convencionales de manera tal que se pueda realizar un contraste de la teoría con la evidencia empírica; todo esto con el fin último de diseñar políticas que favorezcan a la industria y a la competitividad de los mercados.

Primeramente, realicemos un ejercicio simple. Para trasladar una cierta carga o un tren de pasajeros de un punto a otro, implica contar con una locomotora y un número de vagones o coches con una determinada capacidad. Para que ese tren de carga llegue a destino habrán intervenido varios factores como ser: Personal de conducción y control de tráfico; personal de atención a la carga y descarga; y despacho o recepción del convoy.

Se requerirá suministrar combustible y lubricantes a la locomotora y vagones para una operación sin inconvenientes. La infraestructura y la vía por donde se efectuará el transporte deberán estar en condiciones técnicas óptimas como para que no se produzcan accidentes y no se interrumpa el traslado por razón imputable al operador. Ello implica sin duda personal dedicado al mantenimiento ordinario de la infraestructura y de los sistemas de señalización y comunicaciones y por ciertos gastos en inversiones, reparaciones y otros.

Para que esa locomotora y esos vagones estén en condiciones óptimas de traslado, deberán haber sido adecuadamente mantenidas y reparadas con revisiones antes y después de cada traslado, implicando tanto personal como gastos en reparaciones y mantenimiento.

Dentro de esos ámbitos mencionados es importante para el estudio determinar los centros de costos más relevantes y directos muchos de ellos se consideran como costos variables y algunos otros como costos fijos.

Los costos indirectos están asociados a la administración global de la empresa que sin duda implica gerencia, administración central y gastos comunes a la administración general.

## 2.2. Productos e insumos

Una operación de transporte ferroviario implica el arrastre de un convoy que se compone de vagones de carga, los mismos que pueden ser tipo plataforma, jaulas, bodegas, tanques, tolvas, coches de pasajeros u otros por medio de una locomotora. También están los automotores que tienen la unidad de arrastre incorporada tales como los ferrobuses o los coches motores o autocarriles como se los denomina en el país.

Dichos vehículos tienen un cierto peso o “tara” que de por sí es cuantioso y dependiendo del tipo, asciende a un promedio de 20 o 30 toneladas. Tenemos entonces dos tipos de producto adicional, la Cantidad Bruta de Transporte y la Cantidad Neta de Transporte. Ambas unidades son importantes al momento de utilizarlas como medios de medición y control de las operaciones.

Una locomotora por tanto, debe tener la capacidad de arrastrar un cierto número de vagones o coches más la carga respectiva. Dependiendo de la topografía y la cantidad de vagones del convoy, muchas veces se observa que hay trenes conformados por dos locomotoras.

Como ya se ha adelantado, los productos de la industria ferroviaria son cantidades de transporte representadas para carga en Toneladas Transportadas u otra unidad que puede ser de volumen en caso que se trate de líquidos o gases.; en caso de pasajeros obviamente la cantidad de pasajeros es la unidad relevante.

Para efectos de la administración de operaciones ferroviarias y también para los del presente estudio, es fundamental trasladar esas cantidades de transporte a unidades referenciadas con la distancia recorrida.

Por tanto, las unidades fundamentales para las operaciones ferroviarias son: Toneladas –Kilómetro Transportadas lo cual implica, independientemente del producto, la cantidad de toneladas transportadas multiplicada por la cantidad de kilómetros recorridos en un lapso determinado de tiempo.

De la misma manera, la cantidad de pasajeros transportados por los kilómetros recorridos produce el direccionador denominado Pasajeros – Kilómetro.

Mientras los productos mencionados son identificables y medibles con relativa facilidad ya sea por parte de los operadores como por parte del regulador, los insumos para producir los mismos no lo son y por ello la determinación de un modelo óptimo, predecible y confiable es fundamental. En general, los gastos en los que incide un operador ferroviario son compartidos por los diferentes servicios que se prestan, sobre todo aquellos que comparten vía, servicios comunes de atención de tráfico, mantenimiento de la infraestructura, y otros varios. Sin duda existen gastos que son directamente imputables a los diferentes servicios lo cual facilita el control para los operadores.

Los insumos por su lado pueden resumirse en unidades acostumbradas como Locomotoras – Kilómetro, que en última instancia implica inversión, gastos en combustibles y lubricantes y en mantenimiento y reparaciones al equipo y en personal.

Por otra parte estarán los vehículos empleados en la operación cuya unidad podrá ser: Vagones-Kilómetro, Coches de Pasajeros-Kilómetro o Coches Motor-Kilómetro, implicando de la misma manera que para su utilización se han efectuado gastos en mantenimiento y reparación.

A su vez, ambas unidades (Locomotoras-Km. y Vehículos-Km.) cualquiera que fuesen estos últimos, implica que han efectuado un cierto número de corridas por la infraestructura y vías disponibles que afectarán de una cierta forma a la necesidad de mantener, reponer o reparar la vía y la infraestructura conexas.

En muchos de los casos se ha observado que se utiliza la unidad “trenes corridos” o “corridas” implicando ello un convoy de carga o pasajeros que a veces pueden ser mixtos inclusive. Esto último en términos referenciales puede ser útil, pero si no se precisa el número de vehículos envueltos, si son mixtos o no, e inclusive el número de locomotoras no parece una medida adecuada para el subsiguiente prorrateo de los costos.

### **3. Enfoque teórico de los modelos de eficiencia económica**

#### **3.1 Evaluación de la eficiencia**

Como ha sucedido en la mayoría de los países de la región, en las últimas dos décadas, se efectuaron cambios fundamentales en los servicios ferroviarios. Solamente durante la década de 1990, 44 empresas en 16 países fueron privatizadas o concesionadas de diversa manera. Sin lugar a dudas, esos cambios introdujeron otros tantos en materia de estructura, organización, propiedad, regulación y otros fenómenos que no se presentaban en las épocas donde los ferrocarriles eran de propiedad estatal.

Bolivia, no escapó a esos cambios y tal como se resumió, la transferencia a manos privadas de parte de la empresa operadora sin haber transferido la propiedad de la infraestructura, pero teniendo cada operador el control total de esta última, sin duda presenta condiciones absolutamente particulares y diferentes a las que se presentaron en los países vecinos. En nuestro caso, pese a que la propiedad de la infraestructura (áreas operativas) no se ha transferido, cada operador tiene dominio de la integración vertical operativa, sumado al mecanismo social adicional en referencia a los beneficiarios del 50 % de las acciones de cada uno de los operadores.

Independientemente del tipo de reforma en cada país, en muchos de ellos el propósito principal era la búsqueda de mejoras en el desempeño técnico y financiero de los ferrocarriles. Como un resultado agregado a estos aspectos, ha aparecido el interés adicional de comparar el desempeño de los distintos operadores como una forma de juzgar la eficiencia gerencial entre ellos.

#### **3.2 Eficiencia económica y su medición**

Como se conoce, el término de eficiencia económica se refiere a la comparación entre valores reales u observados de producto (s) e insumo (s) con los valores óptimos de insumo (s) y producto(s) utilizados en un proceso particular de producción<sup>1</sup>. Adicionalmente, se pueden distinguir tres tipos de eficiencia dependiendo de los valores óptimos y de la inserción de la

---

<sup>1</sup> Lovel (1999).

eficiencia en el modelo teórico de la teoría de la producción: la eficiencia técnica, la eficiencia asignativa y la eficiencia de escala.

En cualquier ámbito, las empresas pueden, dado cierto conjunto de insumos, obtener determinados niveles de producto pero otros niveles no son alcanzables. De la misma manera, dado un cierto nivel de producto, para alcanzarlo, pueden servir algunas combinaciones de insumos, otras no. Precisamente, a la relación entre insumos y productos, se puede denominar “tecnología”. La eficiencia técnica se alcanza cuando se produce en la frontera de producción. Una de las formas en las que se puede demostrar la tecnología es precisamente a través de la *Función de Producción* o *Frontera de Posibilidades de Producción*

Si los valores óptimos se basan en la selección o mezcla de insumos en una forma tal que un nivel de producto se alcanza al menor costo posible dado un cierto nivel de precios de insumos, entonces la eficiencia se refiere a “asignativa”

Para explicar la eficiencia económica es necesario apoyarse en las herramientas matemáticas para poder entender cual es la metodología utilizada. Veamos un ejemplo sencillo: sea un operador que produce un único bien, cuya cantidad la denominaremos  $y$ ; para lo cual emplea  $n$  insumos  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$

La transformación eficiente de esos insumos en productos puede ser caracterizada a través de la función de producción  $f(x)$ , que muestra el máximo resultado que se puede obtener dada determinada disponibilidad de insumos.

Supongamos que la empresa (operador) tiene un plan de producción  $(x^0, y^0)$ . Si se cumple que:

$$y^0 = f(x^0),$$

entonces podremos decir que el plan de producción es técnicamente eficiente.

Si:  $y^0 < f(x^0)$ ,

entonces es técnicamente ineficiente. Asumimos que:  $y^0 > f(x^0)$  no existe en ningún caso.

La relación:  $0 < y^0 / f(x^0) \leq 1$ , daría una medida de la eficiencia técnica del plan mencionado. La eficiencia técnica por tanto se puede atribuir al uso excesivo de insumos (en exceso a lo estrictamente necesario según la tecnología disponible), lo cual conduciría a mayores costos. Un plan de producción cualquiera, puede ser técnicamente eficiente, pero ello no significa que sea económicamente eficiente. Por tanto la eficiencia técnica es solo parte del problema.

El otro componente importante de la eficiencia económica por tanto es la eficiencia asignativa. Veamos por ejemplo, que el operador mencionado toma su decisión de producción (es decir, elige dentro de los muchos posibles, un cierto plan de producción) a partir de resolver un aspecto de optimización, podría minimizar costos o maximizar beneficios. De hecho, cuando se busca maximizar beneficios, implícitamente se está minimizando costos. La ineficiencia asignativa ocurre cuando los insumos se utilizan en proporciones incorrectas, lo que también genera mayores costos.

Por tanto, un plan puede ser técnicamente y asignativamente eficiente y con todo, no ser económicamente eficiente.

En ese sentido, debemos buscar la eficiencia de escala para poder tener un análisis completo de la eficiencia económica. Las condiciones examinadas hasta el momento, no

garantizan que el operador maximice beneficios. La solución de la maximización de beneficios implica que se cumplan las siguientes condiciones:

$f_i(x^0) / f_j(x^0) = \text{precio}$  para todo  $i$  diferente de  $j$  que pertenecen al conjunto de insumos, en cuyo caso decimos que el plan es eficiente en escala.

Se debe tomar en cuenta, que además de que no todas las empresas son eficientes, y que adicionalmente no todos los operadores maximizan sus beneficios, pueden ser otros los objetivos y más aún algunas restricciones contractuales en algunos casos o simples estrategias corporativas de supervivencia en el sistema, por ejemplo cuando se llega a los aspectos relacionados con el transporte de pasajeros, que en algunas oportunidades no necesariamente son rentables como servicio aislado. En ese sentido, solamente nos referiremos a Eficiencia Económica entendiendo por tal aquella eficiencia agregada que incluye las demás explicadas anteriormente<sup>2</sup>.

### 3.3 Ventajas y desventajas de los modelos de eficiencia económica.

#### *Enfoque no-paramétrico*

Es denominado así, ya que no es necesario estimar alguna función paramétrica, por tanto, no requiere la definición de una forma funcional específica para la tecnología. Este método de medida de la eficiencia es un enfoque de programación matemática referido habitualmente al Análisis de Envoltura de Datos o DEA, del inglés Data Envelope Analysis. El DEA utiliza métodos de programación lineal para estimar la frontera de posibilidades de producción adecuando *piezas o hiper-planos* para envolver un grupo de datos observado conformado por los insumos y los productos. La medición de la eficiencia es obtenida estimando la distancia de las observaciones relativas a la superficie envuelta. La mayor ventaja de esta técnica en la estimación de la eficiencia económica es que no requiere precios de los insumos ni de los productos. Más aún, esta técnica nos permite considerar casos multi-insumo y multi-producto. Muchos servicios públicos como los ferroviarios han sido estudiados desde este enfoque para estimar su eficiencia económica, pero como no consideraban las múltiples variables exógenas, tal el caso de las huelgas en pueblos a lo largo de la línea férrea, o problemas de suministro o consolidación de carga, dichos efectos se analizaron en una segunda fase con modelos econométricos a través de regresiones Tobit. Este método es conocido como DEA en dos etapas.

#### *Enfoque paramétrico*

Para la estimación de la eficiencia aplicando este enfoque, es necesario estimar la relación entre insumos y productos utilizando técnicas estadísticas. Ello implica asumir una forma funcional particular para la función frontera.

Adicionalmente, se debe incluir un término de error para cuantificar la ineficiencia técnica en la función frontera. La forma más simple es la Función de Producción Cobb-Douglas a la que se le puede introducir transformaciones matemáticas para poder reflejar de

---

<sup>2</sup> A lo largo de los métodos de simulación expuestos más adelante se debe observar que se realizan tomando en cuenta la Frontera de Posibilidades de Producción, Rendimientos a Escala y Minimización de Costos, por tanto se contempla implícitamente la eficiencia técnica, asignativa y de escala en todo el análisis.

mejor manera los resultados y/o poder utilizar una gama mas rica de datos. Últimamente se ha estado utilizando formas *Translogaritmicas* para estimar la eficiencia económica.

El enfoque paramétrico puede representar un modelo determinístico o un modelo estocástico. Los modelos paramétricos mezclan variaciones aleatorias dentro del término eficiencia. Por tanto, toda desviación de la función frontera se la toma como ineficiencia técnica.

Varias técnicas econométricas se pueden aplicar para la estimación de modelos de frontera determinístico paramétricos. Las técnicas más comunes son: Mínimos Cuadrados Ordinarios Corregidos (COLS), Mínimos Cuadrados Ordinarios Modificados o Desplazados (MOLS) y Estimación por Máximo de Verosimilitud (MLE).

Por otro lado, se debe tomar en cuenta que los modelos estocásticos no solamente reconocen la ineficiencia, ello implica desviaciones de la función frontera, sino, estos modelos reconocen que no todas las desviaciones se deben al productor. En otras palabras, las desviaciones de la frontera se deben a la ineficiencia y a otras variables que no están bajo el control del operador, tales como la medición de los errores, el clima, las huelgas, mala suerte, etc. Por lo tanto, los modelos estocásticos permiten la distinción entre la contribución de la ineficiencia técnica<sup>3</sup>. En la Tabla 1 se presenta un resumen de las ventajas y desventajas de los diferentes enfoques y técnicas para medir la eficiencia técnica.

Se observa que la diferencia entre el enfoque paramétrico y no-paramétrico está en la forma en que la tecnología o la función de frontera se construye y en la forma en que se estima la eficiencia.

Mientras que en el enfoque paramétrico es necesario especificar una forma particular funcional para describir la tecnología, o sea la frontera de eficiencia, no lo es en el enfoque no-paramétrico. Por lo tanto, el enfoque no-paramétrico es menos sensible a la especificación de errores. Ello representa una de las ventajas de ese enfoque. La otra ventaja es que no se requieren precios de mercado de insumos y productos para la estimación de la eficiencia económica.

En el caso del enfoque paramétrico era necesario tener datos de precios en la estimación de una función de frontera de costos, pero se ha trabajado sobre la elaboración de una forma funcional especial denominada *Función Insumo-Distancia*.

En el caso del enfoque no-paramétrico, no es posible examinar si la eficiencia económica es estadísticamente significativa o examinar las hipótesis sobre la significación de la inclusión de insumos o productos. Dichas hipótesis pueden solamente ser examinadas cuando la estimación de la ineficiencia se lleva a cabo usando técnicas estadísticas paramétricas.

La selección del enfoque dependerá entonces de la disponibilidad de información, su cantidad y calidad, del ambiente operativo donde se desenvuelve la industria y en los cuales las unidades de toma de decisiones de los operadores están envueltas, las características de la industria en general y particularmente en Bolivia.

---

<sup>3</sup> En el caso del término de ineficiencia, se han asumido varias opciones sobre la distribución de esa variable aleatoria tales como la media normal, la normal truncada, exponencial o de distribución gamma. Ver Rivera-Trujillo (2000).

Tabla 1

Enfoque	Modelo	Técnica	Descripción	Supuestos
<b>PARAMETRICO:</b> Es necesario especificar una forma particular de función (Cobb-Douglas, CES, etc.) para la tecnología (Frontera de eficiencia)	<b>DETERMINISTICO:</b> Todas las desviaciones de la frontera de eficiencia se asume que se deben a la ineficiencia técnica. Las medidas de error y factores aleatorios se los toma como ineficiencia	1.- Mínimos Cuadrados Ordinarios Corregidos (COLS)	Estima los parámetros de frontera de eficiencia mediante mínimos cuadrados ordinarios y corrige la desviación hacia abajo en la intersección de los MC cambiándola hacia arriba hasta que todos los residuos corregidos sean no positivos y	No efectúa supuesto alguno en cuanto a la forma funcional del componente de eficiencia (término de error)
		2.- Mínimos Cuadrados Ordinarios Modificados o Desplazados (MOLS)	Estima los parámetros de tecnología mediante mínimos cuadrados ordinarios y modifica la intersección de los MC estimados cambiando hacia arriba menos la media estimada componente de eficiencia (término de disturbancia) que se extrae de los momentos de los MC residuales	Efectúa supuestos en cuanto a la forma funcional del componente de eficiencia (término de error). La más común es la distribución normal y la distribución exponencial
		3.- Estimación por Máximo de Verosimilitud (MLE)	Estima una frontera de MLE que envuelve todas las observaciones y los residuos del MLE se insertan en la ecuación de tecnología	Efectúa supuestos en cuanto a la forma funcional del componente de eficiencia. La más común es la distribución normal y la distribución exponencial
	<b>ESTOCASTICO:</b> Distingue y separa entre ineficiencia técnica y ruido estadístico como posibles desviaciones de la frontera de eficiencia	1.- Mínimos Cuadrados Ordinarios Modificados o Desplazados (MOLS)	Los residuos que contienen la ineficiencia y el ruido son separados	Asume que la variable aleatoria que representa el ruido estadístico es idd, normal, con media cero, y varianza constante. La distribución media normal es la más utilizada.
		2.- Probabilidad máxima (MLE)	Los residuos que contienen la ineficiencia y el ruido son separados	Asume que la variable aleatoria que representa el ruido estadístico es idd, normal, con media cero, y varianza constante. La distribución media normal es la más utilizada
	<b>NO-PARAMETRICO:</b> No es necesario especificar una función particular para describir la tecnología o la frontera de eficiencia	<b>Análisis de Envoltura de Datos (DEA):</b> Utiliza una secuencia de programación lineal, una para cada observación para construir pieza por pieza una función frontera lineal de producción. No permite interferencia estadística. Considera las medidas de error y los shocks aleatorios como ineficiencia.	1.- Retorno Constante a Escala (CCR)	La eficiencia técnica puede estimarse utilizando una orientación de insumo u orientación de producto
2.- Retorno Variable a Escala (BCC)			La estimación de la eficiencia técnica usando orientación de insumo o de producto da resultados diferentes debido a la consideración del retorno variable a escala	Asume convexidad en la frontera de posibilidades de producción y la variable vuelve a escala
3.- Modelo Aditivo DEA			Puede trabajar con excesos de insumos y con falta de productos simultáneamente	Asume convexidad en la frontera de posibilidad de producción y la variable vuelve a escala

FUENTE: Coelli & Batesse (1999)

### 3.4 Selección del enfoque

Dado que no todos los operadores ferroviarios están en la frontera de posibilidades de producción, significando que no todos son eficientes, el enfoque de frontera deberá ser utilizado para tomar en cuenta la ineficiencia en el proceso de producción, en nuestro caso en el suministro de transporte de servicios ferroviarios. Es más, en la industria ferroviaria, se producen al menos dos tipos diferentes de productos o servicios que se derivan del transporte de pasajeros o de carga. (Por ejemplo Trenes- Kilómetro de pasajeros, o bien, Pasajeros-Kilómetro, Toneladas-Kilómetro, etc.).

Los estudios iniciales de eficiencia en ferrocarriles que aplicaron una función de producción, se aplicaron con un índice de producto agregado. Comúnmente se usaba la Unidad de Tráfico<sup>4</sup> agregando Pasajeros-Km con Toneladas-Km como un producto único. Sin embargo, esa agregación practicada, solamente podría darse si el costo de producir esos

<sup>4</sup> En los estudios de costos de la Superintendencia de Transporte de Bolivia, la unidad de Tráfico corresponde a Toneladas Kilómetro Brutas

productos individuales fuera similar. Por otro lado, hablando estrictamente, los productos de transporte ferroviario no son lo suficientemente homogéneos como para integrarlos en un solo índice de producto.

En realidad, diferentes tipos de tráfico (pasajeros y carga) necesitan diferentes requerimientos de insumos. Más aún, la integración de esos productos puede ser distorsionada por otras características económicas de esta industria de transporte particular como es la ferroviaria como son los costos asociados entre los productos.

Adicionalmente, con la integración de los productos, no es posible medir las ventajas de la especialización en el comportamiento productivo de los operadores ferroviarios, más aún a sabiendas que todas las conclusiones de trabajos previos en Bolivia dieron como resultado que el servicio de pasajeros ha venido siendo subvencionado por el servicio de carga.

Por lo tanto, es conveniente aplicar el enfoque de frontera que acomoda múltiples productos. Dadas esas características y en base a las comparaciones de los diferentes enfoques y técnicas disponibles descritas anteriormente, se pueden aplicar tres métodos para dar mayor robustez a los resultados individuales de cada modelo:

- Análisis Estocástico de Frontera, SFA (Paramétrico)
- Análisis de Mínimos Cuadrados Corregidos, COLS (Paramétrico)
- Análisis de Envoltura de Datos, DEA (No-Paramétrico).

Existe una limitación adicional para aplicar los enfoques mencionados ya que se exige el supuesto de la minimización de costos como señal de comportamiento del operador. Pese a que el operador es una sociedad anónima configurada así desde la capitalización, no ha perdido del todo su carácter social, más aún el servicio de pasajeros y sobre todo en los tramos monopólicos.

Se observa asimismo, que una vez que el regulador ha impuesto obligaciones adicionales a la Empresa Ferroviaria en términos de calidad, llámense, 'Estándares Técnicos' para mejorar los servicios en cuestión de descarrilamientos, atrasos, servicios de calidad mínimos, etc., se asume que el operador no tiende a minimizar costos a expensas de la calidad de los servicios.

Todo ello nos hace dirigir la elección al enfoque de distancia, porque no impone restricciones asumiendo un determinado comportamiento de los operadores y no requiere información de precios.

### 3.5 Modelos de Eficiencia Económica.

En este capítulo se presentan tres enfoques para el estudio de la eficiencia. Los modelos susceptibles a utilizarse corresponden al enfoque paramétrico y no-paramétrico. A continuación se presentan los modelos de: Análisis de Envoltura de Datos (DEA), Modelo Estocástico de Frontera (SFA) y Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios Corregidos (COLS).

#### 3.5.1 *Enfoque no-paramétrico: modelo de análisis de envoltura de datos (Data Envelope Analysis-DEA)*

El Modelo de Envoltura de Datos (DEA), es una técnica no-paramétrica para evaluar la eficiencia de las empresas a través de simulaciones de las Fronteras de Posibilidades de Producción de distintas empresas.

Este método fue desarrollado por primera vez por Charnes, Cooper y Rodees (1978). Y se basaron exclusivamente en técnicas de programación lineal. Matemáticamente se puede expresar el método DEA de la siguiente manera:

$$\text{Maximizaci3n : } h_0 = \frac{\sum_{m=1}^M u_m Y_{m0}}{\sum_{k=1}^K v_k X_{k0}}$$

$$\text{Sujeto : } a : \frac{\sum_{m=1}^M u_m Y_{mj}}{\sum_{k=1}^K v_k X_{kj}} \leq 1 \text{ Donde : } j = 1, 2, \dots, n; u_m, v_k \geq 0,$$

Donde:  $h_0$  denota el valor de eficiencia calculado para cada Unidad de Decisi3n (Decision Making Unit-DMU), los valores correspondientes a  $Y_{mj}$  y  $X_{kj}$  son los productos e insumos para cada DMU. Los valores correspondientes a  $u_m$ ,  $v_k$  corresponden a las proporciones de los insumos y productos a ser determinados, mismos que se asumen son no negativos<sup>5</sup> (Esta es la soluci3n de programaci3n lineal que se utilizará en la secci3n siguiente).

En esta forma de calculo de la eficiencia es importante notar que la raz3n que muestra los resultados del análisis DEA encuentra una raz3n máxima para las proporciones correspondientes a los insumos y productos, de la misma manera el software Efficiency Measurement System (EMS) propone una soluci3n virtual cuando no existen los pesos específicos para los insumos y productos. Todo ello sujeto bajo la restricci3n de que todas las razones calculadas, o también llamados valores de eficiencia, son iguales o menores a la unidad. Sin embargo, en la práctica la mayoría de los paquetes computacionales utilizan la forma lineal de programaci3n ya que de esa manera se incluyen menos restricciones que facilitan el cálculo de la eficiencia.

El programa computacional evalúa la eficiencia a través de la contracci3n al máximo del radio para los vectores de los insumos para cada DMU pero manteniendo el conjunto de insumos bajo un comportamiento y niveles de producci3n objetivos. Todas aquellas empresas que se encuentran en la frontera del conjunto posible de insumos (para quienes una mayor contracci3n no es posible) son consideradas eficientes, y obtienen un valor de uno<sup>6</sup>.

### 3.5.2 Especificaci3n del Modelo DEA

Los modelos DEA analizados en este capítulo, se muestran en la Tabla 2. La selecci3n de las variables insumo y producto esta en estrecha relaci3n con el modelo estocástico de frontera, de manera que se pueda tener una comparaci3n de los modelos paramétricos y no paramétricos validando con mayor robustez los resultados encontrados.

<sup>5</sup> Ver Charnes, Cooper y Rhodes (1978), Charnes y Cooper (1985).

<sup>6</sup> Ver Holger Scheel (2000).

**Tabla 2**

	DEA 1	DEA 2	DEA 3	DEA 4
<b>Insumos</b>	Costos de Mantenimiento	Costos de Mantenimiento	Costos Totales	
<b>Productos</b>	Pax-Km. Ton-Km. Distancia	Pax-Km. Ton-Km. Distancia	Pax-Km. Ton-Km. Distancia	Pax-Km. Ton-Km. Distancia

Donde:

- Pax-Km: Pasajeros-Kilómetro
- Ton-Km: Carga-Tonelada-Kilómetro
- Pax-Ton-Km: Pasajero-Tonelada-Kilómetro
- Distancia: Longitud de la línea férrea

### 3.5.3 Enfoques Paramétricos: Modelo Estocástico de Frontera (SFA) y Mínimos Cuadrados Ordinarios Corregidos (COLS)

En el análisis paramétrico de la eficiencia, se debe realizar una decisión respecto a la función frontera de posibilidades de producción que deberá utilizarse a lo largo de los modelos utilizados.

Se seguirá el enfoque propuesto por Coelli y Perelman (1999) y se estimará una función Insumo-Distancia. Los mencionados autores encontraron que la estimación mediante el uso de variables Insumo-Distancia ofrece una manera muy conveniente para manejar múltiples insumos y productos sin la necesidad de imponer supuestos de comportamiento restrictivos. Ellos aplicaron estos métodos para el estudio de diecisiete ferrocarriles en Europa para el período 1988-1993. Coelli y Perelman (1999) definen una Función Insumo-Distancia (translogarítmica) para M productos y K insumos:

$$\ln D_{li} = \alpha_0 + \sum_{m=1}^M \alpha_m \ln y_{mi} + \frac{1}{2} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^M \alpha_{mn} \ln y_{mi} \ln y_{ni} + \sum_{k=1}^K \beta_k \ln x_{ki} + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^K \beta_{kl} \ln x_{ki} \ln x_{li} + \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M \delta_{km} \ln x_{ki} \ln y_{mi}$$

$i = 1, 2, \dots, N$

Donde:

- 'i' denota la firma i-esima en la muestra
- $y_i$ ;  $x_i$  son los M-Productos y K-Insumos respectivamente
- $D_{li}$  representa la función Insumo-Distancia
- $\alpha, \beta, \delta$ , son los parámetros a ser estimados.

El enfoque de Insumo-Distancia puede definirse desde dos orientaciones. La primera enfoca el máximo nivel de producto que puede ser alcanzado dado un cierto nivel de insumos y la tecnología de producción. (enfoque orientado al producto). El segundo enfoque apunta al mínimo nivel de insumo que puede ser utilizado para producir un determinado nivel de producto bajo la tecnología de producción de referencia. (enfoque orientado al insumo) Dado

que la mayoría de las empresas ferroviarias y no es distinto para los operadores nacionales, están orientadas a tener mayor control sobre los insumos que en los productos, es más apropiado aplicar el enfoque orientado al insumo. En otras palabras, las cantidades de insumos son variables endógenas mientras que las de los productos son consideradas como exógenas.

Coelli y Perelman (1999) imponen el supuesto de homogeneidad de grado uno en los insumos convirtiendo la ecuación anterior en:

$$\ln(D_{li} / x_{Ki}) = TL(y_i, x_i / x_{Ki}, \alpha, \beta, \delta)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Donde TL representa la función translogarítmica. Reordenando términos se obtiene la siguiente función:

$$-\ln(x_{Ki}) = TL(x_i / x_{Ki}, y_i, \alpha, \beta, \delta) - \ln(D_{li})$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Esta última ecuación muestra el logaritmo del K-ésimo insumo como función de los productos, y las razones de otros insumos (comparado con el k-ésimo insumo). El término  $\ln(D_{li})$  se puede interpretar como el término de ineficiencia técnica.

La última ecuación se puede estimar a través del método COLS o bien SFA. El método COLS fue desarrollado por Greene (1980), y estima la ecuación anterior utilizando Mínimos Cuadrados Ordinarios, y después realiza un ajuste a través del término constante sumándole el residuo más grande positivo. El método COLS no admite ruido en los residuos y asume que todas las desviaciones de la frontera son el resultado de la ineficiencia (modelo determinístico). Para subsanar este problema, se aplica también el método SFA desarrollado por Aigner, Lovell y Schmidt (1977) y por Meeusen y van den Broeck (1977). El método SFA introduce un error estocástico ( $v_i$ ) adicional al modelo determinístico de frontera representado por la ecuación anterior. El cambio introducido se halla a continuación:

$$-\ln(x_{Ki}) = TL(x_i / x_{Ki}, y_i, \alpha, \beta, \delta) + v_i - u_i$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Donde el término  $v_i$  representa el ruido estocástico y se asume que es independiente e idénticamente distribuido como  $N(0, \sigma_v^2)$ . La notación donde  $\ln(D_{li})$  ha cambiado a  $u_i$ , donde  $u_i$  representa la ineficiencia y por lo tanto está restringido a ser no negativo. El término  $u_i$  está idéntica e independientemente distribuido  $N(0, \sigma_u^2)$ , es independiente de  $v_i$  y generalmente se supone una distribución mitad-normal.

El enfoque SFA aplica estimaciones de máximo de verosimilitud, y calcula los coeficientes de eficiencia a través de los residuos utilizando una técnica desarrollada por Jondrow, Lovell, Materov y Schmidt (1982)<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> La técnica SFA es ahora ampliamente utilizada con el apoyo de paquetes computacionales como FRONTIER 4.1.

### 3.5.2.1 Especificación de los Modelos COLS y SFA

Las especificaciones para los modelos paramétricos (Función Insumo-Distancia) presentados a continuación se muestran en la Tabla 3. Estos modelos son y deben ser idénticos para los enfoques de Mínimos Cuadrados Ordinarios Corregidos y Análisis Estocástico de Frontera. Como se advirtió en la sección anterior, el enfoque a seguir en este estudio sigue el enfoque de Coelli y Perelman (1999). Para que estos modelos puedan ser comparables con el enfoque DEA se utilizan las mismas variables y se agregan variables cualitativas tales como:

- Horas de Falla Locomotora
- Descarrilamientos

Estas variables serán introducidas como variables-insumo. El supuesto bajo el cual se desarrollaran los modelos expuestos es el de minimización de los insumos (costos, horas falla locomotora, descarrilamientos), para un nivel de producto determinado exógenamente<sup>8</sup>. El posible *trade-off* entre los costos y la calidad estará directamente reconocida por la función de distancia especificada anteriormente. Se debe notar que estudios previos sobre la eficiencia de ferrocarriles a nivel internacional no pudo ser calculada debido a diferencias en la calidad de los datos y por la dificultad en homogeneizar los datos.

**Tabla 3**

	<b>Modelo 1</b>	<b>Modelo 2</b>	<b>Modelo 3</b>	<b>Modelo 4</b>
<b>Insumos*</b>	CM	CM	CT	CT
<b>Razones-Insumos</b>	FL/CM Des/CM	FL/CM Des/CM	FL/CM Des/CT	FL/CM Des/CT
<b>Productos</b>	Pax-Km- Ton-Km-	Pax-Ton-Km. Ton-Km.	Pax-Km- Ton-Km-	Pax-Ton-Km. Ton-Km.
<b>Otras Variables**</b>	DUMMY	DUMMY	DUMMY	DUMMY

\* Los insumos fueron elegido arbitrariamente como la variable dependiente

\*\* Posibles variables que se introducirían con el objeto de ajuste de los modelos

Donde:

- CM: Costos de Mantenimiento.
- CT: Costos Totales.
- FL/CM: Razón de Fallas de Locomotora como proporción de los Costos de Mantenimiento.
- Des/CM: Razón de Descarrilamientos como proporción de los Costos de Mantenimiento.
- FL/CT: Razón de Fallas de Locomotora como proporción de los Costos Totales.
- Des/CT: Razón de Fallas de Locomotora como proporción de los Costos Totales.
- Pax-Km y Ton-Km como están definidos en el modelo DEA

Las variables PRODUCTO fueron escogidas de una amplia gama de alternativas utilizadas en la industria de los ferrocarriles para el cálculo de eficiencia y productividad. La

<sup>8</sup> Coelli y Perelman (1996) explican que la especificación de la función Insumo-Distancia evita el problema de endogeneidad de los regresores, ya que las razones de los insumos son incluidas como regresores relevantes. Coelli y Perelman argumentan que estos regresores son considerados exógenos, ya que la función de distancia esta definida como las reducciones radiales de todos los insumos, para un nivel dado de productos.

mayoría de los estudios previos incluyen medidas sobre los pasajeros y volúmenes de carga como productos de los ferrocarriles<sup>9</sup>.

Se utilizarán los direccionadores Tonelada-Kilómetro para representar el volumen de tráfico de carga. Para el tráfico de pasajeros se utilizará el direccionador Pasajeros-Kilómetro (Modelos 1 y 3), o bien Pasajeros-Tonelada-Kilómetro (Modelos 2 y 4).

Además, con esta especificación a través de las densidades y la no inclusión de la variable Distancia, se eliminan los posibles problemas de multicolinealidad<sup>10</sup>. Como se expuso anteriormente también se incluiría posibles variables DUMMY para capturar efectos exógenos a la industria o bien coyunturas que impusieron cambios en la ejecución de operaciones de las empresas.

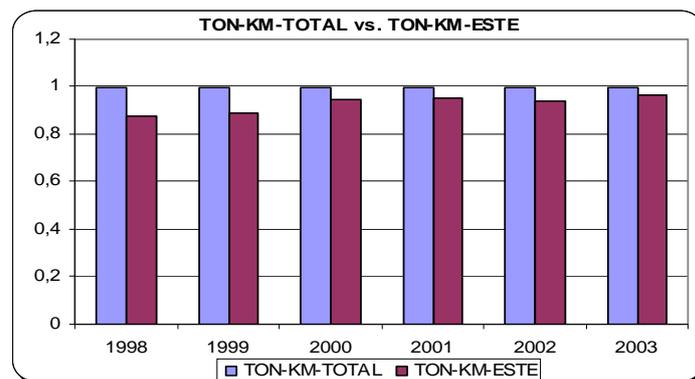
#### 4 Caso de estudio: Transporte Ferroviario en Bolivia

##### 4.5 Hechos Estilizados

En esta parte del estudio se explican ciertas características de las variables que se tomarán en cuenta en los modelos de eficiencia económica propuestos mas adelante. Las variables que se describen en este análisis son: Tonelada-Kilómetro, Pasajero-Kilómetro, Pasajero-Tonelada-Kilómetro, Descarrilamientos en Línea, Fallas de Locomotora en Línea, Costos de Mantenimiento, Costos Totales. Además, se realizan algunas comparaciones para esclarecer el análisis y dar mayor significado al mismo.

En primer lugar, al revisar los datos estadísticos operativos proporcionados por la Superintendencia de Transportes, se aprecia una clara supremacía de las operaciones en el tramo de estudio (Ramal) en función al total de operaciones de la empresa elegida. Este resultado es consistente respecto al volumen de carga y de pasajeros con los que trabajan normalmente.

Figura 1



Elaboración: PROPIA

En ese sentido, la Figura 1 muestra que del total de volumen de carga transportado por la Empresa Ferroviaria<sup>11</sup>, el Ramal elegido supera el 80% del total de operaciones de

<sup>9</sup> Ver Caves, Christensen y Swanson (1980)

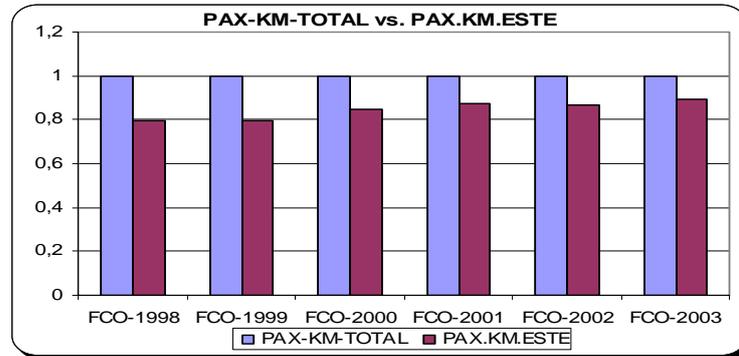
<sup>10</sup> Esto ocurriría al incluir conjuntamente como variables independientes Distancia, Pax-Km y Ton-Km.

<sup>11</sup> El Volumen Total de Carga Transportada por la Empresa Ferroviaria, se refiere a la totalidad de los Ramales en los que realiza operaciones.

carga. Por lo tanto, se entiende la preocupación de la entidad reguladora y del operador al momento de hacer regulación por un lado y de enfocar las inversiones por el otro.

De la misma manera, el componente pasajeros en el Ramal corresponde al menos al 80% del total de operaciones con pasajeros en la empresa (Ver Figura 2).

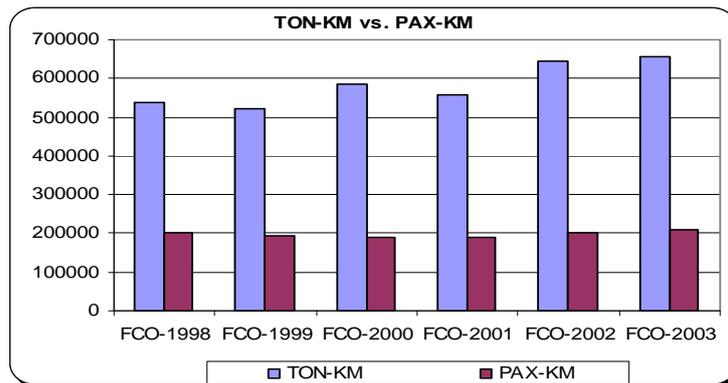
**Figura 2**



FUENTE: Superintendencia de Transportes  
Elaboración: PROPIA

Por consiguiente, al comparar las operaciones de carga versus las operaciones de pasajeros, la Figura 3 muestra que existe una clara inclinación de la empresa hacia el transporte de carga. Esto último sin dejar de lado las fuerzas de la oferta y demanda, convirtiendo a este Ramal en un tramo de elevada productividad debido a su alto componente comercial en sus operaciones. Es decir, si comparamos las unidades de carga por kilómetro con las unidades de pasajero por kilómetro podemos ver que la diferencia es grande, y en términos de unidades de pasajeros, el transporte correspondiente a carga es mayor en más del doble de las unidades de transporte de pasajeros.

**Figura 3**

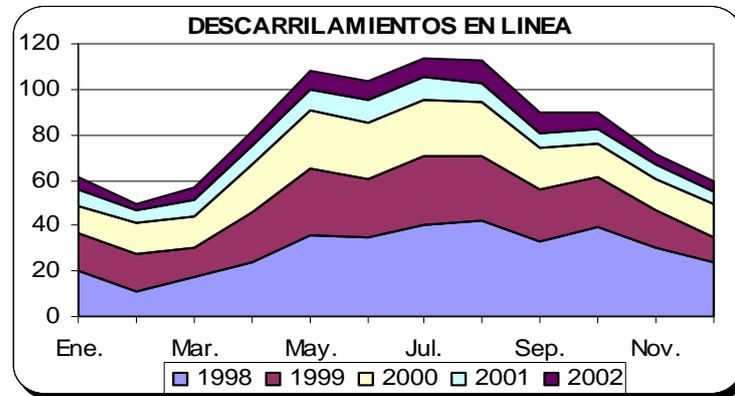


FUENTE: Superintendencia de Transportes. Elaboración: PROPIA

En función a los modelos anteriormente descritos, se procede al análisis de las variables *insumo* que tienen carácter cualitativo. De tal manera, podemos ver que la cantidad de Descarrilamientos en Línea ha ido disminuyendo sustancialmente los últimos 5 años, en 1998 el número de descarrilamientos llegó a un máximo de 400 al año, contrastando con 84

descarrilamientos en el año 2002; la disminución fue de más del 75%. Por otro lado, no se observa un comportamiento cíclico de importancia en esta variable.

Figura 4

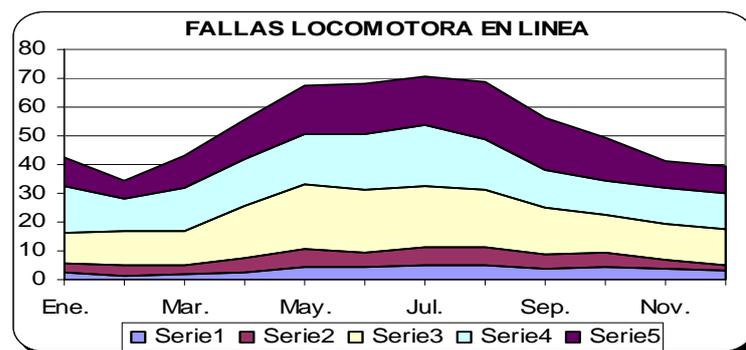


FUENTE: Superintendencia de Transportes. Elaboración: PROPIA

Respecto al comportamiento de las Fallas de Locomotora en Línea, se encontró lo siguiente:

1. Se observa un comportamiento similar al de los Descarrilamientos en línea, indicando una alta correlación en los dos eventos
2. El fenómeno encontrado muestra un resultado opuesto al encontrado en el número de descarrilamientos en línea. Las Fallas de Locomotora en Línea aumentan en los últimos 5 años de un valor de 47 en el año 1998 a 175 Fallas de Locomotora en Línea en 2002.
3. Estos resultados indican que la empresa no está incurriendo en mayores costos de mantenimiento de los factores de producción<sup>12</sup>.

Figura 5

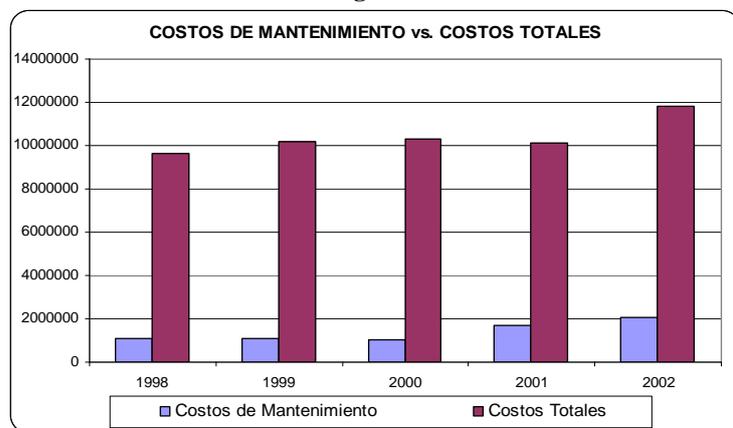


FUENTE: Superintendencia de Transportes. Elaboración: PROPIA

Respecto, al comportamiento de los Costos, en la Figura 6 se puede ver que los costos de mantenimiento representan menos del 20% de los Costos Totales, indicando que la mayor parte de los Costos se deben a factores operativos y otros.

<sup>12</sup> Este hecho será analizado con mayor profundidad cuando se obtengan los resultados de los modelos estocásticos y de optimización para el análisis de eficiencia de económica.

**Figura 6**



FUENTE: Superintendencia de Transportes. Elaboración: PROPIA

#### 4.2 Resultados de Eficiencia Económica: Modelos Paramétricos y No Paramétricos

##### 4.2.1 *Modelo No Paramétrico: Análisis de Envoltura de Datos (DEA)*

El Análisis de Envoltura de Datos se realizó para los años 1998-2002, con datos anuales. Se debe recordar que este tipo de simulación no hace uso de alguna forma funcional respecto la función de producción de la empresa.

Se realizó la Simulación DEA de cuatro maneras diferentes, utilizando el enfoque Insumo-Distancia descrito anteriormente. Los resultados son los siguientes:

**Tabla 4**  
**Eficiencia Económica**  
**Situación 1: Función Convexa con Retornos Constantes a Escala/Simulación Radial/Orientación-Insumo**

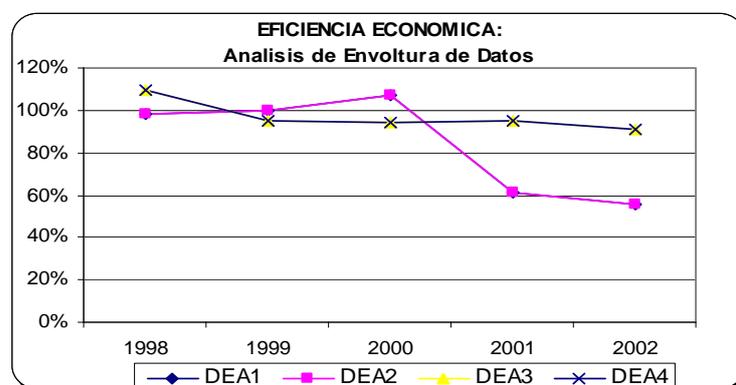
Años	DEA 1	DEA 2	DEA 3	DEA 4
1998	97.96%	97.96%	109.37%	109.37%
1999	99.81%	99.81%	94.80%	94.80%
2000	107.44%	107.44%	94.35%	94.35%
2001	61.35%	61.35%	95.31%	95.31%
2002	55.79%	55.79%	91.00%	91.00%
Promedio	84.00%	84.00%	97.00%	97.00%

Elaboración: PROPIA

Como muestra la Tabla 4, los Modelos DEA1 y DEA 2 muestran idénticos resultados. De la misma manera los modelos DEA3 y DEA4 muestran similares resultados. Se demuestra que no existen errores de especificación al comparar el número de pasajeros por kilómetro con el número de toneladas por kilómetro. De esa manera se procedió a corroborar este resultado a través del uso del direccionador Pasajeros-Tonelada- Kilómetro.

Los modelos DEA1 y DEA2 muestran una clara caída de la eficiencia de la empresa en términos de Costos de Mantenimiento, demostrando que este centro de costos no ha sido una prioridad para la empresa. De otra manera, la disminución de eficiencia de la empresa en términos de Costos Totales, muestra una disminución menos acentuada de la eficiencia económica (Modelos DEA3 y DEA4). El mismo resultado se puede observar en la Figura 7.

Figura 7



Elaboración: PROPIA

En promedio los Modelos DEA muestran que la empresa esta actuando entre un 3% y 16% por debajo de su capacidad, es decir, esta por debajo de la Frontera de Posibilidades de Producción. En conclusión se debe resaltar la gran diferencia en desempeño de la empresa cuando se hace la distinción entre costos de mantenimiento y costos totales. El análisis pertinente a los centros de costos podrá esclarecer de mejor manera el por qué de este fenómeno y cuáles fueron los factores que llevaron a la empresa a tomar tales decisiones.

#### 4.3 Modelos Paramétricos

##### 4.3.1. Método: Mínimos Cuadrados Ordinarios Corregidos<sup>13</sup>

Éste método básicamente asume una forma funcional microeconómica del Tipo Cobb-Douglas, con rendimientos Constantes a Escala. Como las funciones de este tipo no son funciones lineales, se realizó una transformación logarítmica, por lo que se estimó la eficiencia económica a través de las funciones conocidas como *funciones translogarítmicas*.

Al igual que en el caso de los Modelos DEA, se realizó cuatro estimaciones identificando las diferencias en eficiencia económica en términos de Costos de Mantenimiento y Costos Totales.

Tabla 5

Estadísticas	COLS 1	COLS 2	COLS 3	COLS 4
Media	<b>-5.09E-015</b>	<b>-4.10E-16</b>	<b>1.91E-14</b>	<b>1.89E-14</b>
Mediana	-0.00519074	0.06420454	0.03330046	0.01156795
Máxima	0.49698267	0.19051113	0.49596565	0.52346
Mínima	-0.44597811	-0.33474385	-0.65434356	-1.021423778
<b>Desviación Estándar</b>	<b>1.17390336</b>	<b>0.15004598</b>	<b>0.19070869</b>	<b>0.29298404</b>
Skewness	0.36444957	-0.70652855	-0.41638733	-0.74214653
Kurtosis	4.04061397	2.15239127	4.1222279	4.77263358
Jarque-Vera	4.03542848	6.78792727	4.88227272	13.3633892
<b>Probabilidad</b>	<b>0.13295903</b>	<b>0.03357533</b>	<b>0.08706186</b>	<b>0.00125365</b>
Observaciones	60	60	60	60

Elaboración PROPIA

<sup>13</sup> COLS por sus siglas en inglés.

Antes de revisar los resultados de los modelos COLS, es importante el análisis de los *hechos estilizados* correspondientes a los errores de las regresiones estimadas, es decir los errores estadísticos correspondientes a los Modelos COLS1-4. Este análisis se fundamenta en la necesidad de corroborar la robustez de las estimaciones.

La Tabla 5 nos muestra las estadísticas descriptivas de los errores de los cuatro modelos estimados. Los tres primeros modelos cumplen a cabalidad los supuestos estadísticos convencionales, es decir:

- Media Cero
- Varianza Constante
- Distribución Normal (al 1% de significancia para COLS1, COLS2, COLS3)

El modelo COLS4 cumple con las dos primeras condiciones pero no cumple con el supuesto de distribución normal. Esto no representa un obstáculo importante en el análisis debido a que bajo los supuestos de eficiencia de los modelos COLS, se estipula que este tipo de modelos están diseñados para soportar distribuciones estadísticas del tipo ‘mitad-normal’<sup>14</sup>. En ese sentido los modelos COLS servirán de base para el análisis de los modelos estocásticos de frontera desarrollados en el siguiente punto.

El siguiente Cuadro resume la eficiencia económica encontrada a través del Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios Corregidos:

**Tabla 6**

<b>Años</b>	<b>COLS 1</b>	<b>COLS 2</b>	<b>COLS 3</b>	<b>COLS 4</b>
1998	92.43133%	104.43267%	90.15733%	97.24955%
1999	109.43668%	88.77018%	105.310789%	94.84227%
2000	118.3009%	114.54885%	119.17576%	146.74429%
2001	110.98131%	112.0103%	115.676441%	103.03919%
2002	79.83930%	83.67613%	78.49251%	78.34020%
<b>Promedio</b>	<b>102.66754%</b>	<b>101.077763%</b>	<b>101.76216%</b>	<b>104.04310%</b>

Elaboración PROPIA

Los cuatro modelos estimados muestran un aumento importante de eficiencia en el año 2000. A priori se puede inferir que este aumento de eficiencia recién se ve reflejado en el año 2000 debido a que la empresa realizó importantes esfuerzos durante la construcción del gasoducto al Brasil, cuando estuvo encargada del transporte de maquinaria y equipo para el mencionado proyecto. El año 2002 muestra una importante disminución de la eficiencia situándose entre un 17% y 22% por debajo de la frontera de posibilidades de producción de la empresa. En términos de tendencia, este resultado concuerda plenamente con los resultados obtenidos a través de los modelos no paramétricos.

En el Anexo 1 se encuentran los resultados de las regresiones a cada modelo COLS estimado. En general, todas las variables explicativas son estadísticamente significativas confirmando la validez de los modelos. El análisis de los signos refleja el efecto (positivo o negativo) que tiene cada variable sobre la variable dependiente. En ese sentido, los signos de las variables a lo largo de los modelos se mantienen (con la excepción de LOGPK y DUMMY1 en COLS2).

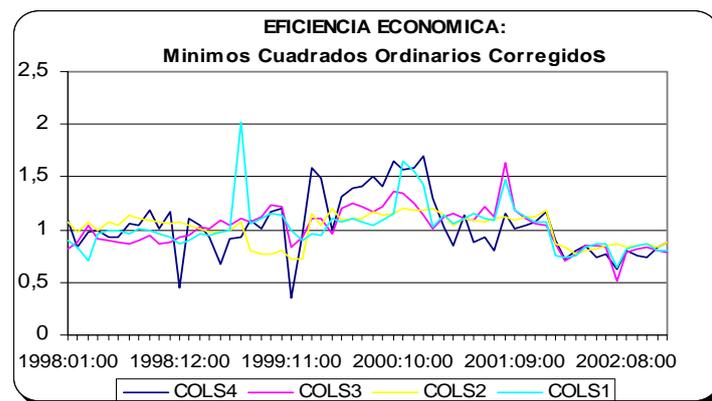
<sup>14</sup> Para una explicación más detallada e este tipo de distribuciones ver Coelli (manual frontier).

El signo positivo de la constante es coherente con el supuesto de costos hundidos y de los costos incurridos por la empresa en términos de activos fijos, mismos que se constituyen en costos sin importar el volumen de transporte de la empresa. Por otro lado, es importante señalar que todos los signos negativos encontrados indican que el aumento de los mismos reflejaría disminución de los costos en términos relativos. En el caso de las variables cualitativas (Descarrilamientos y Fallas de Locomotoras en Línea) explican los elevados costos que incurre la empresa cuando ocurren esos eventos. Este resultado ayuda a explicar el porqué de la preocupación de la empresa en la disminución de los descarrilamientos en línea. Además de cumplir con normas de seguridad impuestas por la entidad reguladora, los costos asociados a estos eventos son demasiado elevados.

En el caso especial de pasajeros, si aumenta el número de pasajeros, aumenta en una proporción importante los costos de mantenimiento y costos totales del operador. Este resultado se atribuye a la poca rentabilidad que tiene para la empresa el transporte de pasajeros. Por otro lado, en el transporte de carga se nota la capacidad instalada en la empresa con una orientación definida hacia el transporte de carga. Los resultados de los Modelos COLS muestran que a mayor transporte de carga mayor productividad de la empresa, es decir, disminuyen los costos unitarios de transporte de carga. Es por esta razón que cuando se estima el Modelo COLS4, donde se incluye la variable Pasajero-Tonelada-Kilómetro, el signo es negativo, porque las unidades de medición de esta variable son las mismas que en el caso de Tonelada-Kilómetro<sup>15</sup>.

Finalmente, en promedio la empresa muestra niveles de *sobre-eficiencia* en todos los modelos. Este resultado debe ser analizado con cuidado debido a que se realizó un promedio simple de los valores de eficiencia de cada año para cada modelo. Es decir, no se incluyen en el promedio los pesos específicos de los volúmenes de transporte de carga y pasajeros de la empresa durante los años de construcción del gaseoducto al Brasil. De todas maneras, el resultado nos lleva a la conclusión que aumentos de eficiencia en grandes magnitudes desarrollados por la Empresa Ferroviaria, tienen su fundamento en la capacidad instalada de la empresa, i.e., existiría un exceso de oferta de servicios de transporte ferroviario por sobre la demanda del mismo.

Figura 8



Elaboración PROPIA

<sup>15</sup> De acuerdo al Logaritmo de Verosimilitud, el modelo que mejor especificado y que mejor explica la eficiencia económica es COLS2

La Figura 8 muestra que el comportamiento de los cuatro modelos es uniforme, la tendencia de aumentos y disminuciones de eficiencia se replica en los cuatro modelos demostrando la consistencia de los mismos. Además, se observa que la tendencia en los últimos años es hacia la disminución de la eficiencia económica de la empresa, aunque en los dos últimos meses de la muestra existe un leve aumento de la eficiencia económica, al parecer este aumento no es significativo y no afecta la tendencia negativa mostrada en los dos últimos años.

#### 4.3.2 Método: Análisis Estocástico de Frontera<sup>16</sup>

La simulación de la eficiencia económica a través del método de Análisis Estocástico de Frontera se realizó bajo las especificaciones descritas anteriormente y bajo los supuestos impuestos por Coelli y Perelman (1996)

Se realizó la simulación con y sin el cálculo de la variable  $u_t$ , y se encontraron idénticos resultados. Bajo la especificación estricta propuesta por los autores anteriormente citados, la importancia de los resultados de estos modelos se refleja básicamente en las series residuales.

**Tabla 7**  
**Eficiencia Económica**  
**Métodos: Análisis Estocástico de Frontera/Función Insumo-Distancia**  
**Simulación: Función Translogarítmica**

Años	SFA 1	SFA 2	SFA 3	SFA 4
1998	106.42297%	106.42297%	105.32329%	105.32329%
1999	105.86562%	105.86562%	105.20934%	105.20934%
2000	106.10034%	106.10034%	105.29543%	105.29543%
2001	106.00447%	106.00447%	105.25646%	105.25646%
2002	106.30168%	106.30168%	105.38699%	105.38699%
<b>Promedio</b>	<b>106.14070%</b>	<b>106.14070%</b>	<b>106.14070%</b>	<b>106.14070%</b>

Elaboración PROPIA

Además, debido a que a las especificaciones econométricas convencionales no se cumplen a cabalidad dado que la descripción de los modelos están en función a la estructura de una frontera de posibilidades de producción (función cuadrática); y la elección de las variables dependientes e independientes se realizan de manera que se represente características correspondientes a los insumos y productos, mas que a una forma funcional teórico-económica; éste tipo de modelos no necesariamente mostrarán parsimonia y correspondencia econométrica<sup>17</sup>.

Sin embargo, es importante señalar que todos los modelos fueron diseñados con idénticas características precisamente para complementar los resultados individuales de cada uno de ellos. En ese sentido los resultados encontrados a través de este método, se presentan en el Cuadro siguiente<sup>18</sup>

Los resultados encontrados a través de la simulación de los Modelos de Análisis Estocástico de Frontera muestran resultados distintos a los encontrados en los anteriores

<sup>16</sup> SFA por sus siglas en inglés

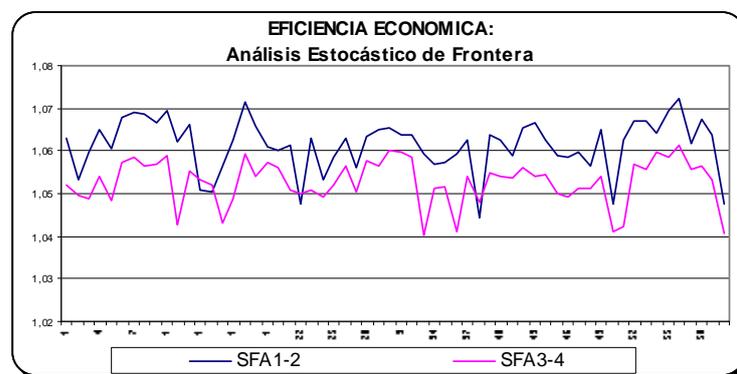
<sup>17</sup> En la especificación de este tipo de modelos no se realiza un análisis exhaustivo de causalidad y exogeneidad de las variables dada la especificación de la Función Insumo-Distancia

<sup>18</sup> Las regresiones econométricas se encuentran en el Anexo 2.

modelos. En todos los casos se observa niveles de eficiencia por encima del 100%, indicando que en términos de costos de mantenimiento y costos totales la empresa esta realizando un uso óptimo de los factores de producción.

Bajo la definición de los modelos estocásticos de frontera, la principal conclusión que se puede extraer de estos resultados es que la actividad de la entidad reguladora así como otros factores exógenos a la empresa no introduce distorsiones en las actividades de producción. Los cuatro modelos estocásticos de frontera permiten observar con mayor claridad que las operaciones del operador están íntimamente ligadas a la demanda efectiva por transporte ferroviario, de manera que se realiza un uso eficiente de los factores de producción.

**Figura 9**



Elaboración PROPIA

El análisis estocástico de frontera muestra una uniformidad en la producción del operador, demostrando que, las variaciones ocasionadas por aumentos en la demanda por transporte ferroviario (Shocks de Demanda) han sido bien capitalizados por la empresa, cubriendo los desequilibrios del mercado y a la vez, manteniendo un comportamiento estable en términos de producción<sup>19</sup>.

#### 4.3.3 Comparación entre Modelos

Hasta ahora se han presentado los tres métodos de estimación por separado. En ese sentido en esta parte del estudio se realiza una comparación de los tres métodos para poder obtener conclusiones más específicas al respecto. Es conveniente realizar una explicación de las virtudes y/o falencias que tiene cada método de estimación para no incurrir en sobre o sub estimaciones de la eficiencia económica de la Empresa Ferroviaria.

En primer lugar, al realizar la simulación de la eficiencia económica a través del método no paramétrico de Análisis de Envoltura de Datos se ejecutó bajo los supuestos de la no existencia de una forma funcional definida de la función de producción, por lo tanto las estimaciones están sesgadas a la estimación radial de los valores óptimos de producción, donde básicamente se realiza una simulación de estimaciones extremas en los cuales la frontera de posibilidades de producción está delimitada por niveles de factores de producción

<sup>19</sup> Se debe recordar que los residuos en definitiva muestran la eficiencia económica y por ende si realizamos el análisis gráfico de los mismos podemos inferir en que mantienen las características estadísticas deseadas es decir, distribución normal con varianza constante.

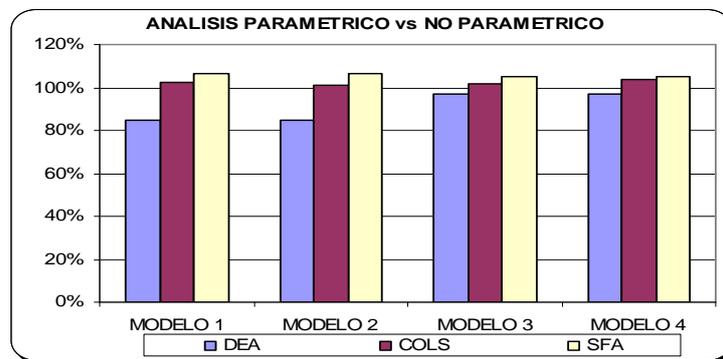
correspondientes a cero unidades producidas e infinito numero de unidades producidas. En segundo lugar, se trabajó bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala, ya que claramente existe una capacidad instalada de producción superior a la demanda efectiva por transporte ferroviario.

En relación a los métodos paramétricos, estos se realizaron bajo el supuesto de que existe una función de producción tipo Cobb-Douglas, con rendimientos constantes a escala. De la misma manera se procedió a la linealización de la función al aplicársele logaritmos, por lo tanto las simulaciones se realizaron sobre las transformaciones de las variables originales.

En ese sentido, se realizó la estimación de los tres métodos para poder obtener mejores resultados y poder realizar comparaciones. Los resultados obtenidos a través de los Modelos DEA, tienen la ventaja de que capturan de mejor manera el comportamiento de la empresa respecto a los costos de mantenimiento y costos totales incurridos. De la misma manera los Modelos COLS tienen la importancia de encontrar la significancia estadística de las actividades de carga y pasajeros por separado, donde ambos productos son importantes en la estructura de costos tanto de mantenimiento como totales.

Finalmente, como se mencionó anteriormente, los Modelos SFA, tiene la virtud de poder determinar las distorsiones (*shocks*) externas que afectan al operador. De esa manera se concluye que el operador no se ve afectado por las decisiones del ente regulador y por otro lado se ajusta con facilidad a los cambios en las funciones de demanda del mercado, aprovechando las oportunidades y protegiéndose de las situaciones adversas.

**Figura 10**



Elaboración PROPIA

La Figura 10 muestra la comparación entre los resultados de los modelos explicados en este estudio. De esa manera, se puede concluir que los métodos que más se ajustan en términos de costos al análisis de eficiencia económica es el Análisis de Envoltura de Datos, y el Método de Mínimos Cuadrados Ordinarios; debido básicamente a su complementariedad y menor cantidad de restricciones impuestas al momento de realizar la simulación.

Sin embargo, en términos de tendencia, los modelos COLS y SFA mostraron resultados similares en el desarrollo de la eficiencia económica. Esta conclusión muestra con claridad el sesgo estadístico generado por la implementación de formas funcionales de producción. Respecto al método de Análisis Estocástico de Frontera, para obtener resultados con mayor precisión se debe realizar una especificación mas detallada del modelo, incluyendo variables rezagadas, y realizar transformaciones a las variables de manera que ya no se trabaja con las series originales proporcionadas por el operador y/o ente regulador. Este

último punto introduce un obstáculo para la mayor difusión de los modelos estocásticos dada su arbitrariedad y de esa manera dificulta la comparación de resultados con otros métodos<sup>20</sup>.

## 5. Conclusiones

Todos los modelos de eficiencia económica fueron estimados bajo la misma especificación precisamente para poder realizar inferencias sobre la validez de los mismos, además tener la facultad en realizar comparaciones de los resultados y a la vez poder obtener una mayor gama de deducciones. De esa manera, es que todos los métodos empleados en éste análisis muestran una disminución en la eficiencia económica del operador los últimos años (Ver Figuras 7, 8, 9).

La íntima correspondencia en la estructura de los modelos propuestos en este documento ayudan a explicar el manejo administrativo de la Empresa Ferroviaria; resaltando el hecho de que dada la capacidad instalada de la empresa, la administración se encarga de aprovechar las ventajas y desventajas del mercado. Claro ejemplo de ello es el aumento de la eficiencia durante el período de construcción del gaseoducto al Brasil.

Otro aspecto importante es la información requerida para poder desarrollar el uso de estos modelos. En primer lugar la información debe ser de gran magnitud dadas las características específicas de los datos. De esta manera es importante contar con información desagregada de manera que se pueda precisar la actividad reguladora y de la misma manera ayudar al operador a mejorar la calidad de gestión.

Respecto a los modelos de eficiencia económica se recomienda el uso de la combinación de los resultados de los modelos DEA y COLS, debido a que se encontró que los costos de mantenimiento no ayudan directamente a mejorar la calidad del servicio de transporte ferroviario. En ese sentido, se escogerá aquella combinación de resultados de modelos DEA y COLS de acuerdo al cruce de información que deberán realizar tanto el operador como la entidad reguladora de acuerdo a los márgenes estipulados por los modelos de costos.

Asimismo, se debe señalar que la falencia de estos modelos de eficiencia económica, es que no incluyen explícitamente las innovaciones tecnológicas que pudiera sufrir el operador. De la misma manera, este análisis no puede ser desagregado por trenes de carga, pasajeros o mixtos debido a la complejidad de la información necesaria para la estimación.

Finalmente, los resultados encontrados en el documento muestran que los modelos de eficiencia económica son importantes instrumentos de análisis que ayudan por una parte a mejorar la calidad de la gestión y operación de las organizaciones, en este caso las empresas del transporte ferroviario. Por otra parte, el uso de modelos de eficiencia económica se convierte en un elemento importante para la consecución de las actividades de regulación sectorial de los países en los cuales varios servicios públicos han sido privatizados.

---

<sup>20</sup> El análisis econométrico nos llevaría a realizar transformaciones de las series para cumplir con otros requisitos estadísticos mas específicos, por ejemplo, trabajar con variables en diferencias nos llevaría a oscurecer el análisis.

## BIBLIOGRAFIA

- Coelli, T. & Perelman, S. (1996), Efficiency measurement, multiple output technologies and distance functions: with application to European Railways, CREPP Working Paper 96/05, University of Liege.
- Coelli, T & Perelman, S. (1999), Theory and Methodology: A comparison of parametric and non-parametric distance functions: with application to European Railways. *European Journal of Operational Research*, Vol. 117, 326-39.
- Coelli, T. & Prasada Rao, D.S. & Battese, G.E. (1998), *An introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Caves, D., Christensen, L. & Swanson, J. (1980), The relative efficiency of public and private firms in a competitive environment: the case of Canadian railroads. *Journal of Political Economy*, vol. 88, Nº5, 958-76.
- Caves, D., Christensen, L. & Swanson, J. (1981a), Economic performance I regulated and unregulated environments: a comparison of U.S. and Canadian Railroads. *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 96, Nº 4, 559-81.
- Caves, D., Christensen, L. & Swanson, J. (1981b), Productivity, growth, scale economies and capacity utilization in U.S. railroads: a panel data approach. *International Journal of Transport Economics*, Vol. 27, Nº 2, 147-71.
- Charnes, Cooper & Rhodes (1978), *Assessing Railways Economic Efficiency*. *International Journal of Transport Economics*
- Greene, William (1995) *Econometric Analysis*. McGraw Hill, First Edition.
- Rivera y Trujillo (2002) *North-South Railways, economic efficiency measurement through parametric and non-parametric models*. Working paper, University of Sussex.
- Scheel, Holger (2000), *Efficiency Measurement System, User's Manual*.
- Superintendencia de Transportes. *Manual de Actividades Regulatorias*
- Superintendencia de Transportes. *Información estadística ferroviaria 1999-2003*.
- Yvrande, Ann (2000), *The new british railways structure: a transaction cost economics analysis*. Danish Research Unit for Industrial Dynamics. Druid, working paper Nº 00-5.

## ANEXO 1

**Método: Mínimos Cuadrados Ordinarios Corregidos**

Variable Dependiente: COLS1-COLS2: Log(CM)

Variable Dependiente: COLS3-VOLS4: Log (CT)

Muestra (Ajustada): 1998:01 2002:12

Número de Observaciones: 60

<b>Variables Independientes</b>	<b>COLS 1</b>	<b>COLS 2</b>	<b>COLS 3</b>	<b>COLS 4</b>
<b>C1</b>	1.02754818 (8.31100)*	1.01100876 (8.45239)*	1.02747691 (6.42031)*	1.05146869 (2.51258)*
<b>LOGFLCM</b>	-0.60271973 (-7.74107)*	-0.50523423 (-23.68153)*	-0.80598815 (-14.4776)*	-0.42322551 (10.61696)*
<b>LOGDESCM</b>	-0.39625358 (-5.16020)*	-0.50234596 (-26.3103)*	-0.16591042 (-3.51733)*	-0.47749249 (-12.92144)*
<b>LOGPK</b>	0.11837092 (4.01730)*	-0.169785 (1.56985)***	0.16270117 (6.22133)*	-0.2528494 (-1.21433)*
<b>LOGTK</b>	1.10954857 (9.56166)*	1.18329419 (11.84306)*	1.08040723 (7.40943)*	0.900677307 (4.35305)*
<b>DUMMY1</b>	-0.35820656 (-3.74056)*	0.38897507 (8.76887)*	-0.14823322 (-1.79995)***	-0.86958531 (-2.60469)**
<b>R-Cuadrado</b>	0.98386935	0.98799161	0.96934803	0.92765554
<b>R-Cuadrado Ajustado</b>	0.98237577	0.98687973	0.96650898	0.92095698
<b>Logaritmo de Verosimilitud</b>	20.3232349	29.1767115	14.7883927	-10.9738694

\* Significancia estadística al 1%

\*\* Significancia estadística al 5%

\*\*\* Significancia estadística al 10%

## ANEXO 2

Simulacion SFA1* : Variable Dependiente Log (Costo de Mantenimiento)						
Muestra: 1998-2002						
Periodicidad: Mensual						
LogCM	=	8,1525234	- 0.10265407E-0.8LogFL/CM	+ 0.50539937LogDES/CM	- 0.74847602E-0.9LogPK	+ 0.066495128LogTK - 0.47884647E-0.9Dummy + ut+vt
t-ratio		5,194632	-7,2142581	2,4750348	-2,046857	0,44283285 1,95E+00
Varianza				0,11614525		
Funcion Logaritmo de Verosimilitud				-17,388085		
ut= 0						
*La variable ut fue restringida a ser igual a cero ya que los resultados cuando esta variable es distinta de cero son iguales.						

Simulacion SFA2* : Variable Dependiente Log (Costo de Mantenimiento)						
Muestra: 1998-2002						
Periodicidad: Mensual						
LogCM	=	8,1525234	- 0.10265407E-0.8LogFL/CM	+ 0.50539937LogDES/CM	- 0.74847602E-0.9LogPTK	+ 0.066495128LogTK - 0.47884647E-0.9Dummy + ut+vt
t-ratio		5,194632	-7,2142581	2,4750348	-2,046857	0,44283285 1,95E+00
Varianza				0,11614525		
Funcion Logaritmo de Verosimilitud				-17,388085		
ut= 0						
*La variable ut fue restringida a ser igual a cero ya que los resultados cuando esta variable es distinta de cero son iguales.						

Simulacion SFA3* : Variable Dependiente Log (Costo Total)						
Muestra: 1998-2002						
Periodicidad: Mensual						
LogCT	=	8,5756719	- 0.104446E-0.8LogFL/CT	+ 0.28589012LogDES/CT	- 0.96121802E-0.9LogPK	+ 0.25130015LogTK + 0.155149E-0.9Dummy + ut+vt
t-ratio		6,1935063	-9,5373613	1,5841758	-3,0325073	1,9015299 1,26E-01
Varianza				0,086863701		
Funcion Logaritmo de Verosimilitud				-8,6730436		
ut= 0						
*La variable ut fue restringida a ser igual a cero ya que los resultados cuando esta variable es distinta de cero son iguales.						

Simulacion SFA4* : Variable Dependiente Log (Costo Total)						
Muestra: 1998-2002						
Periodicidad: Mensual						
LogCT	=	8,5756719	- 0.104446E-0.8LogFL/CT	+ 0.28589012LogDES/CT	- 0.96121802E-0.9LogPK	+ 0.25130015LogTK + 0.155149E-0.9Dummy + ut+vt
t-ratio		6,1935063	-9,5373613	1,5841758	-3,0325073	1,9015299 1,26E-01
Varianza				0,086863701		
Funcion Logaritmo de Verosimilitud				-8,6730436		
ut= 0						
*La variable ut fue restringida a ser igual a cero ya que los resultados cuando esta variable es distinta de cero son iguales.						

Elaboración: PROPIA