



**TRABAJO DE GRADO**

**TÍTULO**

*ESTIMACIÓN DE COSTOS EN TRANSPORTE DE CARGA*

**AUTOR**

*JOSÉ ANDRÉS MIRA VANEGAS*

**ASESOR**

*ING. GERMÁN CAMILO LLERAS ECHEVERRI*

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL**

**BOGOTÁ, ENERO DE 2005**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>6</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>7</b>
<b>4. CONTEXTO GENERAL .....</b>	<b>8</b>
<b>5. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>9</b>
5.1. COSTOS A CORTO PLAZO .....	9
5.2. COSTOS A LARGO PLAZO.....	10
5.2.1. <i>Producción Total para Mano de Obra.....</i>	<i>11</i>
5.2.2. <i>Producción Marginal para Mano de Obra.....</i>	<i>11</i>
5.2.3. <i>Producción Promedio para Mano de Obra.....</i>	<i>11</i>
5.2.4. <i>Producción Total para Capital.....</i>	<i>12</i>
5.2.5. <i>Producción Marginal para Capital.....</i>	<i>13</i>
5.2.6. <i>Producción Promedio para Capital.....</i>	<i>13</i>
5.3. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO PARA TRANSPORTE DE CARGA.....	13
5.4. ECONOMÍAS DE ESCALA.....	15
5.5. ECONOMÍAS DE DENSIDAD Y TAMAÑO.....	17
5.6. ECONOMÍAS DE ALCANCE, COSTOS COMPLEMENTARIOS Y COSTOS ANTICOMPLEMENTARIOS .....	; <i>ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</i>
5.7. FUNCIÓN DE COSTOS FLEXIBLE.....	23
<b>6. ESTUDIO DE COSTOS OPERATIVOS.....</b>	<b>26</b>
6.1. ESTRUCTURA DE COSTOS DE OPERACIÓN – MINTRANSPORTE .....	26
6.1.1. <i>Perfiles de Vehículos.....</i>	<i>27</i>
6.1.2. <i>Costos Variables.....</i>	<i>29</i>
6.1.3. <i>Costos Fijos.....</i>	<i>30</i>
6.1.4. <i>Canasta de Costos.....</i>	<i>31</i>
6.2. ESTRUCTURA DE COSTOS DE OPERACIÓN – TDM TRANSPORTES .....	33
6.2.1. <i>Perfiles de Vehículos.....</i>	<i>33</i>
6.2.2. <i>Costos Variables.....</i>	<i>34</i>
6.2.3. <i>Costos Fijos.....</i>	<i>35</i>
6.2.4. <i>Canasta de Costos.....</i>	<i>;Error! Marcador no definido.</i>
6.3. CONCLUSIONES .....	38
<b>7. MODELOS DE FUNCIONES DE PRODUCCIÓN Y COSTO ASOCIADO TIPO COBB-DOUGLAS .....</b>	<b>40</b>
7.1. ESTUDIO DE FUNCIONES DE PRODUCCIÓN.....	40
7.2.1. <i>Especificación de la Función de Producción.....</i>	<i>41</i>

7.2.2. <i>Estimación y Resultados</i> .....	42
7.3. <b>FUNCIONES DE COSTO ADECUADAS PARA EMPRESA DE TRANSPORTE TERRESTRE DE CARGA</b> .....	44
7.3.1. <i>Especificación de la Función de Costo a Largo Plazo</i> .....	46
7.3.2. <i>Estimación y Resultados</i> .....	47
7.3.3. <i>Curva de Costo Promedio para l a Estimación Final</i> .....	51
7.4. <b>CONCLUSIONES</b> .....	52
<b>8.    BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>57</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

Los costos en transporte de carga han sido objeto de numerosos estudios en la década de los 70's y de los 80's. La caída del ferrocarril después de la segunda guerra mundial y el incremento del uso del transporte automotor ha sido un incentivo para el desarrollo de modelos de costo y producción.

El interés en el análisis y la planificación del transporte de carga aumentó por varias razones. Un factor importante fue la complejidad con los temas de política referentes al transporte de carga. Antes era un motivo de preocupación para los responsables del gobierno, por la construcción de autopistas y políticas regulatorias. Pero a estos motivos se fueron sumando otros como la conservación de la energía, las externalidades causadas por el transporte, el crecimiento económico, el comercio internacional, etc.

Investigadores como Marc Nerlove han desarrollado nuevas técnicas para el estudio de costos en generación de electricidad (1963), estas técnicas han venido, desde entonces, siendo utilizadas con frecuencia para el estudio de la operación de transporte, tanto de carga como de pasajeros; y para los diferentes modos de transporte, como aéreo, férreo, a través de ductos y terrestre. Sin embargo en nuestro país, los estudios de este tipo son pocos, por lo tanto se pretende realizar un análisis que permita comprender mejor algunos de los factores mencionados.

Para llevar a cabo el proyecto, se elaboró un estudio detallado de los costos involucrados en la operación del transporte de carga, se evaluaron diferentes metodologías de cálculo para dichos costos. Finalmente se recolectaron series de

datos que permitieran alimentar el modelo de costo y producción, las observaciones recopiladas se trabajaron para un período de aproximadamente cuatro (4) años, dividido en observaciones mensuales. La información fue suministrada por una empresa de transporte de carga del sector privado en Colombia<sup>1</sup>.

Muchas de las políticas regulatorias de transporte en nuestro país dependen exclusivamente de las empresas. Por esta razón, la evaluación de cambios dentro de la operación del transporte requiere información sobre economías de escala para las empresas. El propósito de este estudio es proporcionar dicha información. La metodología a seguir será modelar la estructura de la industria del transporte de carga dentro del país usando un enfoque neoclásico de funciones de costo.

---

<sup>1</sup> Agradezco a TDM Transportes S.A. y a su personal por la información y el apoyo proporcionado.

## 2. OBJETIVOS

- Revisar el modelo de costos de operación para el transporte de carga que maneja actualmente el ministerio de transporte.
- Comparar los costos operativos propuestos por el ministerio y los que se manejan actualmente dentro de las empresas transportadoras del país.
- Modelar el funcionamiento de la productividad para una empresa de transporte del sector privado.
- Analizar los costos, la producción y la operación de la empresa, con el fin de encontrar economías de escala.
- Plantear recomendaciones que sirvan como base de inversión y toma de decisiones, con el fin de optimizar los insumos participantes en la producción del transporte de carga.

### 3. JUSTIFICACIÓN

En las economías desarrolladas, en general, los costos de transporte no constituyen una proporción importante del precio final de la mayor parte de los productos manufacturados y de algunos mineros, y por ello la demanda de ese servicio es bastante inelástica al precio del mismo.

En las economías muy poco desarrolladas, en que predominan los traslados de productos agrícolas y minerales de gran volumen y poco valor, que tienen sistemas ineficientes de transportes, y que venden bienes cuyos precios están determinados muchas veces desde el exterior, la proporción del costo del servicio en el valor del producto final puesto en destino es muy importante.

Es muy probable que la elasticidad precio de la demanda por transporte sea mayor en los países poco desarrollados. Si es así, una reducción en los costos de este servicio tiene gran impacto, por lo tanto será de gran utilidad contar con un modelo que nos permita conocer el comportamiento de los costos operativos y de la producción del servicio del transporte, de la forma más exacta posible.

En cuanto a la parte de inversión en transporte el modelo será de gran ayuda, ya que permitirá tomar decisiones y elaborar estrategias dentro de las empresas de transporte de carga, con unas bases teóricas fuertes, y no basadas en la práctica, como se realiza actualmente en nuestro país. Es este el principal motivo por el cual se realiza este trabajo. Además el modelo servirá como apoyo para la toma de decisiones, que permitan optimizar el uso de los recursos, obteniendo así un nivel de producción adecuado con un nivel de costos más bajo.

#### 4. CONTEXTO GENERAL

El transporte y las telecomunicaciones en todo el mundo se han convertido en actividades estratégicas para conectar gente, ciudades y regiones. Son el hilo conductor que une todos los nudos de la moderna red de la economía. Al mismo tiempo, el sector transporte enfrenta severos impedimentos que amenazan su desarrollo potencial.

El aumento del tráfico en las rutas y en la demanda de transporte lleva a situaciones de congestión, demoras, accidentes y problemas en el entorno. Estos problemas no están sólo restringidos a carreteras y tráfico de autos, ya que el crecimiento económico parece generar niveles de demanda que exceden la capacidad de las instalaciones de la mayoría de los sistemas de transporte.

Los largos períodos de baja inversión en algunos modos y regiones han originado frágiles sistemas de oferta que parecen quebrarse cuando se sale de las condiciones de demanda promedio.<sup>2</sup>

En el desarrollo de la actividad productiva actual, el proceso de distribución y transporte de mercancías, se constituye en elemento fundamental para la conquista de los mercados, lo cual hace que la definición precisa de costo de operación vehicular se convierta en el punto de partida en la determinación de los costos de transporte y en consecuencia, su participación en los costos totales del producto puesto en el lugar de distribución o de consumo.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Telematics and Transport Behaviour. NUKAMP, Peter; PEPPING, Gerard; BANISTER, David.

<sup>3</sup> Actualización Costos de Transporte de Carga. Ministerio de Transporte. República de Colombia.



## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1. COSTOS A CORTO PLAZO

En economía el largo plazo se refiere a un período de tiempo lo suficientemente largo para que una empresa ajuste todos sus insumos a sus niveles óptimos y obtenga así un nivel determinado de producción. Es por esta razón que en el largo plazo todos los factores de producción son variables. En este caso la función de costo total de una empresa dependerá de los niveles de producción obtenidos y de todos los factores de precio de sus insumos.

Sin embargo una empresa puede estar interesada en el comportamiento de sus costos en el corto plazo. Puede ser que el nivel de algún factor o factores de producción deba ser considerado como *fijo* cuando la empresa planea su producción. Un factor puede ser fijo por una o varias razones. La empresa puede tomar sus decisiones dentro de un horizonte mensual o trimestral.

Cuando al menos un factor de producción es fijo, se dice que la empresa está operando en el corto plazo. En el corto plazo los costos estarán compuestos por los *costos fijos*, o sea aquellos asociados con los factores que no varían durante el horizonte de planeación, y los *costos variables*, o sea aquellos que varían con el nivel de producción. Debido a que la empresa no puede afectar sus *costos fijos* en el corto plazo, ésta tratará de minimizar sus *costos variables* para un nivel de producción dado. La magnitud de los costos variables dependerá entonces de la cantidad de producción, los factores de precio de los componentes variables (a

diferencia de los fijos éstos pueden ser ajustados en el corto plazo), y de los niveles de los componentes fijos.

Para ilustrar la idea de la función de costos variables, supóngase una empresa que tiene un tamaño de fábrica (nivel de Capital,  $K$ ) que debe considerarse como fijo, pero la empresa puede variar la cantidad de Mano de Obra ( $L$ ) y Combustible ( $F$ ) en el corto plazo. Entonces los costos variables dependen de la cantidad de producción, del componente fijo ( $K$ ), y de los *precios* de los componentes variables, Mano de Obra ( $P_L$ ) y Combustible ( $P_F$ ). La función de costos variable es entonces  $V(y_1, y_2, \dots, y_n, P_L, P_F, K)$ , y la función de costo total a corto plazo será  $C = rK + V(y_1, y_2, \dots, y_n, P_L, P_F, K)$ , donde  $r$  es el factor de precio para el capital, y  $(y_1, y_2, \dots, y_n)$  representan los niveles de  $n$  productos.

## 5.2. COSTOS A LARGO PLAZO

A diferencia del corto plazo, todos los costos a largo plazo se consideran como variables. Se supone que todas las empresas trabajan con dos insumos, Capital ( $K$ ) y Mano de Obra ( $L$ ). Variando el uno o el otro se puede variar el nivel de producción ( $y$ ).

$$y = f(K, L)$$

Si se pueden variar los niveles de Capital y de Mando de Obra, quiere decir que los insumos son variables y que la empresa está operando a largo plazo.

### 5.2.1. Producción Total para Mano de Obra

Manteniendo el Capital constante y variando la Mano de Obra, se obtiene la curva de Producto Total.

### 5.2.2. Producción Marginal para Mano de Obra

Es la variación en la producción total ( $y$ ), como resultado del cambio en la mano de obra ( $L$ ):

$$MP_L = \frac{\Delta y}{\Delta L}$$

### 5.2.3. Producción Promedio para Mano de Obra

Es la cantidad de unidades producidas ( $y$ ) por unidad de Mano de Obra ( $L$ ):

$$AP_L = \frac{y}{L}$$

## CURVAS DE PRODUCCIÓN PARA MANO DE OBRA

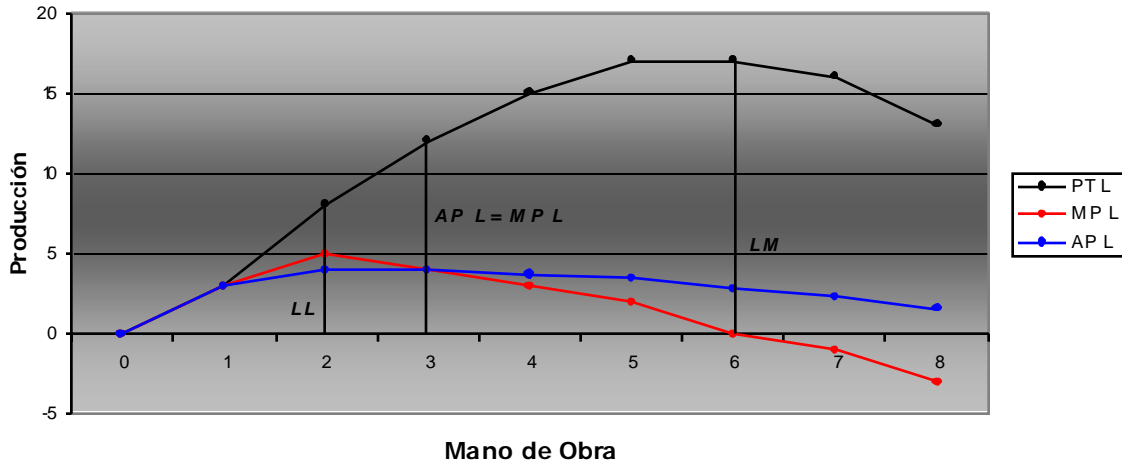


Gráfico 1. Curvas de Producción para Mano de Obra.

$LL$  es el punto donde la producción marginal  $MP_L$  es mayor. Antes de  $LL$  cada adición de Mano de Obra ( $L$ ) genera una creciente cantidad de producción, es decir que  $MP_L$  está aumentando. A partir de  $LL$  un aumento en la Mano de Obra ( $L$ ) provee incrementos en la Producción ( $y$ ) cada vez más pequeños.  $LM$  es el punto donde la Producción ( $y$ ) es mayor, a partir del cual cualquier incremento en la Mano de Obra ( $L$ ) genera un nivel de producción ( $y$ ) menor. Cabe anotar que la curva de Producción Promedio ( $AP_L$ ) siempre es positiva, además el máximo de  $AP_L$  se encuentra cuando se corta la curva de  $AP_L$  con  $MP_L$ .

#### 5.2.4. Producción Total para Capital

Al igual que evaluamos la Producción ( $y$ ) para la Mano de Obra ( $L$ ) con Capital ( $K$ ) constante, podemos evaluar el caso contrario ( $L$  constante,  $K$  variando).

### 5.2.5. Producción Marginal para Capital

$$MP_K = \frac{\Delta y}{\Delta K}$$

### 5.2.6. Producción Promedio para Capital

$$AP_K = \frac{y}{K}$$

## CURVAS DE PRODUCCIÓN

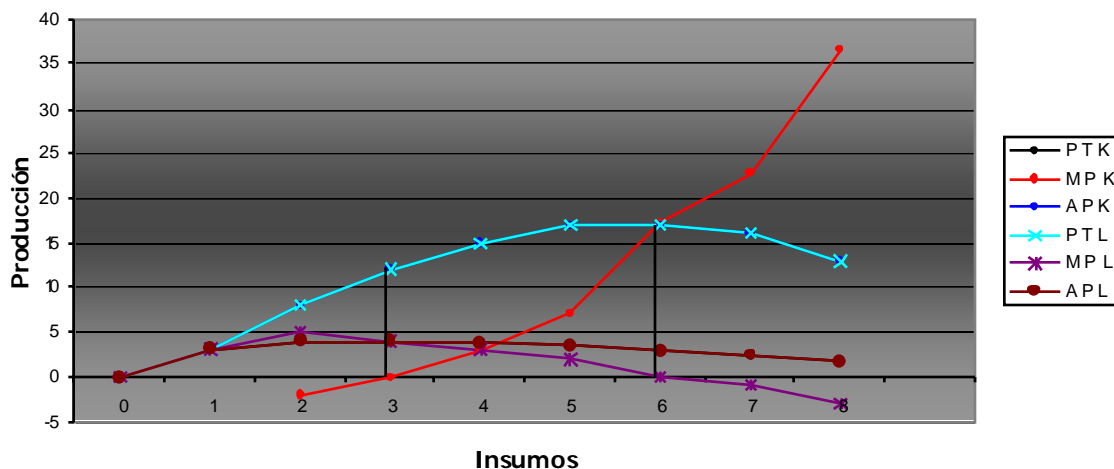


Gráfico 2. Curvas de Producción para Insumos (Capital y Mano de Obra).

## 5.3. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO PARA TRANSPORTE DE CARGA

Antes de analizar funciones de producción y costos es importante estudiar la naturaleza de los productos para una empresa de transporte. Investigadores como Meyer, Griliches y Borts han dicho que medidas tan globales como toneladas-

kilómetro no capturan adecuadamente la complejidad de los servicios provistos por una empresa de transporte. Por ejemplo, suponiendo que una empresa aumentó sus costos en 4% cuando el número de toneladas kilómetro aumenta 5%. Uno podría preguntarse cómo fueron generados estos incrementos en costos y volumen; fue porque se incrementó el tráfico sobre una ruta, dos rutas o proporcionalmente sobre todas las rutas de la red en la que se presta el servicio; o simplemente fue porque la empresa incrementó su número de rutas. La globalización del producto puede llevar a subestimar o sobreestimar los grados de algunas economías de escala y ocultar sus fuentes.

Generalmente las empresas transportan muchos tipos de mercancías con diferentes atributos del servicio y operan sobre una red con una variedad de orígenes y destinos. Lo ideal sería tratar el movimiento de cada mercancía desde cada origen hasta cada destino como un producto separado. Resultarían muchos productos, sin embargo, la estimación de una función de costo sería imposible.

Debido a la cantidad de datos y número de observaciones se limita la facilidad para manejar productos desagregados econométricamente. Los estudios de costos para aerolíneas, ferrocarriles, o buses suelen hacerse para dos tipos de productos, pasajeros-kilómetro y toneladas-kilómetro. Autores como Jara-Díaz, Donoso y Araneda han intentado incorporar características de la red dentro de la función de costos, como el número de puntos servidos y han mostrado que en algunas circunstancias es posible usar flujos desagregados espacialmente, por ejemplo llevando la cuenta de los orígenes y destinos, para mejorar el entendimiento de los costos. Este enfoque sería más factible cuando el número de orígenes y destinos no es grande.

En los estudios de costos algunas veces se intenta reconocer varios atributos de los servicios de transporte, incluyendo calidad del servicio y otras características.

Generalmente este enfoque también puede generar la necesidad de una gran cantidad de datos, especialmente si la cantidad de atributos medidos es muy grande. Por ejemplo, suponiendo que  $y_i$  representa el servicio  $i$ , y  $q_i$  representa un vector de atributos del servicio. Si hay  $m$  insumos (cada uno con su respectivo factor de precio) y  $n$  productos, entonces la función de costos para la empresa sería expresada de la siguiente forma:

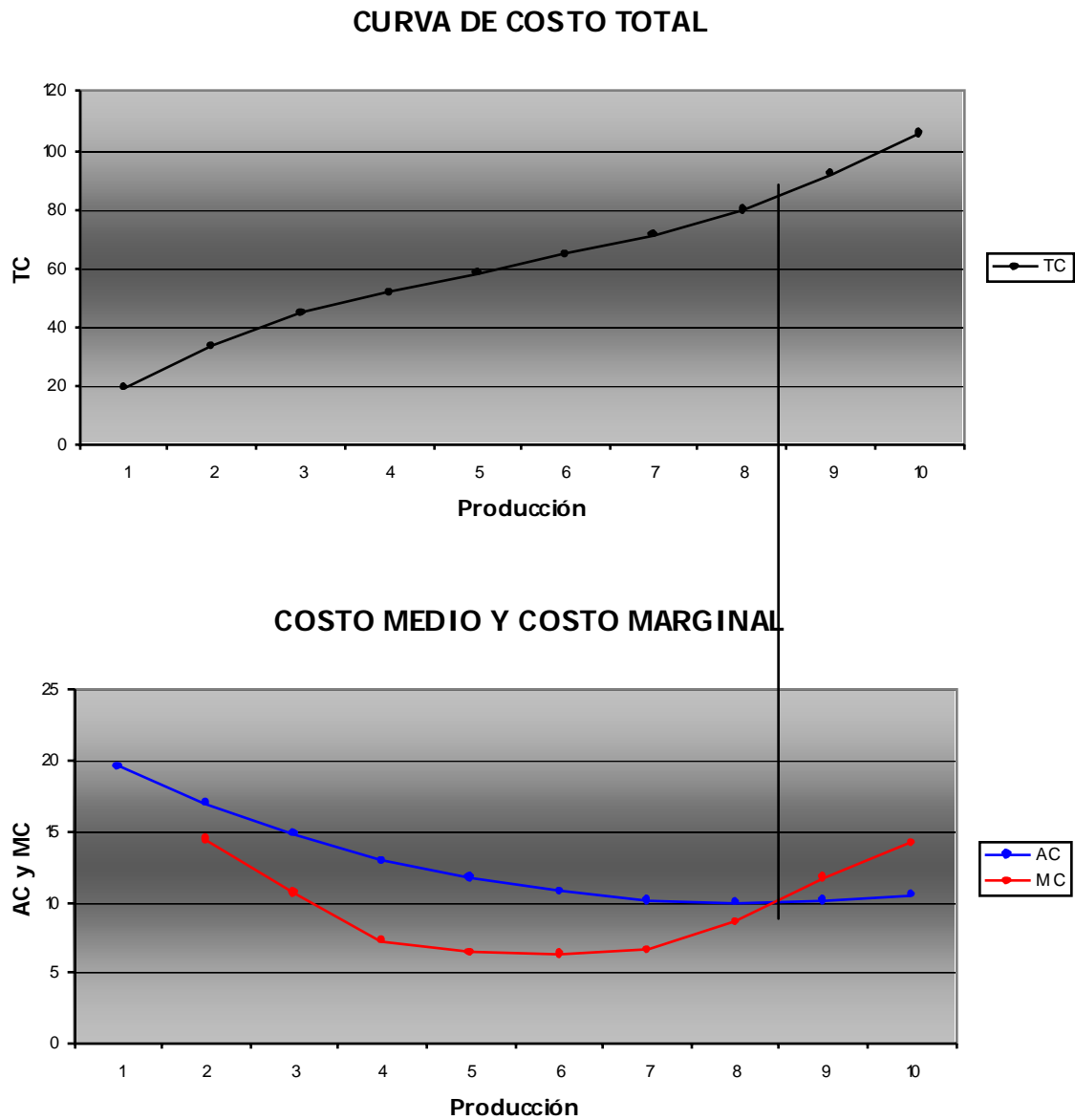
$$C(y_1, y_2, \dots, y_n, q_1, q_2, \dots, q_n, w_1, w_2, \dots, w_m)$$

para la elaboración del modelo objeto de este estudio se definió el producto como toneladas kilómetro, agregado para todas las rutas, sin embargo se incluirán variables de control como, número de ciudades servidas (N), factor de carga (G), longitud promedio (D), y seguros por ton-km (S); estas variables serán explicadas en detalle más adelante en el desarrollo del modelo. La función de costo que se empleará será una función de costo a largo plazo asociada a la función de producción Cobb-Douglas, y a continuación se presentará la forma de llegar a funciones de costo de éste tipo.

#### 5.4. ECONOMÍAS DE ESCALA

Cuando un aumento de un 1% en los insumos se traduce en un aumento de la producción del 1%, la empresa está operando bajo rendimientos de escala constantes; cuando este aumento representa un aumento de la producción menor al 1 %, la empresa está operando bajo rendimientos decrecientes; si por el contrario el aumento representa un incremento en la producción mayor al 1%, la empresa está operando bajo rendimientos crecientes, es decir que existen

economías de escala. La existencia de economías de escala puede observarse claramente en la curva de costos. Un ejemplo será ilustrado en el *gráfico 3*.



**Gráfico 3. Curvas de Costos.**

En la parte inicial de la gráfica  $MC < AC$ , es decir que la empresa está operando bajos rendimientos crecientes; luego se encuentra el punto mínimo de la curva de



$AC$  llamado *escala mínima eficiente*, donde  $MC = AC$ . Finalmente el Costo promedio ( $AC$ ) aumenta,  $MC > AC$ , y se dice que se está operando bajo rendimientos decrecientes.

En transporte existen diferentes tipos de economías de escala y son explicadas más adelante en este capítulo.

### 5.5. ECONOMÍAS DE DENSIDAD Y TAMAÑO

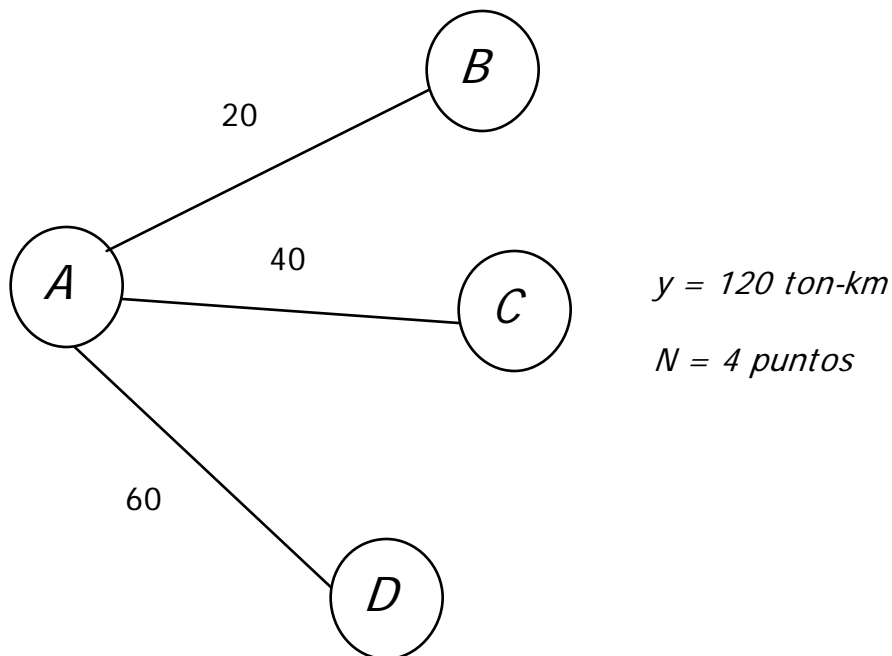
Una de las características de la industria del transporte es que no es sencillo determinar si existen economías de escala, ya que normalmente los servicios de transporte son prestados dentro de una red, la cual aumenta en número, lo que se traduce en un aumento en la producción del transporte. La producción podría aumentar transportando un volumen de carga más alto, lo cual incrementaría la densidad de los movimientos de tráfico (viajes) sobre los enlaces (carreteras) existentes de la red. La producción también podría aumentar extendiendo el tamaño de la red, incluso aunque los movimientos de tráfico se mantengan constantes.

La diferencia básica entre *tamaño* y *densidad* se puede ver claramente en la figura 1. Se muestra la operación inicial de una empresa sobre la red ilustrada en la figura 1a. La empresa presta el servicio en cuatro diferentes puntos en la red (A, B, C y D), descritos por  $N = 4$ , la cantidad de tráfico (en ton-km) para cada enlace y la cantidad total sobre la red es 120 ton-km ( $y = 120$ ). Suponiendo que la cantidad de tráfico incrementa en un 25% ( $y = 150$ ), el tráfico podría ser distribuido de infinitas formas dentro de la red, en la figura 1b se muestra una de ellas. Se ha aumentado el tráfico en un 25% para cada enlace de la red, es decir que el tamaño de la red se ha mantenido constante, pero los movimientos de tráfico han

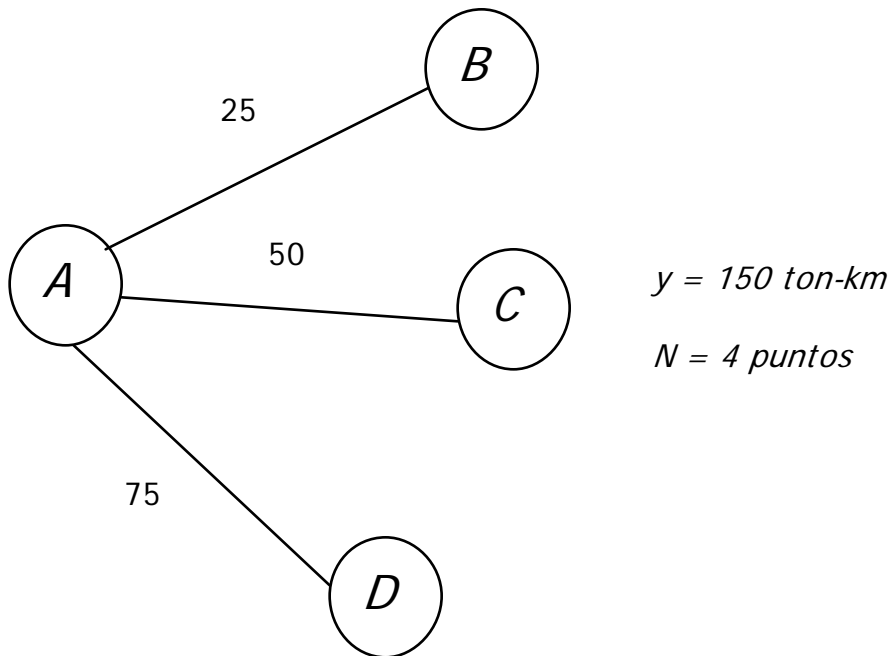
aumentado. Otra forma de aumentar el número de ton-km es mostrado en la figura 1c. Aquí el tamaño de la red ha sido aumentado mediante la adición de un nuevo punto (E) y un enlace que preste servicio a éste, ahora hay entonces 5 puntos ( $N=5$ ), así que el número de puntos ha sido aumentado en un 25%, pero el volumen de tráfico en los enlaces existentes no ha sido aumentado, es decir que el tamaño de la red ha aumentado, pero los movimientos de tráfico permanecen constantes. Estas dos formas de expansión de la producción son las que normalmente se buscan en estudios de economías de escala.

Figura 1. Economías de Densidad y Tamaño.

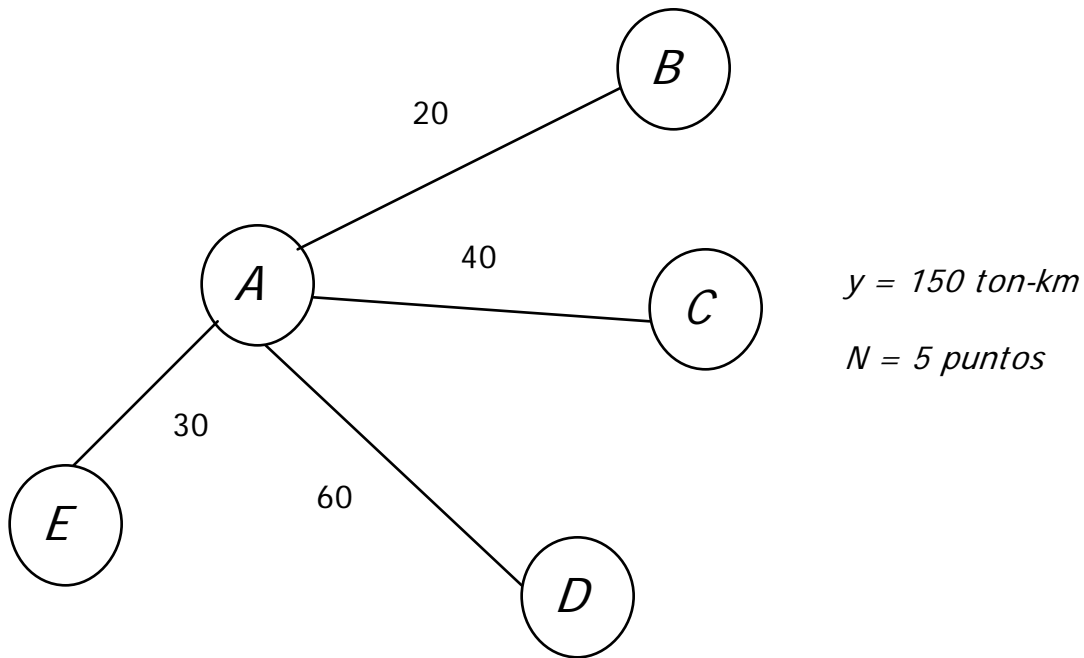
a. Operación inicial



b. Tamaño de la red constante, densidad aumentada en un 25%



c. Tamaño de la red aumentado en un 25%, densidad constante



Caves, Christensen, and Swanson (1981) indicaron una manera de distinguir entre economías de densidad y tamaño en un trabajo práctico. Para una función de costo a largo plazo, en la cual el costo total  $C$  depende de una serie de productos  $n$  ( $y_1, y_2, \dots, y_n$ ) y el número de puntos de la red,  $N$ , el grado de economías de densidad  $S_D$  es medido de la siguiente forma:

$$S_D = 1 / \sum_{i=1}^n e_{y_i}^c,$$

donde  $e_{y_i}^c$  es la elasticidad del costo total con respecto al producto  $i$ .  $S_D$  es por esta razón una medida de economías de escala cuando el volumen de tráfico es aumentado, pero el número de puntos de la red,  $N$ , se mantiene constante. Economías de densidad, rendimientos constantes de densidad, o rendimientos decrecientes de densidad pueden ser observados a través de  $S_D$  cuando éste es mayor, igual o menor que uno (1) respectivamente.

El grado de economías de tamaño es medido de la siguiente forma:

$$S_S = 1 / \left( \sum_{i=1}^n e_{y_i}^c + e_N^c \right),$$

donde, además de los términos ya definidos,  $e_N^c$  es la elasticidad del costo total con respecto al número de puntos de la red,  $N$ .  $S_S$  es por esta razón una medida de economías de tamaño cuando la producción y el tamaño de la red han sido aumentados. Economías de tamaño, rendimientos constantes de tamaño, o rendimientos decrecientes de tamaño pueden ser observados a través de  $S_S$  cuando éste es mayor, igual o menor que uno (1) respectivamente.

## 5.6. ECONOMÍAS DE ALCANCE, COSTOS COMPLEMENTARIOS Y COSTOS ANTICOMPLEMENTARIOS

Además de estudiar los costos de transporte para encontrar información acerca de economías de escala, incluyendo economías de tamaño y densidad, también es importante analizar cómo la combinación de dos o más productos podría afectar el costo total. Esto permite decidir si una empresa debe prestar varios servicios o debe especializarse en uno sólo.

Suponiendo que una empresa de transporte produce dos tipos de servicio: transporte de carga medido por  $y_1$ , y transporte de pasajeros medido por  $y_2$ ; y además suponiendo que el costo total de producción es  $C(y_1, y_2)$ , podríamos preguntarnos como un incremento en el nivel del primer servicio ( $y_1$ ), afectará el costo marginal de producción del segundo servicio ( $y_2$ ).

Matemáticamente el costo marginal del servicio 1 es la derivada parcial de C con respecto a  $y_1$ ,

$$\frac{\partial C}{\partial y_1}.$$

Para analizar cómo un incremento en  $y_2$  afectaría el costo marginal del servicio 1, se debe evaluar entonces la derivada parcial del costo marginal del servicio 1 con respecto al nivel de servicio 2, es decir evaluar la siguiente derivada:

$$\frac{\partial}{\partial y_2} \left( \frac{\partial C}{\partial y_1} \right) = \frac{\partial^2 C}{\partial y_2 \partial y_1}.$$

Si el costo marginal del servicio 1 disminuye, mientras que la cantidad del servicio 2 aumenta, entonces

$$\frac{\partial^2 C}{\partial y_2 \partial y_1} < 0.$$

En el argot económico, una condición en la cual

$$\frac{\partial^2 C}{\partial y_2 \partial y_1} < 0$$

indica que existen *costos complementarios* entre el servicio 1 y 2. Si se presenta el caso contrario

$$\left( \frac{\partial^2 C}{\partial y_2 \partial y_1} > 0 \right),$$

entonces existen *costos anticomplementarios* entre los dos servicios. Al menos localmente, el costo de un servicio incrementa a medida que la cantidad del otro servicio aumenta.

*Los costos complementarios y anticomplementarios* son conceptos “locales”, ya que estos describen cómo la función de costos se comporta alrededor de una o varias observación (bases de datos).

Es interesante también saber si es menos costoso que los dos servicios sean prestados por una misma empresa o que cada servicio sea provisto por una empresa distinta. Es así cómo se determina si existen o no economías de alcance. Una empresa está operando con *economías de alcance* en cuanto a su producción  $(y_1, y_2)$  cuando

$$C(y_1, y_2) < C(0, y_2) + C(y_1, 0),$$

en este caso es menos costoso producir con una empresa que con dos especializadas cada una en un único servicio. Si la inecuación es al contrario, entonces no existen *economías de alcance*, es decir que sería menos costoso producir con dos empresas, una con el producto  $y_1$  y otra con el producto  $y_2$ .

## 5.7. FUNCIÓN DE COSTOS FLEXIBLE

Comenzando los 70's una de las mayores innovaciones en estudios de costo fue la introducción de formas menos restrictivas de funciones de costo adecuadas que fueron apropiadas para trabajos prácticos. Estas funciones de costo llamadas *formas flexibles* incluyen entre otras la función generalizada Leontief y la función Translog.

Debido a que la función Traslog ha demostrado ser una de las más utilizadas en estudios de costos de varios modos de transporte, ésta será el centro de la siguiente discusión. La función Translog de costos a largo plazo para  $m$  productos y  $n$  insumos se escribe de la siguiente forma:

$$\ln C = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i \ln y_i + \sum_{i=1}^n b_i \ln w_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m a_{ij} \ln y_i \ln y_j + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} \ln w_i \ln w_j + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_{ij} \ln y_i \ln w_j$$

donde  $C$  es el costo total,  $y_i$  es el nivel de producción  $i$ , y  $w_j$  es el precio del insumo  $j$ . En la mayoría de las aplicaciones, la estructura Translog es estimada con un procedimiento utilizado en un paper hecho por Christensen y Greene (1976). Estos autores impusieron una serie de restricciones que garantizan que la función de costo es linealmente homogénea en factores de precio ( $\sum_i b_i = 1$  y  $\sum_j g_{ij} = 0$  para todos los  $i$ , y  $\sum_i b_{ij} = 0$  para todos los  $j$ ), así que es una función de costo adecuada.

La función de costo Cobb-Douglas es un caso especial de la función de costo Translog, ya que si todos los términos que contienen  $a_{ij}$ ,  $b_{ij}$ , y  $g_{ij}$  son iguales a cero, la función resultante es:

$$\ln C = a_0 + \sum_{i=1}^m a_i \ln y_i + \sum_{i=1}^n b_i \ln w_i,$$

que es una función de costo Cobb-Douglas con  $m$  productos y  $n$  insumos.

Como ya se había mencionado anteriormente este tipo de función será el que se usará para uno de los modelos estudiados en este trabajo.



## 6. ESTUDIO DE COSTOS OPERATIVOS

En este capítulo se revisará la estructura de costos trabajada por el Ministerio de Transporte y la estructura de una empresa de transporte del sector privado. La idea es establecer diferencias, proponer algunos cambios y determinar cuales son los factores que juegan un papel más importante en la producción y el costo total del transporte.

A continuación se explicará la estructura de costos propuesta por el Ministerio de Transporte y la estructura de costos trabajada por TDM Transportes S.A.

### 6.1. ESTRUCTURA DE COSTOS DE OPERACIÓN – MINTRANSPORTE

#### *Metodología*

En el proceso de actualización de costos de operación vehicular para el transporte de carga en Colombia, se ha venido implementando una metodología de recolección de datos y procesamiento de información de tal manera que se vayan creando las condiciones técnicas que permiten al sector utilizar los datos para la toma de decisiones.

#### *Recolección de información*

El Ministerio de Transporte realiza una recolección de datos en ocho ciudades del país, consideradas como centros transportadores de carga, las poblaciones objeto de la toma de información son:

Bogotá	Pasto
Medellín	Duitama
Cali	Ibagué
Barranquilla	Bucaramanga

En el año 2002 se visitaron 200 establecimientos comerciales entre almacenes distribuidores de repuestos, estaciones de servicio y talleres de mantenimiento; para el primer trimestre de 2003 se realizó la encuesta con la colaboración de las Direcciones Territoriales, quienes visitaron un total de 200 establecimientos.

#### *Procesamiento de la información*

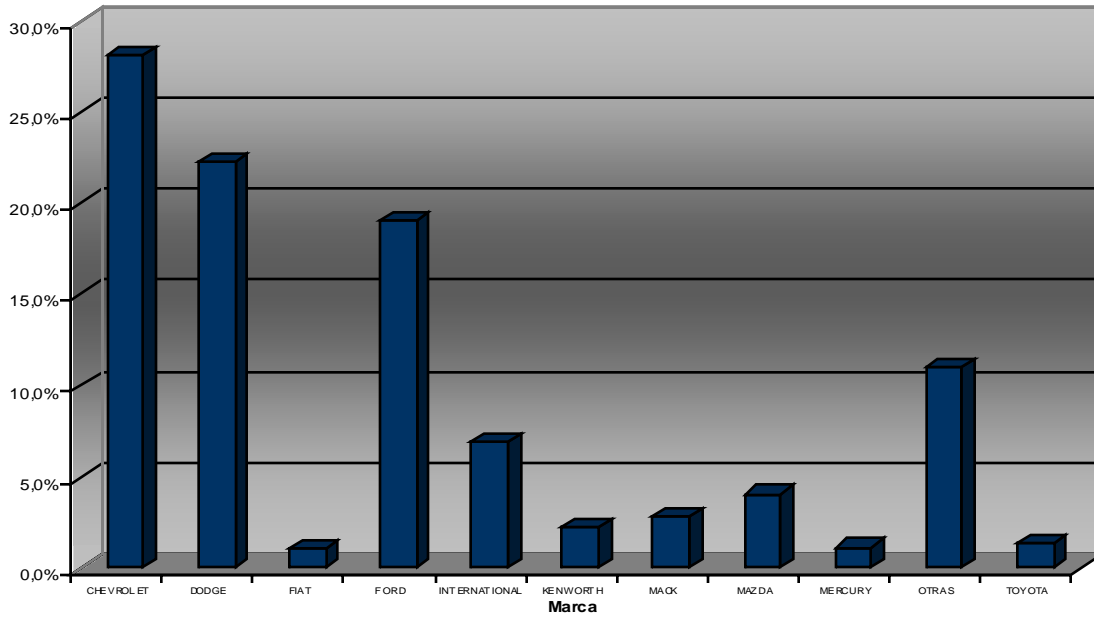
Como resultado de la toma de información se recopilaron 9000 datos relacionados con los precios de cada uno de los insumos que implican costo durante la operación de un vehículo de carga por las carreteras de Colombia; los cuales se procesan por cada ítem y ciudad inicialmente, se promedia y así obtienen valores representativos en el ámbito nacional, los que se constituyen en punto de partida para el cálculo de indicadores de costo, teniendo en cuenta los rendimientos por configuración y los parámetros en operación normal.

#### **6.1.1. Perfiles de Vehículos**

Debido a que los rendimientos varían dependiendo del modelo y la marca del vehículo, se calcularon costos para vehículos Chevrolet (C2, C3 y CS) modelo 1993, ya que estos tienen la mayor participación en el parque automotor de nuestro país.

A continuación se presenta la distribución de vehículos por marca y modelo en Colombia:

DISTRIBUCIÓN VEHÍCULOS COLOMBIA



DISTRIBUCIÓN VEHÍCULOS COLOMBIA

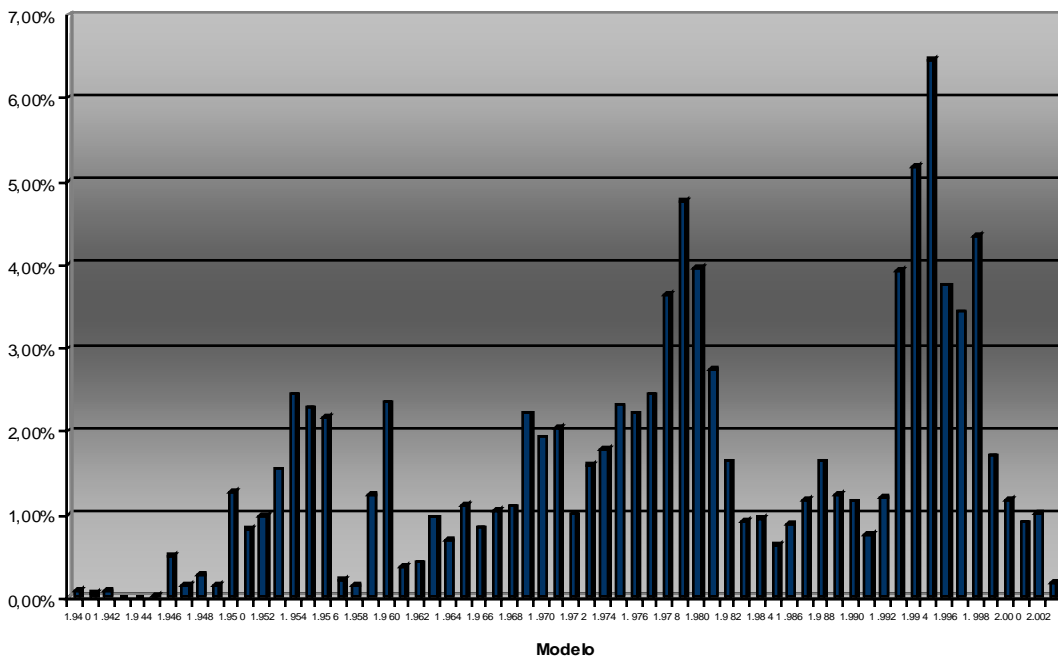


Gráfico 4. Distribución de Vehículos Colombia.

### 6.1.2. Costos Variables

#### *Consumo de combustibles*

El consumo de combustible es variable según el tipo de terreno y las condiciones de carga del vehículo, para este estudio se consideró un vehículo a plena carga y para las diferentes rutas se tienen las características del terreno, que permiten establecer los rendimientos de los vehículos para los diferentes tipos de terreno.

#### *Consumo de llantas*

Para calcular el consumo de llantas, se toman datos iniciales en el momento del montaje de la llanta, para el primer mes se hace un chequeo del kilometraje de la llanta y su desgaste (profundidad del labrado), y con esto se obtiene una proyección de su vida útil en kilómetros, que luego al hacer la relación entre costo y distancia se tiene un valor en pesos por kilómetro para el consumo de llantas.

#### *Consumo de lubricantes y filtros*

Este ítem está determinado por los rendimientos calculados para vehículos Chevrolet modelo 1993.

#### *Mantenimiento y reparaciones*

Se estableció una tabla de frecuencia para el mantenimiento y reparación de las diferentes partes de los vehículos, con estas frecuencias y el costo de las reparaciones se calculó el rendimiento para cada parte en pesos por kilómetro, estableciéndose así un indicador para mantenimiento y reparación.

#### *Lavado y engrase*

Se calcula con promedios de los datos recolectados en las diferentes ciudades que se han considerado como centros transportadores de carga en el país.

*Imprevistos*

Se calculan para atender las ocurrencias en ruta y se estiman como un 4.0% de los costos variables.

**6.1.3. Costos Fijos***Seguros*

Se calculan con tasas anuales proporcionadas por Delima Marsh y valores base para las diferentes configuraciones de vehículos, estos diferentes avalúos se encuentran en la base de datos de FASECOLDA.

*Salarios y prestaciones básicas*

Se calcula partiendo de un salario básico equivalente a dos SMLV (salario mínimo legal vigente), al cual se le aplican todas las prestaciones legales, tales como, fondo de pensiones, vacaciones, salud, ARP, aportes parafiscales, etc.

*Parqueadero*

Se calcula con promedios de los datos recolectados en las diferentes ciudades que se han considerado como centros transportadores de carga en el país.

*Impuestos de rodamiento*

Este ítem comprende todos aquellos tributos que el propietario del vehículo debe pagar para poder movilizarlo, tales como, impuesto de timbre, de rodamiento y certificado de emisión de gases.

*Recuperación de Capital*

Se calcula con el promedio de las tasas de interés proporcionadas por la Superintendencia Bancaria y los avalúos de los vehículos dados por FASECOLDA.

*Gastos de Administración*

Representan el 5% de los costos totales de operación.

**6.1.4. Canasta de Costos**

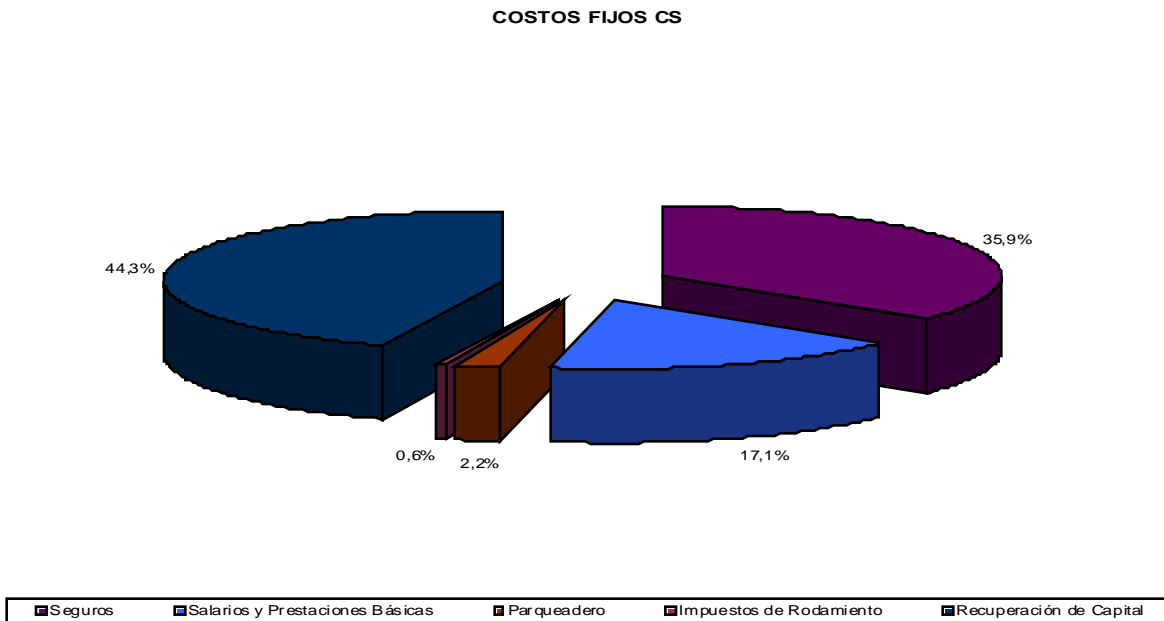
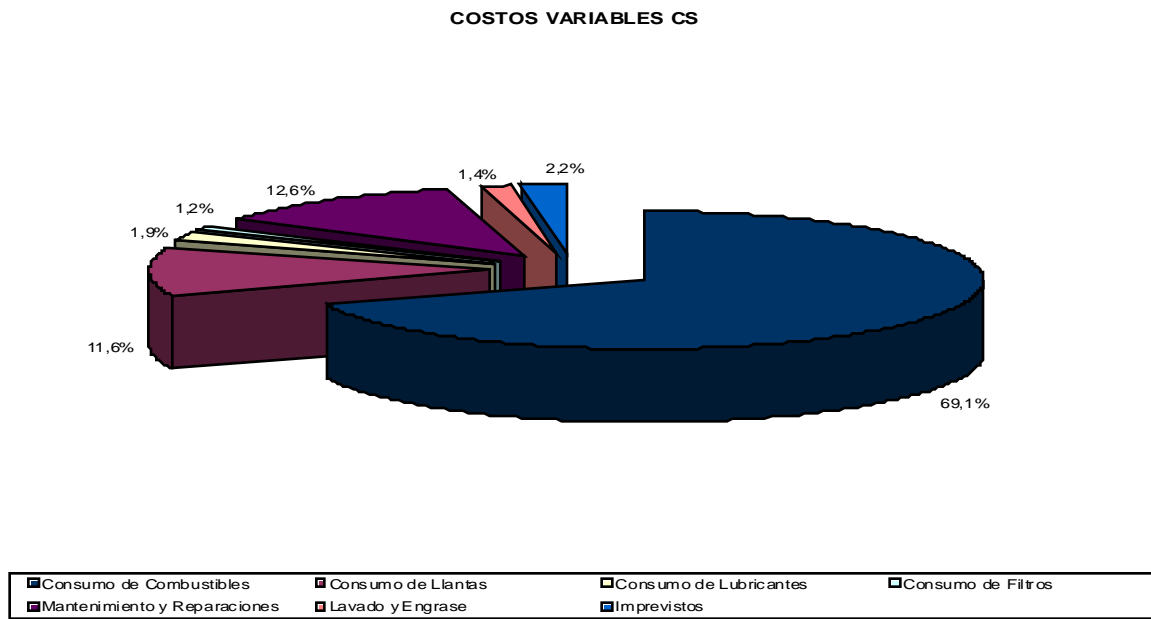
Se presentan los resultados obtenidos para los costos de operación en transporte de carga en el año 2003:

<b>COMPONENTES DE COSTOS</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>CS</b>
<i>Consumo de Combustibles</i>			
<i>Plano</i>	404,13	271,65	487,53
<i>Ondulado</i>	573,12	371,13	662,40
<i>Montañoso</i>	834,86	537,58	954,94
Consumo de Llantas	128,82	209,03	354,05
Consumo de Lubricantes	30,45	47,23	57,34
Consumo de Filtros	10,73	26,12	37,94
Mantenimiento y Reparaciones	191,10	346,25	384,50
Lavado y Engrase	23,99	32,39	43,20
Imprevistos	28,88	49,58	65,78
<b>COSTOS VARIABLES (\$/km)</b>	<b>2226,08</b>	<b>1890,96</b>	<b>3047,68</b>
Seguros	605.070,22	1.828.979,58	2.045.956,77
Salarios y Prestaciones Básicas	978.249,07	978.249,07	978.249,07
Parqueadero	85.208,40	100.749,90	125.833,20
Impuestos de Rodamiento	10.344,58	18.412,92	31.443,75
Recuperación de Capital	885.514,75	2.397.979,29	2.525.231,06
Gastos de Administración	-	-	-
<b>COSTOS FIJOS (\$/mes)</b>	<b>2.564.387,03</b>	<b>5.324.370,75</b>	<b>5.706.713,85</b>

**Tabla 1. Canasta de Costos Operativos Ministerio de Transporte Colombia.**

*Distribución de Costos*

Se mostrará la distribución de costos de operación para vehículos articulados, ya que estos representan el objeto principal de este estudio:



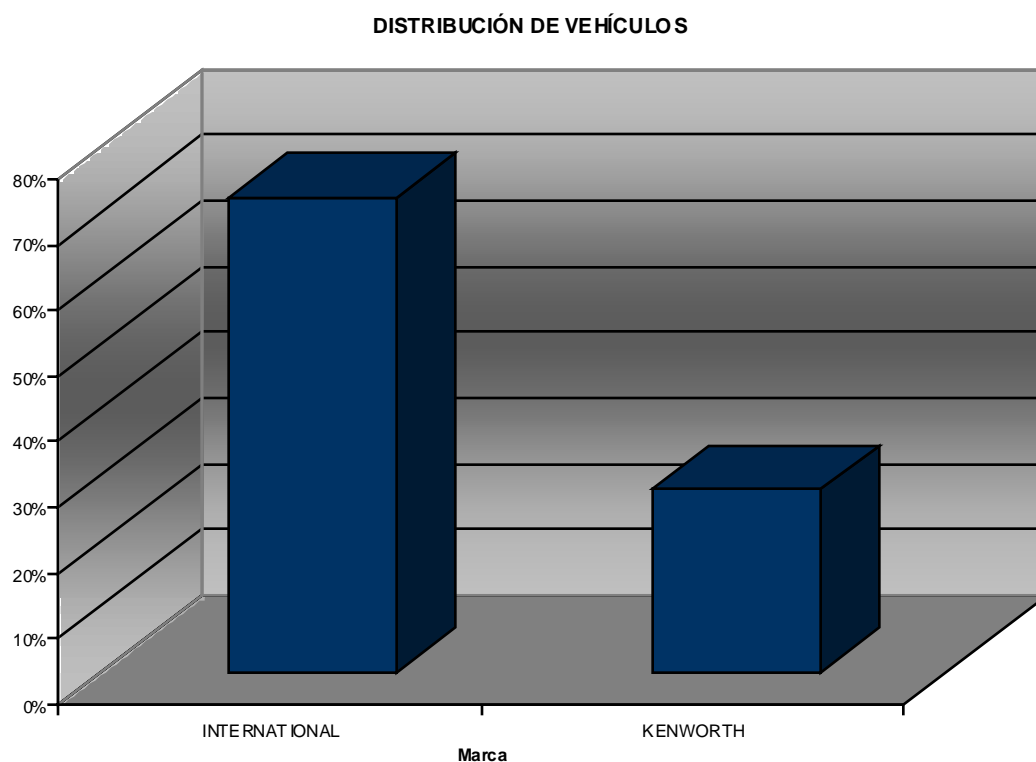
**Gráfico 5. Distribución de Costos Operativos para Vehículos Articulados en Colombia.**

## 6.2. ESTRUCTURA DE COSTOS DE OPERACIÓN – TDM TRANSPORTES

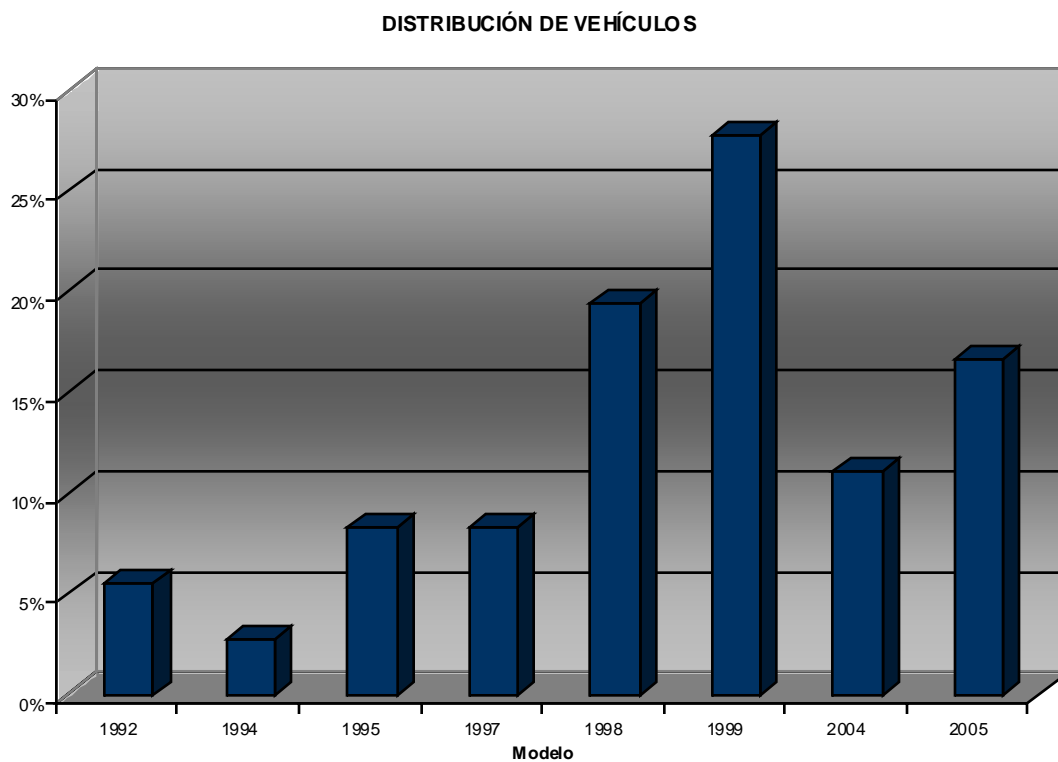
### 6.2.1. Perfiles de Vehículos

A diferencia de los costos calculados por el Ministerio, TDM Transportes utiliza diferentes rendimientos, ya que sus vehículos son marca International y Kenworth, y estos poseen tres tipos diferentes de motores que son Detroit Diesel serie 60, Cummins N 14 no electrónico y Cummins 15 SX electrónico; además se encuentran modelos entre 1993 y 2004.

En la siguiente gráfica se mostrará la distribución de los vehículos de TDM Transportes:







**Gráfico 6. Distribución de Vehículos TDM Transportes.**

### **6.2.2. Costos Variables**

Dependen exclusivamente de la operación; son los siguientes:

#### *Mano de Obra*

La parte variable de la mano de obra está establecida en pesos por kilómetro (\$/km), se estima que los vehículos en promedio recorren de 9000 a 10000km en el mes, pero todo esto depende de la eficiencia del conductor y de las diferentes circunstancias que puedan presentársele.

### *Informe de Viaje*

Los costos por informe del viaje corresponden al consumo de combustibles y lubricantes, lavadas y brilladas, cargues y descargues, imprevistos y un componente del peaje, del cual sólo se tiene un promedio que es útil como indicador, pero que es muy variable dependiendo de la ruta en la que transite el vehículo.

### *Consumo de Llantas*

Para el consumo de llantas se tienen rendimientos promedio para las llantas direccionales y las de tracción; las llantas son alquiladas a otra empresa, que por medio de integración vertical ahora hace parte de TDM Transportes S.A., pero se sigue manejando la figura del alquiler.

### *Mantenimiento*

El mantenimiento está a cargo de SERVITRANS, la empresa de la que se hablaba anteriormente; se cuenta con un software que facilita la programación del mantenimiento para cada vehículo, las frecuencias de mantenimiento para los diferentes componentes es estimada por los ingenieros encargados del mantenimiento y estas frecuencias van variando de acuerdo a los chequeos que se hacen durante la vida útil de los diferentes insumos.

### **6.2.3. Costos Fijos**

Dentro de los costos fijos tenemos todos aquellos que no dependen de la utilización del vehículo, tales como:

### *Mano de obra*

La mano de obra se ha considerado como un costo mixto, el cual consta de una parte fija y una variable, la parte fija se calcula partiendo de un salario básico equivalente a un SMLV más las prestaciones legales y los aportes fiscales.

### *Seguros*

Para los seguros, por tratarse de varios vehículos, las tasas para la empresa son más bajas, lo que evidencia la existencia de economías de escala, estas tasas junto con el valor de los vehículos, permiten calcular un valor mensual para los seguros.

### *Impuestos*

Este ítem comprende todos aquellos tributos que el propietario del vehículo debe pagar para poder movilizarlo, tales como, impuesto de timbre, de rodamiento y certificado de emisión de gases.

### *Seguimiento*

Dentro del seguimiento se tienen en cuenta los costos de telefonía celular y monitoreo satelital.

### *Costo Capital Invertido*

Es la rentabilidad que espera tener la empresa de sus vehículos, la tasa que se maneja actualmente está cercana al 20% anual sobre el valor del vehículo.

### *Parqueadero*

Para las ciudades como Cartagena, Bogotá, Medellín y Buenaventura, la empresa cuenta con instalaciones para guardar los vehículos, en las demás ciudades, se cuenta con lugares conocidos, de los cuales se tienen tarifas, obteniendo así un promedio a nivel nacional.

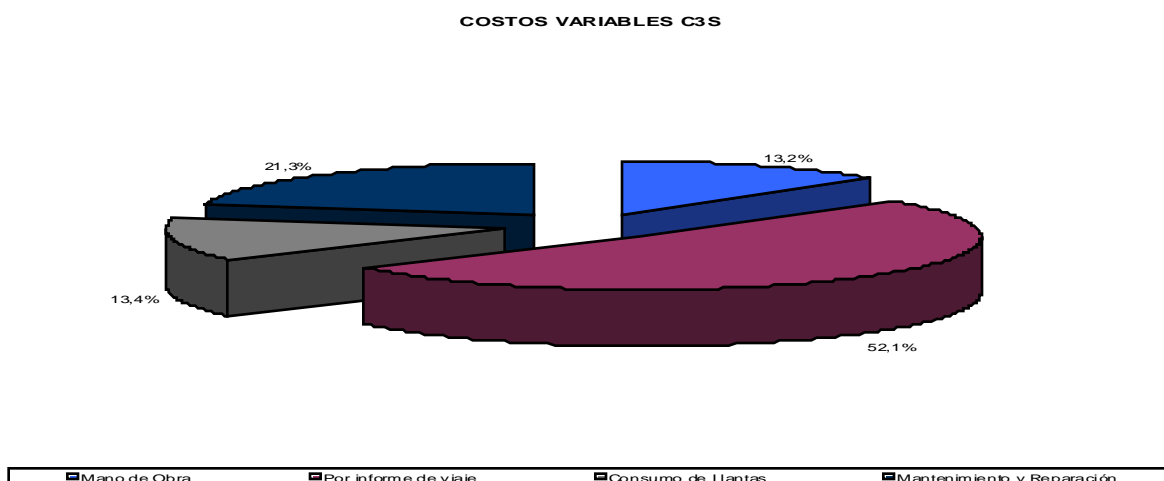
### 6.2.4. Canasta de Costos

En la tabla se resumen los costos operativos del año 2003 para TDM transportes:

COMPONENTES DE COSTO	C2	C3S	Trailer
Mano de Obra	88,76	177,52	0,00
Por informe de viaje	401,74	700,09	1,27
Consumo de Llantas	55,89	102,74	77,88
Mantenimiento y Reparación	106,90	242,27	44,40
<b>COSTOS VARIABLES km</b>	<b>653,29</b>	<b>1.222,61</b>	<b>123,55</b>
Mano de obra	550.688,62	550.688,62	0,00
Seguros	391.519,42	752.869,75	100.000,00
Impuestos	20.333,00	23.833,00	0,00
Seguimiento	69.300,00	399.300,00	0,00
Costo del capital invertido	1.254.000,00	3.135.000,00	300.000,00
Parqueadero	90.000,00	90.000,00	0,00
<b>COSTOS FIJOS mes</b>	<b>2.375.841,04</b>	<b>4.951.691,37</b>	<b>400.000,00</b>

Tabla 2. Canasta de Costos Operativos TDM Transportes S.A.

### Distribución de Costos



## COSTOS FIJOS C3S

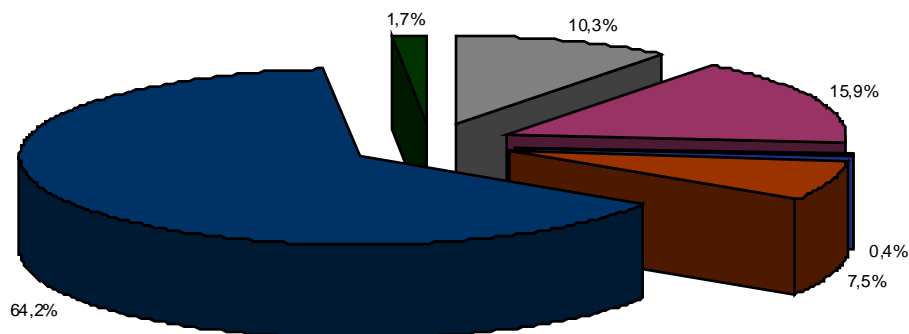


Gráfico 7. Distribución de Costos Operativos para Tractomulas TDM Transportes

### 6.3. CONCLUSIONES

Se encontró que la metodología empleada por el Ministerio para calcular los salarios y prestaciones no es la más adecuada, ya que al considerar ésta sólo como una parte fija de los costos, el salario del conductor no dependerá de los kilómetros que éste recorra y por lo tanto para el conductor será indiferente el número de viajes que realice.

Las tasas para seguros de vehículos de transporte de carga se encuentran normalmente entre el 8% y el 14% del valor total del vehículo, por lo cual es

importante resaltar que las tasas adoptadas por el Ministerio están por encima de los valores estándar; también es importante decir que los costos para seguros de TDM Transportes son mucho menores, debido no sólo a las tasas presentadas para varios vehículos, sino también por las bonificaciones que se tienen por concepto de administración de los seguros adquiridos.

Calcular la recuperación del capital por medio de las tasas de rentabilidad ofrecidas por la Superintendencia Bancaria equivale a depositar el dinero en cualquier entidad bancaria, esta metodología es poco conveniente, ya que el transporte terrestre de carga es una actividad con un riesgo mayor a las inversiones bancarias y por lo tanto debe obtenerse una rentabilidad más alta; además de esta forma no estamos teniendo en cuenta la depreciación de los vehículos

Finalmente, se observó la ausencia de un modelo matemático como tal para calcular los costos de operación del transporte de carga, simplemente son estructuras de costo propuestas por el Ministerio y otras elaboradas por las empresas transportadoras y los propietarios de vehículos. Para el caso específico de transportadores independientes, estas estructuras de costo pueden ser de gran utilidad, debido a su fácil manejo estas aproximaciones pueden permitir un control apropiado de la operación del vehículo; sin embargo para el caso de empresas de transporte, es importante elaborarlas para tener un estimativo de la operación de la flota, pero estas estructuras no permiten evaluar economías de escala, densidad, tamaño, etc., motivo por el cual es de gran utilidad contar con un modelo econométrico que permita evaluar los factores mencionados anteriormente.

## **7. MODELOS DE FUNCIONES DE PRODUCCIÓN Y COSTO ASOCIADO TIPO COBB-DOUGLAS**

### **7.1. ESTUDIO DE FUNCIONES DE PRODUCCIÓN**

En un principio se pueden estudiar las funciones de producción para verificar si hay economías de escala. De hecho, históricamente se han realizado muchos estudios. Uno de estos estudios hechos en transporte fue el de Cookenboo, quien en 1955 evaluó una función de producción tipo Cobb-Douglas para una empresa de oleoductos, y encontró la siguiente relación entre los insumos en la operación del oleoducto (el tamaño del oleoducto y la potencia de bombeo) y el volumen de petróleo transportado a través del oleoducto:  $T = AH^{0.37}D^{1.73}$ , donde  $T$  representa el volumen de petróleo transportado,  $H$  la potencia de la infraestructura de bombeo, y  $D$  el diámetro del oleoducto;  $A$  es una constante. Esta ecuación indica que un aumento en un 1% en ambos insumos ( $H$  y  $D$ ), aumentará el volumen transportado a través del sistema en un 2,1% (la suma de los exponentes indica el grado de economías de escala). Debido a que el producto ( $T$ ) aumenta en una proporción mayor que el incremento en los insumos, esta función de producción indica que hay economías de escala en el transporte a través de oleoductos.

### **7.2. FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN COBB-DOUGLAS PARA EMPRESA DE TRANSPORTE TERRESTRE DE CARGA**

### 7.2.1. Especificación de la Función de Producción

Para establecer la función se definieron primero que todos los insumos más relevantes en la operación (como se observó en la canasta de costos estudiada en el capítulo anterior), que son Capital, Mano de Obra y Consumo de Combustible ( $K$ ,  $L$  y  $F$  respectivamente). El producto ( $y$ ) son las toneladas-kilómetro transportadas. Así, la función de producción queda de la siguiente forma:  $y = AK^a L^b F^e$ , donde  $A$ ,  $a$ ,  $b$  y  $e$  son constantes y son los parámetros a estimar.

La base de datos para realizar la estimación contiene 46 observaciones para cada variable, las cuales se encuentran en el período comprendido entre enero de 2001 y octubre de 2004. Los insumos fueron medidos de la siguiente forma:

#### *Capital (K):*

Capacidad instalada de camiones y tractomulas en el mes, es decir sólo aquellos vehículos que hicieron algún tipo de transporte, o sea que los vehículos que se encontraban en reparación o que por algún motivo no viajaron durante el mes no son tomados en cuenta en la respectiva observación. La capacidad se midió en toneladas. Un camión cuenta con una capacidad de 10 toneladas y una tractomula con una capacidad de 34 toneladas.

#### *Mano de Obra (L):*

Para la empresa en estudio la mano de obra representa un factor variable, por lo que esta es medida en kilómetros recorridos por cada conductor, además se paga una parte fija que corresponde a un salario mínimo mensual, la cual es transformada a kilómetros para estandarizar las observaciones.



*Consumo de Combustible (F):*

El consumo de combustible corresponde al número de unidades de combustible empleadas en el mes, es decir el total de galones utilizados.

El producto ( $y$ ), como ya se había mencionado antes corresponde al total de toneladas transportadas en el mes multiplicado por el total de kilómetros recorridos por los vehículos. Se mide en ton-km.

**7.2.2. Estimación y Resultados**

Para la estimación de los diferentes parámetros la función fue linealizada de la siguiente forma:

$$y = AK^a L^b F^e \Rightarrow \ln y = \ln A + a \ln K + b \ln L + e \ln F$$

De esta manera es posible realizar una regresión lineal y obtener así los diferentes parámetros.

La regresión fue hecha en el software SPSS y arrojó los siguientes resultados:

Estadísticas Descriptivas						
Variable	Media	Desv. Estándar	Variable	Media	Desv. Estándar	N
Ln_y	21,1019	0,16126	y (miles ton-km)	1460288,71	1,17499	46
Ln_K	6,6908	0,07367	K (ton)	804,96	1,07645	46
Ln_L	13,0569	0,09862	L (km)	468316,67	1,10365	46
Ln_F	10,3485	0,08475	F (galones)	31210,19	1,08844	46

**Tabla 3. Estadísticas Descriptivas Función de Producción.**

## Correlaciones

		Ln_y	Ln_K	Ln_L	Ln_F
Correlación	Ln_y	1,000	0,670	0,785	0,738
	Ln_K	0,670	1,000	0,509	0,581
	Ln_L	0,785	0,509	1,000	0,462
	Ln_F	0,738	0,581	0,462	1,000
Significancia (1 cola)	Ln_y	.	0,000	0,000	0,000
	Ln_K	0,000	.	0,000	0,000
	Ln_L	0,000	0,000	.	0,001
	Ln_F	0,000	0,000	0,001	.

Tabla 4. Correlaciones para Variables Independientes Función de Producción.

Variables Ingresadas/Removidas<sup>(b)</sup>

Modelo	Variables Ingresadas	Variables Removidas	Método
1	Ln_F, Ln_L, Ln_K <sup>(a)</sup>	.	Entradas

a. Variables solicitadas para la regresión

b. Variable Dependiente: Ln\_y

Tabla 5. Listado de Variables y Método de Regresión.

## Resumen del Modelo

Modelo	R	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Ajustado	Error Estándar de la estimación
1	0,902	0,814	0,801	0,07194

Tabla 6. Coeficiente de Correlación R<sup>2</sup>.Coeficientes<sup>(a)</sup>

Modelo		Coeficientes		t	Sig.	Intervalo de Confianza al 95% para B	
		B	Error Estándar			Límite Inferior	Límite Superior
1	(Constante)	-0,256	1,601	-0,160	0,874	-3,486	2,974
	Ln_K	0,391	0,190	2,063	0,045	0,009	0,774
	Ln_L	0,834	0,130	6,417	0,000	0,572	1,097
	Ln_F	0,758	0,160	4,738	0,000	0,435	1,081

a. Variable Dependiente: Ln\_y

Tabla 7. Coeficientes Función de Producción.

**Correlaciones de Coeficientes<sup>(a)</sup>**

Modelo			Ln_F	Ln_L	Ln_K
1	Correlaciones	Ln_F	1,000	-0,237	-0,453
		Ln_L	-0,237	1,000	-0,333
		Ln_K	-0,453	-0,333	1,000
	Covarianzas	Ln_F	0,026	-0,005	-0,014
		Ln_L	-0,005	0,017	-0,008
		Ln_K	-0,014	-0,008	0,036

a. Variable Dependiente: Ln\_y

**Tabla 8. Coeficientes de Correlación.**

Cómo resultado de la regresión obtenemos la siguiente función de producción:

$$y = K^{0,391} L^{0,834} F^{0,758}$$

La suma de los exponentes es igual a 1.983, es decir que un incremento en un 1% de los insumos generaría un incremento en el producto de un 1.983%, mostrando este resultado la existencia de economías de escala.

### **7.3. FUNCIONES DE COSTO ADECUADAS PARA EMPRESA DE TRANSPORTE TERRESTRE DE CARGA**

Los estudios de costo se han visto beneficiados por las relaciones encontradas entre las funciones de producción y las funciones de costo. Un estudio de costos acerca de la generación de energía eléctrica realizado por Marc Nerlove (1963) llevó a los estudios de costo a un nuevo nivel. El demostró la relación teórica y práctica existente entre una función de producción Cobb-Douglas y su función asociada de costo a largo plazo.

Nerlove estaba interesado en encontrar si existían economías de escala en la generación de energía eléctrica. El podría haber examinado una función de

producción de la siguiente forma:  $y = AK^a L^b F^e$ , donde  $y$  mide la cantidad de electricidad producida,  $K$  el capital utilizado,  $L$  la mano de obra y  $F$  el combustible empleado, y donde  $A$ ,  $a$ ,  $b$  y  $e$  son constantes. Luego de haber hecho esto, él hubiera encontrado que habían economías de escala si  $a + b + e > 1$ , ya que duplicando sus insumos obtendría más del doble de la producción. De la misma forma, habría encontrado rendimientos constantes de escala si  $a + b + e = 1$ , y rendimientos decrecientes de escala si  $a + b + e < 1$ .

En lugar de estimar una función de producción, Nerlove estudió la función de costo a largo plazo que está asociada con la función de producción Cobb-Douglas. Nerlove asumió que cada compañía de electricidad trataba de minimizar sus gastos totales para producir un nivel dado de electricidad. Si una empresa debe pagar una tasa salarial  $P_L$  por cada unidad de mano de obra que emplee, un precio de renta  $P_K$  por cada unidad de capital que alquile, un factor de precio  $P_F$  por cada unidad de combustible que use, entonces los gastos totales para la empresa serían  $E = P_K K + P_L L + P_F F$ . Si la empresa minimiza sus gastos para generar un nivel de producción dado con la función de producción  $y = AK^a L^b F^e$ , entonces el costo total para producir y será:

$$C = By^{1/(a+b+e)} (P_K)^{a/(a+b+e)} (P_L)^{b/(a+b+e)} (P_F)^{e/(a+b+e)},$$

donde  $B$  es una combinación de las constantes en la función de producción. Nerlove por esta razón reconoció que se podría estudiar la función de costo para determinar si había economías de escala. La forma más fácil para hacer esto fue sacar los logaritmos de la función de costo mostrada en la ecuación anterior, así:

$$\ln C = d_0 + d_1 \ln y + d_2 \ln P_K + d_3 \ln P_L + d_4 \ln P_F,$$

donde  $d_0 = \ln B$ ,  $d_1 = 1/(a+b+e)$ ,  $d_2 = a/(a+b+e)$ ,  $d_3 = b/(a+b+e)$ , y  $d_4 = e/(a+b+e) = (1-d_2-d_3)$ . El coeficiente  $d_1$  es la elasticidad del costo con respecto al producto. Esto muestra el cambio porcentual del costo en el que se incurrirá si el nivel de producción es incrementado en 1%. Por ejemplo si la elasticidad del costo con respecto al producto es menor que uno [ $1/(a+b+e) < 1$ ], entonces el costo promedio disminuirá a medida que la producción aumenta, por lo tanto habrá economías de escala ( $a+b+e > 1$ ).

Entre otras cosas, el trabajo de Nerlove mostró que las funciones de costos no dependen sólo de la producción y el costo; una función de costos a largo plazo bien especificada debe incluir precios de los factores de producción ( $P_K, P_L, P_F$ ).

### 7.3.1. Especificación de la Función de Costo a Largo Plazo

La función de costo contiene términos de primer orden de los logaritmos naturales, pero no términos de segundo orden (elasticidades de sustitución). Esta relación es una función de costo Cobb-Douglas. Aunque la Cobb-Douglas es consistente con la teoría de costos y producción, ésta tiene algunas propiedades restrictivas. Por ejemplo, la elasticidad del costo total con respecto al producto es una constante, sin importar si la empresa es grande o pequeña. Además la elasticidad de sustitución de un factor por otro siempre es la unidad (1) bajo una estructura Cobb-Douglas. Sin embargo se encontró esta función apropiada para el objeto de este estudio, que es determinar la existencia de economías de escala, densidad, tamaño y la influencia de algunas variables en el comportamiento de los costos.

La función a estimar se describe a continuación:

$$\ln C = \text{constante} + b_1 \ln y + b_2 \ln P_k + b_3 \ln P_L + b_4 \ln P_f + b_5 \ln G + b_6 \ln D + b_7 \ln S + b_8 \ln N ,$$

donde  $C$  denota el costo total,  $y$  es el número de toneladas kilómetro,  $N$  es el número de puntos de la red (orígenes y destinos),  $D$  es la longitud promedio en la red (la distancia promedio entre cargues y descargues),  $G$  es el factor de carga (la relación entre toneladas transportadas y capacidad total en toneladas),  $S$  es el valor de los seguros por cada tonelada kilómetro,  $P_K$  es el precio de cada unidad de capital,  $P_L$  es la tasa salarial, y  $P_F$  es el precio por galón de combustible.

Para los precios de los insumos ( $P_K$ ,  $P_L$ , y  $P_F$ ) se hicieron las siguientes consideraciones. En cuanto al precio del capital, éste fue calculado como el costo del capital invertido por la empresa, es decir un porcentaje del valor comercial de los vehículos, que para la empresa objeto de este estudio es el 20% anual, lo que indica aproximadamente un 17% mensual, que es el período en que se hicieron las observaciones. Para el precio de mano de obra, el procedimiento fue un poco más complicado, ya que en la actividad del transporte terrestre es difícil medir este insumo en horas trabajadas por conductor, para esto la empresa paga un precio por kilómetro recorrido, por eso este insumo se midió en kilómetros, sin embargo, adicionalmente a la prima kilométrica, se paga un salario básico correspondiente a un salario mínimo mensual, el cual convertimos a kilómetros, para ser consistentes con las unidades; así se obtuvo la relación entre gasto en mano de obra y cantidad de mano de obra, obteniendo como resultado el precio de ésta. En cuanto al precio del combustible, simplemente corresponde al precio histórico por galón de ACPM desde el año 2001 hasta la actualidad.

### 7.3.2. Estimación y Resultados

A continuación se muestran los resultados de la estimación, que fue hecha en SPSS con la siguiente restricción:  $P_K + P_L + P_F = 1$ . Esta restricción busca que la función de costos sea linealmente homogénea, lo cuál nos traerá como resultado que cada factor de precio represente un porcentaje del costo total de producción.

Historial de Iteración<sup>(b)</sup>

Número de Iteraciones	Residuo Suma de Cuadrados	Parámetro								
		b <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>6</sub>	b <sub>7</sub>	b <sub>8</sub>
0.1	3.520.254,955	-10,000	-10,000	0,333	0,333	0,333	-10,000	-10,000	-10,000	-10,000
1.1	95,395	-9,483	0,917	-0,345	-0,068	1,413	-10,079	-6,543	-12,743	-8,453
2.1	20,369	-9,150	1,194	1,986	-3,185	2,199	-10,983	-2,828	-3,346	-2,533
3.1	8,679	-9,027	0,451	1,239	-2,508	2,269	-10,821	-1,514	-2,898	0,334
4.1	4,022	-8,811	0,182	-0,093	-1,259	2,351	-10,202	-0,170	-1,965	-0,237
5.1	2,970	-8,693	0,074	-0,643	-0,637	2,280	-9,188	-1,098	-1,325	-0,432
6.1	2,309	-8,636	0,069	-0,759	-0,337	2,097	-7,875	-1,512	-0,961	-0,472
7.1	0,906	-8,534	0,188	-0,644	0,201	1,443	-3,761	-2,090	-0,183	-0,405
8.1	0,321	-8,513	0,375	-0,302	0,321	0,981	-1,220	-1,931	0,103	-0,230
9.1	0,160	-8,521	0,530	-0,079	0,281	0,798	-0,444	-1,505	0,124	-0,083
10.1	0,128	-8,517	0,609	-0,069	0,295	0,775	-0,483	-1,251	0,137	-0,025
11.1	0,104	-8,493	0,706	-0,139	0,389	0,750	-0,558	-0,983	0,221	0,032
12.1	0,090	-8,453	0,794	-0,247	0,535	0,712	-0,549	-0,797	0,355	0,071
13.1	0,086	-8,422	0,824	-0,303	0,622	0,681	-0,490	-0,768	0,434	0,078
14.1	0,085	-8,405	0,824	-0,307	0,644	0,663	-0,461	-0,787	0,451	0,075
15.1	0,085	-8,380	0,823	-0,299	0,661	0,638	-0,447	-0,805	0,458	0,072
16.1	0,084	-8,299	0,824	-0,263	0,706	0,557	-0,434	-0,837	0,468	0,068
17.1	0,082	-8,140	0,832	-0,187	0,781	0,406	-0,448	-0,869	0,475	0,064
18.1	0,079	-7,921	0,847	-0,079	0,871	0,209	-0,504	-0,877	0,475	0,065
19.1	0,078	-7,782	0,860	-0,013	0,913	0,100	-0,566	-0,855	0,465	0,071
20.1	0,078	-7,745	0,865	-0,002	0,910	0,091	-0,596	-0,831	0,456	0,075
21.1	0,077	-7,719	0,865	-0,004	0,899	0,105	-0,609	-0,814	0,450	0,078
22.1	0,077	-7,629	0,862	-0,011	0,873	0,137	-0,627	-0,783	0,438	0,082
23.1	0,075	-7,352	0,852	-0,020	0,827	0,193	-0,649	-0,729	0,416	0,087
24.1	0,071	-6,568	0,822	-0,022	0,739	0,283	-0,672	-0,629	0,371	0,094
25.1	0,061	-4,727	0,749	0,001	0,591	0,408	-0,678	-0,465	0,289	0,098
26.1	0,047	-1,494	0,618	0,077	0,403	0,520	-0,630	-0,263	0,174	0,094
27.1	0,035	1,712	0,487	0,189	0,291	0,520	-0,521	-0,152	0,090	0,076
28.1	0,030	2,734	0,443	0,256	0,317	0,427	-0,435	-0,190	0,088	0,059
29.1	0,030	2,453	0,454	0,264	0,363	0,373	-0,415	-0,243	0,109	0,054
30.1	0,030	2,294	0,460	0,262	0,374	0,364	-0,415	-0,255	0,116	0,054
31.1	0,030	2,276	0,461	0,261	0,375	0,364	-0,416	-0,256	0,116	0,054
32.1	0,030	2,276	0,461	0,261	0,375	0,364	-0,416	-0,256	0,116	0,054
33.1	0,030	2,276	0,461	0,261	0,375	0,364	-0,416	-0,256	0,116	0,054

Las derivadas son calculadas numéricamente

b. El análisis de detuvo después de 33 iteraciones. La solución óptima fue hallada.

**Tabla 9. Historia de Iteraciones Función de Costos.**

Estimación de Parámetros				R <sup>2</sup> = 0,979	
Parámetro	Estimación	Error Estándar	t	Intervalo de Confianza al 95%	
				Límite Inferior	Límite Superior
b <sub>0</sub>	2,276	2,038	1,117	-1,853	6,405
b <sub>1</sub>	0,461	0,065	7,138	0,330	0,591
b <sub>2</sub>	0,261	0,124	2,110	0,010	0,512
b <sub>3</sub>	0,375	0,305	1,229	-0,243	0,993
b <sub>4</sub>	0,364	0,188	1,941	-0,016	0,744
b <sub>5</sub>	-0,416	0,160	-2,604	-0,739	-0,092
b <sub>6</sub>	-0,256	0,110	-2,318	-0,479	-0,032
b <sub>7</sub>	0,116	0,075	1,547	-0,036	0,269
b <sub>8</sub>	0,054	0,044	1,215	-0,036	0,144

Tabla 10. Estimación de parámetros Función de Costo.

Para evaluar si las variables son significativas se evaluaron los valores t para un 95% de confianza, por lo cual concluimos que las variables correspondientes a los seguros y los puntos de la red no son significativas para el modelo. Aunque la significancia del precio de mano de obra no es alta, se considera que es una variable fundamental para el modelo, por lo cual no será removida de éste. Más adelante se comentarán las posibles causas de este resultado.

A continuación se presentarán los resultados del modelo definitivo, que es el siguiente:

$$\ln C = \text{constante} + b_1 \ln y + b_2 \ln P_k + b_3 \ln P_L + b_4 \ln P_f + b_5 \ln G + b_6 \ln D$$



Historial de Iteración<sup>(b)</sup>

Número de Iteración	Residuo Suma de Cuadrados	Parámetro						
		b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>6</sub>
0.1	4.133.211,839	-10,000	-10,000	0,333	0,333	0,333	-10,000	-10,000
1.1	13,533	-9,398	2,711	-0,457	-0,134	1,590	-10,092	-5,976
2.1	6,112	-9,212	1,905	-2,336	1,785	1,552	-9,211	-3,573
3.1	4,149	-9,171	1,518	-1,923	1,428	1,495	-8,442	-2,283
4.1	1,201	-9,070	0,419	-0,405	0,207	1,199	-5,517	-1,490
5.1	0,938	-9,077	0,404	-0,262	0,190	1,072	-4,812	-1,621
6.1	0,172	-9,132	0,603	0,180	0,424	0,396	-1,331	-1,405
7.1	0,152	-9,125	0,685	0,122	0,515	0,363	-1,175	-1,157
8.1	0,151	-9,104	0,704	0,089	0,533	0,379	-1,195	-1,083
9.1	0,150	-9,071	0,709	0,068	0,530	0,402	-1,200	-1,053
10.1	0,145	-8,870	0,711	-0,022	0,487	0,535	-1,186	-0,951
11.1	0,139	-8,515	0,693	-0,145	0,386	0,759	-1,119	-0,851
12.1	0,132	-7,963	0,642	-0,297	0,211	1,086	-0,972	-0,781
13.1	0,128	-7,595	0,592	-0,359	0,084	1,275	-0,846	-0,802
14.1	0,126	-7,471	0,567	-0,347	0,046	1,301	-0,793	-0,851
15.1	0,125	-7,390	0,555	-0,318	0,041	1,277	-0,771	-0,892
16.1	0,121	-7,148	0,536	-0,256	0,045	1,212	-0,741	-0,948
17.1	0,113	-6,457	0,506	-0,145	0,063	1,083	-0,693	-1,004
18.1	0,096	-4,704	0,456	0,043	0,107	0,850	-0,612	-1,016
19.1	0,069	-1,439	0,395	0,283	0,184	0,533	-0,507	-0,879
20.1	0,044	2,145	0,358	0,429	0,262	0,309	-0,438	-0,567
21.1	0,034	3,566	0,370	0,390	0,287	0,322	-0,449	-0,310
22.1	0,032	3,359	0,388	0,322	0,279	0,399	-0,476	-0,245
23.1	0,032	3,172	0,392	0,304	0,274	0,422	-0,483	-0,247
24.1	0,032	3,148	0,392	0,303	0,274	0,423	-0,484	-0,249
25.1	0,032	3,147	0,392	0,303	0,274	0,423	-0,484	-0,249
26.1	0,032	3,147	0,392	0,303	0,274	0,423	-0,484	-0,249

Las derivadas son calculadas numéricamente

b. El análisis se detuvo después de 26 iteraciones. La solución óptima fue hallada.

**Tabla 11. Historia de Iteraciones Función de Costo Definitiva.**

Estimación de Parámetros				R <sup>2</sup> = 0,977	
Parámetro	Estimación	Error Estándar	t	Intervalo de Confianza al 95%	
				Límite Inferior	Límite Superior
b <sub>0</sub>	3,147	1,756	1,792	-0,405	6,699
b <sub>1</sub>	0,392	0,040	9,732	0,311	0,474
b <sub>2</sub>	0,303	0,117	2,593	0,067	0,539
b <sub>3</sub>	0,274	0,250	1,096	-0,231	0,779
b <sub>4</sub>	0,423	0,185	2,292	0,050	0,797
b <sub>5</sub>	-0,484	0,155	-3,118	-0,798	-0,170
b <sub>6</sub>	-0,249	0,109	-2,292	-0,468	-0,029

Tabla 12. Estimación de Parámetros Función de Costo Definitiva.

Como resultado tenemos la siguiente estimación:

$$\ln C = \text{constante} + 0,392 \ln y + 0,303 \ln P_k + 0,274 \ln P_L + 0,423 \ln P_F - 0,484 \ln G - 0,249 \ln D$$

Para esta nueva estimación todas nuestras variables son significativas al 95%, exceptuando el precio de la mano de obra, situación que se analizará más adelante; y la constante, término que no es muy relevante para este estudio.

### 7.3.3. Curva de Costo Promedio para la Estimación Final

A continuación se presenta la curva de costo promedio, donde se puede ver claramente la existencia de economías de densidad, ya que a medida que el producto aumenta, el costo promedio disminuye.

### CURVA DE COSTO PROMEDIO

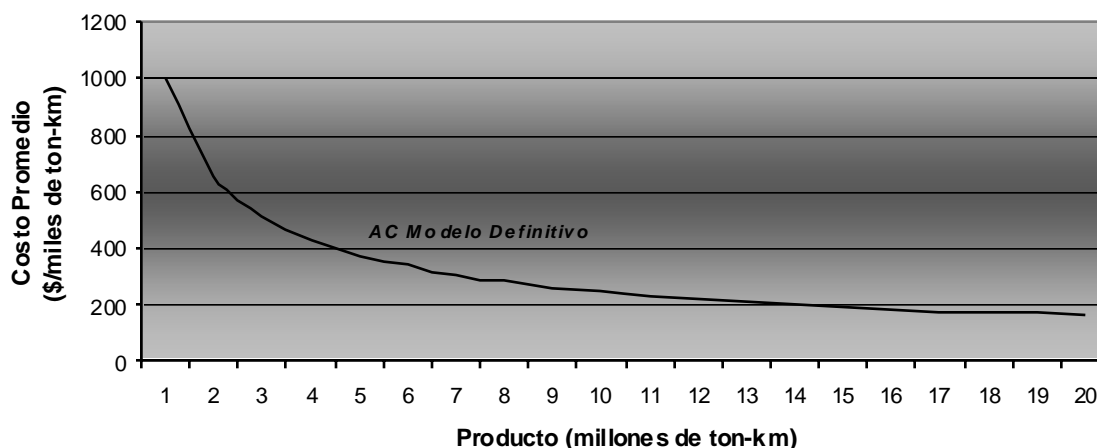


Gráfico 8. Curva de Costo Promedio Modelo de Costos Definitivo.

#### 7.4. CONCLUSIONES

Para la estimación de la función de producción encontramos la siguiente ecuación:

$$y = K^{0,391} L^{0,834} F^{0,758}$$

Podemos concluir que las variables independientes (insumos) explican la variabilidad de la producción en un 81,4% ( $R^2 = 0,814$ ), el cual es un porcentaje aceptable, teniendo en cuenta que no se incluyeron otros componentes de la canasta de costos operativos. Es importante tener en cuenta que no incluir dichas variables aumentaría la probabilidad de que se presenten sesgos.

Se hicieron estimaciones con otras variables como Peajes y Consumo de Llantas, pero no arrojaron resultados útiles debido a que la medición de éstas se

encontraba en pesos (\$) y no en cantidad utilizada, además la conversión es complicada debido a la gran variedad de tarifas en los peajes del país. Se evaluaron modelos en los cuales las variables se medían en pesos (\$), pero no arrojaron buenos resultados, esto se atribuye principalmente a que el producto de la empresa es difícil de medir en pesos (\$), ya que el valor de la tonelada-kilómetro varía dependiendo del tipo de mercancía y del contrato que se tenga con el cliente. Luego para el modelo definitivo ( $y = K^{0,391} L^{0,834} F^{0,758}$ ) encontramos que los signos son los esperados, ya que un aumento en cualesquiera de los insumos representa un aumento en la producción. Todas las variables son significativas al 95%, exceptuando la constante, la cual no representa ningún inconveniente en la evaluación de economías de escala.

Si duplicamos los insumos obtendríamos casi cuatro veces la producción, es decir que es conveniente invertir en Capital, lo que conlleva también a emplear más Mano de Obra, y maximizar el uso del Capital, para que esto se traduzca en un aumento en el Consumo de Combustible. Todo esto nos lleva a decir que se presentan economías de escala.

Para la estimación de la función de costo, encontramos el siguiente resultado:

$$\ln C = \text{constante} + 0,392 \ln y + 0,303 \ln P_K + 0,274 \ln P_L + 0,423 \ln P_F - 0,484 \ln G - 0,249 \ln D$$

Los coeficientes estimados indican que la elasticidad del costo total con respecto al Precio del Capital es 0,303 (coeficiente de  $\ln P_K$ ), lo cual significa que si se incrementa el precio del capital en 1%, el costo incrementaría un estimado de 0,303%. De la misma forma, los coeficientes estimados indican que las elasticidades del costo total con respecto a la tasa salarial y al precio por galón de combustible son 0,274 y 0,423 respectivamente. Así, si el precio del ACPM

incrementa en 1%, el costo total incrementaría un estimado de 0,423%. Se puede observar que esta función de costo es adecuada, en el sentido que es linealmente homogénea en factores de precio, ya que los coeficientes de  $LnP_K$ ,  $LnP_L$ ,  $LnP_F$  suman uno (1). Por esta razón, si todos los factores de precio aumentan en 1%, los costos totales también aumentarán en 1%.

Debido a que se trata de una función de costos tipo Cobb-Douglas, la elasticidad del costo con respecto al Precio del Capital es también la *porción* de los costos totales gastados en Capital. Por esta razón, el costo de capital representa cerca del 30,3% de los costos totales a largo plazo para la empresa. Similarmente, los costos de mano de obra representan cerca del 27,4% de los costos totales, y los gastos en combustible representan cerca del 42,3% de los costos totales.

Para examinar las economías de densidad, debemos saber que pasa si  $y$  (toneladas kilómetro) se incrementa 1%. En ese caso, el coeficiente estimado indica que los costos subirían 0,392%. La elasticidad del costo total con respecto al producto es 0,392, es decir que los costos totales aumentan menos rápido que el volumen de tráfico. El grado de economías de densidad es entonces  $S_D = 1/0,392 = 2,551$ . Debido a que  $S_D > 1$ , se concluye que existen economías de densidad.

Para las economías de tamaño se concluye que no hay evidencia que demuestre su existencia, ya que la variable resulto ser poco significativa para el modelo estudiado, por lo cual se puede decir que los costos no varían significativamente cuando el número de orígenes y destinos cambia.

Conociendo características del transporte, para transportar un número dado de toneladas kilómetro sobre la red, se esperaría que los costos fueran más bajos

cuando el factor de carga es más alto. Un factor de carga alto significaría que la empresa está haciendo menos viajes para mover la carga o que está usando vehículos apropiados para el volumen de carga. El coeficiente negativo (-0,484) indica que esto está sucediendo.

Los costos pueden ser más bajos también cuando la longitud del viaje es mayor. Una longitud de viaje mayor indica menos cargues y descargues por tonelada kilómetro, teniendo en cuenta que los cargues y descargues requieren tiempo de operación y gastos extra. El coeficiente de longitud promedio es negativo (-0,249) confirmando el resultado esperado.

Para los seguros por tonelada-kilómetro transportada, se concluye que no influyen de manera importante en los costos, ya que su significancia es muy baja, por este motivo la variable fue removida del modelo final, al igual que el número de puntos de la red.

En cuanto a la poca significancia del Precio de Mano de Obra, ésta puede deberse a que la empresa es intensiva en capital, sin embargo como se había comentado anteriormente, la complejidad para la estimación de este factor de precio puede influir en el resultado, ya que al dividirse los gastos de mano de obra en una parte fija y una variable la medición puede hacer que los datos no sean muy confiables y conducir a resultados como el que se encontró. De cualquier manera es una variable fundamental para el modelo y no puede descartarse, es por esto que el modelo final la contiene. Puede recomendarse entonces a la empresa buscar una forma más confiable para medir este factor.

Finalmente se encontró que las variables independientes explican la variabilidad de los costos totales en un 97,7% ( $R^2 = 0,977$ ) que es un resultado bastante bueno. Sin embargo la medición de estas no siempre es la más adecuada, por

este motivo es importante definir algunos parámetros para la recolección de esta información, ya sea dentro de una empresa o a nivel nacional. La información con la que se cuenta actualmente es buena, se tienen perfiles de vehículos, toneladas transportadas, número de viajes realizados, datos sobre seguros, consumo de combustible, etc., pero es importante mejorar la información en cuanto a mano de obra se refiere, sobre este parámetro se tiene muy poca información, e incluso en las empresas es difícil medirlo, no porque no se tenga la información, sino porque no está estandarizado como un insumo, es decir que, no puede medirse en horas trabajadas (dificultad de medir las horas en la actividad del transporte).

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Borts, George. 1960. The Estimation of Rail Cost Functions. *Econometrica* 28 (Enero).
- Caves, Douglas W., Christensen, Laurits R., y Tretheway, Michael W. 1983. The Structure of Airlines Costs and Prospects for the U.S. Airline Industry under Deregulation. SSRI Workshop Series Paper 8313. University of Wisconsin, Madison.
- Christensen, Laurits R., y Greene, William H. 1976. Economies of Scale in U.S. Electric Power Generation. *Journal of Political Economy* 84 (August).
- Claramunt, Ana M., y Giner de Lara, Maria E. Reducción de la Incertidumbre en Modelos de Transporte de Carga. Universidad Nacional de Cuyo.
- Claramunt, Ana M., y otros. Consideraciones sobre Demanda por Transporte de Carga. Mendoza como Nudo de Tránsito entre MERCOSUR y Chile. Consejo de Investigadores de la Universidad Nacional de Cuyo.
- Colfecar. 2004. El Container. Boletín informativo. Bogotá.
- Cookenboo, Leslie Jr. 1955. *Crude Oil Pipelines and Competition in the Oil Industry*. Harvard University Press.



- 
- Friedlaender, Ann F., y Spady, Richard H. 1979. A Derived Demand Function for Freight Transportation. Massachusetts Institute of Technology.
  - Gómez-Ibáñez, J., Tye, W. y Clifford, W. 1999. Essays in Transportation Economics and Policy. The Brookings Institution.
  - Jara-Díaz, Sergio R., Donoso, Pedro P., y Araneda, Jorge A. 1992. Estimation of Transport Marginal Costs: The Flow Aggregation Function Approach. *Journal of Transport Economics and Policy* 26 (Enero).
  - Kumbhakar, Subal C. 1990. A Reexamination of Returns to Scale, Density and Technical Progress in U.A Airlines. University of Texas. Austin.
  - McFadden, Daniel. 1978. Cost, Revenue, and Profit Functions. *Production Economics* Vol.1. Nueva York.
  - Medina, Hernán. 2004. Entrevista. Gerente General TDM Transportes S.A. Medellín.
  - Meyer, John R., y otros. 1959. *The Economics of Competition in the Transportation Industries*. Harvard University Press.
  - Ministerio de Transporte. 2003. Actualización de Costos de Transporte de Carga. Bogotá.
  - Montoya, Víctor J. 2004. Entrevista. Coordinador Grupo de Estudios de Carga Ministerio de Transporte. Bogotá.

- Nerlove, Marc. 1963. Returns to Scale in Electricity Supply. Measurement in Economics: Studies in Mathematical Economics and Econometrics. Stanford University Press.
- Nukamp, Peter, Pepping, Gerard, y Banister, David. 1996. Telematics and Transport Behavior. Berlín.
- Roa, Raul. 2003. Curso Economía del Transporte. Universidad de los Andes. Bogotá.
- Vanegas, Gloria E. 2004. Entrevista. Directora Administrativa y Financiera TDM Transportes S.A. Medellín.

## TABLA DE ILUSTRACIONES

<i>Figura 1. Economías de Densidad y Tamaño.....</i>	<i>18</i>
<i>Gráfico 1. Curvas de Producción para Mano de Obra.....</i>	<i>12</i>
<i>Gráfico 2. Curvas de Producción para Insumos (Capital y Mano de Obra).....</i>	<i>13</i>
<i>Gráfico 3. Curvas de Costos.....</i>	<i>16</i>
<i>Gráfico 4. Distribución de Vehículos Colombia.....</i>	<i>28</i>
<i>Gráfico 5. Distribución de Costos Operativos para Vehículos Articulados en Colombia.....</i>	<i>32</i>
<i>Gráfico 6. Distribución de Vehículos TDM Transportes. ....</i>	<i>34</i>
<i>Gráfico 7. Distribución de Costos Operativos para Tractomulas TDM Transportes .....</i>	<i>38</i>
<i>Gráfico 8. Curva de Costo Promedio Modelo de Costos Definitivo.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 1. Canasta de Costos Operativos Ministerio de Transporte Colombia.....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 2. Canasta de Costos Operativos TDM Transportes S.A. ....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 3. Estadísticas Descriptivas Función de Producción.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 4. Correlaciones para Variables Independientes Función de Producción....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 5. Listado de Variables y Método de Regresión.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 6. Coeficiente de Correlación <math>R^2</math>.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 7. Coeficientes Función de Producción.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 8. Coeficientes de Correlación.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 9. Historia de Iteraciones Función de Costos. ....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 10. Estimación de parámetros Función de Costo.....</i>	<i>49</i>

*Tabla 11. Historia de Iteraciones Función de Costo Definitiva.....50*  
*Tabla 12. Estimación de Parámetros Función de Costo Definitiva .....51*