

EFFICIENCY AND PRODUCTIVITY IN VENEZUELAN INDUSTRY DIRECT REDUCTION IRON IN GUAYANA REGION

EFICIENCIA Y PRODUCTIVIDAD EN LA INDUSTRIA VENEZOLANA DE HIERRO DE REDUCCIÓN DIRECTA

Jairo J. Pico F¹., Hugo R. Martínez C².

RESUMEN

El objetivo general de la investigación fue analizar la eficiencia y la productividad en la industria venezolana de Hierro de Reducción Directa (HRD) en la Región Guayana durante el 2005 al 2009. La metodología empleada fue el Análisis Envoltante de Datos DEA-Rusell y el Índice Malmquist Hicks-Moorsteen. Los resultados indican una eficiencia de insumos del 98% y un desaprovechamiento de la capacidad instalada en la industria del 48%. Asimismo, disminuye la productividad total en 80,8% en su valor promedio, y en el periodo 2009-2011, hay una tendencia a la disminución de la misma, llegando a un valor del 60%.

Palabras clave: Producción Hierro Reducción Directa, Eficiencia técnica, Productividad, Análisis Envoltante de Datos (DEA-Rusell), Índice Malmquist Hicks-Moorsteen.

ABSTRACT

The overall objective of the research was to analyze the efficiency and productivity in the industry Venezuelan Direct Reduced Iron (DRI) in the Guayana region during 2005 to 2009. The methodology used was Data Envelopment Analysis DEA-Malmquist Index and Russell Hicks-Moorsteen. The results indicate an efficiency of 98% input and a waste of the installed capacity in the industry of 48%. It also reduces the overall productivity of 80.8% on average, and 2009-2011, there is a tendency to lower it, reaching a value of 60%

Keywords: Direct Reduced Iron Production, Technical Efficiency, Productivity, Data Envelopment Analysis (DEA-Rusell), and Malmquist Index-Moorsteen Hicks.

REVISTA arbitrada indizada, incorporada o reconocida por instituciones como:
LATINDEX / REDALyC / REVENCYT / CLASE / DIALNET / SERBILUZ / IBT-CCG UNAM / EBSCO
Directorio de Revistas especializadas en Comunicación del Portal de la Comunicación InCom-UAB / www.cvtisr.sk / Directory of Open Access Journals (DOAJ) / www.journalfinder.uncg.edu / Yokohama National University Library.jp / Stanford.edu. www.nsdj.org / University of Rochester Libraries / Korea Foundation Advanced Library.kfas.or.kr/ / www.worldcatlibraries.org / www.science.oas.org/infocyt / www.redhucyt.oas.org/ / fr.dokupedia.org/index / www.lib.ynu.ac.jp / www.iinfo.lub.lu.se / [www.google.com](http://Université de Caen Basse-Normandie SICD-Réseau des Bibliothèques de L'Université / Base d'Information Mutualiste sur les Périodiques Electroniques Joseph Fourier et de L'Institut National Polytechnique de Grenoble / Biblioteca OEI / www.sid.uncu.edu.ar / www.ifremer.fr / www.unicaen.fr / www.science.oas.org / www.biblioteca.ibt.unam.mx / Cit.chile. Journals in Electronic Format-UNC-Chapel Hill Libraries / www.biblioteca.ibt.unam.mx / www.ohiolink.edu. www.library.georgetown.edu / <a href=) / www.google.scholar / www.altavista.com / www.dowling.edu / www.uce.resourcelinker.com / www.biblio.vub.ac / www.library.yorku.ca / www.rzblx1.uni-regensburg.de / EBSCO / www.opac.sub.uni-goettingen.de / www.scu.edu.au / www.docelec.scd.univ-paris-diderot.fr / www.lettres.univ-lemans.fr / www.bu.uni.wroc.pl / www.cvtisr.sk / www.library.acadiau.ca / www.mylibrary.library.nd.edu / www.brary.uonbi.ac.ke / www.bordeaux1.fr / www.ucab.edu.ve / www.phoenicis.dgsca.unam.mx / www.ebscokorea.co.kr / www.serbi.luz.edu.ve/scielo/ / www.rzblx3.uni-regensburg.de / www.phoenicis.dgsca.unam.mx / www.liber-accion.org / www.mediacioneducativa.com.ar / www.psicopedagogia.com / www.sid.uncu.edu.ar / www.bib.umontreal.ca / www.fundacionunamuno.org.ve/revistas / www.aladin.wrlc.org / www.blackboard.ccn.ac.uk / www.celat.ulaval.ca / No bureaucracy / not destroy trees / guaranteed issues / Partial scholarships / Solidarity / / Electronic coverage guaranteed in over 150 countries / Free Full text / Open Access
www.revistanegotiums.org.ve / revistanegotium@gmail.com

¹ Magister, Profesor Asistente. Investigador acreditado al PEI. Departamento de Ingeniería Industrial Vicerrectorado Puerto Ordaz Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (UNEXPO) jairojpico@gmail.com

² Doctor en Ciencias Económicas, Profesor titular a dedicación exclusiva. Investigador acreditado al PEI. Adscrito a los Departamentos Métodos Cuantitativo y de Estudios Macroeconómicos del Desarrollo Facultad de Ciencias Económicas y Sociales. Universidad del Zulia. Maracaibo. Venezuela. humartinez@gmail.com.

1.- INTRODUCCIÓN.

La Región de Guayana concentra la totalidad de la producción nacional de hierro, aluminio, oro, diamante y otros minerales estratégicos. El sector hierro y acero está conformado por un proceso integrado que abarca desde la explotación de la materia prima (mineral de hierro) hasta el procesamiento del acero en productos semiterminados. En el caso del hierro, se han estimado más de 3.000 millones de toneladas de mineral de hierro de alto tenor y más de 10.000 millones de toneladas de bajo tenor (Ministerio de Planificación y Desarrollo, 2001).

Las industrias ferromineras, siderúrgica y de la metalmecánica ferrosa, se integran en un proceso que alcanza desde la producción de mineral de hierro, de pellas de mineral de hierro, y Hierro de Reducción Directa (HRD), hasta la producción siderúrgica y su posterior transformación por parte de la industria metalmecánica ferrosa. Este proceso integrador, es conocido como La Cadena Del Acero. De allí pues, que pueden tipificarse cuatro eslabones de la cadena; el primero, comprendido por las empresas y plantas productoras de mineral de hierro y de pellas. El segundo, referido al sector productor de HRD. El tercero, integrado por las empresas productoras de acero crudo, semielaborados (planchones y palanquillas) y de aceros laminados (planos, no planos y tubos sin costura), y el cuarto, integrado por el sector de la industria metalmecánica ferrosa.

Ahora bien, el segundo eslabón, objeto de este trabajo se refiere a la reducción directa de hierro que se define como la extracción del oxígeno a los óxidos de hierro. Este proceso se realiza en varios lugares del mundo tales como la India, México, China, entre otros. (World Direct Reduction Statistics 2010) en cuyos productos el HRD es materia prima para la aceración. La producción de hierro de reducción directa desde el año 1970 ha aumentado de 0.79 millones de toneladas a 64.44 millones de toneladas anuales al año 2009. Este aumento de producción lo experimento Venezuela hasta el año 2005, año desde el cual ha comenzado un descenso de su producción de 8,95 a 5,61 millones de toneladas en el 2009 (Midrex Technologies, Inc, 2010).

Los principales procesos de reducción directa son Midrex, HyL, Finmet, los cuales producen 59,70%, 14,07% y 0,48% respectivamente; estos valores que representan el 74,25% de la producción mundial (Midrex Technologies, 2010), de allí la importancia estratégica y económica en la conducción en la toma de decisión de estos procesos.

En este marco referencial, es donde se circunscribe la presente investigación, cabe decir, analizar la eficiencia y la productividad en la industria venezolana de hierro de reducción directa. En atención a la problemática expuesta, se considera adecuado formular la siguiente interrogante de investigación: ¿Cuáles son las medidas a considerar basándose en la eficiencia de los procesos de la industria venezolana de hierro de reducción directa en la

Región Guayana? ¿Cuáles son los significados de productividad de la industria venezolana de los procesos de reducción directa de hierro?

Asimismo, es importante destacar, que la metodología empleada fue el Análisis Envolvente de Datos DEA-Rusell y el Índice Malmquist Hicks-Moorsteen.

2.- FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1.- Procesos de Reducción Directa de Hierro

La reducción directa de minerales de hierro se define como la extracción del oxígeno de los óxidos de hierro presentes en los minerales por medio de reacciones gas-sólido a temperaturas por debajo de su punto de fusión. En las últimas décadas, estos procesos han ido en aumento. La mayor producción de Hierro de Reducción Directa (HRD) se realiza por procesos de reducción a gas natural representada por los dos procesos más difundidos como son el proceso Midrex y HyL. En el último quinquenio se ha puesto de manifiesto otro proceso el Finmet, tecnología venezolana con una capacidad instalada de más de 4 millones de Tm en sus dos plantas, una de las cuales está instalada en Australia y la otra en Venezuela.

Estos procesos son desarrollados por las empresas: Sidor, Opco, Venprecar, Comsigua, Matesi, Orinoco Iron. El esquema básico de operación de estos procesos consiste en la utilización de una serie de insumos, tales como: Mineral, Gas Natural, Oxígeno, Electricidad, Agua, Químicos, Mano de Obra y Mantenimiento; estos insumos serán procesados en uno o varios reactores para obtener hierro en tres versiones: hierro de reducción directa (DRI, o Cold DRI), hierro de reducción directa en caliente (HDRI) y hierro de en briquetas caliente (HBI).

Aunque la finalidad de los tres procesos es la misma, cada uno tiene su tecnología de producción, lo que conlleva a que cada proceso tenga un consumo específico de insumos, ver

Tabla I

Tabla I. Patrones de cargas específicos de diseño por proceso

| Insumos | Descripción | Unidad/ ton | MIDREX | | | HyL | | | FINMET |
|---------------|----------------------------|----------------|--------|------|------|------|------|------|--------|
| | | | DRI | HDRI | HBI | DRI | HDRI | HBI | HBI |
| Mineral | materia prima | t | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 1,42 | 1,45 | 1,45 | 1,90 |
| Gas Natural | gas natural y otros gases | Gcal. | 2,65 | 2,68 | 2,65 | 2,48 | 2,54 | 2,59 | 3,98 |
| Electricidad | Consumo eléctrico | kWh | 60 | 55 | 75 | 95 | 95 | 115 | 150 |
| Agua | Agua de proceso | m ³ | 1,00 | 1,00 | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,50 | 2,50 |
| Químicos | Materiales adicionales | Kg | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| Mano de obra | Mano de obra de producción | H-h | 0,11 | 0,12 | 0,13 | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 2,10 |
| Mantenimiento | Mano de obra mantenimiento | H-h | 0,08 | 0,09 | 0,1 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 1,00 |

Fuente: Midrex Technologies (2010), Estanga L 2007.

En el caso bajo estudio, estos consumos específicos fueron expresados en función de la capacidad instalada de cada empresa analizada.

Tabla II. Patrón de Carga por plantas

| PATRÓN DE CARGA | | | PROCESOS - PLANTAS | | | | | | | |
|-----------------|---|----------------------------------|--------------------|------------------|---------|-----------|----------|----------|---------|--------------|
| COMPONENTE | DESCRIPCIÓN | UNIDAD (10 ³ /año) | MIDREX | | | | HYL | | FINMET | |
| | | | TERNIUM SIDOR I | TERNIUM SIDOR II | OPCO | VENPRECAR | COMSIGUA | SIDOR II | MATESI | ORINOCO IRON |
| HRD | Producto de los procesos comparados | t | 1.110 | 3.100 | 1.000 | 820 | 1.400 | 1.200 | 1.500 | 2.200 |
| MINERAL | Representa la materia prima utilizada en el proceso | t | 1.610 | 4.495 | 1.450 | 1.189 | 2.030 | 1.440 | 1.800 | 3.300 |
| GAS NATURAL | Comprende el gas natural y gases necesarios para el proceso | Gcal | 2.498 | 6.975 | 2.350 | 1.927 | 3.290 | 2.820 | 3.525 | 7.876 |
| ELECTRICIDAD | Consumo eléctrico del proceso | Kwh | 105.450 | 294.500 | 110.000 | 90.200 | 154.000 | 204.000 | 255.000 | 330.000 |
| AGUA | Agua de proceso | m ³ | 1.110 | 3.100 | 1.200 | 984 | 1.680 | 1.440 | 2.250 | 5.500 |
| QUÍMICOS | Materiales adicionales de proceso | kg | 11 | 31 | 10 | 8 | 14 | 12 | 15 | 22 |
| MANO DE OBRA | Mano de obra de producción | h-h | 122 | 341 | 130 | 107 | 182 | 120 | 225 | 462 |
| MANTENIMIENTO | Mano de obra e insumos de mantenimiento | h-h | 9 | 24 | 9 | 7 | 13 | 8 | 16 | 32 |

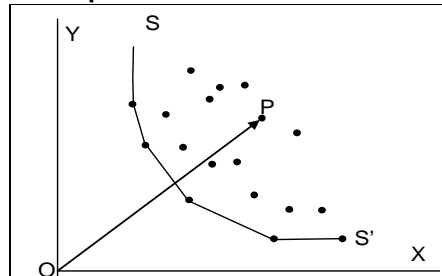
Fuente: Midrex Technologies (2010), IVES (2007)

Este patrón de carga de indica la utilización óptima de insumos, lo cual representa el comportamiento ideal para cada empresa. Este comportamiento ideal se denomina *frontera eficiente de producción*, término que alude al hecho de que no es posible ser más eficiente que las empresas que presenten este comportamiento ideal (Sanhueza, 2003).

2.2.- Frontera eficiente de producción

En los casos donde no se conoce la frontera eficiente de producción, el procedimiento más aceptado para su determinación es crear “una función empírica sobre la base de los mejores resultados observados en la práctica” (Farrell, 1957) que corresponde a la creación de una isocuanta no paramétrica convexa lineal por tramos. (Ver Gráfico 1)

Gráfico 1
Frontera de función de producción lineal a trozos



Fuente: Farrell (1957)

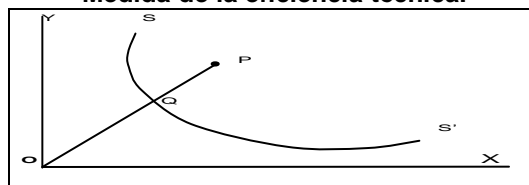
La isocuanta SS' se calcula a través de la solución de sistemas de ecuaciones lineales, obedeciendo dos condiciones para representar la frontera de producción: a) que su pendiente no es positiva; b) que ningún punto observado queda entre la frontera y el origen (Farrell, 1957)

2.2.1.- Eficiencia técnica.

La eficiencia técnica se refiere a la capacidad reducción de insumos para obtener la misma cantidad de productos, manteniendo las proporciones de utilización de cada insumo observado (Sellers, et ál, 2002)

Para cuantificar la eficiencia técnica consideremos la explicación de Farrell. Considérese la función de producción convexa (SS'). Cada uno de los ejes de esta ilustración (eje X e Y) representan el nivel de contribución de cada insumo al producto (Beltrán, 2004), Observe la gráfico 2.

Gráfico 2
Medida de la eficiencia técnica.



Fuente: Farrell (1957)

Farrell establece que la medida de eficiencia se basa en la variación de mediciones radiales; la distancia desde el origen hasta el punto de ineficiencia observado (distancia \overline{OP}), y la distancia radial de otra empresa que presente la mejor práctica operativa (distancia \overline{OQ}), con lo cual, la eficiencia técnica se expresa como la relación.

$$\text{Eficiencia Técnica} = \frac{\overline{OQ}}{\overline{OP}}$$

En los casos donde existen más productos e insumos, esta relación se determina a través de modelos de fronteras denominados Análisis Envoltente de Datos.

2.3.- Análisis Envoltente De Datos

El Análisis Envoltente de Datos (DEA, por sus siglas en inglés), es una técnica que busca medir la eficiencia de una empresa con respecto a otras empresas del mismo sector, en condiciones donde no se conoce la función de producción. Para esto se basa en técnicas de Programación Lineal, que permiten identificar cuáles son las empresas cuya eficiencia sea del 100% (empresas eficiente) y a partir de esta información genera una frontera de producción.

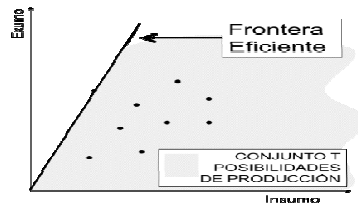
La propuesta inicial del método DEA se debe a Charnes, Cooper y Rhodes en el año 1978, cuando presentan la formulación matemática basada en los conceptos de eficiencia presentado por Farrell en 1957 (Forsund y Sarafoglou, 2004), razón por la cual este modelo se denomina DEA-CCR.

2.3.1.- Bases del modelo

Considere un proceso de producción en el que a partir de un vector de insumos $X \in \mathcal{R}_+^N$ se obtiene un vector de productos $Y \in \mathcal{R}_+^N$ en un conjunto de posibilidades de producción T , de modo que, $T = \{(X, Y; X \text{ puede producir } Y)\}$.

El conjunto de posibilidades de producción "T" se define como el conjunto de todos los niveles de producción Y , que pueden ser generados con los insumos X . Se observa que para una Y específica, X puede tener valores distintos dependiendo de la eficiencia con que se manejan sus insumos para mantener el mismo nivel de producción. Si la empresa es eficiente requerirá de menos cantidad de insumos para producir la misma cantidad de producto que otra que no lo sea (Mercado, 1998), Ver Gráfico 3

Gráfico 3
Conjunto de Posibilidades de Producción T



Fuente: Mercado Ramírez (1998)

En el Gráfico 3 se muestra las posibilidades de producción un sector donde las empresas que se encuentran en la frontera son eficientes y las que están debajo de esta frontera no son eficientes.

2.3.2.- Modelo DEA-CCR

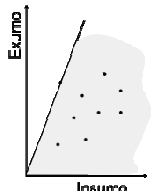
La idea inicial, planteada por E. Rhodes, fue maximizar la función de eficiencia asociada a la empresa, Sujeto a la restricción de que la eficiencia no supere la unidad o 100%. Su formulación inicial fue:

| | | |
|-----------|---|--|
| Maximizar | $\Theta = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i Y_i}{\sum_{i=1}^n v_i X_i}$ | Donde: Θ: Eficiencia (Valor objetivo) λ _i : Peso asociado al i-ésimo Producto |
| Sujeto a: | $\frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i Y_i}{\sum_{i=1}^n v_i X_i} \leq 1$ $\lambda_i; v_i \geq 0$ | v _i : Peso asociado al i-ésimo Insumo Y _i : Cantidad del i-ésimo Producto X _i : Cantidad del i-ésimo Insumo |

Fuente: Rhodes, (1978). Adaptación propia (2012)

Este problema, en base a las cantidades de Insumos y Productos se encarga de determinar la ponderación asociada a cada insumo y producto de la empresa bajo análisis y también determinar el valor de su eficiencia. El modelo mostrado anteriormente, pertenece al estudio de la programación fraccional y tiene infinitas soluciones. Charnes y Cooper (1978) transformaron este problema en uno de programación lineal a fin de utilizar el algoritmo simplex (ver tabla siguiente):

Tabla III
Tipos de Fronteras de Eficiencia

| Frontera de Eficiencia | Modelos de Insumo | Modelos de Producto |
|---|--|--|
|  | Minimizar $Z = \theta$ Sujeto a: $\theta X_0 \geq \lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_n X_n$ $\lambda_1 Y_1 + \lambda_2 Y_2 + \dots + \lambda_n Y_n \geq Y_0$ $\lambda_i \geq 0$ | Maximizar $Z = \phi$ Sujeto a: $X_0 \geq \lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_n X_n$ $\lambda_1 Y_1 + \lambda_2 Y_2 + \dots + \lambda_n Y_n \geq \phi Y_0$ $\lambda_i \geq 0$ |

Fuente: Charnes et ál (1978); Adaptación propia. (2012)

Dado que en esta investigación se estudia la eficiencia de un proceso en base a la utilización de cada insumo se utilizó una variante del modelo CCR denominada DEA-Russell, el cual se presenta a continuación:

2.3.3.- Modelo DEA-Russell.

El modelo anteriormente descrito exhibe medidas radiales de eficiencia, esto quiere decir que el valor de eficiencia estimado es un valor global y asignado a todos los insumos. Este resultado presenta como desventaja que la eficiencia puede ser distinta para cada insumo, esta imprecisión puede traer tomas de decisiones incorrectas, (Hernández et ál, 2002).

Färe y Lovell (1978) presentan una medida, denominada DEA-Russell, la cual solventa el problema anterior al determinar la eficiencia individual de cada insumo. Este grado de flexibilidad asegura que la medida DEA-Russell siempre obtendrá un valor de eficiencia para cada insumo. El modelo de programación lineal se muestra a continuación:

| | | |
|-----------|---|---|
| Minimizar | $MR(y^k, x^k) = \left(\frac{1}{N}\right) \left(\sum_{n=1}^N \theta_n\right)$ | Dónde: MR = Medida de Russell |
| Sujeto a: | $\sum_{k=1}^K \lambda_k y_{km} \geq y_{k'm}$; $m=1,2,\dots,M$ $\sum_{k=1}^K \lambda_k x_{kn} \leq \theta_n x_{k'n}$; $n=1,2,\dots,N$ $\lambda_k \geq 0$; $k=1,2,\dots,K$ $0 \leq \theta_n \leq 1$; $n=1,2,\dots,N$ | θ_n = indicador de eficiencia para cada uno de los inputs considerados |

Fuente: Färe y Lovell (1978). Adaptación propia (2012)

Este modelo fue adaptado para este trabajo considerando las tres variaciones siguientes:

- 1) Russell de referente único, el referente único es el patrón de carga o meta que es la condición óptima de los procesos de reducción directa de hierro, así el patrón de carga o meta es la frontera eficiente.
- 2) Comparación par, la comparación siempre será la meta contra el resultado de un año en particular, es decir, meta contra el resultado del año 2005, luego meta contra el resultado del año 2006 y así sucesivamente hasta el año 2009.
- 3) Evaluación inter-temporal, al hacer la comparación de cualquier año con la meta, los valores de los años anteriores son sustituidos por cero, es decir, un solo año cada vez.

Las nuevas condiciones para el modelo DEA Russell, modifican el modelo original, siendo estas modificaciones las siguientes:

- 1) El conjunto de posibilidades de producción T para cada empresa estará conformado por los resultados anuales, es decir

$$T = \{(x_{\text{año}}, y_{\text{año}}); x_{\text{año}} \text{ puede producir } y_{\text{año}} \text{ año } = 2005, 2006, 2007, 2008, 2009\}$$

- 2) El patrón de carga o meta como referente único establece que esta meta es 100% eficiente. Las eficiencias de cada insumo del patrón de carga puede tomar valores menores y mayores que uno, esto se debe a que es posible que los procesos utilicen menos o más insumo de lo permitido por el patrón de carga. Lo que introduce ineficiencias por defecto y exceso, luego el modelo propuesto sería:

| | |
|-----------|--|
| Minimizar | $MR(y^k, x^k) = \left(\frac{1}{N}\right) \left(\sum_{n=1}^N \theta_n\right)$ |
| Sujeto a: | $y_{\text{patrón}} \geq y_{k' m}; m=1, 2, \dots, M$ $x_{\text{patrón}} \leq \theta_n x_{k' m}; n=1, 2, \dots, N$ $\theta_n \geq 0; n=1, 2, \dots, N$ |

Fuente: Elaboración propia, (2012)

2.4.- Cambio técnico

Los sistemas de producción mejoran en la medida que existe progreso económico, la existencia de este progreso requiere ser cuantificada y esto se logra a través de la estimación del cambio técnico.

Este concepto de cambio técnico es introducido a partir del artículo publicado en 1957 por el economista Robert Solow Technical change and the aggregate production function, allí argumenta que hay aumentos de producción que no son explicable solamente por los cambios de eficiencia.

Una fuente de aumentos de producción son las innovaciones y los cambios en las técnicas que permiten obtener una mayor producción sin variar la cantidad de insumos utilizados o el mismo nivel de producción con un consumo más reducido de insumos. Esta fuente es la genera el cambio técnico.

En general estos procesos de cambio técnico pueden ser clasificados en los siguientes rubros (Kato Maldonado, 2000)

- a) Ahorro de energía y perfeccionamiento de los bienes de capital.
- b) Cambios tecnológicos orientados a expandir el control de los procesos elementales y del proceso global de producción.
- c) Cambios tecnológicos orientados a mejorar los sistemas de control de materiales.
- d) Cambios tecnológicos orientados a intensificar la productividad de la fuerza de trabajo.
- e) Cambios tecnológicos orientados a la adaptación de paquetes tecnológicos integrados; a saber: robótica, informática, tecnología de diseño, tecnología de grupos, administración de mantenimiento, tecnología láser entre otras.
- f) Cambios tecnológicos orientados a perfeccionar las características de diseño de los productos finales.

El cambio técnico es cuantificable partiendo de una aproximación iniciada por Caves, et ál (1982), que incorpora el efecto del cambio técnico en la productividad. El Análisis Envoltante de Datos DEA proporciona la posibilidad de esta estimación.

2.5.- Productividad

La productividad es un término que ha estado asociado con la industria, la empresa y los factores de producción. La Productividad, en economía, se define como la relación entre producción final y factores de producción (tierra, capital y trabajo) utilizados en la elaboración de bienes y servicios. De un modo general, la productividad se refiere a lo que genera el trabajo, es decir, la producción por cada trabajador, la producción por cada hora trabajada, o cualquier otro tipo de elemento de la producción en función del factor trabajo.

Para efectos de esta investigación, el concepto de productividad utilizado se refiere al cambio de eficiencia técnica en la gestión insumo-producto y al cambio técnico. La eficiencia considerada es de tipo farreliana y estimada a través del Análisis Envoltante de Datos DEA, y sumado a esta eficiencia el cambio técnico de Solow.

Los índices de Malmquist permiten descomponer la productividad en cambios de eficiencia técnica y en cambios técnicos tanto para insumos como para productos. En el caso de estudio el referente es único es el patrón de carga, no sufre modificación para el lapso estudiado es decir la frontera es fija. Un índice más apropiado para la estimación de la productividad cuando la frontera es fija es el índice de Malmquist de Hicks-Moorsteen ya que este considera los insumos y los productos en un solo índice de productividad total.

2.5.1.- Índice de Malmquist de Hicks-Moorsteen

El general los índices de Malmquist presenta la particularidad de estar orientado bien sea a la utilización del insumo o también a los niveles de producto, constituyendo medidas parciales de la productividad. Con el objetivo de medir globalmente la productividad, Bjurek en 1996 propone un índice de productividad total o índice de Malmquist de Hicks-Moorsteen (Färe, Grosskopf, & Margaritis, 2008). Este índice es una relación del índice de Malmquist orientado a los productos entre el índice de Malmquist orientado a los insumos. Considerando como base el periodo t , el índice presenta la siguiente estructura,

| ÍNDICE | COMPONENTES | DESCRIPCIÓN |
|--|-----------------------|--|
| $HM^t = \frac{\left(\frac{E_p^t(x^t, y^t)}{E_p^t(x^t, y^{t+1})} \right)}{\left(\frac{E_i^t(x^t, y^t)}{E_i^t(x^{t+1}, y^t)} \right)}$ | $E_p^t(x^t, y^t)$ | Eficiencia orientada a los productos del periodo t |
| | $E_p^t(x^t, y^{t+1})$ | Eficiencia orientada a los productos del periodo $t+1$ |
| | $E_i^t(x^t, y^t)$ | Eficiencia orientada a los insumos del periodo t |
| | $E_i^t(x^{t+1}, y^t)$ | Eficiencia orientada a los insumos del periodo $t+1$ |

Fuente: Adaptación propia. (2012)

El numerador de la ecuación representa el índice de Malmquist orientados a los productos, cuando este presenta valores superior a la unidad significa que la producción en el periodo $t+1$ fue superior a la del periodo t , para un vector de insumo x^t . El denominador representa un índice de Malmquist orientados a los insumos, para valores superiores a la unidad significa que se utilizó menos cantidad de insumos en el periodo $t+1$ que en el periodo t , para un nivel de producción y^t .

El índice HM se indica las variaciones de productividad de la forma siguiente:

- a) $HM \geq 1$, existe mejora de la productividad entre el periodo t al $t+1$
- b) $HM \leq 1$, existe desmejora de la productividad entre el periodo t al $t+1$
- c) $HM = 1$, no existe variación de la productividad entre el periodo t al $t+1$

En caso de utilizar como referencia el periodo $t+1$, la estructura del índice es la siguiente:

| ÍNDICE | COMPONENTES | DESCRIPCIÓN |
|--|-------------------------------|--|
| $HM^{t+1} = \frac{\left(\frac{E_p^{t+1}(x^{t+1}, y^t)}{E_p^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right)}{\left(\frac{E_i^{t+1}(x^t, y^{t+1})}{E_i^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right)}$ | $E_p^{t+1}(x^{t+1}, y^t)$ | Eficiencia orientada a los productos del periodo t |
| | $E_p^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})$ | Eficiencia orientada a los productos del periodo $t+1$ |
| | $E_i^{t+1}(x^t, y^{t+1})$ | Eficiencia orientada a los insumos del periodo t |
| | $E_i^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})$ | Eficiencia orientada a los insumos del periodo $t+1$ |

Fuente: Adaptación propia. (2012)

El valor de la mejora o no de la productividad es similar al índice anterior. La selección del periodo de referencia genera ambigüedad, que se solucionó con la media geométrica de estos índices:

$$HM = \sqrt{HM^t \cdot HM^{t+1}}$$

Un valor superior a la unidad significa aumento de productividad y valores menores a la unidad desmejora de la productividad.

Para fines de la presente investigación la referencia única y eficiente en todo el lapso de estudio es el patrón de carga, ya que este constituye el consumo óptimo de insumos para la capacidad instalada de producción de HRD. Al introducir esta condición el índice de Malmquist Hicks-Moorsten se estructura de la siguiente manera:

| ÍNDICE | COMPONENTES | DESCRIPCIÓN |
|--|--|---|
| $HM^{(t,t+1)} = \frac{M_{\text{producto}}^{(t,t+1)}}{M_{\text{insumo}}^{(t,t+1)}} = \frac{\frac{DC_{\text{producto}}^{\text{patrón}}(x^{t+1}, y^{t+1})}{DC_{\text{producto}}^{\text{patrón}}(x^t, y^t)}}{\frac{DC_{\text{insumo}}^{\text{patrón}}(x^t, y^t)}{DC_{\text{insumo}}^{\text{patrón}}(x^{t+1}, y^{t+1})}}$ | $DC_{\text{producto}}^{\text{patrón}}(x^t, y^t)$ | función distancia orientada al producto del periodo t |
| | $DC_{\text{producto}}^{\text{patrón}}(x^{t+1}, y^{t+1})$ | función distancia orientada al producto del periodo t+1 |
| | $DC_{\text{insumo}}^{\text{patrón}}(x^t, y^t)$ | función distancia orientada al insumo del periodo t |
| | $DC_{\text{insumo}}^{\text{patrón}}(x^{t+1}, y^{t+1})$ | función distancia orientada al insumo del periodo t+1 |

Fuente: Elaboración propia (2012)

Alisamiento exponencial doble:

Para los fines de este estudio fue importante utilizar métodos de proyección que tomaran en cuenta la utilización de pocos datos, es por ello que se utilizó el método de alisamiento exponencial doble según las referencias de (Prawda Witenberg, 1989) y (Guerra, Sánchez, & Reyes, 1997).

El método tiene como filosofía adaptar las proyecciones a un modelo lineal cambiante dependiente de las distintas posiciones de la serie. Tiene como principal ventaja requerir pocos datos.

La técnica procede en un principio del alisamiento exponencial sencillo, de la siguiente manera

$$S_2 = X_1, S_{t+1} = \alpha X_t + (1-\alpha) S_t, \quad 0 \leq \alpha \leq 1, t \geq 2$$

Para proseguir con otro alisamiento exponencial, dado por

$$S'_{t+1} = \alpha S_{t+1} + (1-\alpha) S'_t$$

El ajuste se obtiene al introducir los parámetros a y b , dado por

$$a = 2S_{t+1} - S'_{t+1}$$

$$b = \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right) (S_{t+1} - S'_{t+1})$$

A partir de estos parámetros se obtiene las proyecciones

$$\overline{S}_{t+m} = a + bm$$

Donde m es el número de periodos a proyectar

3.- METODOLOGÍA

Uno de los tipos de investigación más importante es el explicativo, porque produce explicaciones más satisfactorias de la realidad, como es saber las causas de los fenómenos que se estudian. (Mejía, 2005)

El tipo de investigación aplicado se considera explicativa ya que se mide las relaciones de causa-efecto entre las variables analizadas (Rojas, 1997). En ese sentido, el trabajo desarrollado se orientó a proporcionar respuestas sobre la influencia de la eficiencia en la productividad de los procesos de Reducción Directa de Hierro en la Región de Guayana.

Para esto se planteó una investigación de diseño no experimental transversal o transeccional, ya que se analiza los fenómenos tal y como se dan en su contexto real, se observaran situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente por el investigador (Hernández, Fernández & Baptista, 2006).

3.1.- Población y muestra de estudio

La población se define como la totalidad del fenómeno a estudiar en donde las unidades de población poseen una característica común, la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación (Tamayo, 2004). A tal efecto, la población objeto del estudio fueron los módulos de reducción directa de hierro presentes en la Región de Guayana.

Existen un total de 156 módulos de reducción directa de hierro a nivel mundial, determinándose que 17 módulos están presentes en Venezuela (Midrex Technologies, 2010). Estos módulos se seleccionaron de acuerdo a una muestra intencional según el criterio del investigador ya que determinó que se deben cumplir con ciertas características previamente definidas, en ese sentido (Arias, 2006) señala que el muestreo intencional es la "selección de los elementos, con base a criterios o juicios del investigador". Los criterios de selección fueron los siguientes:

1) Las empresas deben estar en la Región de Guayana: Debido a que en esta región es donde se encuentran los procesos de Reducción Directa más importante del país.

2) Las empresas deben poseer al menos 5 años de operación continua y encontrarse actualmente en funcionamiento: Debido a que las empresas a analizar deben poseer algún grado de consolidación, y además, estar en operación a fin de poder aplicar los resultados del presente estudio.

3) Todos los procesos deben competir por los insumos y recursos: Ya que los empresas analizadas pertenecer a un mismo sector, y son afectadas por las mismas condiciones.

Al aplicar estos criterios, la muestra de estudio quedó conformada de la siguiente manera:

Tabla IV
Distribución de Empresas y módulos de reducción directa en la Región de Guayana

| PROCESO | PLANTA | CAPACIDAD INSTALADA* (MT/AÑO) | NUMERO MÓDULOS | PRODUCTO | AÑOS OPERATIVOS |
|---------|------------------|-------------------------------|----------------|----------|------------------|
| MIDREX | TERNIUM SIDOR I | 1,11 | 1 | HRD | 34 |
| | TERNIUM SIDOR II | 3,1 | 3 | HRD | 32 |
| | OPCO | 1,00 | 1 | HBI | 21 |
| | VENPRECAR | 0,82 | 1 | HBI | 21 |
| | COMSIGUA | 1,40 | 1 | HBI | 13 |
| HYL | SIDOR II | 1,20 | 3 | HRD | 30 |
| | MATESI | 1,50 | 2 | HBI | 11 |
| FINMET | ORINOCO IRON | 2,20 | 4 | HBI | 11 |
| TOTAL | | 12,3 | 16 | PROMEDIO | 21,63 \cong 22 |

Fuente: Midrex Technologies, (2010)

*** Las capacidades instaladas muestran los incrementos por mejoras**

La muestra de 16 módulos representa el 100% de los procesos de reducción directa en Venezuela ya que de los 17 módulos presentes hay uno inactivo (OPERACIONES RDI, proceso FIOR).

Los procesos presentes son Midrex, HyL y Finmet operados por ocho empresas: Ternium Sidor I, Ternium Sidor II, Opco, Venprecar, Comsigua, Sidor II, Matesi y Orinoco Iron; con una capacidad instalada total de 12.330 miles de toneladas – año y 22 años promedio de operaciones.

Los productos elaborados por estos procesos son: Hierro de Reducción Directa (HRD) en forma de pellas y Hierro de Reducción Directa Briqueteado en caliente (HBI), que a los fines de esta investigación se consideran un solo producto HRD.

3.2.- Procedimiento de investigación

El procedimiento que permitió alcanzar el objetivo general de la presente investigación fue el siguiente:

- 1) Revisión documental sobre el nivel de producción de HRD a nivel mundial y en Venezuela, esta estuvo soportada por informes de Midrex Technologies, Reportes de producción del Instituto Venezolano de Estudios Siderúrgicos, Sidor, y trabajos de ascenso en el área.
- 2) Análisis del comportamiento de los niveles de producción desde el año 2005 hasta el 2009. Se toma esta línea de tiempo, debido a que el estado venezolano estableció políticas de reorientación sobre estas empresas.

- 3) Análisis de la eficiencia de insumos y producto a través del modelo DEA-Russell modificado. A fin de determinar el impacto general de cada insumo, se utilizó el promedio geométrico de las eficiencias de cada insumo.
- 4) Análisis de la productividad a través del índice Malmquist orientado a los insumos, índice Malmquist orientado al producto y el índice Malmquist de Hicks-Moorsten. Para totalizar el comportamiento de estas productividades durante el lapso de estudio se utilizó el promedio geométrico dado que esta medida estadística es la más adecuada para números índices.
- 5) Proyección del comportamiento de la productividad

4.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Desde el año 2005 la producción de hierro de reducción directa como materia prima para la aceración, ha pasado de unas 57 millones de toneladas anuales a cerca de 71 millones de toneladas anuales. Los principales resultados se muestran en la tabla siguiente.

Tabla V
Producción Mundial de HRD

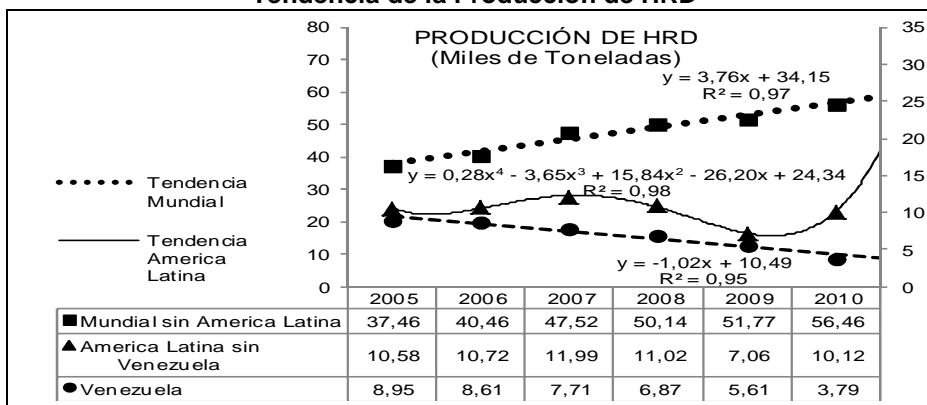
| PAÍS | | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|-----------------------------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| AMÉRICA LATINA | ARGENTINA | 1,83 | 1,95 | 1,81 | 1,86 | 0,81 | 1,57 |
| | BRASIL | 0,43 | 0,38 | 0,36 | 0,30 | 0,01 | – |
| | MÉXICO | 5,98 | 6,17 | 6,26 | 6,01 | 4,15 | 5,37 |
| | PERÚ | 0,09 | 0,14 | 0,09 | 0,07 | 0,10 | 0,10 |
| | TRINIDAD & TOBAGO | 2,25 | 2,08 | 3,47 | 2,78 | 1,99 | 3,08 |
| | VENEZUELA | 8,95 | 8,61 | 7,71 | 6,87 | 5,61 | 3,79 |
| TOTAL AMÉRICA LATINA | | 19,53 | 19,33 | 19,70 | 17,89 | 12,67 | 13,91 |
| RESTO DEL MUNDO | | 37,46 | 40,46 | 47,52 | 50,14 | 51,77 | 56,46 |
| PRODUCCIÓN MUNDIAL | | 57 | 59,8 | 67,2 | 68 | 64,4 | 70,4 |

Fuente: Midrex Technologies (2010)

Una gran parte de la producción mundial de HRD está ubicada en los países de América Latina tales como Argentina, Brasil, México, Perú, Trinidad & Tobago y Venezuela. En particular Venezuela es una de las regiones del mundo con mayores yacimientos de mineral de hierro (entre estos yacimientos se tiene Cerro Bolívar, Cerro San Isidro, Cerro el Pao) y ventajas comparativas entre la que destaca el precio de los insumos necesarios para los procesos de reducción directa. (Academia Nacional de Ingeniería y el Habitat, 2009).

Sin embargo, Venezuela muestra una tendencia opuesta al resto países productores de HRD, como se muestra en la gráfica siguiente

Gráfico 4
Tendencia de la Producción de HRD



Fuente: Elaboración propia, (2012)

Del gráfico anterior se puede observar que la tendencia de la producción mundial es aumentar a razón de 3,76 Miles de Toneladas anuales, así como la de América latina que presenta una tendencia al aumento con oscilaciones interanuales. Sin embargo, la producción de Venezuela presenta una tendencia a la disminución a razón de 1,02 Miles de Toneladas anuales. Razón por la cual existe la necesidad de estudiar la producción de HRD en Venezuela.

La producción de HRD en Venezuela muestra que todos los procesos han experimentado bajas en su producción, como se muestra en tabla siguiente

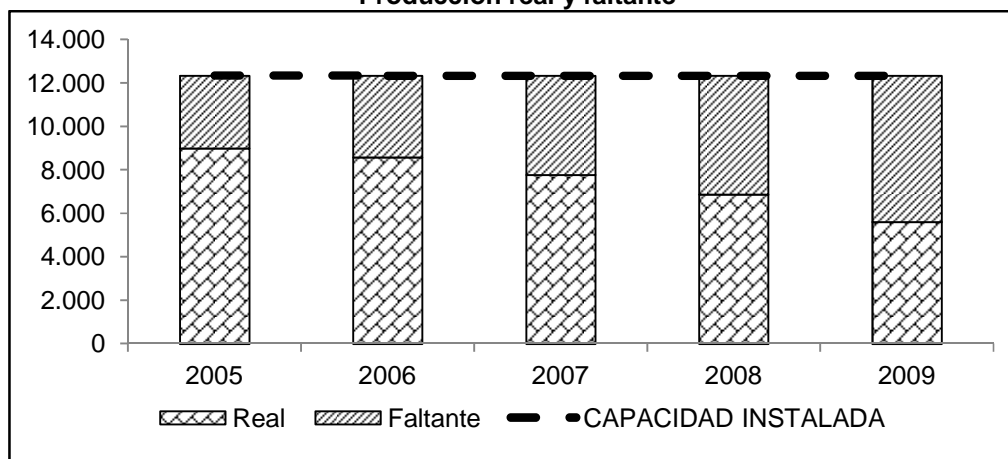
Tabla VI
Capacidad y Nivel de Producción por planta, lapso 2005-2009

| PLANTA | PRODUCTO | CAPACIDAD INSTALADA (Miles de Tonelada / año) | PRODUCCIÓN (Miles de Tonelada) | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | TOTAL POR PLANTA |
|---------------------|----------|---|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|
| Ternium SIDOR I | HRD | 1.110 | Real | 1.076 | 1.022 | 997 | 813 | 966 | 4.874 |
| | | | Faltante | 34 | 88 | 113 | 297 | 144 | 676 |
| Ternium SIDOR II | HRD | 3.100 | Real | 2.510 | 2.359 | 2.618 | 2.486 | 1.872 | 11.845 |
| | | | Faltante | 590 | 741 | 482 | 614 | 1.228 | 3.655 |
| OPCO | HBI | 1.000 | Real | 939 | 911 | 739 | 840 | 765 | 4.194 |
| | | | Faltante | 61 | 89 | 261 | 160 | 235 | 806 |
| VENPRECAR | HBI | 820 | Real | 754 | 713 | 545 | 443 | 501 | 2.956 |
| | | | Faltante | 66 | 107 | 275 | 377 | 319 | 1.144 |
| COMSIGUA | HBI | 1.400 | Real | 1.029 | 961 | 705 | 453 | 861 | 4.008 |
| | | | Faltante | 371 | 439 | 695 | 947 | 539 | 2.992 |
| SIDOR II | HRD | 1.200 | Real | 398 | 550 | 553 | 450 | 115 | 2.067 |
| | | | Faltante | 802 | 650 | 647 | 750 | 1.085 | 3.933 |
| MATESI | HBI | 1.500 | Real | 958 | 745 | 417 | 149 | 26 | 2.295 |
| | | | Faltante | 542 | 755 | 1.083 | 1.351 | 1.474 | 5.205 |
| ORINOCO IRON | HBI | 2.200 | Real | 1.323 | 1.308 | 1.199 | 1.237 | 505 | 5.572 |
| | | | Faltante | 877 | 892 | 1.001 | 963 | 1.695 | 5.429 |
| TOTAL POR AÑO | | | Real | 8.987 | 8.570 | 7.773 | 6.870 | 5.610 | 37.810 |
| | | | Faltante | 3.343 | 3.760 | 4.557 | 5.460 | 6.720 | 23.840 |
| CAPACIDAD INSTALADA | | | | 12.330 | 12.330 | 12.330 | 12.330 | 12.330 | 12.330 |

Fuente: Midrex Technologies (2010), IVES (2007)

Se puede observar que la capacidad instalada en Venezuela se ha mantenido en 12.330 Miles de Toneladas – año. Para un total de 37.810 Miles de Toneladas producidas en el lapso 2005-2009, capacidad instalada que se ha desaprovechado en 23.840 Miles de Toneladas lo que representa un 63,05% de pérdida. Así mismo es importante señalar que todos los procesos muestran faltantes de producción, lo que induce a pensar que existen factores que afectan de forma global a todos estos procesos, ver grafica siguiente

Gráfico 5
Producción real y faltante



Fuente: Elaboración propia, (2012)

Se hizo necesario estudiar las causas por las cuales no se logra la capacidad instalada, para esto se analizó la eficiencia y la productividad de los procesos de reducción directa.

3.1 Análisis de la Eficiencia

El estudio de la eficiencia está asociado a la forma de utilización de los recursos. El análisis de la eficiencia fue realizado a las ochos empresas de la muestra y a objeto de homogeneizar el análisis se tomó el Patrón de Carga de ellas como unidad de análisis.

Estos consumos a capacidad instalada fueron comparados con los consumos reales a través del Análisis Envoltante de Datos mediante una modificación del modelo Russell.

Por definición todos los modelos DEA (incluyendo Russell) determinan el óptimo de los valores observados, en el caso de los procesos de reducción el comportamiento óptimo está establecido por el patrón de carga de cada proceso. Es así como el estudio de la producción y su óptimo también se basará en el

patrón de carga, considerándose que una empresa es óptima en su producción si cumple con su patrón de carga y su volumen de producción. El no cumplimiento del patrón de carga trae como consecuencia una calidad no conforme, y el no cumplimiento del volumen de producción trae como consecuencia la sub-utilización de los equipos.

Este modelo fue aplicado a todas las empresas, a continuación se muestra un ejemplo con los resultados de la empresa ORINOCO IRON

Tabla VII
Eficiencia Técnica (ET) de Insumo ORINOCO IRON

| ELEMENTOS | PATRÓN | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|--------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| MINERAL | 1 | 0.769 | 1.007 | 0.781 | 0.770 | 0.786 |
| GAS NATURAL | 1 | 0.677 | 0.756 | 0.648 | 0.726 | 0.391 |
| ELECTRICIDAD | 1 | 0.558 | 0.568 | 0.497 | 0.530 | 0.514 |
| AGUA | 1 | 2.578 | 2.404 | 2.688 | 2.779 | 2.405 |
| QUÍMICOS | 1 | 1.181 | 1.024 | 1.207 | 1.087 | 1.160 |
| MANO DE OBRA | 1 | 2.097 | 1.924 | 1.749 | 1.725 | 1.906 |
| MANTENIMIENTO | 1 | 1.287 | 1.982 | 1.231 | 1.225 | 1.530 |
| UTILIZACIÓN DE CAPACIDAD | 1 | 0.601 | 0.595 | 0.545 | 0.562 | 0.230 |
| PROMEDIO DE EFICIENCIAS | 1 | 1,307 | 1,381 | 1,257 | 1,263 | 1,242 |

Fuente: Elaboración propia, (2012)

La Tabla VII muestra la eficiencia del patrón de carga es 1 (uno) debido a que es el mejor comportamiento y por lo tanto forma la frontera eficiente.

Los elementos críticos del patrón de carga en cuanto a volumen de producción son el MINERAL, GAS NATURAL y ELECTRICIDAD, registraron una eficiencia menor que uno, esto significa un desaprovechamiento de estos recursos, es decir, que aun cuando se cargó el patrón de carga el proceso desaprovechó las cantidades utilizadas no alcanzando la producción. Esto trae como consecuencia la no obtención de la producción óptima.

Los insumos AGUA, QUÍMICOS, MANO DE OBRA Y MANTENIMIENTO fueron utilizados en una proporción mayor a la requerida por el patrón de carga ya que sus valores de eficiencia técnica son mayores que uno ($ET \geq 1$). De igual manera se muestra la utilización de la capacidad instalada de la empresa ORINOCO IRON, esta utilización se considera baja ya que la mayor utilización ocurre en el año 2005 con un 60% y desciende hasta 23% en el año 2009.

La Tabla VIII se muestra el promedio geométrico de la eficiencia de cada insumo así como su ineficiencia durante el periodo estudiado. Por ejemplo la empresa TERNIUM I muestra una eficiencia de 0,937 y una ineficiencia de 0,063

(Patrón – 0,937 = 0,063) para el elemento MINERAL. Este mismo análisis se puede seguir para cada una de las empresas estudiadas.

Tabla VIII
Eficiencia e Ineficiencias totales para el lapso 2005-2009

| EMPRESA PATRÓN DE CARGA | PATRÓN | TERNIUM I | TERNIUM II | OPCO | VENPRECAR | COMSIGUA | SIDOR II | MATESI | ORINOCO IRON | MEDIA GEOMÉTRICA |
|--|--------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| MINERAL | 1 | 0,937 0,063 | 1,084 -0,084 | 0,743 0,257 | 0,923 0,077 | 0,872 0,128 | 0,740 0,260 | 0,732 0,268 | 0,818 0,182 | 0,849 0,151 |
| GAS NATURAL | 1 | 0,932 0,068 | 0,922 0,078 | 0,993 0,007 | 0,724 0,276 | 0,908 0,092 | 0,734 0,266 | 0,807 0,193 | 0,623 0,377 | 0,821 0,179 |
| ELECTRICIDAD | 1 | 0,698 0,302 | 0,918 0,082 | 0,499 0,501 | 0,667 0,333 | 0,823 0,177 | 0,590 0,410 | 0,705 0,295 | 0,533 0,467 | 0,666 0,334 |
| AGUA | 1 | 1,020 -0,020 | 1,063 -0,063 | 1,212 -0,212 | 1,136 -0,136 | 1,168 -0,168 | 1,180 -0,180 | 1,543 -0,543 | 2,566 -1,566 | 1,300 -0,300 |
| QUÍMICOS | 1 | 0,943 0,057 | 1,048 -0,048 | 1,178 -0,178 | 1,047 -0,047 | 1,024 -0,024 | 1,051 -0,051 | 0,876 0,124 | 1,130 -0,130 | 1,033 -0,033 |
| MANO DE OBRA | 1 | 0,936 0,064 | 0,911 0,089 | 1,042 -0,042 | 1,086 -0,086 | 1,227 -0,227 | 0,828 0,172 | 1,429 -0,429 | 1,875 -0,875 | 1,128 -0,128 |
| MANTENIMIENTO | 1 | 0,863 0,137 | 0,824 0,176 | 1,039 -0,039 | 0,908 0,092 | 0,974 0,026 | 0,690 0,310 | 0,900 0,100 | 1,425 -0,425 | 0,934 0,066 |
| EFICIENCIA PROMEDIO DE LOS INSUMOS | 1 | 0,906 0,094 | 0,970 0,030 | 0,963 0,037 | 0,931 0,069 | 1,002 -0,002 | 0,836 0,164 | 1,036 -0,036 | 1,289 -0,289 | 0,984 0,016 |
| UTILIZACIÓN DE CAPACIDAD INSTALADA | 1 | 0,874 0,126 | 0,759 0,241 | 0,835 0,165 | 0,706 0,294 | 0,551 0,449 | 0,302 0,698 | 0,172 0,828 | 0,479 0,521 | 0,520 0,480 |

Eficiencia e Ineficiencia

Fuente: Elaboración propia, (2012)

De la tabla anterior se observa que las empresas radicadas en Guayana están desaprovechando el 15,1 % (0,151) de MINERAL de la zona, un 17,9% (0,179) de GAS NATURAL y un 33,4% (0,334) de ELECTRICIDAD. En el caso del MANTENIMIENTO se observa una ineficiencia del 6,6%. Así como, el uso en exceso a lo requerido de AGUA, QUÍMICOS Y MANOS DE OBRA en un 30%, 3,3% y 12,8%, respectivamente.

De igual forma se muestra el promedio aritmético de estas eficiencias de insumos por empresas, los mismos son mayores y menores que uno, significando esto que las desviaciones con respecto a uno son desaprovechamiento.

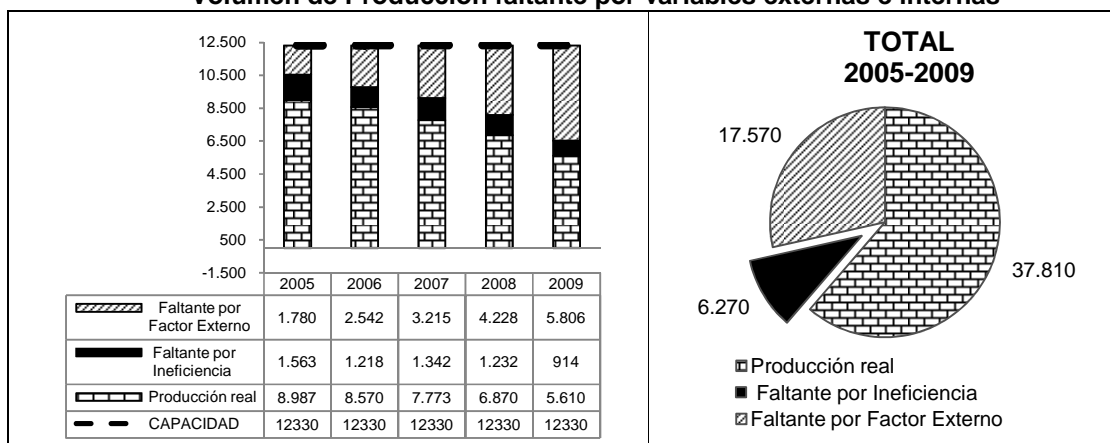
Un valor superior a uno indica una sobreutilización de insumos por ejemplo ORINOCO IRON muestra un valor de sobreutilización de 1,289 (patrón – 1,289 = – 0,289), es decir un 28,9% de sobreutilización de recursos lo cual fue innecesario. Un valor por debajo de uno significa un desaprovechamiento de la cantidad usada,

por ejemplo TERNIUM II 0,970 (patrón – 0,970 = 0,030) es decir un 3% que no se convirtió en producto.

Todos estos comportamientos muestran que la eficiencia en la utilización de los insumos es de 98,4% para el sector. La empresa más eficiente es COMSIGUA con una desviación de 2% por sobreutilización y la empresa menos eficiente es ORINOCO IRON con una desviación de 28,9%, también por sobreutilización de sus insumos.

La capacidad utilizada del sector para el lapso de estudio muestra promedio geométrico 52%, esto indica que se desaprovecha en un 48% la capacidad instalada del sector. Siendo la empresa TERNIUM I la que presenta el mayor porcentaje de utilización de su capacidad con un 87,4% y la de menor porcentaje es la empresa MATESI con un 17,2%. Todas estas condiciones se reflejan en el siguiente gráfico.

Gráfico 6
Volumen de Producción faltante por variables externas e internas



Fuente: Elaboración propia, (2012)

Estas condiciones arrojaron una pérdida total de 6.270 miles de toneladas en el lapso 2005-2009.

3.2 Análisis de la Productividad

Como el patrón de carga no varía durante el lapso de estudio el cambio técnico será igual a uno (1), por lo tanto la productividad se explicaría por la correcta gerencia de la relación insumos–productos.

Tabla IX
Índice Malmquist Orientado a insumos empresa TERNIUM SIDOR I

| VARIABLE | 2005-2006 | 2006-2007 | 2007-2008 | 2008-2009 |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| MINERAL | 0,979 | 0,980 | 0,988 | 0,975 |
| GAS NATURAL | 1,120 | 1,009 | 1,005 | 0,850 |
| ELECTRICIDAD | 0,896 | 0,992 | 0,980 | 1,265 |
| AGUA | 0,989 | 1,088 | 0,850 | 1,116 |
| QUÍMICOS | 1,006 | 0,958 | 1,029 | 1,056 |
| MANO DE OBRA | 0,954 | 1,030 | 0,970 | 1,053 |
| MANTENIMIENTO | 0,751 | 1,400 | 0,812 | 1,165 |
| EFICIENCIA PROMEDIO | 0,958 | 1,056 | 0,943 | 1,055 |

Fuente: Elaboración propia, (2012)

Como se muestra en la tabla anterior, la empresa TERNIUM I en el renglón mineral presenta una mejora desde el periodo 2005 hasta 2008 de 0,979 hasta 0,988 en su Índice de Malmquist; sin embargo, al ser valores menores a uno significa que se debe realizar un proceso gerencial para mejorar los niveles de productividad de este renglón.

A fin de realizar el análisis global de los insumos se utilizó la como medida de referencia la eficiencia promedio de todos los insumos. De igual manera se realizó con las demás empresas, obteniéndose como resumen la siguiente tabla.

Tabla X
Índice Malmquist orientado insumo

| EMPRESA | 2005-2006 | 2006-2007 | 2007-2008 | 2008-2009 | MEDIA GEOMÉTRICA |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|
| TERNIUM I | 0,958 | 1,056 | 0,943 | 1,055 | 1,001 |
| TERNIUM II | 0,975 | 1,022 | 0,978 | 1,009 | 0,996 |
| OPCO | 1,046 | 0,918 | 1,006 | 1,034 | 1,000 |
| VENPRECAR | 0,943 | 0,949 | 1,062 | 1,022 | 0,993 |
| COMSIGUA | 0,953 | 0,990 | 0,974 | 1,019 | 0,983 |
| SIDOR II | 1,035 | 0,972 | 1,042 | 1,114 | 1,040 |
| MATESI | 1,019 | 0,949 | 1,245 | 0,691 | 0,955 |
| ORINOCO IRON | 1,057 | 0,910 | 1,005 | 0,983 | 0,987 |

Fuente: Elaboración propia, (2012)

Como se puede observar cada empresa ha tenido ganancias y pérdidas de productividad durante el lapso de estudio. Una medida que permite cuantificar la variación total de estas ganancias y pérdidas es la media geométrica, en la tabla anterior se observa que las empresas que obtienen ganancia en la productividad a

través de la gestión eficiente de sus insumos son SIDOR II y TERNIUM I; OPCO mantiene su posición al obtener un valor igual a la unidad (1). Las empresas que pierden productividad de insumos, en forma jerárquica son: TERNIUM II, VENPRECAR, ORINOCO IRON, COMSIGUA Y MATESI.

Partiendo de las mismas consideraciones para el Índice de Malmquist orientado a insumos, se obtienen los valores de Índice de Malmquist orientado a los productos, ver tabla siguiente.

Tabla XI
Índice Malmquist orientado a la producción

| EMPRESA | 2005-2006 | 2006-2007 | 2007-2008 | 2008-2009 | MEDIA GEOMÉTRICA |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|
| TERNIUM I | 0,950 | 0,975 | 0,815 | 1,189 | 0,973 |
| TERNIUM II | 0,940 | 1,110 | 0,949 | 0,753 | 0,929 |
| OPCO | 0,970 | 0,811 | 1,137 | 0,911 | 0,950 |
| VENPRECAR | 0,946 | 0,764 | 0,812 | 1,131 | 0,903 |
| COMSIGUA | 0,933 | 0,735 | 0,643 | 1,898 | 0,956 |
| SIDOR II | 1,380 | 1,007 | 0,813 | 0,256 | 0,733 |
| MATESI | 0,778 | 0,559 | 0,356 | 0,172 | 0,404 |
| ORINOCO IRON | 0,990 | 0,916 | 1,031 | 0,409 | 0,787 |

Fuente: Elaboración propia, (2012)

Analizando el lapso de estudio 2005-2009 se observa que todas las empresas presentan una disminución en la productividad de producto, todas presentan valores menores a la unidad en la media geométrica. Las empresas que presentan menor productividad son: ORINOCO IRON (0,787), SIDOR II (0,733) y en último lugar MATESI (0,404).

Estos valores indican que estas empresas están desaprovechando su capacidad instalada de producción.

A fin de tener una idea global del comportamiento de las productividades de insumos y producto se procede a medir el índice de Malmquist de Hicks-Moorsteen. Al estar basado en los índices Malmquist presentados anteriormente, este índice también toma en cuenta el patrón de carga de cada una de las empresas

La productividad medida a través de los índices de Malmquist recoge la información de la eficiencia y la productividad de cada empresa, como se muestra en la tabla siguiente cada empresa ha obtenido mejoras y desmejoras en su productividad.

Tabla XII
Índice de Malmquist de Hicks-Moorsteen

| EMPRESA | 2005-2006 | 2006-2007 | 2007-2008 | 2008-2009 | MEDIA GEOMÉTRICA |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|
| TERNIUM I | 0,993 | 0,924 | 0,864 | 1,127 | 0,972 |
| TERNIUM II | 0,964 | 1,087 | 0,971 | 0,746 | 0,933 |
| OPCO | 0,927 | 0,884 | 1,129 | 0,881 | 0,950 |
| VENPRECAR | 1,003 | 0,805 | 0,765 | 1,108 | 0,910 |
| COMSIGUA | 0,980 | 0,742 | 0,660 | 1,864 | 0,972 |
| SIDOR II | 1,333 | 1,035 | 0,780 | 0,230 | 0,705 |
| MATESI | 0,763 | 0,589 | 0,286 | 0,249 | 0,423 |
| ORINOCO IRON | 0,937 | 1,006 | 1,026 | 0,416 | 0,797 |
| MEDIA GEOMÉTRICA | 0,977 | 0,869 | 0,758 | 0,661 | 0,808 |

Fuente: Elaboración propia, (2012)

Por ejemplo, para la empresa TERNIUM I en el periodo 2005-2006 se observa un valor inferior a la unidad, esto indica una disminución de la productividad total debido a dos razones la producción del año 2006 fue menor a la del año 2005 (Índice Malmquist orientado a la producción = 0,950) y el uso de los insumos aumentó en el mismo lapso (Índice Malmquist orientado a los insumos = 0,958).

Para el periodo 2008-2009, la empresa tiene un aumento de productividad total del 12,7 % ($1,127 - 1$), al analizar sus índices de Malmquist orientado a producto e insumos, se observa que ambos presentan valores superiores a la unidad lo que se traduce como un aumento de la producción en el lapso 2008-2009 y una mejora en la utilización de los insumos en el mismo lapso.

Al analizar la media geométrica para TERNIUM I, cuyo valor es 0,972, se constata que las variaciones en su productividad tienen como resultado una disminución total. Esta disminución representa una pérdida de 2,8% ($1 - 0,972 = 0,028$)

Esta disminución la muestran todas las empresas, que jerárquicamente es: TERNIUM I (0,972); COMSIGUA (0,972); OPCO (0,950); TERNIUM II (0,933); VENPRECAR (0,910); ORINOCO IRON (0,797); SIDOR II (0,705) y MATESI (0,423). Y la productividad total para el sector es de 80,8%.

El periodo estudiado muestra datos faltantes para el año 2010 y 2011, ello obedece que en estos años la producción ha sido atípica por falta generalizada de electricidad y dificultades para el acceso a mineral, sin embargo se realizó una proyección de estos datos faltantes.

El método de suavización exponencial doble permite el uso de pocos datos y además pronostica m periodos. Este análisis se le realizó al promedio

geométrico del sector por años con un coeficiente de suavización $\alpha=0,7$ se obtuvieron los resultados siguientes:

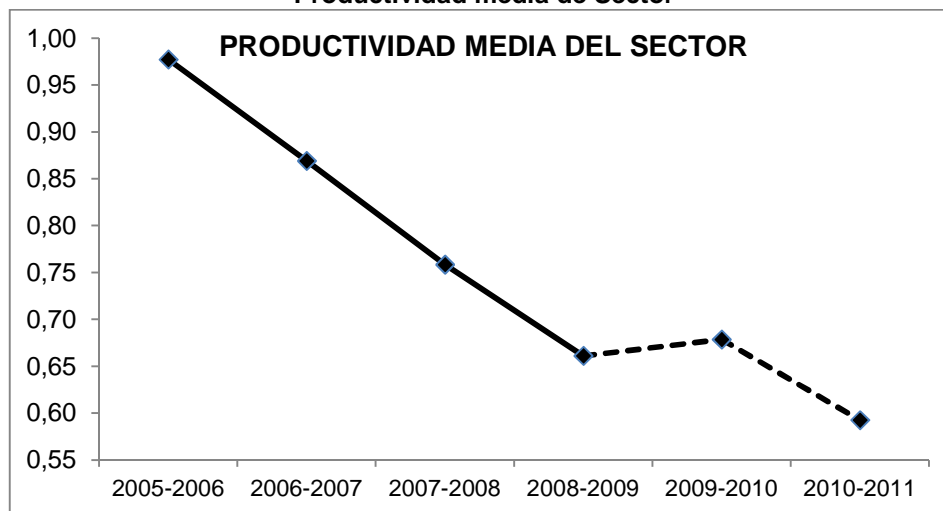
Tabla XIII
Alisamiento exponencial doble promedio del sector

| Periodos Pronosticados (m) | Periodo | Valores observados Productividad Promedio del Sector (X_t) | Alisamiento Exponencial Simple (S_{t+1}) | Alisamiento Exponencial Doble (S'_{t+1}) | a | b | Pronóstico (S_{t+m}) | Error absoluto |
|--|-----------|--|--|--|--------|---------|--------------------------|----------------|
| | 2005-2006 | 0,9772 | * | * | * | * | * | * |
| | 2006-2007 | 0,8690 | 0,9772 | 0,9772 | * | * | * | * |
| | 2007-2008 | 0,7584 | 0,9015 | 0,9242 | 0,8787 | -0,0530 | 0,8258 | 0,0673 |
| | 2008-2009 | 0,6610 | 0,8013 | 0,8382 | 0,7645 | -0,0860 | 0,6785 | 0,0175 |
| 1 | 2009-2010 | | | | | | 0,6785 | |
| 2 | 2010-2011 | | | | | | 0,5925 | |
| Valor medio del error absoluto | | | | | | | | 0,042 |
| Desviación estándar del error absoluto | | | | | | | | 0,035 |

Fuente: Elaboración propia, (2012)

El pronóstico presenta los resultados de 0,6785 y 0,5925 para los periodos 2009-2010 y 2010-2011, respectivamente. (Ver gráfico 7).

Gráfico 7
Productividad media de Sector



Fuente: Elaboración propia, (2012)

El gráfico 7, muestra una tendencia a la disminución continua de la productividad, lo que induce a que es necesaria la intervención de estos procesos desde el punto de vista de la productividad.

5.- CONCLUSIONES

Los procesos de Reducción Directa de Hierro de la Región Guayana registran una pérdida de 6.270 miles de toneladas de producción. Es así como entre los años 2005 al 2009 las empresas dejaron de producir 1563; 1218; 1342; 1232 y 914 miles de toneladas por año respectivamente. Las causas de la pérdida de producción obedece: uno, falta de producción dada la cantidad de insumos ofertados; y dos, dada la producción lograda la no utilización adecuada de los insumos ofertados.

Esta falta de producción de las empresas es causada por una eficiencia promedio de utilización de insumos, la cual dada su desviación respecto a uno es por sobre utilización es: - 0,2% (COMSIGUA); - 3,6% (MATESI); - 28,9%(ORINOCO IRON); y por subutilización de insumos 3% (TERNIUM II); 3,7% (OPCO); 6,9% (VENPRECAR); 9,4% (TERNIUM I); 16,4% (SIDOR II); lo que representa una desviación de 1,6% (o eficiencia de 0,984) para el sector. Esto indica que la empresa más eficiente en la utilización de sus insumos es COMSIGUA, la cual posee una desviación de 0,2% por sobreutilización de insumos, y la empresa menos eficiente es ORINOCO IRON con una desviación de 28,9%, también por sobreutilización de sus insumos.

Los insumos subutilizados en todos los procesos fueron el MINERAL, GAS NATURAL, ELECTRICIDAD y MANTENIMIENTO con ineficiencias promedio es de 15,1%, 17,9%, 33,4% y 6,6% respectivamente; y se sobre utilizaron los insumos AGUA, QUÍMICOS Y MANO DE OBRA en un 30%, 3,3% y 12,8%, respectivamente. Lo que conlleva a que la gerencia de estas empresas debe establecer estrategias para lograr la meta de producción, es decir, alcanzar altos niveles de productividad mediante el patrón de carga.

La productividad, en la presente investigación, estuvo basada en las variaciones de eficiencia.

Las empresas que incrementaron productividad a través de la mejora de su gestión de eficiencia de insumos son SIDOR II (1,040) y TERNIUM I (1,001); OPCO mantiene su posición al obtener un valor igual a la unidad (1) y las empresas que pierden productividad de insumos, en forma jerárquica son: TERNIUM II (0,996), VENPRECAR (0,993), ORINOCO IRON (0,987), COMSIGUA (0,983) Y MATESI (0,955). En la gestión de la eficiencia de producto no muestra ganancia de productividad, el comportamiento obtenido en forma jerárquica es el siguiente: TERNIUM I (0,973), COMSIGUA (0,956), OPCO (0,95), TERNIUM II (0,929), VENPRECAR (0,903), ORINOCO IRON (0,787), SIDOR II (0,733), MATESI (0,404).

La relación Producto/Insumo estimado por el índice de Malmquist de Hicks-Moorsteen muestra desmejoras de la productividad total en todas las empresas, todos los resultados son menores que uno (1) siendo su comportamiento en orden

jerárquico el siguiente: TERNIUM I (0,972); COMSIGUA (0,972); OPCO (0,950); TERNIUM II (0,933); VENPRECAR (0,910); ORINOCO IRON (0,797); SIDOR II (0,705) y MATESI (0,423). Esto muestra que en el lapso de estudio 2005-2009 las cantidades de producción disminuyeron y la utilización de insumos aumentó.

La productividad total del sector es de 80,8% para el lapso 2005-2009 y la proyección de esta para los periodos 2009-2010 y 2010-2011 muestra que la tendencia del sector es a disminución de la productividad total, por lo cual se requiere mejorar la eficiencia y productividad de forma que se cumplan los patrones de carga y la utilización de la capacidad instalada.

6.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Academia Nacional de Ingeniería y el Habitat. (2009). La industria del Gas Natural en Venezuela. Caracas.
- Arimón, G., & Mariella, T. (1997). *Productividad total de los factores: revisión metodológica y una aplicación al sector manufacturero uruguayo*. CEPAL. Montevideo: CEPAL Publicaciones. Obtenido de <http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/0/13280/LC-R129.pdf>
- Beltrán Ballesteros, V. A. (2004). *Conjunto de Productividad para problemas de Análisis Envolvente de Datos*. Tesis de Maestría, UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO - RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ.
- Caves, D.W., Christensen, L.R. Y Diewert, W.E. (1982): "The economic theory of index number and the measurement of input, output, and productivity", *Econometrica*, Vol. 50, Nº 6, págs. 1393-1414
- Estanga, L. (2007). Competitividad de los Procesos Químicos en El Sector Industrial. Trabajo de Ascenso no publicado, Universidad Nacional Experimental Politécnica "Antonio José de Sucre" (UNEXPO), Puerto Ordaz -Venezuela
- Färe, R., Grosskopf, S., & Margaritis, D. (2008). Efficiency and Productivity: Malmquist and more. En H. Fried, K. Lovell, & S. Schmidt, *The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth* (págs. 522-620). New York: Oxford University Press.
- Färe, R, & Lovell, K (1978). Measuring the technical efficiency of production, *Journal of Economic Theory*, Volume 19, Issue 1, pp 150-162, ISSN 0022-0531, 10.1016/0022-0531(78)90060-1. Recuperado el 30 de Enero de 2012 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022053178900601>
- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, 253-290.

- Førsund, F., & Sarafoglou, N. (2004). *On The Origins of Data Envelopment Analysis*. University of Oslo, Department of Economics. Department of Economics University of Oslo.
- Hernández Sancho, F., & Soler i Marco, V. (2002). EFICIENCIA PRODUCTIVA Y EXTERNALIDADES TERRITORIALES EN LA PYME INDUSTRIAL: UNA APLICACIÓN AL CASO VALENCIANO. *V Encuentro Economía Aplicada*. Oviedo.
- Mejía, E. (2005). *Metodología de la Investigación científica* (1ª ed.). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Mercado Ramírez, E. (1998). *Productividad base de la competitividad*. México, D.F: Limusa.
- Mldrex Technologies, Inc. (2010). MIDREX: World direct reduction statistics.
- Ministerio de Planificación y Desarrollo. (01 de Diciembre de 2001). *Plan Nacional de Desarrollo Regional 2001-2007*. Recuperado el 10 de Julio de 2011, de <http://www.lib.utexas.edu/benson/lagovdocs/venezuela/federal/planificacion/pndr.pdf>
- Sanhueza Hormazábal, R. (2003). *Fronteras de eficiencia, metodología para la determinación del valor agregado de distribución*. Tesis Doctoral, Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería.
- Sellers, R., Nicolau, J. L., & Más, F. (Julio de 2002). *Eficiencia en la distribución: una aplicación en el sector de agencias de viajes*. (I. V. Económicas, Ed.) Recuperado el 30 de Enero de 2012, de <http://www.ivie.es/downloads/docs/02/wpec-17.pdf>
- Tamayo, M. (2004). *El proceso de investigación científica: Incluye evaluación y administración de proyectos de investigación*. México: LIMUSA.