

# **EFFICIENCY OF IRON MINING OF VENEZUELA - ANALYSIS BY STOCHASTIC FRONTIER APPROACH**

## **EFICIENCIA DE LA MINERÍA DE HIERRO DE VENEZUELA - ANÁLISIS MEDIANTE EL ENFOQUE DE LA FRONTERA ESTOCÁSTICA**



Juan Enrique Villalva A.<sup>1</sup>

### **RESUMEN**

En la presente investigación se estimó el modelo de frontera estocástica de producción, para una muestra de siete empresas mineras de hierro de Australia, Sudáfrica, Brasil y Venezuela en el periodo 2006 – 2014, y se realizó el análisis de la eficiencia de la minería de hierro de Venezuela, respecto a esos países. Para ello primero, se identificaron las variables, que afectan la producción en la minería de hierro. Luego de la búsqueda de la data e información, se realizó el ajuste del modelo de frontera estocástica. Y finalmente, se realizó el análisis de la eficiencia técnica de la minería de hierro en general y de Venezuela como caso de estudio. Los resultados revelaron que la minería de hierro en general tuvo un retroceso en cuanto a su eficiencia técnica, y que el factor labor fue la variable que tuvo mayor peso sobre los resultados. Con respecto a Venezuela, tuvo un desempeño de eficiencia técnica con tasa negativa en el periodo estudiado, lo que plantea a la gerencia de la minería de hierro de Venezuela, el reto de mejorar su eficiencia.

**PALABRAS CLAVES:** Frontera estocástica; Eficiencia técnica; Minería de hierro; Venezuela.

### **ABSTRACT**

In this research the model of stochastic frontier production for a sample of seven iron mining companies from Australia, South Africa, Brazil and Venezuela in the period 2006 – 2014 was estimated, and analysis of the efficiency of iron mining of Venezuela, compared to those countries was done. To do this first, variables that affect production in the mining of iron are identified. After finding the data and information, adjusting the stochastic frontier model it was performed. Finally, the analysis of the technical efficiency of iron mining in general and Venezuela as a case study was performed. The results revealed that iron mining in general had a setback in terms of technical efficiency, and that the labor was the variable factor that had the greatest weight on the results. With respect to Venezuela, it had a performance of technical efficiency with negative rate in the studied period, which poses to the management of the iron mining of Venezuela, the challenge of improving its efficiency.

**KEYWORDS:** Stochastic Frontier; Technical Efficiency; Iron Mining; Venezuela.

**Doi:**[Http://doi.org/10.5281/zenodo.4903944](http://doi.org/10.5281/zenodo.4903944)

Recibido: 09 / 01 / 2017 Aceptado: 03 / 03 / 2017
--

---

<sup>1</sup> Doctorando en Ciencias de la Ingeniería, UNEXPO, Ing. Electricista (UNEXPO), Espec. en Operac.y Produc.(UNEG), Espec. en Automatización (UNEXPO), Msc en Ing. Electrónica (UNEXPO).  
[juanev99@gmail.com](mailto:juanev99@gmail.com), Teléfono.: +58-416-6867860

## INTRODUCCIÓN

La industria de minería de hierro, ha experimentado durante los últimos 10 años un crecimiento sin precedentes, producto del crecimiento económico de las llamadas economías emergentes y muy especialmente China. El mercado del mineral de hierro, actualmente es muy competitivo y muy dependiente de la actividad económica mundial,

Actualmente, muchas empresas mineras en el mundo están teniendo dificultades para adaptarse al impredecible mercado de mineral de hierro y algunas de ellas están batallando para seguir siendo rentables y hacen esfuerzos para mejorar la eficiencia, para hacer frente a las amenazas del entorno, y la minería de hierro de Venezuela no escapa a esa realidad.

La minería de hierro en Venezuela, a diferencia de otros países es realizada por una única empresa, la estatal C.V.G. Ferrominera Orinoco C.A. (FMO) inicia sus operaciones en 1976, después de la nacionalización del hierro, como la única empresa responsable de la explotación y aprovechamiento del mineral de hierro en todo el territorio nacional, por lo que al referirnos a la industria minera de Venezuela, nos estamos refiriendo también FMO.

En el presente informe se expone los resultados de la investigación sobre el análisis de la eficiencia de la minería de hierro de Venezuela mediante un enfoque paramétrico, en la cual, se estimó un modelo de frontera de estocástica y un modelo de ineficiencia técnica de producción, para una muestra de 7 empresas mineras de hierro de de Australia, Sudáfrica, Brasil y Venezuela en el periodo 2006 – 2014, y como caso particular se realizó el análisis de la eficiencia de la minería de hierro de Venezuela.

El estudio se realizó a través de una investigación de campo, no experimental, longitudinal, de tipo explicativa, y estuvo orientada a analizar de la eficiencia de la minería de hierro de Venezuela mediante el enfoque paramétrico de la frontera estocástica, y es importante, porque permitió obtener un modelo explicativo, que toma en cuenta las variables que afectan la eficiencia de la industria minera de hierro, que puede servir de orientación a las decisiones estratégicas de las empresas en esta industria.

El procedimiento que permitió lograr los objetivos del presente estudio fue el siguiente: En una primera fase, se identificaron las variables, que afectan la eficiencia de la industria minera de hierro. En la segunda fase, se realizó un proceso de indagación y búsqueda de los datos e información de la minería de hierro de Venezuela y de otros países. En la tercera fase, se realizó el ajuste del modelo de análisis de la frontera estocástica (SFA) de producción de la minería de hierro. Y en la tercera y última fase se realizó la evaluación de la eficiencia de la industria minera de hierro de Venezuela en el contexto mundial.

En este artículo informe se presenta la investigación en las siguientes secciones: En la sección 1, se expone el problema objeto de investigación. En la sección 2, se detallan los aspectos referidos a las bases teóricas, las preguntas de investigación y el sistema de variables. En la sección 3, se presenta el marco metodológico que fue seguido para realizar el estudio. En la sección 4, se exponen los resultados obtenidos. En la sección 5, están las conclusiones, y finalmente se presentan las referencias bibliográficas.

Los resultados obtenidos sugieren que la actividad de minería de hierro a nivel global tuvo un retroceso en cuanto a su eficiencia de producción entre 2006 y 2014, y que el factor labor fue la principal variable que afectó a la eficiencia de producción de la minería de hierro. En cuanto a Venezuela, el estudio reveló que tuvo un desempeño de eficiencia de producción con tasa negativa de crecimiento superior al promedio de la muestra seleccionada en el periodo estudiado, lo que pudiese explicarse por el aumento de la fuerza laboral y a la caída en la producción.

## **1. EL PROBLEMA**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La minería de hierro a lo largo de su historia se ha caracterizado por ser un negocio intensivo en capital, ya que requiere altas inversiones en facilidades, infraestructura y equipamiento, tales como líneas férreas, puertos, equipos de transporte, equipos mineros y plantas de procesamiento de mineral para manejar altos volúmenes de producción. En términos generales, la inversión para desarrollar y mantener las operaciones de minería de hierro es muy alta.

La industria de minería de hierro, ha experimentado durante los últimos 10 años un crecimiento sin precedentes, producto del crecimiento económico de las llamadas economías emergentes y muy especialmente China.

De acuerdo con datos del Fondo Monetario Internacional, IMF (S/F), el mercado de mineral de hierro estuvo caracterizado hasta el año 2004, por precios bajos y estables, pero desde el 2005 se ha caracterizado por precios altos e inestables, presentando una alta volatilidad de precios en los últimos 4 años. (Ver figura 1: Histórico de precio Spot Mineral de Hierro).

**Figura 1:** Histórico del Precio Spot del Mineral de Hierro (62% Fe), importado por China (Puerto de Tianjin).



Fuente: Elaborada en base a datos de IMF (s/f)

El escenario de precios altos en el mercado internacional de mineral de hierro, ha motivado a muchas empresas mineras aumentar la producción, con el objeto de aprovechar los márgenes de ganancias del “boom” de precios. De acuerdo con reportes de “U.S. Geological Survey”, la producción anual de mineral de hierro en el mundo, pasó de “1540 Mt en el 2005” (USGS, 2007), a “2540 Mt en el 2011” (USGS, 2013). En este nuevo escenario en el mercado internacional del mineral de hierro y como resultado de la crisis financiera internacional, la producción de esta materia prima ha sufrido cambios estratégicos, tal como lo explica Gillespie B., Gilbert C. & Carter A. (2009): “Por 5 años hasta mediados del 2008, las mayores compañías de minería en Australia, priorizaron la efectividad del costo sobre la eficiencia del costo. Para ellas, producir las mayores cantidades posibles de mineral y tan rápido como fuese posible, debido a los altos precios disponibles, fue más importante que la eficiencia operacional”.

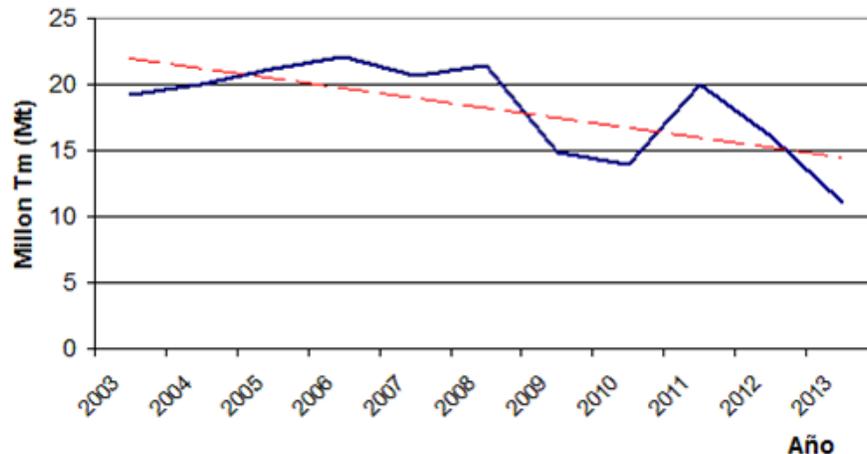
El mercado del mineral de hierro, actualmente es muy competitivo y muy dependiente de la actividad económica mundial, y las empresas mayores productoras en Australia y Brasil, están dando prioridad a la eficiencia en sus objetivos estratégicos. Por ejemplo, para BHP Billinton, el tercer mayor productor de mineral de hierro del mundo después de Vale y Río Tinto, su presidente Jimmy Wilson dijo que “*la demanda comienza a disminuir y la compañía está buscando mejorar la eficiencia, la eficacia y la productividad.* (Kim Christian, 2013).

Actualmente, muchas empresas mineras están teniendo dificultades para adaptarse al impredecible mercado de mineral de hierro y algunas de ellas están batallando para seguir siendo rentables y hacen esfuerzos para mejorar la eficiencia, para enfrentar las amenazas del entorno.

Venezuela, un mediano productor de mineral de Hierro a nivel mundial, realiza sus operaciones producción en la región de Guayana, por medio de la empresa

Ferrominera Orinoco C.A. (FMO). Las operaciones de extracción son realizadas en el cuadrilátero ferrífero San Isidro de Cd. Piar, y el procesamiento y despacho en Puerto Ordaz, estado Bolívar. De acuerdo con USGS (2012), Venezuela cuenta con el 3 % de las reservas de hierro a nivel mundial y tiene una capacidad instalada de sólo el 0,9 % de la producción mundial (23 Mt). Conforme con datos de World Steel Association (2013), en los últimos años Venezuela, ha presentado una tendencia a la baja en sus resultados de producción (ver figura 2), a pesar que los precios del mercado de mineral de hierro han alcanzado sus máximos históricos.

**Figura 2:** Producción de mineral de hierro de Venezuela 2003 – 2013.



Fuente: Elaboración propia en base a datos de World Steel Association (2013).

La industria minera de hierro a nivel internacional, participa en un mercado muy dinámico y altamente competitivo, donde hay la expectativa por la entrada de nuevos volúmenes de producción en los próximos años, situación que seguramente impactará sobre el precio del mineral de hierro y presionara a las empresas mineras de hierro a ser más eficientes, y Ferrominera Orinoco (FMO), no escapa a esa realidad.

Ante esta problemática, surgieron interrogantes sobre cuáles son las variables que influyen sobre la eficiencia de la minería de hierro, sobre cuál es el modelo que puede explicar mejor esta realidad y sobre cuál ha sido en comportamiento de la eficiencia de Venezuela en el contexto mundial.

Ante el escenario de caída en los precios del mineral de hierro, su alta volatilidad, que afectan el margen de ganancia y ante el riesgo de quedar fuera del mercado, es importante para las empresas mineras de hierro, prestar atención a un aspecto interno importante, como lo es la eficiencia. Por lo tanto, se realizó la investigación, sobre el análisis de la eficiencia de la minería de hierro de Venezuela mediante el enfoque de la frontera estocástica, que tuvo como resultado un modelo explicativo, que tomó en cuenta las variables que afectan la

eficiencia de la industria minera de hierro global y el análisis del caso particular de Venezuela.

La investigación realizada es importante, ya que se evaluó con la profundidad requerida la eficiencia de la minería de hierro y se obtuvo un modelo que sirve de apoyo a la toma de decisiones estratégicas en la industria.

## **1.2 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

Con el desarrollo de la investigación sobre análisis de la eficiencia de la minería de hierro de Ferrominera Orinoco mediante el enfoque de la frontera estocástica, se obtuvo respuestas a las preguntas de investigación:

- 1) ¿Cuál es el modelo de frontera estocástica de eficiencia de la minería de hierro?
- 2) ¿Cómo ha sido el comportamiento de la eficiencia de la minera de hierro de Venezuela en el contexto global?

Las respuestas a estas preguntas, son los objetivos específicos de esta investigación.

## **1.3 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION**

El enfoque paramétrico de la frontera estocástica para analizar la eficiencia, es un método ampliamente utilizado en el mundo, en los ámbitos académicos e industriales, ello se evidencia en la gran cantidad de trabajos de investigación y aplicaciones en muchos países en áreas como la agrícola, pesca, seguros, bancario, hospitalaria, manufactura, energía, transporte, comercio, siderurgia y minería, entre otros. Sin embargo en Venezuela se observa que el enfoque paramétrico de la frontera estocástica para analizar la eficiencia ha tenido una relativa muy poca aplicación. En Venezuela resaltan los trabajos de investigación de aplicación de la frontera estocástica, titulados “Eficiencia, economías de escala y economías de alcance en el sistema bancario Venezolano (2004-2012)” del Carvallo O, Alvarado M. y Verdú M. (2013), publicado por el Banco Central de Venezuela y el de “Fronteras estocásticas e ineficiencia salarial en Venezuela” de Ramath P. y Ramoni J. (2012), publicado por la revista Economía, del Instituto de Investigaciones Económicas y Sociales (IIES) de la Universidad de Los Andes (ULA).

Con respecto al área de minería, resaltan las investigaciones llevadas a cabo en países mineros como Sudáfrica y Australia, con aplicaciones a la minería en general entre los que se encuentra, “la estimación de la eficiencia en beneficios en el sector minero de Sudáfrica utilizando el enfoque de frontera estocástica”, realizada por Akinboade O., Kinfack E., Mokwena M., y Kumo W. (2010). Debemos reconocer que Sudáfrica es uno de los países mineros más importantes del mundo en cuanto a la variedad y cantidad de los minerales producidos y tiene las mayores reservas mundiales de cromo, oro, vanadio, manganeso y platino, aparte de mineral de hierro. Otro trabajo de investigación

en el área de minería que se debe mencionar es el desarrollado por Syed A., Grafton Q. and Kalirajan K. (2013) “productividad en el sector de minería de Australia”. Australia es otro país importante en la producción de minerales en el mundo, principalmente hierro, carbón, bauxita, oro, uranio, entre otros.

Otra investigación relacionada con la minería, en este caso con el mercado de mineral de hierro, es la desarrollada por Germeshausen R., Panke T. y Wetzel H. (2014), “Investigación de la influencia de las características de la Empresa sobre la capacidad de ejercer poder de mercado – Un enfoque del análisis de la frontera estocástica con una aplicación al mercado de mineral de hierro”

La revisión sobre las investigaciones realizadas basadas en el uso de SFA en la minería, dieron inicialmente indicativos que este enfoque se podía utilizar con éxito en el análisis de la eficiencia técnica de la minería de hierro de Venezuela.

## **1.4 OBJETIVOS GENERAL Y ESPECIFICOS**

Con el desarrollo de este estudio se lograron los siguientes objetivos:

### **Objetivo General:**

Análisis de la eficiencia de la minería de hierro de Venezuela mediante el enfoque de la frontera estocástica.

### **Objetivos Específicos:**

1. Ajuste del modelo de frontera estocástica de eficiencia de la minería de hierro.
2. Evaluación de la Eficiencia de la industria minera de hierro de Venezuela en el contexto mundial.

## **2. MARCO DE LA INVESTIGACION**

### **2.1 BASES TEÓRICAS**

#### **2.1.1 Función de Producción y Eficiencia Técnica**

En términos generales eficiencia es la relación entre una entrada y una salida; entre un ingreso y un gasto; entre un recurso y un producto. La expresión en cualquiera relación de eficiencia toma la forma de una proporción: un output dividido por un input.

En 1957, Farrell M. propuso un método para estudiar y medir la eficiencia desde una perspectiva real y no ideal, donde cada empresa o unidad productiva sea evaluada en relación con otras tomadas de un grupo representativo y homogéneo (Farrell M. J., 1957). De esta manera, la medida de la eficiencia es relativa y no absoluta, donde el valor obtenido de eficiencia para una empresa o unidad de producción corresponde a una expresión de la desviación observada respecto a aquellas consideradas como eficientes.

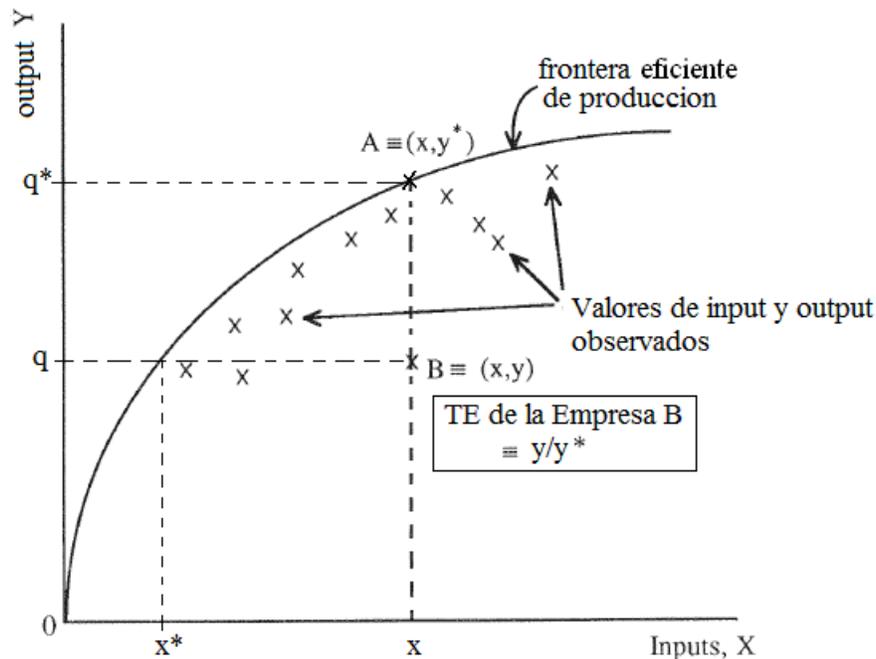
Para medir la eficiencia de un conjunto de empresas o unidades de producción, hay partir del cálculo de una frontera, mediante la cual es posible comparar las distintas empresas. Existen dos conjuntos de técnicas, que permiten determinar

la frontera eficiente, mediante aproximaciones paramétricas y no paramétricas. La primera, utiliza la estadísticas, como es el caso del método de Análisis de la Frontera Estocástica (SFA), y la segunda define la frontera a través de un conjunto de segmentos que unen aquellas unidades (empresas) eficientes, la cual se utiliza para comparar el resto de unidades, ello es el fundamento de la técnica de análisis envolvente de datos (DEA).

Una frontera eficiente de producción define la cantidad máxima del producto que una empresa puede producir a partir de un conjunto dado de inputs  $x$ . La ineficiencia técnica corresponde a las diferencias que surjan entre ese máximo teórico y lo que realmente produce la empresa con esos inputs.

La presentación más general del concepto de la función de producción (o frontera) se representa en la Figura 3, que involucra los valores de entrada y de salida. El eje horizontal representa el (vector) de los insumos  $X$ , asociado con la producción de la salida  $Y$ .

**Figura 3:** Eficiencia Técnica de Empresas.



Fuente: Adaptado desde Battese, G.E. (1991)

Los valores de entrada-salida observadas están por debajo de la frontera de producción, dado que las empresas no alcanzan el máximo salida posible para los insumos involucrados, dada la tecnología disponible. Una medida de la eficiencia técnica de la empresa que produce una salida  $y$ , con entradas  $x$ , denotada por el punto  $B$ , viene dada por  $y/y^*$ , en la que  $y^*$  es la frontera de salida asociada con el nivel de entradas  $x$  (ver punto  $A$ ).

De manera simplificada, la eficiencia técnica resulta gráficamente (figura 3) de encontrar la función distancia entre el valor observado ( $x - q$ , punto *B*) y óptimo derivado del modelo econométrico ( $x - q^*$ , punto *A*), para la cantidad insumo-producción. Esto indica que con la misma intensidad del factor ( $x$ ), es posible lograr una mayor producción ( $q^*$ ), o disminuyendo su monto ( $x^*$ ), se obtiene la cantidad real de producto ( $q$ ).

### **2.1.2 Análisis de Frontera Estocástica – SFA**

El Análisis de Frontera Estocástica (Stochastic Analysis Frontier: SFA) –es un método de estimación de fronteras de producción y análisis de las ineficiencias de las unidades de producción, frontera que asume una forma funcional determinada por la relación entre las entradas y una salida.

Como afirma Constantin P, Martín D., & Rivera E. (2009), el método paramétrico de frontera estocástica considera frontera de producción como aleatoria. A diferencia de un método no paramétrico como la DEA, que asume una frontera determinista, la frontera estocástica permite desviaciones de la frontera para representar tanto la ineficiencia y al ruido estadístico inevitable que pretende ser una aproximación más cercana a la realidad, dado que las observaciones implican normalmente un comportamiento al azar (p. 21)".

Los modelos de la frontera estocástica de producción, toman en cuenta que las perturbaciones aleatorias fuera del control de los productores pueden afectar el rendimiento de la producción, de tal forma que las perturbaciones aleatorias de los inputs sobre el producto se pueden separar de los efectos de la variación de la eficiencia técnica.

### **2.1.3 Modelo de la Frontera Estocástica**

La frontera estocástica consiste en ajustar las formas funcionales de producción, utilizando técnicas econométricas mediante máxima verosimilitud.

La frontera estocástica es una aproximación paramétrica, y de acuerdo con la literatura fue propuesta de manera independiente por Aigner, Lovell & Schmidt (1977) y Meesen & Van den Broeck (1977).



$$\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_u^2 + \sigma_v^2} \quad (3)$$

Cuando el efecto aleatorio  $\sigma_u^2 \rightarrow 0$  y  $\gamma=0$ , significa eficiencia o ausencia de ineficiencia técnica. Esto indica que las empresas emplean adecuadamente la cantidad de insumos maximizando su producción, ubicados en cualquier sitio (punto *A*) sobre la frontera de la figura 4. No obstante, si la varianza aleatoria tiende a infinito  $\sigma_v^2 \rightarrow \infty$ , pudiese existir ineficiencia por efecto del ruido en la producción.

En el caso que la variación de  $u_i$  tiende a infinito  $\sigma_u^2 \rightarrow \infty$  y  $\gamma \geq 1$ , se tendría que la ineficiencia técnica es la principal fuente de variación en el modelo, de tal forma que la cantidad producida por gran parte de la empresa está ubicada distante de la frontera en la figura 4 (punto *B*). Esto describe un comportamiento ineficiente de las empresas en el manejo de sus inputs. Sin embargo, la eficiencia técnica se comprueba a través del estadístico de razón de verosimilitud (RV), probando la hipótesis nula sobre el parámetro de eficiencia ( $H_0 : \gamma=0$ ). De tal forma, que si  $H_0$  es rechazada, la empresa opera con ineficiencia técnica.

De acuerdo con Battese G.E., Coelli T.J. (1993), el estadístico de razón de verosimilitud (RV) es calculado como,

$$\lambda = -2\{\log[\text{verosimilitud (H0)}] - [\log \text{verosimilitud (H1)}]\} \quad (4)$$

donde:

$H_0$  es la función de verosimilitud de la hipótesis nula y

$H_1$  es la hipótesis alternativa.

$\lambda$  tiene distribución aproximadamente Chi-cuadrado  $\chi_q^2$  con  $q$  igual al número de parámetros asumidas como cero en la hipótesis nula ( $H_0$ ).

La ecuación (5) representa “la medida más común de la técnica es la relación de la salida observada respecto de la frontera estocástica (Coelli T., et al., 2005, p. 244), de tal manera que el nivel de eficiencia técnica ( $ET_i$ ), para cada empresa  $i$  ( $i = 1, 2, \dots$ ), se concibe como la relación entre el producto conseguido  $q_i$  y el máximo a alcanzarse ( $q_i^*$ ).

$$ET_i = \frac{q_i}{q_i^*} = \frac{\exp(x_i \beta + v_i - u_i)}{\exp(x_i \beta + v_i)} = \exp(-u_i), \quad 0 \leq ET_i \leq 1 \quad (5)$$

En otras palabras,  $ET_i$  representa la proporción entre la producción real respecto a la producción potencial si las empresas utilizan eficientemente la cantidad de insumos requeridos en la actividad; por tanto,  $ET_i$  contiene valores entre 0 y 1 ( $0 \geq ET_i \geq 1$ ). Así, cuando  $ET_i$  tiende a uno ( $ET_i \rightarrow 1$ ), la empresa exhibe eficiencia técnica, mientras que si su valor es menor que 1 o cercano a 0 ( $ET_i \rightarrow 0$ ), es considerado ineficiente.

En 1992, Battese y Coelli, “propusieron el modelo de frontera estocástica de la función de producción, para un panel de data (desbalanceado) con efectos por empresa que se suponen distribuidos como variables normales truncadas, y que pueden variar sistemáticamente en el tiempo” (Coelli T.J., 1996, p. 4). Este modelo es el siguiente:

$$Y_{it} = x_{it} \beta + (V_{it} - U_{it}) \quad (6)$$

Donde  $i=1, \dots, N$   $t=1, \dots, T$

$Y_{it}$  es (el logaritmo de) la producción de la empresa  $i$ -ésimo en el periodo de tiempo  $t$ -ésimo;

$x_{it}$  es un  $k \times 1$  vector de (transformaciones de las magnitudes de entrada) de la empresa  $i$ -ésimo en el período de tiempo  $t$ -ésimo;

$\beta$  son los coeficientes;

la  $V_{it}$  son variables aleatorias, e independiente de la

$U_{it} = (u_i \exp(-\eta (t-T)))$ , donde la  $u_i$  son variables aleatorias no negativas que dan cuenta de la ineficiencia técnica.

Battese, G.E. and Coelli, T.J. (1995), plantean el modelo de los efectos de eficiencia de para la estimación de una frontera de producción como función de diversos insumos, en conjunto con la estimación de la ineficiencia técnica asociada y simultáneamente realizar la regresión de las ineficiencias resultantes, respecto de un conjunto de otras variables explicativas, con el fin de identificar lo factores que afectan la eficiencia.

El modelo Battese and Coelli (1995) es el siguiente:

$$Y_{it} = x_{it} \beta + (V_{it} - U_{it}) \quad (7)$$

Donde  $i=1, \dots, N$ ,  $t=1, \dots, T$ ,

$Y_{it}$ ,  $x_{it}$ , y  $\beta$  tienen la misma definición anterior;

las  $V_{it}$  son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidos, del tipo  $N(0, \sigma_V^2)$ , e independientes de los  $U_{it}$  que son no

negativos distribuidos como una normal truncada en cero  $N(m_{it}, \sigma_U^2)$  donde:

$$m_{it} = z_{it}\delta, \quad (8)$$

$z_{it}$  es un vector px1 de variables que pueden afectar la eficiencia

$\delta$  es un vector 1xp vector de parámetros a estimar.

#### 2.1.4 Forma Funcional del Modelo

Para estimar la frontera de eficiencia hay que elegir a priori una forma funcional. Una de las grandes dificultades para estimar la frontera estocástica es seleccionar una función de producción apropiada, y tal como lo afirman Konstantinos, G., Kien, T. & Vangelis, T. (2003), la forma funcional afecta considerablemente los resultados de las estimaciones de eficiencia lo que también conduciría a conclusiones y recomendaciones erróneas.

Existen al menos 20 formas funcionales, pero hay dos formas funcionales, las cuales son muy utilizadas y son las que se sometieron a prueba en el presente estudio. De acuerdo con Coelli (1996), Cobb Douglas (CD) y Translog TL son las forma funcionales más utilizadas en el análisis de la frontera estocástica” (p. 11).

Para tomar la decisión acerca de cuál es la forma funcional adecuada, Coelli (1996), se recomienda realizar las estimaciones con los modelos alternativos y seleccionar un modelo mediante la prueba de la razón de verosimilitud.

Un modelo de frontera estocástica Cobb-Douglas toma la forma:

$$\ln y_{it} = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j \ln x_{j,it} + v_{it} - u_{it} \quad (9)$$

Un modelo de frontera estocástica Translog toma la forma:

$$\ln y_{it} = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j \ln x_{j,it} + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \beta_{jh} \ln x_{j,it} \ln x_{h,it} + v_{it} - u_{it} \quad (10)$$

Con respecto a los inputs, de acuerdo con Coelli T., Prasada R., O'Donnell Ch. And Battese G. (2005), “la clasificación comúnmente usada en el análisis de la función de producción involucra cinco categorías: capital (K); labor (L); energía (E); material de entrada (M); y servicios (S). La construcción y uso de datos de acuerdo a estas categorías es a menudo referida como enfoque KLEMS” (p. 141). A menudo, las tres últimas categorías son juntadas a una sola categoría denominada “Otros Inputs”

## 2.2 SISTEMA DE VARIABLES

En la Tabla 1, se presenta el sistema de variables que fueron tomadas en cuenta para el análisis de la eficiencia de la minería de hierro de Ferrominera Orinoco mediante el enfoque de la frontera estocástica.

**Tabla 1:** Descripción de las variables de entrada, salida y explicativas inicialmente seleccionados para análisis de la eficiencia de la minería de hierro.

1. ANALISIS	2. VARIABLE	3.TIPO DE VARIABLE	4. SIMBOLO	5. UNIDAD DE MEDIDA
Eficiencia de Produccion	Producción	Output	P	Mt
	Fuerza Laboral	Input	L	Numero
	Capital	Input	K	US\$m
	Costo de Produc.	Input	CP	US\$m
	% Particip. en Prod Mundial	Explicativa	SH	%
	Relación MPNC : MENA	Explicativa	REM	Numero

Fuente: Elaboración propia.

## 3. MARCO METODOLOGICO

### 3.1 TIPO DE INVESTIGACION

La investigación realizada fue de campo, no experimental, longitudinal de tipo explicativa. Es de campo, puesto que los datos serán extraídos de la propia realidad objeto del estudio. “Se entiende por investigación de campo, el análisis sistemático de problemas en la realidad, con el propósito bien sea de describirlos, interpretarlos, explicar sus causas y efectos o predecir su ocurrencia” (UPEL, 2014, p. 18), y de acuerdo con la Universidad Nacional de Colombia, una investigación no experimental es la que se realiza sin manipular deliberadamente las variables independientes y se basa en valores de variables que ya ocurrieron o se dieron en la realidad, sin la intervención directa del investigador, y los estudios longitudinales, se realizan sobre observaciones en dos o más puntos en el tiempo. Y la investigación es de tipo explicativa, porque busca establecer las causas del fenómeno que se estudia en su contexto particular, es decir, la eficiencia de la minería de hierro. Al respecto y de acuerdo con Méndez C. (1988), “el estudio explicativo se orienta a la identificación y análisis de las causales (variables independientes) y sus resultados, los que se expresan en hechos verificables (variables dependientes)” (p. 127).

### 3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.

La población es un conjunto finito e infinito de elementos con características comunes para las cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación y la muestra es un subconjunto representativo y finito que se extrae de la población accesible (Arias F., 2012, p. 81-83). Para este estudio la población fue el total de las empresas del sector minería de hierro del mundo, y a efecto de este estudio, se tomó como muestra intencional compuesta por un conjunto de 7 empresas mineras de Australia, Sudáfrica, Brasil y Venezuela, empresas con

operaciones de minería de hierro con características similares a la que desarrolla la empresa FMO de Venezuela, objeto de estudio y sobre las cuales se logró obtener la información necesaria y suficiente para el periodo 2006 al 2014 en sus reportes anuales.

Los aspectos que fueron tomados en cuenta para la muestra intencional fueron empresas de minería de hierro a cielo abierto, en yacimientos con reservas probadas de alto tenor (> 55 % Fe), con acarreo en la mina mediante camiones, transporte ferroviario hasta el sitio de despacho (puerto) y con participación en el mercado doméstico y en el mercado marítimo internacional.

Las Empresas seleccionadas sumaron en el año 2013, el 31,6% de la producción mundial de mineral de hierro, ver tabla 2. Entre las empresas seleccionadas para el estudio hay empresas pertenecientes a la gran, mediana y pequeña minería.

**Tabla 2:** Empresas seleccionadas para el estudio de eficiencia de minería de Hierro.

	Empresa		Pais	% de Prod. Mundial
1	Ferrominera Orinoco	FMO	Venezuela	0.55
2	VALE - Iron Ore	VALE	Brasil	15.54
3	KUMBA - Iron Ore	KUMBA	Surafrica	2.20
4	BHP - Iron Ore	BHP	Australia	8.24
5	Mt Gibson - Iron Ore	Mount	Australia	0.30
6	ASSORE	Assore	Surafrica	0.83
7	FMG	FMG	Australia	3.95

Fuente: Elaboración en base a cálculos propios con datos de World Steel Association (2013)

### 3.3 PROCEDIMIENTO

El procedimiento para lograr los objetivos de la investigación, fue aplicado en cuatro fases. En una primera fase, se identificaron las variables, que afectan la eficiencia de la industria minera de hierro. En la segunda fase, se realizó un proceso de indagación y búsqueda de los datos e información de la minería de hierro de Venezuela y de otros países. En la tercera fase, se realizó el ajuste del modelo de frontera estocástica de la producción de la minería de hierro. Y en la cuarta y última fase se realizó la evaluación de la eficiencia de la industria minera de hierro de Venezuela en el contexto mundial.

En el estudio se utilizó el Análisis de Frontera Estocástica (SFA), como método para la estimación de fronteras de eficiencia y análisis de las ineficiencias de las empresas mineras seleccionadas, para ello se utilizó el modelo de los efectos de eficiencia de Battese y Coelli (1995) y en base a ese modelo se realizó corridas con las formas funcionales Cobb-Douglas y Translog.

Para el procesamiento de los datos se utilizó el software FRONTIER Versión 4.1, desarrollado por el Centro para el Análisis de la Eficiencia y Productividad

(Centre for Efficiency and Productivity Analysis: CEPA), “University of New England”, Australia.

## **4. RESULTADOS Y ANALISIS**

### **4.1 VARIABLES SELECCIONADAS PARA EL ESTUDIO DE EFICIENCIA DE LA MINERÍA DE HIERRO.**

La selección de las variables representativas de los “outputs” e “inputs”, uno de los aspectos más importantes en cualquier análisis de eficiencia, depende actividad de producción, del problema que se desea analizar y de la disponibilidad de los datos.

Las variables que inciden y determinan la producción en diferentes industrias generalmente incluyen el capital, la labor y otros insumos (materiales, energía y servicios).

De acuerdo con Vergés J. (2012), un problema al cual se enfrenta el investigador en los estudios de eficiencia, es la heterogeneidad dentro de las clases de insumos, tanto el capital (planta, maquinaria y equipos) como los materiales, energía e insumos, los cuales se presentan generalmente con características diversas, lo que constituye una limitación, pues las unidades físicas son inevitablemente heterogéneas, por lo que normalmente se opta por trabajar en unidades monetarias. En el presente estudio, se utilizaron las variables Labor (L), Capital (K) y la variable costo de producción (CP), como variable Proxy de los otros “inputs”, para estimar la frontera estocástica de producción de la minería de hierro.

Cada industria tiene características particulares que la diferencian una de otras, y en el caso de la minería de hierro, el recurso geológico es un factor que afecta la producción. En la minería, el recurso geológico está asociado al factor REM, que determina la Relación del volumen de Escombro o material de desecho estéril (material producido no conforme: MPNC) requerido ser manipulado con el fin de extraer mineral (MENA). Por ejemplo, una proporción de 3:1 (MPNC: MENA), significa que la minería de un metro cúbico de mineral, requerirá la extracción tres metros cúbicos de residuos. La eliminación del material de desecho continúa normalmente después de que comienza el de producción comercial y en toda la vida de una mina. Esta actividad se conoce como “Stripping”. Una mayor relación MPNC: MENA de extracción, impacta sobre la producción de la mina, ya que involucra el uso de insumos y costos adicionales.

Por otro lado, en una investigación llevada a cabo en asociación del Instituto de Minerales Sustentables de la Universidad de Queensland y el Imperial College London, en la cual se realizó más de 60 entrevistas a altos ejecutivos de empresas mineras en todo el mundo, y cuyos resultados preliminares fueron publicados por EY (2014), aparte del capital, la labor, los otros insumos y el recurso geológico, agregó la economía de escala como un factor adicional que impacta sobre la producción en minería, factor que ha surgido como consecuencia del crecimiento abrupto de los precios, y está asociado al

crecimiento de la producción de las empresas mineras buscando mayor % de participación en el mercado, introduciendo mayor complejidad en las operaciones de esas empresas, para las cuales no se realizaron los cambios organizacionales y de estructura requeridos.

La definición de las variables utilizadas en el análisis de la eficiencia de la minería de hierro de Ferrominera Orinoco mediante el enfoque de la frontera estocástica, se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3:** Definición de las variables utilizadas en el análisis de la eficiencia de la minería de hierro de Ferrominera Orinoco mediante el enfoque de la frontera estocástica.

VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	DESCRIPCION
Producción (P)	Mt	Cantidad de Millones de toneladas producidas por empresa minera
Fuerza Laboral (L)	Numero	Cantidad de Trabajadores propios
Capital (K)	US\$m	Valor historico de activos fijos de produccion (Planta maquinaria y equipos), no depreciados.
Costo de Produc. (CP)	US\$m	Costos directos atribuibles a la producción
% Particip. en Prod Mundial (SH)	%	Escala de la produccion de la empresa respecto a la produccion mundial.
Relación MPNC : MENA (REM)	Numero	Relacion de los escombros respecto al mineral producido, tambien denominado como "strip ratio"

Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 DATOS E INFORMACION RECABADA SOBRE LAS VARIABLES

En la tabla 4, se presenta la estadística descriptiva de las variables utilizadas en el análisis de eficiencia de producción.

**Tabla 4:** Estadística descriptiva de las variables de la frontera de eficiencia de producción.

Variable	Simb.	Nro Obs.	Media	Desv. Stand	Min	Max
Produccion	P	59	80.94	99.49	1.12	311.80
Fuerza Laboral	L	59	8422.87	8863.79	406.00	31799.00
Capital	K	59	8239.61	12334.49	96.18	44117.00
Costo de Produc.	CP	59	2705.70	3181.87	37.38	12519.00
% Particip. en Prod Mundial	SH	59	4.44	5.50	0.07	17.39
Relacion MPNC : MENA	REM	59	2.93	2.78	0.14	15.90

Fuente: Elaborada mediante cálculos propios.

A efecto del presente estudio, una parte de la data fue tomada principalmente de fuentes secundarias. Los datos de fuentes secundarias "son hechos, cifras e información que alguien ha compilado para otros fines y sus ventajas son: La facilidad y rapidez con que se consiguen, el muy bajo costo para obtenerlos y

que hay información que solo existe como datos secundarios” (Jany J., 2000, p. 78).

En la tabla 5, se presentan las fuentes de los datos e información recabada para la investigación sobre el análisis de la eficiencia de la minería de hierro de Ferrominera Orinoco mediante el enfoque de la frontera estocástica.

**Tabla 5:** Fuentes de los datos e información recabada para la investigación.

Minera de Hierro	Pais	Fuente Datos
FMO	Venezuela	Memoria y Cuenta Anual Ministerio del Poder Popular para Industrias. República Bolivariana de Venezuela
VALE	Brasil	Annual Report (Form 20-F of US Securities and Exchange Commission)
		Formulario de Referencia (Audited ) presentado ante "Comissão de Valores Mobiliários do Brasil"
Kumba	Surafrica	Vale Sustainability Annual Report
		Annual Financial Statements
		Annual Audited Report
BHP Billinton	Australia	Annual Sustainable Development Report
		Annual Report (Form 20-F of US Securities and Exchange Commission)
		BHP BILLINTON - Annual Audited Report
Mt Gibson (MGX)	Australia	Government of Western Australia - Department of Mines and Petroleum -Statistics Diges
		Annual Audited Report
		Reportes Publicados en "Australian Securities Exchange" (ASX)
Assore	Surafrica	Government of Western Australia - Department of Mines and Petroleum -Statistics Diges
		ARM. African Rainbow Minerals. Integrated Annual Report (Audited)
FMG (FMG)	Australia	Assore Financials Annual Report (Audited)
		Annual Audited Report
		Reportes Publicados en "Australian Securities Exchange" (ASX)
		Annual Financial Report

Fuente: Elaboración propia.

#### **4.3 ESTIMACIONES DE MAXIMA VEROSIMILITUD DE LA FRONTERA DE EFICIENCIA DE LA MINERIA DE HIERRO.**

Las estimaciones de máxima verosimilitud de los parámetros en los modelos de la frontera estocástica, Battesse & Coelli (1995) para la producción (P), utilizando las formas funcionales Cobb-Douglas y Translog, respectivamente, se obtuvieron utilizando el software FRONTIER Versión 4.1. Los resultados de estas estimaciones se presentan en la tabla 6.

**Tabla 6:** Las estimaciones de máxima verosimilitud de la frontera estocástica de producción para las empresas de minería de Hierro seleccionadas.

<b>Variable dependiente: Produccion (Mt)</b>			
<b>Numero de Observaciones: 59</b>			
<b>Periodo: 2006-2014</b>			
<b>Modelo Battese and Coelli (1995)</b>			
<b>Forma funcional</b>		<b>Cobb Douglas</b>	<b>TransLog</b>
<b>Variable</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>MCD</b>	<b>MTL</b>
Constant	$\beta_0$	-5.32E+00	-1.41E+01
Fuerza Laboral	$\beta_1$	6.15E-01	2.66E+00
Capital	$\beta_2$	3.93E-01	9.36E-01
Costo de Produc	$\beta_3$	8.98E-02	-7.58E-02
L <sup>2</sup>	$\beta_4$		1.33E-01
K <sup>2</sup>	$\beta_5$		-2.08E-01
CP <sup>2</sup>	$\beta_6$		2.85E-02
L*K	$\beta_7$		2.11E-01
L*CP	$\beta_8$		-1.93E-01
K*CP	$\beta_9$		1.40E-01
Constant	$\delta_0$	0.0023	0.8758
% Particip.en Prod Mundial	$\delta_1$	-0.0387	-0.1250
Relacion MPNC: MENA (REM)	$\delta_2$	3.09E-02	3.87E-02
<b>Estadísticas de la Varianza</b>			
Sigma squared	$\sigma^2$	0.1242	0.0856
Gamma	$\gamma$	4.69E-02	9.9999999E-01
log likelihood function		-21.086210	13.380400
likelihood-ratio	RV	3.719827	44.641368
Number of restrictions		4	4

Fuente: Elaboración mediante cálculos propios usando Frontier 4.1.

A partir de los resultados de los modelos Cobb-Douglas (MCD) y Translog (MTL), presentados en la tabla 6, los valores de la ratio de verosimilitud (RV) 3.7198 y 44.6413 respectivamente, se pueden comparar con la tabla de valores críticos publicado en Kodde y Palm (1986), página 1246, para cuatro restricciones (que representan los grados de libertad " en el modelo), respectivamente. La práctica estadística estándar es comparar los resultados a nivel de cinco por ciento de significancia, lo que permite menos de un cinco por ciento de probabilidad de que los resultados sean falsos (es decir, una probabilidad del 95 por ciento válida). El valor crítico en el nivel 5% de significancia es de 8.761 con cuatro grados de libertad. El modelo MCD no cumple el requisito de la prueba, ya que el valor del ratio de verosimilitud (RV) es menor, lo que sugiere que este modelo es una representación inadecuada de los datos analizados. El modelo MTL, cumple con este requisito, ya que el valor del ratio de verosimilitud (RV) es mayor que el valor crítico, lo que sugiere que este modelo pudiera ser adecuado para la representación de la data.

Al comparar los dos modelos entre sí, mediante el ratio de verosimilitud (RV), el valor en este caso es:  $\lambda = -2 [-21.086-13.38] = 68.932$ ; se tiene que este valor es mayor que el valor crítico chi-cuadrado  $\chi_4^2$ , que es igual a 9.488 (5% de significancia), por lo que se rechaza la hipótesis nula  $H_0$  (modelo MCD) y se toma la hipótesis alternativa  $H_1$  (modelo MTL).

Por otro lado, se observa que el modelo MCD, presenta un valor gamma ( $\gamma$ ) bajo y no significativamente diferente de cero, lo que sugiere descartar este modelo como adecuado para la representación de los datos de la función de producción, en cambio el modelo MTL presenta un valor gamma ( $\gamma$ ) más cercano a la unidad. El valor gamma ( $\gamma$ ) igual a 0,9999 indica que el 99,9% de la desviación en los datos es debido a la ineficiencia técnica de las empresas, lo que también es indicativo que el modelo MTL es el adecuado.

Con respecto al modelo de ineficiencia de la producción de mineral de hierro para la muestra de las 7 empresas, se observa que la variable % de participación en la producción mundial, variable Proxy a la escala de las operaciones, es la que tiene mayor incidencia sobre la ineficiencia, al tener un coeficiente  $\delta_1$  igual a -0,1250. El signo negativo del coeficiente  $\delta_1$ , indica un efecto negativo de la variable % de participación en la producción mundial sobre la eficiencia técnica, lo cual esta de acuerdo a lo esperado.

La variable REM tuvo muy poca incidencia sobre la eficiencia técnica, al tener un coeficiente de  $\delta_2$  igual con bajo valor (0,0387).

En resumen el modelo de la frontera de eficiencia de la minería de hierro para la muestra de las 7 empresas mineras del mundo, que incluye a Venezuela, es el modelo MTL, que incluye el modelo Battese & Coelli 1995, con forma funcional Translog.

#### **4.4 ESTIMACIONES DE EFICIENCIA TECNICA DE LA MINERIA DE HIERRO.**

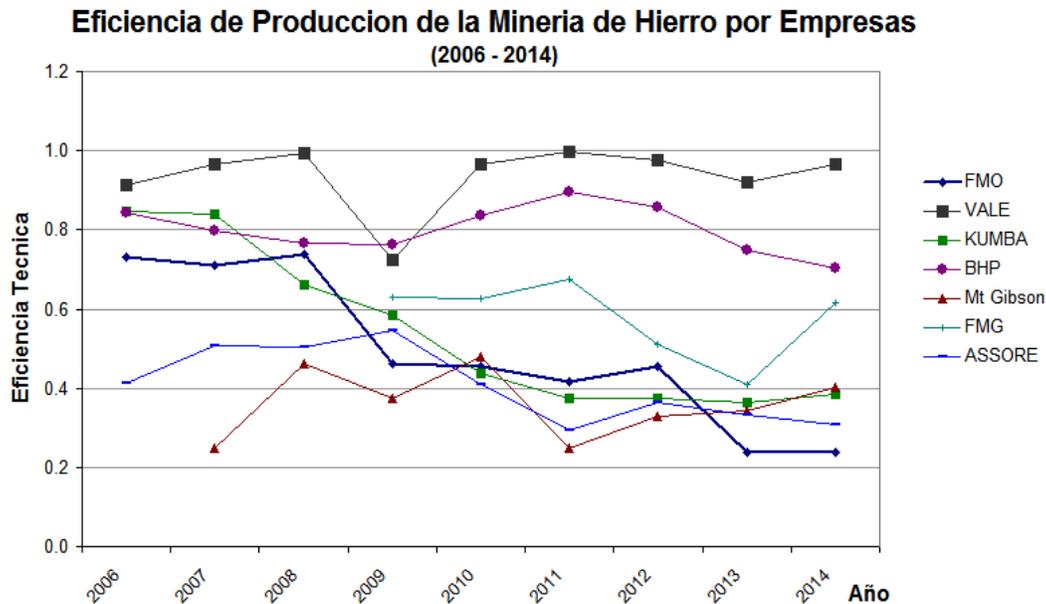
Las estimaciones de eficiencia técnica de Producción (P), en base al modelo Battese & Coelli (1995), utilizando la forma funcional translog, se presenta en la tabla 7, y en la figura 5, se presentan las curvas de comportamiento por empresa en el periodo bajo estudio.

**Tabla 7:** Resultados de Eficiencia de Producción para las empresas seleccionadas en el sector minero de Hierro

<b>Resultados Eficiencia de Produccion vs L K CP</b>												
<b>(Forma Func.: Translog Modelo MTL, Variables Explic de Efic.: % P y REM</b>												
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Media geom. Empresa	Tasa de Crec. Geom.
1	FMO	0.7327	0.7094	0.7380	0.4611	0.4557	0.4158	0.4565	0.2364	0.2378	0.4952	-0.1453
2	VALE	0.9147	0.9671	0.9952	0.7250	0.9666	0.9986	0.9773	0.9194	0.9647	0.9287	-0.0072
3	KUMBA	0.8476	0.8404	0.6598	0.5836	0.4386	0.3755	0.3730	0.3647	0.3841	0.5291	-0.1124
4	BHP	0.8421	0.7975	0.7668	0.7639	0.8361	0.8941	0.8575	0.7472	0.7019	0.8117	-0.0093
5	Mt Gibson		0.2489	0.4607	0.3749	0.4780	0.2488	0.3280	0.3441	0.4034	0.3446	0.0473
6	ASSORE	0.4127	0.5068	0.5028	0.5456	0.4099	0.2952	0.3638	0.3323	0.3079	0.4126	-0.0585
7	FMG				0.6311	0.6279	0.6742	0.5119	0.4097	0.6163	0.5619	-0.1024
<b>Media geom. Anual</b>		<b>0.7229</b>	<b>0.6222</b>	<b>0.6645</b>	<b>0.5687</b>	<b>0.5713</b>	<b>0.4912</b>	<b>0.5079</b>	<b>0.4313</b>	<b>0.4655</b>	<b>0.5654</b>	<b>-0.0668</b>

Fuente: Elaborada mediante cálculos propios usando Frontier 4.1.

**Figura 5:** Eficiencia técnica de producción por empresas minería de hierro (2006 – 2013).



Fuente: Elaborada en base a cálculos propios.

En la figura 5, de la eficiencia técnica producción (P), para las empresas mineras seleccionadas, se observa que las empresas Vale y BHP, de Brasil y Australia respectivamente, son las que presentan mejor desempeño de eficiencia de producción para el periodo bajo estudio.

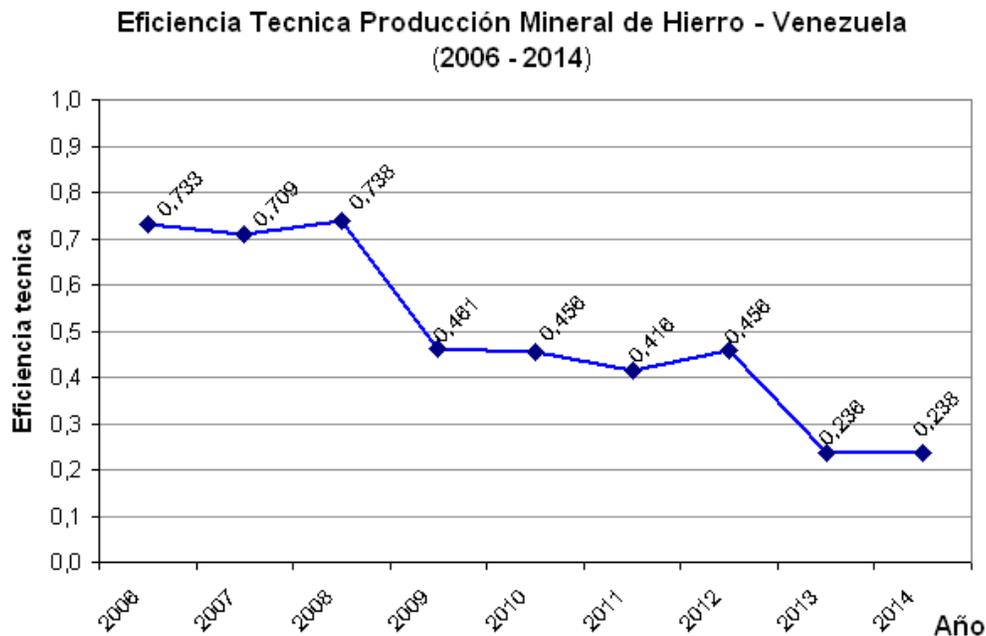
De acuerdo con los resultados obtenidos, el factor labor (L) tuvo alto impacto en la eficiencia de producción de la muestra mundial de las 7 empresas minería de hierro, ello se puede observar en la tabla 6, donde el valor del coeficiente  $\beta_1$  es

mucho mayor que los coeficientes  $\beta_2$  y  $\beta_3$  de capital y costo de producción respectivamente.

#### 4.5 ANALISIS DE RESULTADOS DE EFICIENCIA DE PRODUCCION DE VENEZUELA

En las estimaciones de eficiencia técnica de Producción (P), en base al modelo Battesse & Coelli (1995), utilizando la forma funcional translog, presentadas en la tabla 7, se observa que la empresa FMO de Venezuela, presentó un desempeño de eficiencia de producción con tasa negativa de crecimiento de -0,1453 en el periodo estudiado. Se observa también, que la tendencia a la baja de la eficiencia de producción, fue mucho mayor que la tendencia de la muestra mundial, la cual tuvo tasa de crecimiento anual de -0,0668. En la figura 6, se presenta la evolución del desempeño de la eficiencia técnica de la minería de hierro de Venezuela

Figura 6: Evolución de la eficiencia técnica de producción de mineral de hierro de Venezuela (2006 – 2014).

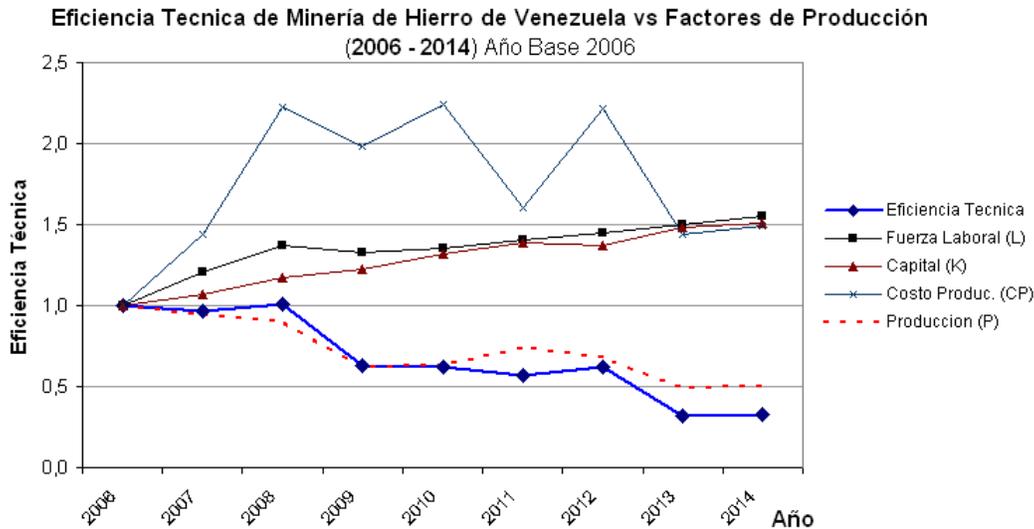


NOTA: Valores calculados mediante el Analisis de la frontera Estocastica (SFA), utilizando el Frontier 4.1, en base a una frontera establecida por una muestra de 7 empresas mundiales de minería de hierro.

Fuente: Elaborada en base a cálculos propios.

En la figura 7, se presenta la evolución de la eficiencia técnica de producción de mineral de hierro de Venezuela vs los factores de producción (2006 – 2014), en ella se observa cómo a pesar que las variables fuerza laboral (L), capital (K) y costo de producción (CP) han presentado crecimiento en el periodo bajo estudio, la producción en cambio ha disminuido drásticamente, lo que ha incidido en la caída de la eficiencia técnica.

**Figura 7:** Evolución de la eficiencia técnica de minería de hierro de Venezuela vs variables explicativas (2006 – 2014).

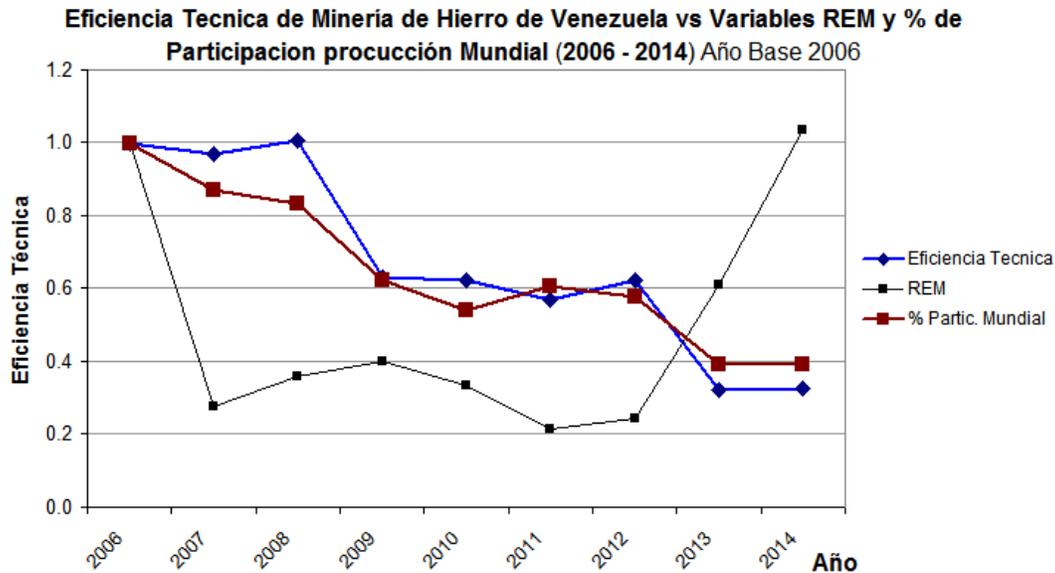


Fuente: Elaborada en base a cálculos propios.

La tendencia a la baja en producción, tendencia al aumento de la fuerza laboral, el capital y de los costos de producción, es un indicio de que FMO, a partir del 2007, entró en una situación de ineficiencia de escala. De acuerdo con Vergés J. (2012), “la ineficiencia de escala significa tener una estructura demasiado grande o demasiado pequeña para producir el volumen estable de producción a colocar en el mercado” (p. 4). Una empresa en este sentido sobredimensionada tendrá un exceso de costos, porque tiene un nivel de producción muy por debajo a su capacidad productiva instalada.

En la figura 8, se presenta la evolución de la eficiencia técnica de producción de mineral de hierro de Venezuela vs las variables explicativas de la ineficiencia REM y % de participación de la producción mundial (2006 – 2014), en ella se observa la caída en la participación mundial de la producción, a consecuencia de la disminución de la producción y a pesar de que la producción de mineral de hierro presento un factor REM (Relación Escombros vs MENA) que fue muy favorable durante el periodo bajo estudio.

**Figura 8:** Eficiencia técnica de minería de hierro de Venezuela vs variables REM y % de participación de la producción mundial (2006 – 2014).



Fuente: Elaborada en base a cálculos propios.

## 5. CONCLUSIONES

De los resultados de la investigación realizada sobre análisis de la eficiencia de la minería de hierro de Venezuela mediante el enfoque de la frontera estocástica, se desprenden las siguientes conclusiones:

- Se obtuvo un modelo de frontera estocástica de la minería de hierro, para la variable eficiencia de producción, que permite la toma de decisiones, ya que facilita realizar la comparación entre el nivel de desempeño de una empresa objeto de estudio, respecto a las de mejor desempeño e identificar las variables que inciden en la diferencia.

- En términos generales la industria minería de hierro representada por la muestra de 7 empresas del mundo, muestra un retroceso en cuanto a su eficiencia de producción entre 2006 y 2014.

- Los resultados revelaron que la empresa Ferrominera Orinoco de Venezuela, obtuvo un desempeño de eficiencia de producción con tasa negativa en el periodo estudiado.

- La situación de la minería de hierro en Venezuela de tendencia a la baja en producción, y tendencia a incrementar la fuerza laboral, capital y los costos de producción, es indicio que Venezuela, a partir del 2007, entró en una situación de ineficiencia, con consecuencias sobre su competitividad, lo que plantea a la gerencia el reto de mejorar su eficiencia.

## REFERENCIAS

Aigner et al. (1977). 'Formulation and estimation of stochastic frontier production model', *Journal of Econometrics* 6 (1977) 21-37.

Aigner, D., Lovell, C. & Schmidt, P. (1977), 'Formulation and estimation of stochastic frontier production model', *Journal of Econometrics* 6 (1977) 21-37.

Akinboade O., Kinfaek E., Mokwena M., y Kumo W. (2010). Estimating profit efficiency in the South African mining sector using stochastic frontier approach. *Problems and Perspectives in Management*, Volume 8, Issue 1, 2010. Disponible en: [http://businessperspectives.org/journals\\_free/ppm/2010/PPM\\_EN\\_2010\\_01\\_cont\\_Akinloye.pdf](http://businessperspectives.org/journals_free/ppm/2010/PPM_EN_2010_01_cont_Akinloye.pdf)

Arias F. (2012). *El proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica*. Caracas. Episteme.

Battese G.E., Coelli T.J. (1993). A stochastic frontier production function incorporating a model for technical inefficiency effects. Working paper in econometrics and applied statistics no. 69, University of New England.

Battese, G.E. (1991). Frontier production functions and technical efficiency: a survey of empirical applications in agricultural economics. *Agricultural Economics*, Vol. 7, pp. 185-208. Department of Econometrics. University of New England. Armidale, Australia. Disponible en: [www.une.edu.au/data/assets/pdf\\_file/0006/.../emetwp50.pdf](http://www.une.edu.au/data/assets/pdf_file/0006/.../emetwp50.pdf)

Battese, G.E. and Coelli, T.J. (1995). "A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data", *Empirical Economics*. Department of Econometrics, The University of New England, Australia. 20, 325-332.

Carvallo O, Alvarado M. y Verdú M. (2013). Eficiencia, economías de escala y economías de alcance en el sistema bancario Venezolano (2004-2012). Banco Central de Venezuela, Serie Documentos de Trabajo. [No. 141]. Caracas, febrero, 2013. Disponible en: <http://www.bcv.org.ve/Upload/Publicaciones/docu141.pdf>

Coelli T., et al. (2005). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. Segunda Edición 2005. Editorial Springer.

Coelli T., Prasada R., O'Donnell Ch. And Battese G. (2005). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. Segunda Edición 2005. Editorial Springer.

Coelli T.J. (1996): A Guide to Frontier Version 4.1: a computer program for stochastic frontier production and cost function estimation. Working Papers, CEPA, University of New England.

Coelli T.J. (1996): A Guide to Frontier Version 4.1: a computer program for stochastic frontier production and cost function estimation. Working Papers, CEPA, University of New England.

Constantin P, Martin D., & Rivera E. (2009). Cobb-Douglas, Translog Stochastic Production Function and Data Envelopment. *Journal of Operations and Supply Chain Management* 2 (2), pp 20 - 34, C International Conference of the Production and Operations Management Society. Disponible en: <http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/joscm/article/download/11846/10774>

EY (2014). Productividad en la minería: ahora viene la parte difícil. Una encuesta global. *Revista: Productividad en la minería*. Centro Global de Minería & Metales de EY. Disponible en: [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Productivity-Paper-13Oct14-Espa%C3%B1ol/\\$FILE/EY-Productivity-Paper-13Oct14-Espa%C3%B1ol.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Productivity-Paper-13Oct14-Espa%C3%B1ol/$FILE/EY-Productivity-Paper-13Oct14-Espa%C3%B1ol.pdf).

Farrell M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, 120(3):253–290. Disponible en: <http://www.aae.wisc.edu/aae741/Ref/Farrell%201957.pdf>

Germeshausen R., Panke T. y Wetzel H. (2014). Investigating the Influence of Firm Characteristics on the Ability to Exercise Market Power – A Stochastic Frontier Analysis Approach with an Application to the Iron Ore Market. Centre for European Economic Research Discussion Paper No. 14-105 Disponible en: [http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2551754](http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2551754)

Gillespie B., Gilbert C. y Carter A. (febrero de 2009). Finding cost efficiencies in mining operations through effective value driver modeling. Return to cost efficiency. PWC. Australia. PrincewaterhouseCoopers International Limited.

IMF (S.F.). Primary Commodity Prices. *Intenational Monetary Fund*. [Archivo de datos] Washington DC. Recuperado de [http://www.imf.org/external/np/res/commod/External\\_Data.xls](http://www.imf.org/external/np/res/commod/External_Data.xls)

Jany J. (2000). *Investigation Integral de Mercados*. Santa Fe de Bogotá. Colombia. McGraw Hill.

Kim Christian, June 2013. BHP to run tighter iron ore business. NEWS.NET. Disponible en: <http://www.news.net/article/352522/Top+Stories>

Kodde D. and Palm F. (1986). Wald Criteria for Jointly Testing Equality and Inequality Restrictions. *Econometrica*. Vol. 54, No. 5 (Sep., 1986), pp. 1243-1248. Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/1912331>

Konstantinos, G., Kien, T. & Vangelis, T. (2003). On the choice of functional form in stochastic frontier modeling. *Empirical Economics* 28, 75–100. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/24054937\\_On\\_the\\_choice\\_of\\_functional\\_form\\_in\\_stochastic\\_frontier\\_modeling](https://www.researchgate.net/publication/24054937_On_the_choice_of_functional_form_in_stochastic_frontier_modeling)

Meeusen, W. and J. van den Broeck, (1977). Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error, *International Economic Review* 18, 435-444. Disponible en: [http://www.jstor.org/stable/2525757?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](http://www.jstor.org/stable/2525757?seq=1#page_scan_tab_contents)

Méndez C. (1988). Metodología. Guía para elaborar diseños de investigación en ciencias económicas, contables y administrativas. Caracas. McGraw Hill.

Ramath P. y Ramoni J. (2012). Fronteras estocásticas e ineficiencia salarial en Venezuela. *Economía*, XXXVII, 33. pp. 107-142. Disponible en: [http://iies.faces.ula.ve/Revista/Articulos/Revista\\_33/Pdf/Rev33Harmath.pdf](http://iies.faces.ula.ve/Revista/Articulos/Revista_33/Pdf/Rev33Harmath.pdf)

Syed A., Grafton Q. and Kalirajan K. (2013). Productivity in the Australian Mining Sector. Bureau of Resources and Energy Economics (BREE). The Australian Government. Canberra. Disponible en : [www.bree.gov.au](http://www.bree.gov.au)

Universidad Nacional de Colombia (S.F.). Diseño Experimental. ¿Qué es una investigación no experimental? Dirección Nacional de Innovación Académica. Bogota, Colombia. Disponible en: [http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000352/html/un1/cont\\_102-02.html](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000352/html/un1/cont_102-02.html)

UPEL (2014). Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales. 4ª Edición. Caracas, Venezuela: Fedupel.

USGS (2007). U.S. Geological Survey. EEUU. [Archivo de datos] Disponible en: [http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron\\_ore/mcs-2007-feore.pdf](http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron_ore/mcs-2007-feore.pdf)

USGS (2012). U.S. Geological Survey. EEUU. [Archivo de datos] Disponible en: [http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron\\_ore/mcs-2012-feore.pdf](http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron_ore/mcs-2012-feore.pdf)

USGS (2013). U.S. Geological Survey. EEUU. [Archivo de datos] Disponible en: [http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron\\_ore/mcs-2013-feore.pdf](http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron_ore/mcs-2013-feore.pdf)

Vergés J. (2012). Eficiencia empresarial comparativa: Indicadores y técnicas de análisis para la evaluación de la eficiencia de entidades productivas. Departamento de Economía de la Empresa. Universidad Autónoma de Barcelona. P. 3. Disponible en: <http://webs2002.uab.es/jverges/pdf%20GEP&R/Eficiencia%20empresarial%20compartiva,%20indicadores%20y%20tecnicas%20de%20 analisis.pdf>

Vergés J. (2012). Eficiencia empresarial comparativa: Indicadores y técnicas de análisis para la evaluación de la eficiencia de entidades productivas. Departamento de Economía de la Empresa. Universidad Autónoma de Barcelona. P. 3. Disponible en: <http://webs2002.uab.es/jverges/pdf%20GEP&R/Eficiencia%20empresarial%20compartiva,%20indicadores%20y%20tecnicas%20de%20 analisis.pdf>

World steel Association, (2013). Steel Statistical Yearbook 2013. worldsteel Committee on Economic Studies – Brussels, 2013. Disponible en: <http://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/steel-stats/2013/Crude-steel-pdf/document/Crude%20steel%20December%202013.pdf>

Worldsteel Association, (2013). Steel Statistical Yearbook 2013. worldsteel Committee on Economic Studies – Brussels, 2013. Recuperado de <http://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/steel-stats/2013/Crude-steel-pdf/document/Crude%20steel%20December%202013.pdf>