



**UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS**  
**VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA, 1948**

**FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE ECONOMÍA**

**TRABAJO DE DIPLOMA**

**Título:** “La medición de la eficiencia técnica en las empresas de tabaco torcido para la exportación en Villa Clara, a través de la frontera estocástica.”

**Autor:** Yonerky Alfonso Rodríguez

**Tutor:** MSc. Héctor Molina Machado

**Santa Clara, julio de 2010**

**CON SU ENTRAÑABLE TRANSPARENCIA**



## Pensamiento



“En la tierra hacen falta personas que trabajen más, que critiquen menos, que construyan más, que destruyan menos, que prometan menos, que resuelvan más, que esperen recibir menos y dar más, que digan. Mejor ahora y no mañana”.

Ché

# Agradecimientos

A mi tutor Héctor Molina Machado por toda su orientación y ayuda.

A mis padres.

A mi hermana Misladis y mis abuelos por darme siempre su amor.

A Yailén por todo su apoyo.

A todos los profesores que han contribuido con mi formación.

A todos mis amigos.

A los que contribuyeron a que este trabajo llegara a feliz término.

A todos, gracias.

## Resumen

El principal objetivo de esta investigación se basa en la medición de la eficiencia técnica, a través de la frontera estocástica en la Empresa de Tabaco Torcido de Villa Clara. Donde se escogieron seis de las siete unidades que producen tabaco torcido para la exportación por tener características similares para dicho proceso. En el primer capítulo se exponen las principales nociones de la eficiencia y su diferencia con eficacia, efectividad y productividad, se analizan los indicadores tradicionales, sus limitaciones y la solución mediante la aplicación de índices de la productividad total de factores. Un segundo capítulo donde se aborda lo relacionado a la importancia de los estudios de la eficiencia técnica y su medición, las funciones de producción frontera, el empleo de los datos de panel en la medición de la eficiencia técnica y las ventajas y desventajas de ambos métodos. Se concluye aplicando la metodología paramétrica en la determinación de la eficiencia técnica, donde se observa que la producción para la exportación se ha visto afectada tanto por factores externos como por ineficiencia en la organización en el proceso de producción, por lo que se confirma la utilidad de la metodología paramétrica aplicada, al poder separar ambos efectos.

## Abstract

The main objective of the present research is focused on the measuring of the technical efficiency by means of the stochastic borderline method as carried out in the Empresa de Tabaco Torcido (this translates roughly as enterprise for the Rolling of Cigars) in the province of Villa Clara. Six out of seven units where cigars for export are rolled were chosen for the research as they have similar characteristics for this process. In the first chapter the main notion regarding efficiency-as a concept different from efficacy and productivity-are expounded. The traditional indicators are analyzed as well as their limitations and the solution to these issues by applying the indexes for the total productivity of factors. A second chapter deals with the importance of the studies on technical efficiency and the advantages and disadvantages of both methods. The study is concluded by the application of the parametric methodology for determining technical efficiency, where it can be seen that the production has been affected by both external factors and the inefficiency in the organization of the process of production, thus confirming the usefulness of the parametric methodology which has been applied , given that both effects have been separated.

# Índice

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>CAPÍTULO I: Eficiencia, eficacia y productividad</b> .....	5
1.1-El Concepto de eficiencia. ....	5
1.2-Diferencia entre eficiencia, eficacia y efectividad. ....	7
1.3-Diferencia entre eficiencia y productividad.....	8
1.4-El uso de Indicadores en la medición de la eficiencia.....	8
1.5-Índice de productividad total de los factores.....	10
<b>CAPÍTULO II: Los Modelos fronteras en la medición de la eficiencia técnica</b> .....	14
2.1-Importancia de los estudios de eficiencia técnica. ....	14
2.2-La medición de la eficiencia técnica.....	15
2.2.1-Las funciones de producción fronteras .....	16
2.3-EL análisis envolvente de datos (DEA).....	20
2.4-La frontera estocástica.....	23
2.4.1-La medición de la eficiencia técnica con datos de panel.....	25
2.5- Ventajas e Inconvenientes de ambas metodologías.....	30
2.6-La eficiencia técnica en las empresas de tabaco torcido para la exportación en Villa Clara.....	34
2.6.1- Génesis de la producción y comercialización del tabaco.....	34
2.6.2- Desarrollo de la producción tabacalera en Cuba.....	

	34
2.6.3- Zonas tabacaleras de Cuba.....	37
2.6.4- Caracterización de la empresa de tabaco torcido Villa Clara.....	38
2.6.5- Selección de la muestra y de los datos.....	40
2.6.6- Especificación y supuestos del modelo.....	40
2.6.7- Estimación de los resultados.....	42
<b>Conclusiones</b> .....	46
<b>Recomendaciones</b> .....	47
<b>Bibliografía</b>	

## Introducción:

La investigación referente a la medición de la eficiencia productiva es una de las áreas del análisis económico que mayor desarrollo ha experimentado en los últimos años. La creciente competitividad existente en los mercados hace que la supervivencia sea cada vez más difícil, lo que obliga a las empresas a mejorar sus rendimientos como objetivo de eficiencia para lograr niveles superiores de rentabilidad. En este sentido, la disposición de métodos fiables de evaluación de la eficiencia productiva juega un papel cada vez más importante, no solo en el ámbito empresarial sino también como instrumento de política industrial.

La idea de comparar empresas según su desempeño es de indudable interés para el análisis económico. En este sentido, surgen conceptos como los de productividad y eficiencia, a los que recientemente se ha unido el de competitividad. En la literatura económica es frecuente emplear estos conceptos indistintamente, en el sentido de que es bueno que las empresas sean más eficientes o más productivas, o más competitivas; pero como veremos en el curso del trabajo, estos conceptos tienden a interpretarse de manera similar, pero su significación económica difiere entre los mismos.

Uno de los principales objetivos que persigue el proceso de redimensionamiento de la economía cubana consiste en elevar los niveles de productividad en todos los ámbitos económicos. A su vez, el incremento de la productividad, refleja un uso más eficiente y racional de los recursos con que cuenta una empresa o sector empresarial, hecho que pone de manifiesto la necesidad e importancia de avanzar en la asimilación de nuevas metodologías o procedimiento que permitan medir con mayor precisión la transformación de los recursos en el proceso de producción -la productividad-, y la eficiencia con que se realiza este proceso, la eficiencia técnica.

El análisis de eficiencia técnica en la producción a través de la función de producción frontera, es actualmente aplicado con mucha frecuencia en la investigación económica, y *tiene como objetivo analizar la eficiencia de un sector de empresas.*

Mediante los denominados “*estudios de frontera*” se pueden clasificar las actuaciones de las unidades evaluadas según su nivel de eficiencia y además estudiar otros aspectos como las relaciones de complementariedad entre las diferentes actividades que realiza o el grado de respuesta de la producción respecto a cada recurso utilizado. Igualmente pueden analizarse las posibles economías de escala, de manera que las unidades sean evaluadas teniendo en cuenta la posibilidad de conocer si las unidades de menor tamaño disponen de menos posibilidades de ahorrar recursos que las unidades de mayor tamaño.

Ahora bien, cuando se compara la actuación de una empresa con las mejores prácticas observadas, implícitamente se está suponiendo que dicha empresa debería comportarse como las empresas de la frontera. El comportamiento tiene dos componentes: cuánto hacen esas empresas y cómo lo hacen. La ineficiencia se mide en términos de cuánto, pero si se quiere subsanar el problema se hace necesario disponer de información sobre el cómo, y en general no se dispone de este tipo de información. La solución para la empresa ineficiente pasa por identificar qué está haciendo mal y cómo puede hacerlo bien.

Este tipo de cuestiones no pueden ser contestadas con las medidas tradicionales de evaluación de la eficiencia. Debido a los inconvenientes que presentan los indicadores tradicionales para medir la eficiencia de las empresas en su desempeño, es que se han planteado técnicas alternativas para su medición; donde los modelos frontera responden a este objetivo, conectándose directamente por medio de la productividad y ofreciéndose como una herramienta más, que complementa la evaluación de la gestión junto con los tradicionales indicadores de productividad.

De lo anterior se desprende la importancia y actualidad de la investigación cuyos resultados se presentan en el presente trabajo.

Por tanto, la *situación problemática* se enfoca hacia la siguiente pregunta: *¿Por qué medir la eficiencia en el desempeño de las empresas?*,

1. Las Empresas no siempre operan en el punto de maximización del beneficio o minimización de los costos, por lo cual, la ineficiencia es posible.

2. La ineficiencia no siempre es resultado de las decisiones que toman los individuos; existen eventos ajenos a la voluntad de estos que influyen en los resultados obtenidos (el clima, las huelgas, etc.)
3. Las limitaciones que presentan en la medición de la productividad y la eficiencia, los indicadores tradicionales.

En correspondencia con las valoraciones anteriores, se plantea el siguiente *problema científico*:

*¿Cómo contribuir con la introducción de nuevos métodos o procedimientos alternativos a reducir las limitaciones que presentan los indicadores tradicionales en la medición de la eficiencia para maximizar los beneficios e identificar los ruidos aleatorios?*

El desarrollo de la investigación tiene como punto de partida la siguiente *Hipótesis*:

*La medición de la eficiencia técnica a través de la frontera estocástica permite, superar las limitaciones de la metodología no-paramétrica y de los indicadores tradicionales empleados en la medición de la eficiencia técnica, al aportar la información necesaria para fundamentar las líneas de trabajo en la búsqueda de mayores niveles de producción.*

Para ello nos planteamos el siguiente *objetivo general*:

*“Medir la eficiencia técnica en las empresas que producen tabaco torcido para la exportación en la provincia de Villa Clara, a través de la frontera estocástica”.*

Se desarrollan además los siguientes *objetivos específicos*:

1. Identificar las diferencias existentes entre eficiencia y productividad.
2. Definir las principales limitaciones de los indicadores técnico-económicos empleados en el análisis de la eficiencia empresarial.
3. Exponer las diferencias principales que distinguen a las dos metodologías existentes para la determinación de la frontera de producción.

4. Determinar la eficiencia técnica en las empresas que producen tabaco torcido para la exportación en la provincia de Villa Clara, a través de la frontera estocástica.

En el desarrollo de la investigación se realizó una amplia revisión bibliográfica que incluyó una gran cantidad de textos y materiales. En el desarrollo de la investigación se combinó el uso de diferentes métodos y técnicas: análisis y síntesis, lógico-histórico e inferencia estadística siempre partiendo del método dialéctico-materialista.

La investigación se ha estructurado en dos capítulos. Un primer capítulo donde se exponen las principales nociones de eficiencia; se establece las diferencias entre eficiencia, eficacia y efectividad, eficiencia y productividad; se realiza un análisis de los indicadores tradicionales y sus limitaciones; y su solución mediante la aplicación de índices de Productividad total de los Factores. En el segundo capítulo se aborda la importancia de los estudios de eficiencia y de la medición de la eficiencia técnica, las funciones de producción frontera, generalidades del análisis envolvente de datos (DEA), el empleo de los datos de panel en la medición de la eficiencia técnica, y las ventajas y desventajas de ambos métodos; para concluir aplicando la metodología paramétrica en la determinación de la eficiencia técnica de las empresas que producen tabaco torcido para la exportación en la provincia de Villa Clara.

## Capítulo I: Eficiencia, eficacia y productividad.

### 1.1\_ El concepto de eficiencia.

El concepto de eficiencia no es un término manejado exclusivamente por las ciencias económicas. El proceso de industrialización trajo consigo el desarrollo de los estudios en ingeniería dirigidos a estudiar qué procesos de generación de energía eran los más rentables o más productivos. En la actualidad el término eficiencia se emplea de manera continua, la mayoría de las veces, de forma corriente sin llegar a un análisis profundo sobre su significado, por lo que se hace necesario establecer el análisis de las diferentes conceptualizaciones existentes, surgidas a partir de la evolución de la teoría económica.

- ü La eficiencia es un concepto relativo (García C, 2002), que se obtienen por comparación con otras alternativas posibles, considerando los recursos empleados en la obtención de los resultados.
- ü González M., en su artículo La verdad sobre eficiencia, eficacia y efectividad conceptualiza la eficiencia como la capacidad para lograr un fin empleando los mejores medios posibles.
- ü La eficiencia puede definirse como el grado de bondad u optimalidad alcanzado en el uso de los recursos (Medardo G, 2004).
- ü La eficiencia se refiere a la relación entre esfuerzos y resultados. Si se obtiene más resultados de un esfuerzo determinado, habrá incrementado la eficiencia. Asimismo, si puedes obtener el mismo resultado con menos esfuerzo, habrás incrementado la eficiencia. La eficiencia consiste en realizar un trabajo o una actividad al menor costo posible y en el menor tiempo, sin desperdiciar recursos económicos, materiales y humanos; pero a la vez implica calidad en los resultados (Beas A.).
- ü Sherman (Chilingirian J. A. y Sherman H. D, 1997) define la eficiencia como la capacidad de producir bienes o servicios con el mínimo nivel de recursos posibles.
- ü El autor que por primera vez dio una definición de eficiencia productiva fue koopmans (1951), quien se centro en la eficiencia técnica, afirmando que

una combinación factible de insumos y productos es técnicamente eficiente, si tecnológicamente no es posible aumentar o reducir algún producto o insumo sin que al menos de manera simultánea haya que adicionar o reducir algún insumo o producto.

Por otra parte, Debreu (1951) propuso la construcción de un índice de eficiencia técnica, al que llamó “coeficiente de utilización de los recursos”, que definía como la unidad menos la máxima reducción equiproporcional en todos los insumos, consistente con el mantenimiento de la producción de los bienes. Dicho coeficiente no depende de las unidades de medida empleadas, lo cual constituye una propiedad interesante desde el punto de vista operativo.

Inspirado en los trabajos de Koopmans (1951) y Debreu (1951), Farrell (1957) añadió a la eficiencia técnica un nuevo concepto, el de “eficiencia asignativa”, que él llamo eficiencia en precios. Para ello supuso que la empresa persigue un objetivo que consiste en la minimización de los costos. La eficiencia asignativa consiste para Farrell (1957) en elegir, de entre las combinaciones de insumos y productos técnicamente eficientes, aquella que resulta más barata según los precios de los insumos.

Vistas estas definiciones sobre eficiencia, podemos decir que *la eficiencia, en su dimensión más amplia, se corresponde con la capacidad de alcanzar un nivel de producción deseado por medio de la combinación óptima de factores o insumos, esto es, maximizar la producción con el mínimo de recursos o minimizar los recursos dados un nivel de producción a alcanzar.*

Farrell (1957) señala que la ingeniería intenta aproximarse a un estándar de eficiencia mediante experimentos dirigidos a conocer la naturaleza de la función de producción. Mediante estas pruebas, pueden establecerse conclusiones sobre la base de la reiteración de resultados en un determinado proceso.

Esta última idea, fue tomada por la economía de empresa para aplicarla a los procesos de fabricación y distribución de productos. Sin embargo, la función de producción que describiría un proceso de fabricación resulta mucho más compleja de obtener; en gran medida debido a que las tareas de organización y gestión dependen de factores psicológicos como la motivación de los trabajadores o la

preparación de los empresarios. Por ese motivo Farrell (1957) sugiere, una medición de la eficiencia de las industrias a partir de una función establecida por las mejores prácticas existentes en la muestra de unidades evaluadas.

En la literatura económica se le ha dado varias interpretaciones al concepto de eficiencia. Debido al protagonismo de este concepto en esta investigación, conviene aclarar las diferencias entre términos tales como eficiencia, eficacia, productividad.

### **1.2\_ Diferencia entre eficiencia, eficacia y efectividad.**

Estos fenómenos anteriormente descritos se relacionan con la noción de eficiencia técnica o productiva. Sin embargo, el término de eficiencia es un término frecuentemente empleado y en ocasiones, suele utilizarse como sinónimo de otros muy cercanos como eficacia y efectividad, e incluso productividad conceptos que difieren notablemente y que hacen referencia a aspectos diferentes del proceso de producción.

La eficacia se refiere a la obtención de los resultados propuestos en condiciones ideales, sin considerar los recursos empleados para ello.

La efectividad se determina en la práctica, desarrollando la actividad en condiciones habituales. La eficacia no implica efectividad, pues en condiciones normales se producen situaciones diferentes que hacen que los resultados varíen; sin embargo la efectividad si requiere eficacia.

La eficiencia, por último, es un concepto relativo, que se obtiene por comparación con otras alternativas disponibles, considerando los recursos empleados en la consecución de los objetivos propuestos. Se trata por lo tanto de un concepto económico que viene justificado por la tradicional escasez de los recursos disponibles y que pudieran tener usos alternativos. No tiene un carácter absoluto, ya que viene determinado por las alternativas existentes.

La eficiencia, establece la relación entre los medios empleados con los fines conseguidos, y en este sentido, un método de producción es considerado eficiente cuando no existe ningún otro que utilice una cantidad menor, al menos, de un factor y una no mayor de otro para producir una determinada cantidad.

### **1.3\_ Diferencia entre eficiencia y productividad**

Hay que señalar además, que cuando se hace referencia a la productividad, generalmente se hace referencia al concepto de productividad media de un factor, es decir, al número de unidades de producto producidas por cada unidad empleada del factor. A pesar de que, productividad y eficiencia están estrechamente vinculadas entre sí son conceptos distintos, en la literatura económica el concepto de productividad media de un factor se ha utilizado frecuentemente como sinónimo de eficiencia.

Sin embargo, la utilización de la productividad media de un factor, para comparar la eficiencia relativa de varias empresas solo tendría validez en situaciones con una tecnología de coeficientes fijos (tipo Leontief), ya que, de otra forma, no se estaría teniendo en cuenta las posibilidades de sustitución entre los factores.

Estas diferencias pueden ilustrarse mediante un ejemplo, en el que dos empresas producen la misma cantidad de bienes (encontrándose sobre la misma isocuánta) pero empleando combinaciones diferentes de factores. La empresa A utiliza menos trabajo y más capital, por lo que sería más “eficiente” si la medida empleada fuera la productividad media del factor trabajo. Sin embargo, si se considera la productividad media del factor capital, entonces más “eficiente” sería la empresa B. Este ejemplo permite ilustrar la escasa utilidad de la productividad media de un factor como criterio para medir la eficiencia de una empresa, dado que su valor depende del factor considerado.

### **1.4\_ El uso de Indicadores en la medición de la eficiencia.**

El uso o empleo de indicadores, permite realizar comparaciones entre empresas similares dentro de un determinado sector de la economía, así como, aportar información con respecto a los logros o tendencias que se han venido produciendo a lo largo del tiempo.

La construcción de estos indicadores se basa en el diseño de diferentes ratios de productos con respecto a los insumos. En general, estos indicadores muestran la relación de dos medidas simples, que dan como resultado índices de productividad, de rentabilidad, de eficiencia, etc. Dependiendo siempre del sector

objeto de análisis, así serán también de diferentes los indicadores que se utilicen en el análisis de la eficiencia o del desempeño de dichas empresas.

La existencia de un indicador único como medidor del desempeño para una empresa, presenta los mismos inconvenientes que cualquier otro indicador: no será completo ni totalmente diagnóstico, porque miden el aporte que los factores de producción realizan al proceso de forma parcial. Por otro lado, dada la facilidad con que pueden construirse, estos son ampliamente utilizados y pueden servir como punto de partida para evaluar el desempeño.

F *Ventajas del uso de los indicadores:* representan la forma más sencilla de realizar comparaciones, son fáciles de calcular y la interpretación de los mismos puede realizarse sin muchas complicaciones; además, por lo general la información necesaria para la valoración de los mismos puede obtenerse fácilmente a partir de los informes mensuales de las empresas.

F *Desventajas del uso de los indicadores:* no explican las relaciones existentes entre los distintos factores. Una empresa puede desempeñarse bien con respecto a un determinado indicador de productividad, y puede mostrar un mal desempeño según otro, en dependencia del factor que se este analizando; mientras que pudiera ser perfectamente posible que otra empresa que se desempeñe razonablemente bien en todas las medidas de desempeño, no se le considere la “más eficiente”.

Dada la diversidad de medidas de oferta y demanda que pueden existir en una determinada industria, conviene clasificar los distintos tipos de indicadores de acuerdo al tipo de información que pueden proporcionar, dado que algunos de ellos no son útiles para el análisis de eficiencia de las empresas, o no persiguen

Por otra parte, a menudo se busca la forma de combinar estos indicadores con el objetivo de crear uno que mida el Desempeño General. Habitualmente la combinación se realiza a través de un proceso de ponderación, en los cuales las ponderaciones reflejan la importancia o el peso que se le asigna a cada aspecto en el desempeño de la empresa.

### 1.5\_ Índice de productividad total de los factores

Muchas de las limitaciones de las medidas univariantes de la productividad pueden superarse utilizando índices de productividad total de los factores (PTF), definidos en general como el cociente entre una suma ponderada de productos (q) y una suma ponderada de insumos (x):

$$PTF = \frac{\sum_i a_i q_i}{\sum_j b_j x_j} \quad (1)$$

Donde  $a_i$  y  $b_j$  son respectivamente las ponderaciones de productos e insumos. Una ventaja adicional de este tipo de índices es que reconocen de manera más explícita la naturaleza multiproducto de la actividad económica de la empresa, aunque su principal desventaja es que pueden aparecer problemas asociados a la medición agregada y a las ponderaciones utilizadas.

La correcta definición de las variables no siempre resulta sencilla. Este problema no sólo afecta a la definición de la producción, sino también a los factores de producción. Algunos factores pueden ser medidos de manera directa en unidades físicas, como los litros de combustible consumidos o los kilowatios de electricidad empleados, pero otros plantean más dificultades para escoger la medida correcta que debe emplearse para el cálculo de índices o estudios econométricos de eficiencia.

Las ponderaciones  $a_i$  y  $b_j$  a utilizar en la expresión (1) también son parámetros que afectan a los resultados que muestran los índices de tipo PTF, y que deben ser escogidos adecuadamente. Para el caso de los factores, las ponderaciones  $b_j$  más lógicas son medidas de los costos unitarios de cada factor, ya que esto permite relacionar la eficiencia productiva con la eficiencia económica. Así, en la expresión (1), y suponiendo para simplificar que la empresa sea uniproducto ( $i = 1$ ) y que las ponderaciones de los insumos son sus precios en el mercado de factores ( $W$ ), se tendría:

$$PTF = \frac{q}{\sum_j w_j X_j} = \frac{q}{CT} = \frac{1}{CMeT} \quad (2)$$

Donde  $\sum_j w_j x_j$ , representa el costo total de la empresa. Como se observa, se establece una relación inversa entre la productividad y el costo medio o por unidad de producto según la cual, las empresas más productivas tienen costos unitarios menores y viceversa.

Con respecto a las ponderaciones  $a_i$  utilizadas en la expresión (1) de la PTF, para el caso de las empresas que generalmente son multiproducto hay que decidir cuál es el nivel más adecuado de agregación que se desea emplear para las medidas del producto y qué tipo de información utilizar para los coeficientes  $a_i$ .

Obsérvese que sí, por ejemplo, las ponderaciones  $a_i$  fuesen los precios de los productos y, al igual que antes, se toman los precios de los factores para las ponderaciones  $b_j$ , la expresión (1) se convertiría en un cociente del tipo ingresos/costos, estableciendo un índice de cobertura que mide la relación entre la productividad de la empresa y su rentabilidad.

En la mayoría de los estudios, sin embargo, se ha preferido utilizar como coeficientes de ponderación algunas medidas relativas que reflejen la composición del producto (como, por ejemplo, el porcentaje de ingresos totales que representa cada producto), o incluso la elasticidad del ingreso de cada producto ante cambios

en la utilización de factores, que es una variable directamente relacionada con la elasticidad de sustitución.

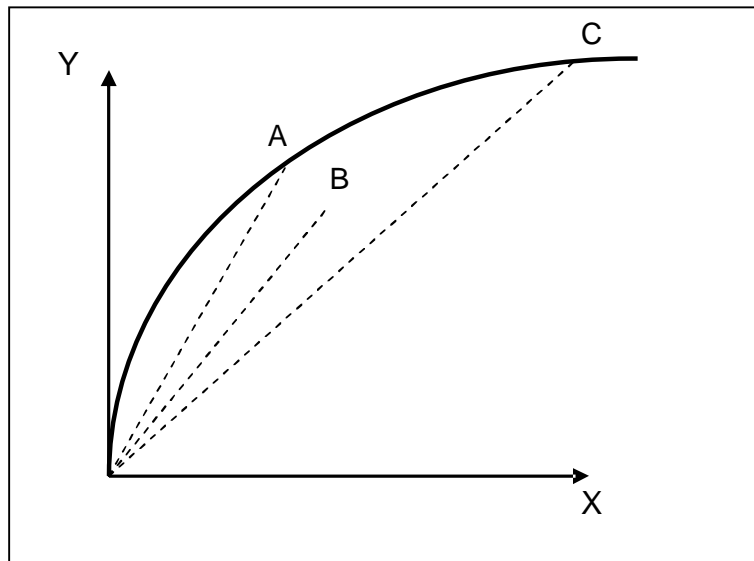
Ahora bien, a la hora de evaluar la actividad económica habitual de las empresas, la economía se ocupa de la eficiencia en el proceso productivo que desarrollan, que ya ha demostrado ser efectivo y por ende eficaz. Esto es, que la combinación de factores elegida permite obtener un determinado nivel de producción de bienes y servicios, y la economía se ocupa de estudiar la eficiencia con que las empresas consiguen esa producción, teniendo en cuenta que los recursos económicos son escasos y poseen usos alternativos. Estaremos hablando entonces, de eficiencia productiva.

Sin embargo, con independencia del criterio que orienta la actuación de las empresas, y de los precios vigentes, hay un tipo de eficiencia básico, no ligado a ningún objetivo económico, que consiste en el adecuado aprovechamiento de los recursos empleados; a este tipo de eficiencia se le denomina eficiencia técnica.

Para comprender mejor todo lo anterior, veamos a través de un ejemplo gráfico, la relación que existe entre productividad media y eficiencia técnica. Donde, en el gráfico que a continuación se muestra, aparece representada una función de producción con rendimientos decrecientes y varias empresas. La empresa A no es técnicamente eficiente, al no producir el máximo de productos con la cantidad de insumos que utiliza, mientras que B y C sí lo son. Un movimiento de A a B significa que aumenta la eficiencia técnica y también la productividad del factor X; en tanto que, un movimiento de A a C implicaría un aumento de la eficiencia pero una disminución de la productividad. Por último, con el paso de B a C, siendo ambas técnicamente eficientes, disminuye la productividad.

Con lo cual, no siempre una mejora de la eficiencia lleva asociada una mejora en la productividad y viceversa. La clave está en entender que fijando una de las dos variables (producto o factor) ambos conceptos son equivalentes, pero cuando ambos varían, la productividad se ve afectada inevitablemente por un efecto tamaño que incorpora la ley de los rendimientos decrecientes y que implica que mayores producciones sólo pueden lograrse a costa de una menor productividad.

**Figura 1. Diferencia entre eficiencia técnica y productividad media**



Fuente: Elaborado propia

Pero la eficiencia productiva es un término polivalente, ya que no existe un único tipo sino varios, según sea el objetivo que se proponga la empresa; así podremos hablar de: eficiencia en costos, si trata de minimizar estos, eficiencia en el ingreso si se propone maximizarlo, o eficiencia en el beneficio, si el objetivo a alcanzar es la maximización de este. Para evaluar estos tipos de eficiencia es necesario contar con información referente a los precios de mercado, ya que estos determinan el tipo de actuación óptima en cada caso.

## **Capítulo II: Los modelos fronteras en la medición de la eficiencia técnica.**

### **2.1\_ Importancia de los estudios de eficiencia técnica.**

Un indicador que identifica a una empresa o unidad productiva como ineficiente, puede servir como señal de alerta de que algo se está haciendo mal. La cuestión entonces sería preguntarnos: ¿Qué estamos haciendo mal? o ¿Cómo llegar a ser más eficientes?

Este tipo de preguntas no pueden responderse empleando para ello las medidas tradicionales de eficiencia técnica. Cuando una empresa no es eficiente, generalmente concluimos que podría utilizar menos cantidades de insumo y producir como una empresa que está sobre la frontera y que, por tanto, es eficiente. Sin embargo, no es del todo cierto que si la empresa ineficiente disminuye su consumo de insumos se vuelva eficiente. La cuestión es, que la eficiencia técnica no es un problema de qué cantidad de insumos se usan, sino de cómo de usan. Si la empresa ineficiente reduce radialmente su consumo de insumos hasta situarse en la frontera pero sigue haciendo las cosas de la misma manera, indudablemente producirá una cantidad menor de producto y seguirá siendo ineficiente. Por tanto, la conclusión de los estudios de eficiencia de que las empresas ineficientes pueden usar menores cantidades de insumos no tiene gran utilidad, puesto que lo que verdaderamente importa es como se están malgastando esos insumos.

Dicho de otra forma, cuando se compara la actuación de una empresa con las mejores prácticas observadas, implícitamente se está suponiendo que dicha empresa debería comportarse como las empresas de la frontera. El comportamiento tiene dos componentes: cuánto hacen esas empresas y cómo lo hacen. La ineficiencia se mide en términos de cuánto, pero si se quiere subsanar el problema se hace necesario disponer de información sobre el cómo, y en general no se dispone de este tipo de información. En resumen, la solución para la empresa ineficiente pasa por identificar qué está haciendo mal y cómo puede hacerlo bien.

## **2.2\_ La medición de la eficiencia técnica.**

Los modelos de teoría económica se basan en el comportamiento optimizador de los agentes económicos, siendo este el cimiento de la teoría económica neoclásica. Así, las empresas que maximizan su beneficio se consideran eficientes. Por tanto, la eficiencia es un supuesto de partida y, en los textos introductorios de microeconomía son muy escasas las referencias a la noción de eficiencia productiva y a su medición. La medición de la eficiencia se basa en la idea de comparar la actuación real de la empresa con respecto a su óptimo.

En la práctica parece aceptado el hecho de que la ineficiencia existe, debido a, que aunque todas las empresas compartan el objetivo de maximizar beneficios, no todas lo consiguen, dando lugar, por tanto a situaciones de ineficiencia. La maximización del beneficio exige que una empresa tome correctamente las tres decisiones siguientes:

- a) De entre todos los niveles de producción posibles, debe elegir las cantidades que maximizan el beneficio.
- b) De entre todas las combinaciones de insumo que sirven para producir las cantidades anteriores, la empresa debe elegir aquella combinación de insumos que minimice el costo de producción.
- c) La empresa debe producir las cantidades elegidas con la cantidad mínima de insumos posibles, o lo que sería igual a no malgastar recursos. Esto sucede cuando la empresa esta trabajando sobre su función de producción.

Por tanto, puede hablarse, de tres tipos de eficiencia:

- a) Eficiencia de escala: cuando una empresa está produciendo en una escala de tamaño óptima, que es la que le permite maximizar su beneficio.
- b) Eficiencia asignativa: cuando la empresa combina los insumos en la proporción que minimiza su coste de producción.
- c) Eficiencia técnica: cuando la empresa obtiene la máximo cantidad posible con la combinación de insumos empleados.

### **2.2.1\_ Las Funciones de producción fronteras**

Aunque la teoría determina claramente cuál es el estándar eficiente con el que comparar la actividad económica que desarrollan las empresas, en la práctica, esto no resulta tan sencillo, pues, las funciones de comportamiento económico, las fronteras teóricas, resultan desconocidas.

La gran contribución de Farrell (1957), que lo convierte en el autor más influyente en el estudio de la eficiencia productiva, consiste en proponer la forma de medir empíricamente la eficiencia. Este propuso considerar como referencia eficiente la mejor práctica observada de entre la muestra de empresas objeto de estudio, y calcular así los índices de eficiencia de cada una por comparación con la que mejor comportamiento económico presenta. De esta forma, se obtiene una medida de eficiencia que tiene un carácter relativo, es decir, depende de la muestra objeto de estudio.

Las empresas que constituyen el comportamiento eficiente, pasan a integrar lo que se denomina la “frontera eficiente”. Este término alude al hecho de que no es posible ser más eficiente que las empresas situadas en dicha frontera. Las funciones de producción se definen como funciones fronteras, ya que constituyen el lugar geométrico de puntos óptimos, por lo que las desviaciones de las empresas con respecto a su frontera pueden utilizarse como un indicador de ineficiencia técnica. Las unidades eficientes son aquellas que están operando sobre la frontera de costos o de producción, mientras que las ineficientes estarían operando o por debajo de la frontera (en el caso de la frontera de producción) o por encima de la frontera (en el caso de la frontera de costos).

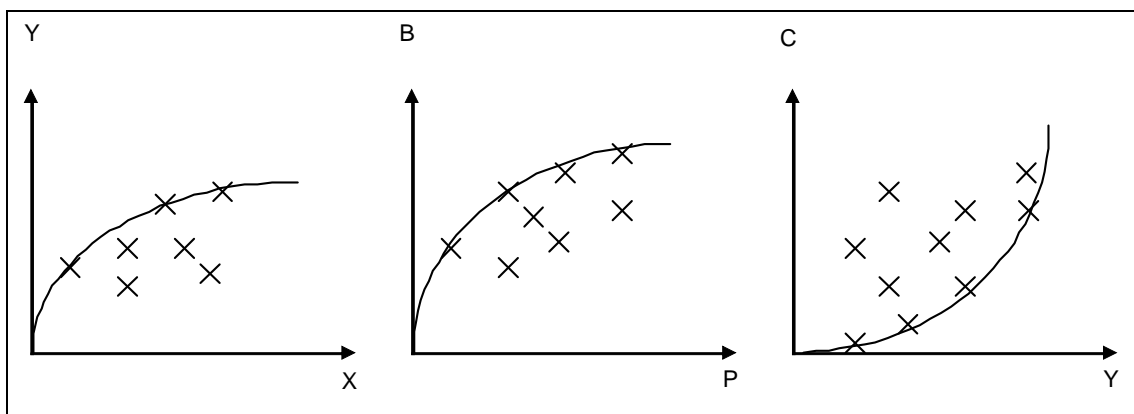
En el mundo real, aunque uno de los objetivos de las empresas sea maximizar el beneficio, la consecución del mismo depende de múltiples factores, y puede suceder que una empresa no sea eficiente. En principio, puede ocurrir cualquier combinación de los tipos de eficiencia anteriormente examinados, que se traduzca en ineficiencia. Es decir, una empresa puede cumplir la eficiencia de escala y la técnica pero no la asignativa, etc.

Cuando se trata de estimar una función de producción, es frecuente encontrar que alguna variable importante de cara a la determinación del nivel de producción es inobservable. Las funciones de producción, de costos y de beneficios son funciones fronteras. Este concepto se entiende mejor, si se recuerda primero la definición de cada una de estas funciones:

- a) Función de producción: proporciona el máximo output que se puede obtener para cada combinación de factores.
- b) Función de costos: proporciona el mínimo costo de producir cada nivel de output, dados unos precios de los factores.
- c) Función de beneficios: proporciona el máximo beneficio que se puede obtener dados los precios de inputs y outputs.

Como se muestra en la siguiente figura, las tres funciones proporcionan una cota superior (inferior) para la producción o beneficios (costos), esto es, “envuelven” los datos, no permitiendo que haya empresas por encima (debajo) de la función de producción y beneficios (costos). Por esta razón, se dice que son funciones “frontera”.

**Figura 2: Funciones frontera, de producción, beneficios y costos.**



Fuente: Elaboración propia

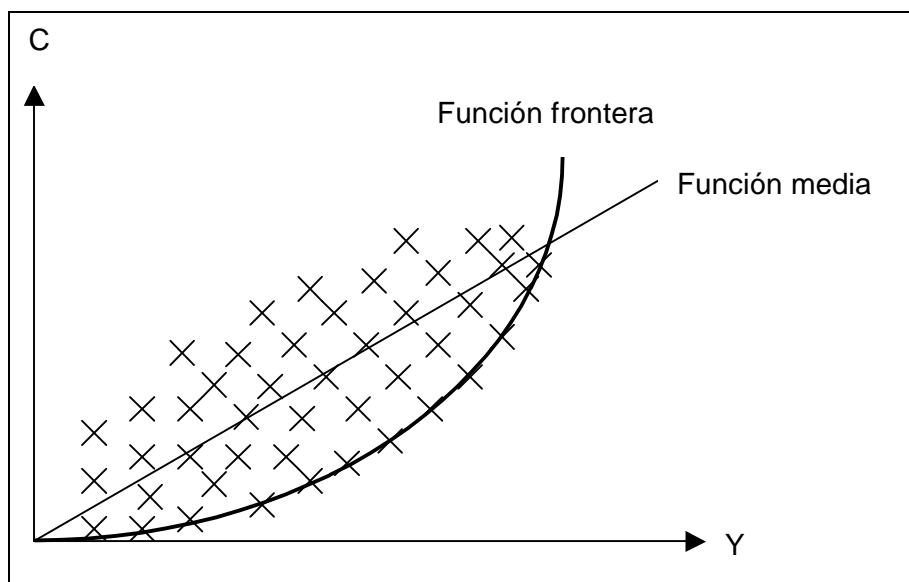
De acuerdo con lo anterior, en un mundo determinístico sin factores exógenos que influyan en la producción, beneficios o costos, las desviaciones de las fronteras

deberían ser únicamente de un signo: negativas cuando se estima una de producción o de beneficios, y positivas cuando es una función de costos.

Sin embargo, cuando se estima una de estas funciones por mínimos cuadrados ordinarios se obtiene una función media, es decir, con residuos positivos y negativos. Esta práctica contradice la definición teórica de estas funciones, puesto que permite que haya empresas que estén por encima y por debajo de la frontera.

La diferencia entre las funciones medias y frontera puede ser muy importante. En la figura 2 se representa una nube de puntos, una función de costos media que “atraviesa” la nube de puntos por el centro y la función de costos frontera que “envuelve” los datos. Como se puede observar, las implicaciones de ambas para el cálculo de economías de escala son completamente diferentes. Mientras que la función de costos media parece sugerir la existencia de rendimientos constantes a escala, la función frontera indica que, efectivamente, existen economías de tamaño o rendimientos a escala decrecientes.

**Figura 3. Función Media y Función Frontera**



Fuente: Elaboración propia

La diferencia entre una función frontera y una función media se encuentra, en la práctica, en que la primera concede “más importancia” a las desviaciones de un signo (positivo, en el caso de una función de costos), mientras que en la función media las desviaciones positivas y negativas tienen la “misma importancia”.<sup>1</sup> Un solo tipo de desviaciones se consigue imponiendo que la perturbación aleatoria siga una distribución de una cola. De esta manera, en el caso de las funciones de costos las empresas estarán en la frontera o por encima de ella, mientras que en el caso de las funciones de producción y beneficios, todas las empresas están en la frontera o por debajo de ella. Por lo tanto, las funciones fronteras se pueden especificar de la siguiente forma:

- Función de producción frontera:  $Y = F(x) - u, \quad u \geq 0$
- Función de costos frontera:  $C = C(y,w) + u, \quad u \geq 0$
- Función de beneficios frontera:  $B = B(p,w) - u, \quad u \geq 0$

Estas funciones fronteras analizadas hasta el momento, reciben el nombre de “fronteras determinísticas” puesto que atribuyen toda la desviación de la frontera a la ineficiencia, ignorando el hecho fundamental de la naturaleza estocástica de la producción. Al suponer que la distancia a la frontera es totalmente atribuible a la ineficiencia de la empresa, no se tiene en cuenta que las empresas pueden verse afectadas por shocks exógenos (que no están bajo su control), los cuales no inciden de igual forma sobre todas las empresas.

De acuerdo a una tecnología productiva concreta, la medición de la eficiencia se basa en una metodología dual:

- 1<sup>o</sup> La determinación de una función de producción que recoja los niveles de producción que pueden obtenerse por combinación de determinados factores.
- 2<sup>o</sup> La comparación de los resultados de cada una de las unidades económicas para conocer sus posibles ineficiencias respecto del proceso productivo analizado.

A partir de entonces, comienzan a aparecer una serie de trabajos empíricos que llevan a la práctica las sugerencias de Farrell (1957), midiendo la eficiencia de forma más o menos refinada, y que han dado lugar a lo que hoy conocemos genéricamente como “metodología de frontera”. En realidad, sería más correcto hablar de las metodologías de fronteras, ya que existen dos ámbitos de trabajo bien diferenciados, según la herramienta empleada a la hora de determinar la frontera: la programación matemática o las técnicas econométricas de estimación.

### **2.3\_ EL Análisis envolvente de datos (DEA)**

La comparación de la eficiencia alcanzada por las empresas ha sido tradicionalmente abordada mediante el uso de indicadores de productividad y mediante números índices. Debido a los inconvenientes que presentan estas técnicas para medir la eficiencia de las empresas en su desempeño, han surgido técnicas alternativas como el Data Envelopment Analysis (DEA) o Análisis Envolvente de Datos, término que quedó acuñado con la publicación del trabajo de Charnes, Cooper y Rhodes (1978), y que permite el cálculo de un ratio multidimensional como objetivo para valorar el rendimiento de un determinado grupo de unidades económicas con respecto a las producciones que obtienen cada una de ellas según el empleo de los factores productivos.

Con esta denominación se engloba el uso de técnicas de programación matemática, para seleccionar de entre una muestra, aquellas empresas que son eficientes. El camino propuesto por Farrell (1957), y que desde entonces se ha seguido, consiste en recurrir a una muestra, y a partir de las observaciones disponibles, determinar que empresas pueden incluirse en la frontera. Dicha frontera tendría que ser entendida en un sentido empírico, no teórico; y se le suele denominar: “la mejor práctica”, que sirve como referencia para calcular los índices de eficiencia del resto de las empresas.

Con esta metodología es posible analizar incluso el caso más general, el de una empresa que emplea varios factores y produce una combinación de bienes.

La medición de la eficiencia mediante modelos DEA tiene una ventaja, y es, que no requiere la especificación de ninguna forma funcional para los datos, sino que

se realiza comparando a cada empresa con una combinación lineal de empresas eficientes. Una de las ventajas de la metodología DEA es la fácil descomposición de la ineficiencia en costos en su componente técnico y asignativo, y de la ineficiencia técnica y de escala.

La medida de eficiencia técnica se obtiene a partir de la solución del siguiente problema:

$$\begin{aligned} \text{Min } \varepsilon, \lambda \quad & \text{sa.: } Y\lambda - y_j \geq 0, \quad (1) \\ & \varepsilon_j x_j - X\lambda \geq 0, \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

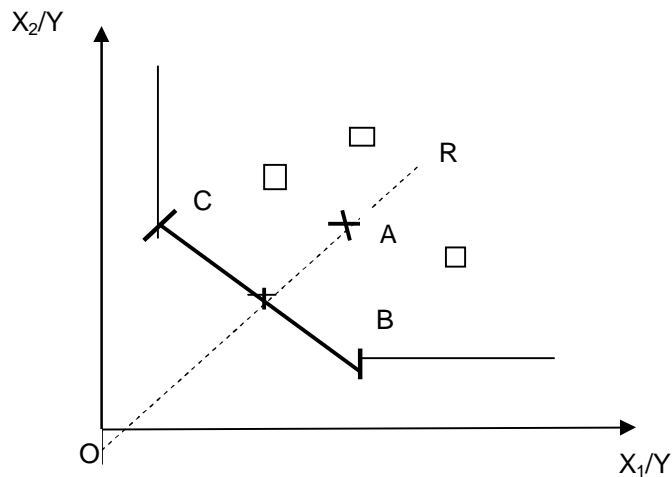
De la solución de este problema para cada una de las  $N$  empresas que pueda tener la muestra, se obtienen  $N$  ponderaciones y  $N$  soluciones óptimas. Cada solución óptima  $\varepsilon$  es el parámetro de eficiencia de cada empresa que, por construcción, satisface  $\varepsilon \leq 1$ . Aquellas empresas con  $\varepsilon < 1$ , se consideran ineficientes, mientras que las  $\varepsilon = 1$  que se consideran eficientes, se sitúan en la frontera.

Desde un punto de vista intuitivo, para analizar la eficiencia del esquema productivo de la empresa  $j$  ( $y_j, x_j$ ) el problema construye un esquema factible como combinación lineal de los esquemas de las  $N$  empresas de la muestra que, utilizando  $\varepsilon_j x_j$  insumos produzca al menos  $y_j$ . De esta forma,  $(1 - \varepsilon_j)$  indica la máxima reducción radial a la que se puede someter el vector de insumos de la empresa  $j$ , sin que se alteren los niveles observados de productos, por lo que  $\varepsilon_j$  es el indicador de eficiencia técnica.

En el caso en que  $\varepsilon_j = 1$ , lo que sucede es, que no es posible encontrar ninguna combinación lineal de empresas que, con menos insumos, obtenga al menos tantos productos, por lo que se define a la empresa como eficiente. En los demás casos en que  $\varepsilon_j < 1$ , indica que el esquema productivo seguido por la empresa  $j$  es ineficiente, ya que existe otro esquema alternativo económicamente factible, que obtiene la misma cantidad de bienes utilizando  $\varepsilon_j x_j$  factores, cuantificando el sobre uso de recursos en comparación con el esquema alternativo  $(1 - \varepsilon_j) x_j$ .

El método propuesto queda ilustrado para el caso en que se emplean dos factores,  $X_1$  y  $X_2$ , para la obtención de un bien  $Y$ .

**Figura 4: Medidas de eficiencia de Farrell**



Fuente: Elaboración propia

La forma mediante la cual se mide la eficiencia técnica de una empresa cualquiera consiste en compararla con una empresa hipotética que utiliza los factores en la misma proporción. Esta empresa hipotética se construye como la media ponderada de dos empresas existentes y pertenecientes a la frontera, en el sentido en que sus factores y productos sean la media ponderada de los correspondientes a dichas empresas. Las ponderaciones se eligen de tal forma que resulte la combinación de factores deseada.

A modo de ejemplo, como se muestra en la figura 4, las empresas  $B$  y  $C$  del gráfico se emplearían para construir la empresa hipotética que permitiría medir la eficiencia de la empresa  $A$ . Las ponderaciones se elegirían para que dicha empresa resultara con una combinación de factores  $OR$  que es la que emplea la empresa  $A$ .

Un ejemplo de aplicación de esta metodología lo podemos encontrar en el Trabajo de Diploma: y tutorado por la MsC. Grisel Y. Barrios Castillo en Junio de 2007, y en la Tesis Doctoral "Procedimiento para la evaluación de la eficiencia técnica en

las UBPC cañeras de la provincia de Villa Clara”, realizado por Grisel Y. Barrios Castillo en Julio de 2008. “

#### **2.4\_ La frontera estocástica.**

Adicionalmente al procedimiento explicado para encontrar una frontera, Farrell (1957) hizo referencia a la posibilidad de estimar econométricamente una función de producción, de modo tal que ninguna observación resultará por encima de ella. Este fue el camino seguido por Aigner y Chu (1968), y más tarde por Aigner, Lovell y Schmidt (1977) y Meusen y Van Den Broeck (1977). En estos dos últimos trabajos, simultánea, aunque de manera independiente, se desarrollo el concepto de frontera estocástica que ha dado nombre a la segunda metodología en el estudio de la eficiencia.

En este caso, el método para encontrar la frontera consiste en postular una función (de producción, de costos o de beneficios) de comportamiento eficiente, a la que se añaden dos perturbaciones: una simétrica, que recoge el ruido aleatorio, y otra sesgada que refleja la ineficiencia. Mediante técnicas econométricas se estiman los parámetros de la frontera, frecuentemente postulando una determinada distribución estadística (Half-Normal, Normal Truncada, Exponencial) para cada una de las dos perturbaciones y estimando por máxima verosimilitud. Posteriormente se calcula la eficiencia de cada empresa a partir del valor estimado para la perturbación de carácter sesgado anteriormente mencionada.

La frontera que se obtiene con éste método, a diferencia de lo que ocurre con el modelo DEA, tiene un carácter paramétrico, en tanto que se postula una forma funcional específica que explica el comportamiento eficiente de las empresas. La estimación proporciona unos índices de eficiencia con propiedades estadísticas, lo que permite plantear contrastes de hipótesis sobre los resultados

Admitir la naturaleza estocástica de la producción, es equivalente a suponer que el producto está limitado superiormente por una frontera estocástica. La producción puede por tanto, modelizarse de la siguiente forma:

$$Y = f(x) + \varepsilon, \quad \varepsilon = v - u \quad (3)$$

Donde la perturbación aleatoria  $v$  es un término de error simétrico que se supone idéntica e independientemente distribuido con media 0. El término de error  $u$  se supone que es no negativo y que se distribuye independientemente de  $v$ , siguiendo una distribución de una cola. El componente aleatorio  $v$  representa sucesos que no son controlables por la empresa (el clima, las huelgas, actividades económicas en la región, etc.), mientras que  $u$  recoge la distancia de cada empresa a su frontera estocástica, representando una medida de su ineficiencia técnica<sup>2</sup>. Por tanto, la frontera de producción estocástica será:

$$Y^* = f(x) + v \quad (4)$$

En el caso de las fronteras de producción estocásticas, el índice de eficiencia técnica para la empresa  $i$  puede calcularse como:

$$ET_i = \frac{Y_i}{f(x_i) + v_i} \quad (5)$$

Las implicaciones a nivel conceptual de que la frontera de producción sea estocástica son muy importantes para la interpretación de la ineficiencia. Como dicen Aigner, Lovell y Schmidt: "...el agricultor cuya cosecha es devastada por la sequía o una tormenta es desafortunado con nuestra medida, pero ineficiente con la medida habitual".

Las características básicas del modelo de frontera estocástica se ilustran a continuación. Los insumos están representados en la accisa horizontal y los productos en la vertical.

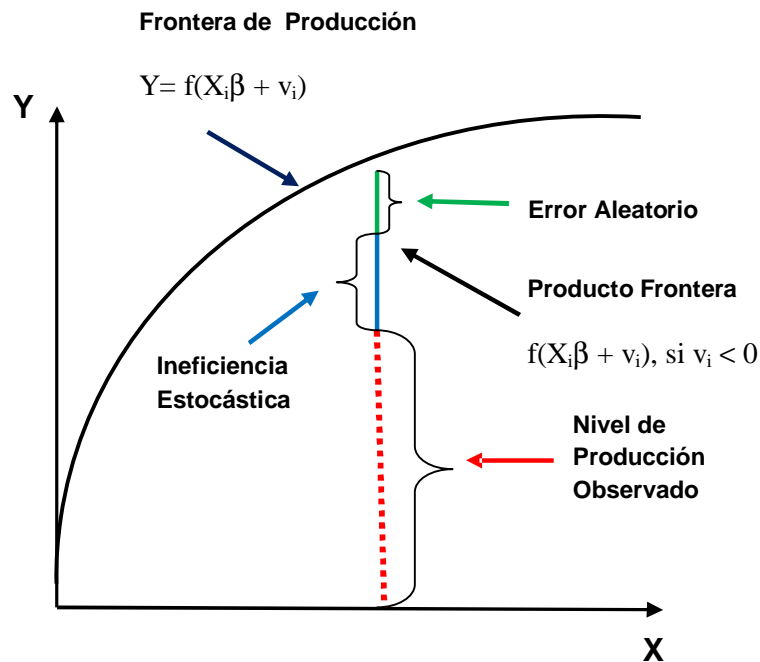
El componente determinístico del modelo de frontera,  $Y = \text{Exp}(\beta X)$  es dibujado asumiendo la existencia de retornos de escala decrecientes, donde:

ü  $Y_i^*$  representa el producto (output) de la empresa  $i$  operando a una escala óptima y con un uso eficiente de su tecnología.

Ü  $Y_i$  representa el producto que obtiene la empresa  $i$ , que se encuentra operando por debajo de su frontera estocástica.

Ü  $u$  representa la distancia a la que se encuentra la empresa de su frontera estocástica, representando por tanto, la medida de su ineficiencia técnica.

**Figura 5: Función de la frontera de producción estocástica.**



Fuente: Elaboración propia

### 2.4.1\_ La medición de la eficiencia técnica con datos de panel.

Un conjunto de datos es de panel cuando se tienen observaciones de series temporales sobre una muestra de unidades individuales. En otras palabras, los datos de panel consisten en un conjunto de datos en el que se tienen varios años de un corte transversal, es decir, a un conjunto de individuos se les observa y mide una serie de variables durante sucesivos periodos de tiempo. Por tanto, con datos de panel se puede analizar la variación entre observaciones a lo largo de dos dimensiones: la de los individuos y la temporal.

Los datos de panel aumentan la flexibilidad con que se puede modelizar el comportamiento de los individuos. El punto de partida del análisis es un modelo de regresión de la forma:

$$y_{it} = \alpha_i + X_{it} \beta + v_{it} \quad (6)$$

donde el subíndice  $i$  ( $= 1, \dots, N$ ) representa los individuos,  $t$  ( $= 1, \dots, T$ ) el período de tiempo,  $Y_{it}$  es la variable dependiente,  $X_{it}$  es un vector de variables independientes,  $\beta$  es un vector de parámetros y  $v_{it}$  es una perturbación aleatoria idéntica e independientemente distribuida no correlacionada con  $X_{it}$ . El parámetro  $\alpha_i$  se denomina efecto individual y se considera constante a lo largo del tiempo.

Existen, básicamente, dos aproximaciones para estimar los parámetros del modelo (6). En la primera aproximación, si se supone que el término independiente  $\alpha_{1i}$  es un parámetro fijo, el modelo se conoce como de “efectos fijos”. En el modelo de efectos fijos los términos independientes diferentes para cada individuo son estimados como coeficientes adicionales que se pueden estimar junto a los coeficientes  $\beta_k$ . En la segunda aproximación, si se supone que el término independiente  $\alpha_{1i}$  es aleatorio, de manera que puede ser escrito como  $\alpha_{1i} = \alpha_1 + u_i$ , donde  $\alpha_1$  es un parámetro desconocido y  $u_i$  es una variable aleatoria inobservable, el modelo se llama de “efectos aleatorios”.

La elección entre uno de los dos modelos depende de varios factores. Judge et al. (1988) afirman que el modelo de efectos fijos, al no hacer ningún supuesto sobre la distribución del efecto individual, es aplicable en un mayor número de casos. El modelo de efectos aleatorios implica la aceptación de algún supuesto adicional sobre la distribución de los residuos, aunque si el supuesto es acertado da lugar a un estimador más eficiente.

La elección de un modelo de efectos fijos o efectos aleatorios condiciona el método de estimación. Si se considera un modelo de efectos fijos el estimador apropiado es el denominado estimador intragrupos, cuya característica principal es la consistencia bajo los supuestos habituales para el término de perturbación

aleatoria. Si el modelo elegido es el de efectos aleatorios, el estimador adecuado es el de mínimos cuadrados generalizados (Balestra, Nerlove, 1966). Este estimador es consistente si los efectos individuales no están correlacionados con las variables explicativas.

En la literatura referente a datos de panel existe cierto consenso sobre la falta de contenido de la distinción entre efectos fijos y efectos aleatorios para entender las diferencias entre ambos modelos. En realidad, la diferencia clave es si los efectos individuales  $\alpha_i$  están o no correlacionados con las variables explicativas. Si no lo están, es posible incluirlos en el término de perturbación aleatoria y estimar consistentemente el modelo resultante por mínimos cuadrados ordinarios o generalizados. Sin embargo, si los efectos individuales están correlacionados con las variables explicativas es necesario tratar los efectos individuales correlacionados como parámetros. En este caso, se trata de que el término de perturbación aleatoria del modelo no contenga los efectos individuales correlacionados con las variables independientes, lo que generaría estimaciones inconsistentes.

Los trabajos de Hsiao (1986) y Baltagi (1995) dan una idea de la abundancia y amplitud de la literatura teórica y empírica sobre datos de panel. Greene (1999, p.532) apunta dos razones para la proliferación de estudios con datos de panel:

1. Los datos de panel ofrecen un entorno muy rico para el desarrollo de técnicas de estimación y resultados teóricos.
2. Desde un punto de vista práctico, estos datos permiten estimar problemas que no pueden ser estudiados en un contexto de series temporales o corte transversal.

Las ventajas de estos datos sobre las series temporales o los cortes transversales son las siguientes (Hsiao, 1986, p.2):

1. Permiten disponer de más puntos de observación, por lo que disminuyen los problemas de multicolinealidad y aumenta la eficiencia de las estimaciones.
2. Permiten analizar aspectos dinámicos de los fenómenos económicos que no pueden ser estudiados con datos de corte transversal o series temporales.

3. Los datos de panel permiten cierto tratamiento del problema de variables omitidas (inobservables, no medidas) potencialmente correlacionadas con las variables explicativas.

Este tercer punto está relacionado con la existencia de heterogeneidad inobservable entre individuos y la posibilidad de que los inobservables se encuentren correlacionados con los determinantes de la producción generando sesgos en las estimaciones ha propiciado el uso creciente de datos de panel y estimulado un amplio desarrollo de técnicas específicas para este tipo de datos. La aplicación de modelos para datos de panel permite controlar esta heterogeneidad inobservable, ya que la variación temporal de los datos puede ser explotada para eliminar diferencias individuales invariantes en el tiempo.

La heterogeneidad inobservable consiste en todo lo que se omite y que es variante en alguna dimensión (entre individuos o entre períodos de tiempo). Así, si en una función de producción se incluyen todos los inputs, pero la calidad es distinta según individuos, se está cometiendo un error. Este caso es mucho más frecuente de lo que se puede pensar. El factor capital por ejemplo, se suele medir por el número de ómnibus de los que puede disponer una empresa de transporte, sin embargo, es de esperar que la calidad de los mismos no sea igual y existan diferencias en la potencia de sus motores, el número de plazas, el consumo medio de los vehículos, etc., entre las flotillas de las empresas que se analicen.

La estimación de la eficiencia técnica con datos de panel está relacionada con este problema, es decir, con el tratamiento de la heterogeneidad inobservable de las empresas. De hecho, los artículos pioneros (Mundlak (1961)) en el uso de los datos de panel giran alrededor de la estimación de la eficiencia técnica tanto desde un punto de vista conceptual como metodológico, y consideran que la capacidad de gestión de las empresas no es observable.

Cuando se dispone de datos de panel, la eficiencia técnica para cada individuo puede ser estimada consistentemente cuando se dispone de una dimensión temporal  $T$ . Además, no es necesario hacer supuestos específicos sobre la distribución de las perturbaciones aleatorias y la eficiencia técnica puede

estimarse sin necesidad de suponer ausencia de correlación entre la eficiencia técnica y las variables explicativas (Schmidt y Sickles, 1984).

La estimación de la eficiencia técnica con datos de panel, se puede modelizar mediante la siguiente ecuación:

$$y_{it} = \alpha + x_{it}'\beta + v_{it} - u_i \quad (7)$$

Donde  $Y_{it}$  es la cantidad de producto (output) obtenido,  $X_{it}$  es un vector de insumos (inputs),  $\alpha$  y  $\beta$  representan los parámetros del modelo,  $i$  indica individuos y  $t$  indica el período de tiempo al que pertenece la observación.  $V_{it}$  es una perturbación aleatoria e independiente e idénticamente distribuida de media cero y varianza constante  $\sigma_v$ , que representa factores aleatorios fuera del control del productor, y  $u_i$  es una perturbación aleatoria con varianza constante,  $\sigma_u$ , representa la ineficiencia individual constante en el tiempo. Las variables  $u_i$  y  $v_i$  son variables independientes.

Este modelo de datos de panel en (7) permite considerar tanto cambios de producción debidos a factores individuales como al paso del tiempo. Por esta razón, es posible investigar simultáneamente la eficiencia técnica y el cambio técnico si este aspecto ha sido parametrizado adecuadamente en el modelo. Ésta es una cuestión que no es posible abordar en el análisis de la eficiencia técnica con datos de corte transversal.

En este modelo que se analiza se supone que el término  $v_{it}$  no está correlacionado con los insumos. Este supuesto se apoya en la idea de que la realización de la variable aleatoria es posterior a la elección de los insumos (inputs) y por tanto no puede afectar a ésta (Zellner, Kmenta y Dreze, 1996).

Formalmente, la ecuación anterior (6) está relacionada con la frontera estocástica de Aigner, Lovell y Schmidt (1977). Si  $T = 1$ , en ese caso particular las ecuaciones coinciden plenamente. Sin embargo, la dimensión temporal de la ecuación (7) introduce la posibilidad de obtener estimaciones del término de ineficiencia  $u_i$  fuera del marco estricto de la frontera estocástica. La ineficiencia individual  $u_i$  puede estimarse como un efecto individual correlacionado con los insumos (estimador

intragrupos), como un efecto individual no correlacionado con las variables explicativas (estimador de mínimos cuadrados generalizados) y como un efecto individual correlacionado solamente con un subconjunto de estas variables (estimador de Hausman-Taylor).

La frontera estocástica aparece en este contexto como un modelo más a la hora de estimar la frontera y la eficiencia técnica individual. Las propiedades de la frontera estocástica mejoran cuando se dispone de datos de panel.

## 2.5\_ Ventajas e inconvenientes de ambas metodologías.

Uno de los problemas existentes en relación con los citados modelos es la dificultad para que los responsables de diseñar e implementar las políticas sectoriales observen la utilidad de estas técnicas y se decidan a incorporarlas a su información de gestión, sino que además, en el caso de nuestro país, puedan asimilarlas como herramienta de trabajo.

A continuación se muestran algunas de las ventajas e inconvenientes que presentan ambos modelos para su aplicación:

**Tabla 1: Ventajas e inconvenientes DEA vs. Frontera estocástica.**

DEA	Frontera Estocástica
<b>Ventajas:</b>	<b>Desventajas:</b>
No especifica la forma funcional.	Es preciso prefijar una función de Producción y distribución de variables aleatorias.
Aporta información útil para la gestión (grupos de comparación, seguimiento de objetivos).	Menos información (no slacks)
No es preciso ponderar a priori las variables del modelo multiproductos.	Ponderaciones output (función frontera).
Un único resultado.	Posibilidad de óptimos locales (MV).

<b>Desventajas:</b>	<b>Ventajas:</b>
Modelo determinístico.	Separación error aleatorio-ineficiencia.
Complicación en obtener test (Análisis de sensibilidad del modelo).	Test de bondad de ajuste de los modelos y de significación de los parámetros.
Extensión del análisis de indicadores.	Análisis de causalidad.
Influencia alta en la frontera de outliers (Pertenece a los grupos de comparación).	Menor sensibilidad a los comportamientos extremos.

Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en el cuadro anterior, el modelo envolvente de datos es más flexible que los modelos de frontera estocástica porque no precisa establecer una tecnología de parámetros que determinen a priori las relaciones entre insumos y productos. Además, dado que es un modelo no estadístico, tampoco presupone distribuciones de probabilidades para los errores. Igualmente en el modelo DEA las ponderaciones de cada insumo y producto son una variable que se obtiene como solución a los programas, que están diseñados para incorporar el supuesto de múltiples inputs y outputs.

En los modelos de regresión, tradicionalmente se explica una variable en función de un conjunto de regresores o factores. Para incorporar múltiples outputs se planteaba la necesidad de ponderarlos con objeto de obtener una sola variable endógena. Esta dificultad puede solventarse mediante el uso de funciones distancia, aunque impone una gran cantidad de restricciones a la hora de incorporar variables al estudio, puesto que es preciso utilizar formas funcionales complejas y formular restricciones.

A pesar de ello, el modelo DEA suministra una mayor información para el análisis y la mejora de la gestión, como la posibilidad de establecer objetivos o el conocimiento de unidades de referencia o que operen en una escala similar. Además, permite la restricción de las ponderaciones cuando existe una cierta heterogeneidad en la muestra o cuando el planificador desee priorizar unos objetivos sobre el resto. Por último, los modelos de regresión estimados a través

de máxima verosimilitud pueden alcanzar óptimos locales, lo que obliga a realizar diferentes pruebas para conocer el mejor resultado basándose en el mayor valor de la función de verosimilitud.

En el cuadro también se recogen una serie de inconvenientes del modelo DEA frente a las ventajas de los modelos paramétricos. La primera vendría referida a los modelos estocásticos que permiten incluir términos de error que recojan los efectos de variables desconocidos o de los errores en la especificación del modelo. Los modelos deterministas identifican como error toda desviación a la frontera, lo que les hace sensibles a las observaciones extremas y a la introducción de nuevas variables. Precisamente la influencia de las unidades outliers es menor en los modelos paramétricos en general al utilizarse las medias de los mejores comportamientos como referencia para desplazar hacia arriba la frontera.

En el modelo DEA una sola unidad puede condicionar la ubicación final de la frontera. Por esta razón, la utilización de análisis complementarios de la sensibilidad del modelo y especialmente el uso de una serie temporal que permita analizar la estabilidad de los resultados en el tiempo son siempre recomendables en este tipo de análisis. Como hemos señalado, los modelos paramétricos reducen las posibilidades de que las unidades extremas alteren la frontera porque ésta se forma a partir de promedios obtenidos a partir de los residuos positivos. Además, los modelos de frontera estocástica permiten analizar la influencia de errores distintos de las eficiencias como los provocados por otras variables no recogidas en el análisis. La aplicación del DEA estocástico es otra alternativa para analizar este supuesto.

Por último, una aportación importante de los modelos de regresión es que analizan la causalidad entre factores y productos a través de los contrastes de significación de los parámetros y también la significación o grado de ajuste de los modelos. En los modelos de regresión por MCO es fácil obtener un indicador de su significación global ( $R^2$ ). En las estimaciones a través de máxima verosimilitud hay que acudir a indicadores para modelos no lineales, que aún no han sido desarrollados suficientemente.

Finalmente cabe señalar la conveniencia de utilizar datos de panel. Como hemos señalado anteriormente con el modelo DEA en los modelos estocásticos, la introducción de un mayor número de observaciones amplía los grados de libertad de las ecuaciones de los modelos. En el caso de los modelos de regresión cabe dilucidar qué técnica es la más recomendable si la de Mínimos Cuadrados Corregidos (MCO) o la estimación a través de máxima verosimilitud. La primera presenta la ventaja de que no hay que establecer la distribución de probabilidades para los residuos si se suponen efectos fijos. A cambio, plantea el problema de que no es posible estimar en un solo modelo cuál es la significación de los parámetros y la del término de error. En este caso es necesario utilizar la estimación por máxima verosimilitud. A cambio, habrá que suponer que los efectos de la ineficiencia no están correlacionados con las variables explicativas.

No existen por tanto, argumentos concluyentes en favor de un método u otro, la elección entre ambos suele quedar al criterio y preferencias del investigador. Hay que señalar, que cada vez en mayor medida se reclaman trabajos que apliquen a una misma muestra las dos metodologías simultáneamente, lo que permitiría comprobar la robustez de los resultados de eficiencia obtenidos.

Independientemente del método empleado, la eficiencia estimada tiene un carácter relativo, ya que la inclusión de una nueva observación, aunque nunca puede elevar los índices de eficiencia encontrados previamente, sí puede empeorarlos, si la nueva empresa presenta un comportamiento mejor que el resto, y queda incluida en la frontera. La frontera hallada de esta forma, siempre tiene un carácter empírico y constituye la mejor práctica encontrada.

Como se expresó en la introducción, dado el poco uso o empleo de metodologías alternativas en la medición de la eficiencia técnica en nuestro país, la utilización de las metodologías de frontera en nuestra investigación, constituye una propuesta novedosa, de forma tal que el desarrollo de estos modelos, unido al análisis y mejoramiento de los indicadores tradicionales, pueda ayudar a aportar nuevas perspectivas a la hora de evaluar la gestión de las unidades económicas.

## **2.6\_ La eficiencia técnica en las empresas de Tabaco Torcido para la exportación en Villa Clara.**

### **2.6.1\_ Génesis de la producción y comercialización del tabaco.**

La planta *Nicotiana tabacum*, cuyo producto para ser utilizado o consumido es la hoja curada, tuvo su origen en América Central y se consumía antes de la era cristiana, así lo confirma la escultura de piedra encontrada en México “*El hombre viejo de Palenque*” (cuya edad data del año 600 antes de Cristo). Existen además, más de 70 especies de tabaco, 45 de las cuales son originarias del continente americano.

Hace aproximadamente unos 2000 años, los nativos americanos usaban el tabaco como medicina, como alucinógeno en las ceremonias religiosas y como ofrendas a los espíritus que adoraban. Cuando Cristóbal Colón llegó al continente americano en 1492, observó que los indígenas del Caribe fumaban hojas de tabaco enrolladas o valiéndose de una caña o tubo llamado *tobago*, de donde deriva el nombre común de la planta.

A mediados del siglo XVI, el diplomático Jean Nicot, al que la planta debe el nombre genérico (nicotiano), introdujo el tabaco en Francia. En 1585 lo llevó a Inglaterra el navegante sir Francis Drake; y fue el explorador inglés Walter Raleigh quien inició en la corte isabelina la costumbre de fumar el tabaco en pipa. El nuevo producto se difundió rápidamente por Europa y Rusia, y en el siglo XVII llegó a China, Japón y la costa occidental de África.

### **2.6.2\_ Desarrollo de la producción tabacalera en Cuba**

Los españoles iniciaron el cultivo del tabaco en Haití en 1531 y en Cuba en 1589, más tarde en las Guayanas y Brasil, introduciéndose en Europa, Asia y África durante la segunda mitad del siglo XVI. La comercialización del tabaco en el mundo la iniciaron los colonizadores españoles y tiene una antigüedad de 390 años. España monopolizó el comercio del tabaco, para lo cual estableció en 1634 el estanco de este producto para Castilla y León, régimen que en 1707 se amplió a

todos los territorios de la corona, acompañado de la prohibición de cultivar la planta en la península para facilitar el control aduanero. La extensión del estanco a Cuba, donde tenía lugar gran parte de la producción, provocó numerosas revueltas.

Fue el 11 de marzo de 1616 que apareció por primera vez la palabra tabaco en un acta capitular habanera donde se prohibía a los dueños de estancias que quemasen ni talasen mas montes firmes, con el fin de dedicar estas tierras a la siembra del tabaco. En Cuba, el cultivo del tabaco virginia se inicio en 1931 fecha en que se estableció definitivamente en la provincia de Pinar del Río.

En el siglo XVII el tabaco se extiende con insuperable fama después que en 1648 a partir el siglo XV, la atención del mundo se centró en Cuba, pequeño país del Caribe, que obtenía hoja de alta calidad, por ejemplo en Guane, debido al incremento de la demanda mundial de tabaco, comenzó a desarrollarse su cultivo a partir del siglo XVIII. En Manicaragua en 1802, desde esa época se conocía que en las cercanías del Río Arimao, data el incipiente del cultivo, ya que las tierras marginales a los ríos, ofrecían óptimas condiciones para la cosecha del tabaco. Los vegueros se asentaban con sus familias y formaban pequeñas aldeas que con el tiempo adquirirían importancia al cultivarse allí la hoja de tabaco.

Cuba, cuenta con un clima tropical fresco, con lluvias en una temporada del año y ausencia o poco frecuente en la etapa del cultivo de la planta; que unido a las áreas de llanuras, ondulaciones y montañas, son apropiadas para el buen desarrollo del tabaco. En su cultivo, los sistemas agrícolas combinan elementos tradicionales y modernos, y se emplean fertilizantes químicos y orgánicos, dependiendo de los recursos del agricultor; siendo el rendimiento promedio generalmente bajo.

La utilización excesiva de las áreas tabacaleras de Vuelta Abajo, centro de insuperable calidad, ha sido el factor esencial en la agresión al rendimiento, los que hoy presentan un estado realmente alarmante. Con una extensión de unas 4,500 caballerías, que representan aproximadamente el 11 % de la superficie agrícola cultivada, es la producción tabacalera la principal fuente de trabajo e

ingresos en estas regiones; y de esta, el 51 % está en manos de productores privados.

Por otro lado, Cuba ocupa el primer lugar en el mundo en lo referido a la calidad del tabaco negro para puros y son por tanto, los más importantes en la producción comercial; además de tener para la economía del país un gran significado. Este se cultiva aproximadamente en unas 60 000 ha en lugares que poseen un conjunto determinado de condiciones climáticas y de suelo. En la actualidad el tabaco negro se cultiva en todas las provincias, y en el actual plan de siembra representa el 64 % del total de áreas destinadas a este cultivo.

En Manicaragua desde 1802, se conocía ya del incipiente cultivo, se sabía que en las cercanías del Río Arimao, (en las tierras marginales a los ríos) ofrecían óptimas condiciones para la cosecha del tabaco. Los vegueros se asentaban con sus familias y formaban pequeñas aldeas que con el tiempo adquirirían importancia al cultivarse allí la hoja de tabaco.

**Tabla 1. Indicadores de área cosechada en cuba, producción acopiada y rendimientos**

Cosecha anual	Area (hectáreas)	Producción (toneladas)	Rendimiento (kg/ha)
1980/1981	68447	53696	784
1981/1982	64656	42550	658
1982/1983	50805	30121	593
1983/1984	64924	44247	682
1984/1985	57537	44482	773
1985/1986	58553	45402	775
1986/1987	55723	38778	696
1987/1988	55532	31432	566
1988/1989	52917	40949	774
1989/1990	53276	37071	696
1990/1991	48058	29863	621
1991/1992	44606	24638	552
1992/1993	42269	19890	471
1993/1994	38167	16808	440
1994/1995	39770	25433	640
1995/1996	46848	33295	711
1996/1997	48024	30940	644
1997/1998	54226	37867	698
1998/1999	53999	37642	697
1999/2000	52685	37987	721

Fuente: Estadísticas TABACUBA, 2001

### **2.6.3\_ Zonas tabacaleras de Cuba**

Su cultivo ha evolucionado y se ha arraigado en zonas especializadas, de acuerdo con el tipo y los objetivos de producción; concentrándose en la región occidental (Pinar del Río y La Habana), la región central (Villa Clara y Sancti Spiritus) y en la región oriental (Granma). Estas a su vez, están divididas en cinco zonas de renombre mundial: Vueltabajo, Semivuelta, Partido, Remedios y Oriente.

**Vuelta Abajo.** En el extremo oeste de la Isla, comprende casi toda la provincia de Pinar del Río, aquí se cultivan los mejores tabacos del mundo en sus famosas vegas, en particular las de San Luis y San Juan de las que salen las hojas con las que se elabora el mejor tabaco del mundo. El Llano (San Luis y San Juan y Martínez), Lomas (Viñales) Remates, Güanes, Mantua (Pinar del Río), Costa Sur (Consolación del Sur) y Costa Norte

**Semivuelta.** Es la segunda región tabacalera de Pinar del Río, Ocupa la parte meridional de la provincia de La Habana. Su tabaco con hojas más gruesas y aroma más fuerte que en Vuelta Abajo, comprende a San Cristóbal.

**Partido.** Se ubica en la provincia de La Habana. Se cultiva el tabaco tapado (cubierto con tela, lo que permite obtener hojas más claras y de más fina textura). Las mejores vegas se encuentra en San Antonio de los Baños, Güira de Melena, Alquizar, Caimito y Bejucal. Estas tierras son rojas-tropicales. Las hojas se utilizan para los puros.

**Remedios o vuelta arriba.** Comprende las provincias de Sancti Spiritus, Villa Clara, Ciego de Ávila y Camagüey. Las mejores vegas se encuentran en Manicaragua, Camajuaní, Florida, Cabaiguán, Taguasco y Fomento. Su hoja es gruesa y aromática.

**Oriente.** Comprende la región oriental. Produce tabaco de gama baja. Sus hojas son utilizadas para el consumo local y para cigarrillos. Actualmente se trabaja con las variedades de producción de capadura. Las mejores vegas se encuentran en Bayamo, Mayarí, Alto Songo, Jiguaní y Sagua de Tánamo.

**Tabla 2. Exportaciones cubanas de tabaco y sus productos.**

Exportaciones cubanas en millones de dólares corrientes	1996	1997	1998	1999	2000
Tabaco y sus productos	108.9	161.2	191.9	205.3	166.3
Tabaco en rama	27.6	29.3	25.8	27.0	19.9
Tabaco torcido	79.7	128.3	162.8	173.5	140.3
Cigarrillos	0.1	2.8	2.8	4.4	6.0
Exportaciones totales	1866.0	1819.1	1512.2	1495.8	1675.9

Fuente: ONE, Anuarios Estadísticos de Cuba, 1999 y 2000.

#### **2.6.4\_ Caracterización de la empresa de Tabaco Torcido Villa Clara**

La Empresa de Tabaco Torcido Villa Clara (ETTVC) forma parte del Grupo Empresarial de Tabaco de Cuba (TABACUBA), la cual fue creada en marzo de 1990 con el objetivo de establecer la dirección técnica, económica y comercial de los productos que elabora; y se desempeña dentro del esquema de perfeccionamiento empresarial.

La Empresa de Tabaco Torcido Villa Clara (ETTVC) cuenta con 22 Unidades Empresariales de Base (UEB) distribuidas en 10 de los 13 municipios de la provincia de Villa Clara. De estas, 7 unidades producen tabaco torcido con destino a la exportación, 11 unidades producen tabaco torcido con destino al consumo nacional, 2 unidades se dedican a la actividad del despallido, una a la actividad de comercialización, y una a la actividad de servicios. La empresa está catalogada además como: Categoría 1, ya que en su conjunto abarca un total de 3500 trabajadores, lo cual la constituye en la mayor empresa de tabaco torcido del Grupo TABACUBA.

La (ETTVC) cuenta con siete Unidades Empresariales de Base (UEB) que producen tabaco para la exportación, de las cuales escogimos seis por tener características similares. Es válido aclarar que estas unidades están aptas para la producción de todo tipo de tabacos, o sea, abarcan toda la cartera de productos de la empresa.

Estas unidades empresariales de base, son las siguientes:

### **1\_ UEB Exportación Santa Clara**

El 1ero de agosto de 1961, surge la fábrica de tabaco LV-9 Constantino Pérez Carrodegua. En sus inicios la fábrica producía tabacos en 5 vitolas (medias brevas, brevas, crema, petit cetro y cazadores). A mediados de 1971, se inicia el curso de tabaqueros para la exportación, y ya en 1972 se producen tabacos destinados a esta producción, aunque se continuó alternando con el consumo nacional, hasta que este último se dejó de producir totalmente en 1999. Actualmente esta fabrica cuenta con un total de 274 trabajadores.

### **2\_ UEB Exportación Placetas**

Esta unidad está situada en unos de los municipios de mayor tradición a nivel nacional en la rama tabacalera. Esta Fabrica Mariano Pérez López es la primera entidad estatal que surge en la provincia por lo que se le otorga el nombre de LV-1 y tiene un total de 190 trabajadores.

### **3\_ UEB Exportación Camajuaní**

La actual UEB Torcido de explotación Eliope Paz Alonso del municipio de Camajuaní fue creada por la revolución el 8 de mayo de 1961, se le puso el nombre de LV-6 porque fue la sexta fábrica estatal creada. Esta cuenta en la actualidad con 269 trabajadores que son los encargados de la producción.

### **4\_ UEB Exportación Báez**

Esta fábrica fue creada en el año 1963, se especializó en la producción de tabaco para el consumo nacional y se le nombro LV.16. La misma está situada en el poblado de Báez. Esta empresa inicia la actividad del torcido para la exportación después del año 1970 y adopta el nombre de establecimiento número nueve (Félix Rodríguez). En la actualidad posee un total de 407 trabajadores.

### **5\_ UEB Exportación Quemado de Güines**

El 17 de abril de 1963 se inaugura oficialmente la fábrica estatal de Quemado de Güines. Esta fábrica recibe el nombre de Sergio Jerónimo Valdés e inicia sus

labores con 256 obreros; su producción se destina al consumo nacional, elaborando el tabaco Reloba. En el año 1996 debido a una serie de transformaciones se comienza a producir tabaco para la exportación. En la actualidad esta fabrica cuenta con un total de 154 trabajadores.

## **6\_UEB Exportación Manicaragua**

El 4 de enero de 1963 se funda la fábrica de tabaco LV-20 con el nombre de Francisco Dámaso Rodríguez, destinada a producir tabaco para el consumo nacional. En el año 2002 se aprueba el Perfeccionamiento Empresarial de la empresa Acopio y Beneficio del Tabaco, creándose la unidad empresarial de base de Tabaco Torcido para la Exportación Manicaragua. Esta entidad cuenta con un total de 133 trabajadores.

### **2.6.5\_ Selección de la muestra y de los datos**

Para este estudio, se tomo como muestra las unidades económicas de base que conforman la Empresa de Tabaco Torcido Villa Clara y que producen tabaco torcido para la exportación.

### **2.6.6\_ Especificación y supuestos del modelo**

En este caso, para la estimación de la eficiencia en las empresas de tabaco torcido para la exportación, se asumió como elemento fundamental del análisis de la frontera estocástica, que cada empresa potencialmente produce menos de lo que esta pudiera, por el grado de ineficiencia. Específicamente,

$$q_{it} = f(z_{it}, \beta) \xi_{it} \quad (8)$$

donde,  $\xi_{it}$  es el nivel de eficiencia para la firma  $i$  en el tiempo  $t$ ; y  $\xi_{it}$  se encuentra en el intervalo  $(0,1]$ . Si  $\xi_{it} = 1$ , la firma está alcanzando el máximo de producto con la tecnología incluida en la función de producción  $f(z_{it}, \beta)$ . Cuando  $\xi_{it} < 1$ , entonces la firma no está obteniendo el máximo de los insumos  $z_{it}$  empleados

dado la tecnología empleada en su función de producción  $f(z_{it}, \beta)$ . Dado que asumimos que el producto es estrictamente positivo (i.e,  $q_{it} > 0$ ), entonces el grado de eficiencia técnica se asume también como estrictamente positivo (i.e,  $\xi_{it} > 0$ ). El producto también se asume que está sujeto a shocks aleatorios, lo que implica que,

$$q_{it} = f(z_{it}, \beta) \xi_{it} \exp(v_{it}) \quad (9)$$

Tomando el log natural en ambos lados, obtenemos,

$$\ln(q_{it}) = \ln\{f(z_{it}, \beta)\} + \ln(\xi_{it}) + v_{it} \quad (10)$$

Si asumimos que existen  $k$  insumos y que al aplicar logaritmos la función de producción se transforma en una función lineal, y definiendo a  $u_{it} = \ln(\xi_{it})$ , entonces tenemos que,

$$\ln(q_{it}) = \beta_0 + \sum_j^k \beta_j \ln(z_{jit}) + \ln(\xi_{it}) + v_{it} - u_{it} \quad (11)$$

donde  $q_i$  representa el producto obtenido por cada empresa, los parámetros  $\beta_j$  son los parámetros a estimar,  $v_{it}$  es un término de error simétrico y  $u_{it}$  es un término de error no-simétrico que recoge la distribución de la eficiencia técnica.

Los insumos considerados se han representado por las variables *habilitaciones* (todo lo referido al adorno de las cajas) las *materias primas* que se emplean en el proceso normal de producción de tabaco torcido, *trabajo* (número total de empleados) y la *energía* (la energía eléctrica consumida en el proceso de producción).

Para comprobar la robustez de los resultados, se han utilizado tres especificaciones alternativas para el término de la ineficiencia,  $u_{it}$ . Primero se ha asumido que  $u_{it}$  sigue una distribución *half-normal*. Alternativamente, también se ha estimado la función de producción suponiendo que  $u_{it}$  sigue una distribución *normal-truncada*. Debe notarse que la distribución *normal-truncada* es una generalización de la distribución *half-normal*. Esta se obtiene cuando a la

distribución normal con media  $\mu$  y varianza  $\sigma_u^2$  se le fija el punto de truncamiento en cero.

Por último, se ha utilizado el modelo de datos de panel. Al estimar la frontera estocástica mediante datos de panel, podemos obtener dos parametrizaciones diferentes del término de ineficiencia: un modelo en el que la eficiencia no varía en el tiempo (*time invariant*) y otro modelo en el que la eficiencia varía en el tiempo de Battese-Coelli (1992). En el primer modelo se asume, que el término de ineficiencia sigue una distribución normal-truncada. En el modelo de Battese – Coelli (1992) el término de ineficiencia es modelado como una variable aleatoria normal truncada multiplicada por una función específica del tiempo. En ambos modelos, el término de error idiosincrático ( $v$ ), se asume que tiene una distribución normal. El único efecto específico del panel, es el término de ineficiencia aleatorio.

Es importante señalar además, que si  $\eta = 0$ , el modelo de variación de la eficiencia en el tiempo se reduce al primer modelo en el que la eficiencia es invariante en el tiempo. Y esto puede estar relacionado entre otros factores, con el tamaño de la muestra.

Para comparar estos modelos que incluyen un número diferente de parámetros, ya que dependen de la parametrización de los dos componentes del término de error de la frontera estocástica, se ha considerado oportuno utilizar el “criterio de información Bayesiana” (BIC). La utilización de este estadístico permite elegir el modelo más conveniente entre los estimados. Tal y como se ha definido en el presente trabajo, aquél modelo que presente un menor BIC será mejor en términos de la información incorporada en cada parámetro del modelo.

En la siguiente sección se presentan los resultados obtenidos al estimar la frontera estocástica a través de los datos de panel.

### **2.6.7\_ Estimación de los resultados**

La evaluación de la eficiencia técnica en la producción de tabaco torcido para la exportación en la provincia de Villa Clara, a partir de la distancia a la frontera

estocástica de los puntos correspondientes a las observaciones muestrales, permitirá determinar en qué medida los recursos existentes han sido explotados de manera eficiente.

Para los modelos de frontera estocástica la hipótesis nula de no existencia de ineficiencia técnica puede ser evaluada mediante un test de la razón de verosimilitud cuya hipótesis nula es  $H_0: \gamma = 0$  donde  $\gamma = \sigma_u^2 / \sigma_S^2$ ; cuando  $\gamma$  tiende a cero las desviaciones se deben a ruido estocástico y cuando tiende a 1 a ineficiencia técnica. El valor obtenido por este test, se define como  $-2[\log L_R - \log L_{UR}]$  y bajo la hipótesis nula se distribuye siguiendo una  $\chi^2$  con un grado de libertad. Los valores obtenidos para este test se presentan en la tabla 1; y como puede verse el resultado obtenido para los modelos 1 y 2 señalan la ausencia de ineficiencia técnica, lo que significa que las desviaciones con respecto a la frontera se deben a shocks externos. En el caso del modelo de datos de panel el resultado puede considerarse un tanto ambiguo, indicando que las desviaciones de la frontera pueden deberse en igual medida a ambos factores.

**Tabla 3. Parámetros tecnológicos**

	<b>Modelo 1 Half-normal</b>	<b>Modelo 2 Normal truncada</b>	<b>Modelo 3 Datos de Panel (Invariante en el Tiempo)</b>
Constante	0.0032	0.0017	0.2033
Ln(trabajo)	0.4188	0.4188	0.6567
Ln(totmatp)	0.6022	0.6022	0.4359
Ln(energía)	-0.0425	-0.0425	-0.0792
$\sigma_v^2$	0.0162	0.0162	0.0086
$\sigma_u^2$	0.000016	0.0001	0.0105

$\sigma_s^2$	0.0162	0.0163	0.0191
$\mu$		-0.0576	0.1965
$\gamma = \sigma_u^2 / \sigma_s^2$	0.0009	0.0069	0.5516
N	24	24	24
BIC	-11.7388	-8.5608	-13.8006

Puede observarse además, que los coeficientes estimados son similares en los dos primeros modelos. En el caso del modelo de datos de panel que considera la [eficiencia invariante en el tiempo](#), se tiene que únicamente el trabajo y las materias primas tienen el efecto esperado sobre el producto de las empresas. Por otro lado, el coeficiente relativo a la energía, no ha resultado significativo; esto debe estar relacionado con las características propias de este proceso productivo.

A partir de los coeficientes estimados, se evaluó la elasticidad de cada factor productivo.

**Tabla 4. Elasticidades estimadas en la media muestral**

	<b>Modelo 1</b>	<b>Modelo 2</b>	<b>Modelo 3</b>
Elasticidad del trabajo	0.4188	0.4188	0.6567
Elasticidad Materias Primas	0.6022	0.6022	0.4359
Elasticidad energía	-0.0425	-0.0425	-0.0792
<b>Elasticidad de escala</b>	0.0978	0.0978	1.0134

El resultado anterior indica que los rendimientos de escala son constantes en el caso del modelo para datos de panel, ya que estos se miden por la suma de las elasticidades producto de todos los factores productivos. Una implicación directa de este resultado es que si se decide replicar una empresa a escala similar que las existentes, los resultados productivos que deberán obtenerse serán los mismos que los de la empresa anterior. Por último, se analizan los índices de

eficiencia técnica obtenidos a partir del modelo de datos de panel de eficiencia invariante en el tiempo, ya que es el modelo que se considera como referencia, al [no converger las estimaciones](#) para el modelo.

**Tabla 5. Índices de eficiencia técnica**

<b>Empresas</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>
<b>UEB Santa Clara</b>	0.8680	0.8680	0.8680	0.8680
<b>UEB Placetas</b>	0.7961	0.7961	0.7961	0.7961
<b>UEB Camajuaní</b>	0.9365	0.9365	0.9365	0.9365
<b>UEB Báez</b>	0.7286	0.7286	0.7286	0.7286
<b>UEB Quemado</b>	0.7474	0.7474	0.7474	0.7474
<b>UEB Manicaragua</b>	0.8417	0.8417	0.8417	0.8417

En la tabla 5, se presentan los índices de eficiencia estimados para cada una de las empresas por año; que al considerarse invariante en el tiempo, no varían. Las empresas que mejores resultado tiene son: la UEB Camajuaní, UEB Santa Clara y la UEB Manicaragua. En el caso de la UEB Camajuaní, con un 30% menos de trabajadores con respecto a la UEB de Báez, produce casi una cantidad similar, lo que implica que posee niveles de productividad y eficiencia mucho más altos; de manera similar sucede con la UEB Manicaragua, que es la empresas que cuenta con menos trabajadores, y sus niveles de productividad y eficiencia es mucho más alto que el de otras empresas que están en igual condición.

## ***Conclusiones***

1. La producción para la exportación se ha visto afectada tanto por factores externos, como por ineficiencias en la organización del proceso de producción. Lo que confirma la utilidad de la metodología paramétrica, al poder separar ambos efectos.
2. La tecnología de producción estudiada exhibe rendimientos de escala constantes.
3. Las empresas técnicamente más eficientes son las UEB de Camajuaní y la UEB de Manicaragua.
4. El tamaño de la muestra no nos permitió analizar la evolución dinámica de la eficiencia en el tiempo, no obstante, esto no constituye una limitación ya que la metodología aplicada también nos permite evaluar el desempeño de las diferentes unidades.

## ***Recomendaciones:***

1. Continuar ampliando la base de datos de la empresa de Tabaco Torcido Villa Clara con el objetivo de poder contar con un panel de datos que permita realizar inferencias más efectivas.
2. Continuar trabajando en la introducción de esta metodología en la práctica, para mejorar el diseño de las políticas y la toma de decisiones dentro del sector empresarial.

## **Bibliografía**

1. Aigner, D. J., C. A. K. Lovell and P. Schmidt (1977), "Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models," *Journal of Econometrics* 6:1 (July), 21-37.
2. Aigner, D. J., and S.-F. Chu (1968), "On Estimating the Industry Production Function," *American Economic Review* 58:4 (September), 826-39.
3. Alchian, A. A. (1965), "Some Economics of Property Rights," *Il Politico* 30:4 (December), 816-29.
4. Alchian, A. A., and R. A. Kessel (1962), "Competition, Monopoly, and the Pursuit of Money," in *Aspects of Labor Economics*. Princeton: Princeton University Press for the National Bureau of Economic Research.
5. Álvarez, A. (2001): "La Medición de la Eficiencia y la Productividad" (Coordinador). Ediciones, Pirámide.
6. Álvarez, A., J. Belknap y W. Saupe (1988): "Eficiencia Técnica de explotaciones lecheras", *Revista de Estudios Agro-Sociales*, 145, 143 – 156.
7. Anderson, S.C., Fielding, G.L., (1982): "Comparative analysis of transit performance", *US Department of Transportation*, Washington DC, Final Report.
8. Badunenko, O., Fritsch, M. and Stephan, A. (2006): "What Determines the Technical Efficiency of a Firm? The Importance of Industry, Location, and Size". [Jenaer Schriften zur Wirtschaftswissenschaft](#) 33/2006, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät.
9. Balestra, P. y M. Nerlove (1966): "Pooling Cross Section and time series Data in the Estimation of Dinamic Model: The Demand for Natural Gas", *Econometrica*, 34, 585 – 612.
10. Baltagi, B.H. (1995): "*Econometric Analysis of Panel Data*", John Wiley & Son
11. Battese, G. and Coelli, T. (1992) "Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India", *Journal of Productivity Analysis*, 3(1-2), 153-169.
12. Battese, G. E., and T. J. Coelli (1995), "A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data," *Empirical Economics* 20, 325-32.
13. Colburn, C., Talley, W., (1992): "A firm specific analysis of economies of size in the US urban multiservice transit industry". *Transportation Research* 26B (3), 195–206.
14. Debreu, G. (1951), "The Coefficient of Resource Utilization," *Econometrica* 19:3 (July), 273-92.
15. De Alessi, L. (1974), "An Economic Analysis of Government Ownership and Regulation: Theory and the Evidence from the Electric Power Industry," *Public Choice* 19:1, 1-42.
16. Evangelia, D., Kumbhakar and Ray, S. C. (2002): "A Dynamic Stochastic Frontier Production Model with Time-Varying Efficiency", [Working papers](#) 2003-15, University of Connecticut, Department of Economics.

17. Farrell, M. J. (1957): "The Measurement of Productive Efficiency", *J of the Royal Statistics Society, Serie A*, 120 (3), 253 – 81.
18. Fernández, Enrique J., De Cea Ch., Joaquín, De Grange, Louis C., (2005): "Production costs, congestion, scope and scale economies in urban bus transportation corridors". *Transportation Research Part A* 39 (2005) 383–403.
19. Greene, W. (1980): "*Maximum Likelihood Estimation of Econometric Frontier Function*", *Journal of Econometrics*, 13 (1), 27-56.
20. Greene, W. (1999): "*Análisis Económico*", Prentice-Hall.
21. Greene, W. H., (2000): "Simulated Likelihood Estimation of the Normal-Gamma Stochastic Frontier Function". [Working Papers](#) 00-05, New York University, Leonard N. Stern School of Business, Department of Economics.
22. Greene, W. H. (2004), "Distinguishing Between Heterogeneity and Inefficiency: Stochastic Frontier Analysis of the World Health Organization's Panel Data on National Health Care Systems," *Health Economics* 13:10 (October), 959-80.
23. Hicks, J. R. (1935), "*The Theory of Monopoly: A Survey*," *Econometrica* 3:1 (January), 1-20.
24. Jorgensen, F., Pedersen, P.A., Volden, R., (1997): "Estimating the inefficiency of the Norwegian bus industry from stochastic cost frontier models". *Transportation* 24, 421–433.
25. Karlaftis, M.G., (1996): "On the cost structure, efficiency, and productivity of mass transit systems", *Unpublished Doctoral Dissertation*, Purdue University.
26. Karlaftis, M.G., McCarthy, P.S., (1997): "Subsidy and public transit performance: a factor analytic approach". *Transportation* 24, 253–270.
27. Karlaftis, M.G., McCarthy, P.S., (1999): "The effect of privatization on public transit costs". *Journal of Regulatory Economics* 16, 27–43.
28. Karlaftis, M.G., McCarthy, P.S., (2001): "Cost structures of public transit systems: a panel data analysis". *Transportation Research part E*, forthcoming.
29. Karlaftis, M. G., (2003): "Investigating transit production and performance: a programming approach". *Transportation Research Part A* 37 (2003) 225–240.
30. Kerstens, K., (1996): "Technical efficiency measurement and explanation of French urban transit companies". *Transportation Research A* 30 (6), 431–452.
31. Kumar, S., Venkatesh, A.: "Comparing Efficiency across State Transport Undertakings: A Production Frontier Approach". *Published in Indian Journal of Transport Management* 27(3): 374 – 391.
32. Koopmans, T.C. (1951): "An analysis of production as an efficient combination of activities", en T.C. Koopmans ed. *Activity analysis of production and allocation*, Cowles Commission for Research in Economics, Monograph n. 13, New York, Wiley
33. Kumbhakar, S. C., and C. A. K. Lovell (2000), "*Stochastic Frontier Analysis*". New York: Cambridge University Press.

34. Leibenstein, H. (1966), "Allocative Efficiency vs. 'X-Efficiency'," *American Economic Review* 56:3 (June), 392-415.
35. Leibenstein, H. (1975), *Beyond Economic Man*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
36. Lindsay, C. M. (1976), "A Theory of Government Enterprise," *Journal of Political Economy* 84:5 (October), 1061-77.
37. Meeusen, W., and J. van den Broeck (1977), "Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error," *International Economic Review* 18:2 (June), 435-44.
38. Meeusen, W. y J. van den Broeck (1977): "Efficiency Estimation from Cobb- Douglas Production Functions with Composed. Error". *International Economic Review*, 18, 435- 444.
39. Mizutani, F., Nakamura, N., (1997): "Privatization of the Japan national railway: overview of performance changes". *International Journal of Transport Economics* 24 (1), 75-99.
40. Mundlak, Y. (1961): "Empirical Production Function Free of Management Bias", *Journal of Farm Economics*, 43, 44 – 56.
41. Niskanen, W. A. (1971), *Bureaucracy and Representative Government*. Chicago: Aldine Publishing Co.
42. Nicholson, W., (1997): "Teoría Microeconómica: Principios Básicos y Aplicaciones". McGraw-Hill, Interamericana de España.
43. Schmidt, P and Sickles, R. (1984): "Production Frontiers and Panel Data", *Journal of Bussiness & Economic Statistics*, 2 (4), 367-374.
44. Shephard, R. W. (1953), *Cost and Production Functions*. Princeton: Princeton University Press.
45. Simon, H. A. (1955), "A Behavioral Model of Rational Choice," *Quarterly Journal of Economics* 69:1 (February), 99-118.
46. Stigler, G. J. (1976), "The Xistence of X-Efficiency," *American Economic Review* 66:1 (March), 213-16.
47. Schmidt, P. y R. Sickles (1984): "Production Frontiers and Panel Data", *J. of Business and Economic Statistics*, 2 (24), 367 – 374.
48. Zellner, A., J. Kmenta y J. Dreze (1966): "Specification and Estimation of Cobb-Douglas Production Functions", *Econométrica*, 34, 784 – 795.