



**REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE GUAYANA  
VICERRECTORADO ACADEMICO  
COORDINACIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO**

**PRODUCTIVIDAD DE LOS PROCESOS DE REDUCCIÓN  
DIRECTA DE LA REGIÓN GUAYANA**

Trabajo de Grado para optar al  
grado de Magíster en el Programa  
de Gerencia Mención Operaciones  
y Producción

Autor: Ing. Jairo José Pico Ferrer.

Puerto Ordaz, Diciembre de 2008



**REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE GUAYANA  
VICERRECTORADO ACADEMICO  
COORDINACIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO**

**PRODUCTIVIDAD DE LOS PROCESOS DE REDUCCIÓN  
DIRECTA DE LA REGIÓN GUAYANA**

Trabajo de Grado para optar al  
grado de Magíster en el Programa  
de Gerencia Mención Operaciones  
y Producción

Autor: Ing. Jairo José Pico Ferrer.  
Tutor: Dr. Miguel Angel Nuñez B

Puerto Ordaz, Diciembre de 2008

## **APROBACION DEL TUTOR**

En mi carácter de Tutor de la Tesis presentada por el ciudadano Jairo José Pico Ferrer, C.I. 14.545.317, para optar al Grado de Magíster Scientiarum, Mención en Gerencia de Operación y Producción, considero que dicha Tesis reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometida a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En Ciudad Guayana, a los 07 días del mes diciembre de 2008.

Dr. Ing. Miguel Angel Núñez Bottini

CI: 3.946.426





**REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE GUAYANA  
VICERRECTORADO ACADÉMICO  
COORDINACIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO**

**PRODUCTIVIDAD DE LOS PROCESOS DE REDUCCIÓN  
DIRECTA DE LA REGIÓN GUAYANA**

Trabajo de Grado de Maestría aprobado, en nombre de la Universidad Nacional Experimental de Guayana, por el siguiente Jurado, en la Ciudad Guayana, a los 25 días del mes de noviembre de 2008.

---

Mgs. Nuncia Ferrara  
C.I.: 4.502.477

---

Mgs. Jorge Contreras  
C.I.: 4.208.138

---

Mgs. Milagros Cova  
C.I.: 4.616.030

## ÍNDICE GENERAL

		Pág.
<b>LISTA DE FIGURAS</b> _____		X
<b>LISTA DE CUADROS</b> _____		XI
<b>INTRODUCCIÓN</b> _____		1
<b>CAPITULO</b>		
<b>I</b>	<b>EL PROBLEMA</b> _____	3
1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA _____	3
2	DEFINICIÓN DEL PROBLEMA _____	4
3	DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA _____	6
4	OBJETIVOS _____	6
4.1	OBJETIVO GENERAL _____	6
4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS _____	6
5	JUSTIFICACIÓN O IMPORTANCIA _____	7
<b>II</b>	<b>MARCO TEORICO</b>	9
1	LA EMPRESA _____	10
2	ORGANIZACIONES SOCIALES DE PRODUCCIÓN (OSP) _____	11
3	PRODUCCIÓN _____	12
4	FACTORES DE PRODUCCIÓN _____	13
5	EFICIENCIA, EFICACIA, EFECTIVIDAD _____	14
6	EFICIENCIA _____	15

6.1	EFICIENCIA ECONÓMICA _____	17
6.2	EFICIENCIA TÉCNICA _____	17
6.3	EFICIENCIA ASIGNATIVA _____	19
7	MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA CON MODELO DE FRONTERA _____	20
7.1	TIPOS DEL MODELO DE FRONTERA _____	23
8	CAMBIO TÉCNICO _____	28
9	PRODUCTIVIDAD _____	29
10	MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD _____	33
11	EJEMPLO DE MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD OSP TERNIUM SIDOR _____	38
11.1	BALANCE METÁLICO _____	39
11.2	CONSUMOS _____	40
11.3	ESTRUCTURA DE TIEMPOS _____	40
11.4	INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD _____	42
12	CONTEXTO: REGIÓN GUAYANA _____	43
12.1	ACTIVIDADES ECONÓMICAS _____	45
13	LA CADENA DEL ACERO _____	45
14	PROCESOS DE REDUCCIÓN DIRECTA _____	48
14.1	PROCESO MIDREX _____	49
14.2	PROCESO HYL _____	52
14.3	PROCESO FINMET _____	53
15	PROPUESTA DEL AUTOR _____	55

<b>III</b>	<b>MARCO METODOLOGICO</b>	<b>61</b>
1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	61
2	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	62
3	POBLACIÓN	62
4	LA MUESTRA	63
5	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	65
6	ANÁLISIS DE DATOS	65
7	TÉCNICAS PARA LA FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO	66
<b>IV</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>68</b>
1	CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE REDUCCIÓN DIRECTA DE HIERRO, PRESENTES EN LA ZONA DE GUAYANA.	68
2	ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA.	72
3	ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD.	82
3.1	CAMBIO DE EFICIENCIA	82
3.2	CAMBIO TÉCNICO	89
3.3	ÍNDICE DE MALMQUIST	91
4	ESTRATEGIAS DE MEJORA	92
4.1	ESTRATEGIA 1: MEJORA DE ÍNDICES	92
4.2	ESTRATEGIA 2: COMPARACIÓN CON LA MEJOR OSP ANALIZADA O BENCHMARKING	95
5	VALIDACION	98



5.1	ESTRATEGIA 1: MEJORA DE LOS ÍNDICES DE MALMQUIST _____	98
5.2	ESTRATEGIA 2: COMPARACIÓN CON LA MEJOR OSP ANALIZADA O BENCHMARKING. _____	100
	CONCLUSIONES _____	101
	RECOMENDACIONES _____	104
	BIBLIOGRAFÍA _____	105
	ANEXO A _____	122
	ANEXO B _____	123
	ANEXO C _____	126

## LISTA DE FIGURAS

<i>Ilustración</i>	<i>Descripción</i>	<i>Pág.</i>
1	<i>Crecimiento de OSP.</i>	11
2	<i>Evolución de PYME. Crecimiento interior</i>	12
3	<i>Evolución de PYME. Crecimiento exterior</i>	12
4	<i>Estructura y lógica de una operación.</i>	15
5	<i>Descomposición de la Eficiencia Económica</i>	16
6	<i>Frontera de función de producción lineal a trozos.</i>	17
7	<i>Medida de la eficiencia técnica.</i>	18
8	<i>Medida de la eficiencia técnica y asignativa.</i>	19
9	<i>Espacio de análisis de la técnica de frontera</i>	21
10	<i>Región factible de producción</i>	22
11	<i>Conjunto de posibilidades de producción-T</i>	22
12	<i>Productividad de insumo y exumo</i>	23
13	<i>Balance metálico de una línea de producción</i>	39
14	<i>Estructura de Tiempos de una línea de producción.</i>	41
15	<i>Mapa de la Región de Guayana.</i>	44
16	<i>Cadena del Acero</i>	47
17	<i>Representación esquemática de los principales reactores utilizados por los procesos de reducción directa.</i>	49
18	<i>Esquema general de Midrex.</i>	50
19	<i>Esquema general del Proceso HyL.</i>	52
20	<i>Esquema general del proceso Finmet.</i>	54
21	<i>Modelo Topológico de Eficiencia, Cambio Técnico, Productividad y Competitividad.</i>	59
22	<i>Caracterización de los procesos de reducción.</i>	68
23	<i>Modelo CCR del año 2000.</i>	74
24	<i>Modelo FG del año 2000.</i>	74
25	<i>Modelo ST del año 2000.</i>	75
26	<i>Modelo BCC del año 2000.</i>	76
27	<i>Modelo CCR y BCC para el año 2000</i>	77
28	<i>Descomposición de la Eficiencia Técnica.</i>	78
29	<i>Tendencia de la Eficiencia Económica durante el lapso 2000 - 2006</i>	81
30	<i>Cambios de Eficiencias</i>	83
31	<i>Cambio de Eficiencia Pura OPCO.</i>	84
32	<i>Cambio de Eficiencia de Escala OSP OPCO</i>	86
33	<i>Cambio de Eficiencia Técnica año 2000– 2001</i>	87
34	<i>Cambio de Eficiencia Técnica año 2004– 2005</i>	88
35	<i>Cambio Técnico TERNIUM SIDOR II</i>	90
36	<i>Índice de Malmquist periodo de estudio.</i>	92
37	<i>Comparación Modelo CCR</i>	94
38	<i>Comparación Modelo CCR OPCO.</i>	95
39	<i>Optimación del Beneficio Ternium SIDOR II.</i>	96

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Pág.</b>
1	<i>Definiciones de eficiencia, eficacia y efectividad</i> _____	14
2	<i>Insumos y exumos en el modelo de frontera</i> _____	21
3	<i>Regiones de posibilidades de producción que definen los cuatro tipos de modelos según su relación de convexidad</i> _____	27
4	<i>Rendimientos en cada modelo DEA</i> _____	28
5	<i>Conceptos de Productividad</i> _____	30
6	<i>Métodos de medición de productividad</i> _____	33
7	<i>Niveles y caracteres</i> _____	57
8	<i>Distribución de Empresas y módulos de reducción directa en la región de Guayana</i> _____	63
9	<i>Muestra seleccionada</i> _____	64
10	<i>Patrones de cargas de diseño por proceso</i> _____	69
11	<i>Millones de toneladas de Producción por año</i> _____	70
12	<i>Precios y costos unitarios por tonelada producida</i> _____	71
13	<i>Egresos e Ingresos anual por empresa</i> _____	71
14	<i>Índices de Eficiencia Técnica orientada a los Insumos. Año 2000</i> _____	72
15	<i>Número de veces en la frontera eficiente</i> _____	73
16	<i>Índices de Eficiencias año 2000</i> _____	78
17	<i>Índices de Eficiencia económica año 2000</i> _____	79
18	<i>Índices de Eficiencia Económica</i> _____	80
19	<i>Cambio de Eficiencia Pura para el lapso 2000 - 2006</i> _____	83
20	<i>Cambio de Eficiencia de Escala para el lapso 2000 - 2006</i> _____	85
21	<i>Cambio de Eficiencia para el lapso 2000 al 2006</i> _____	86
22	<i>Cambio de Eficiencia Técnica Total por proceso y OSP</i> _____	88
23	<i>Cambio Técnico para el lapso 2000 al 2006</i> _____	89
24	<i>Índice de Malmquist para el lapso de estudio</i> _____	91
25	<i>Incremento del Cambio Técnico periodo 2000 – 2006</i> _____	93
26	<i>Insumos y Exumos Ternium SIDOR II</i> _____	96
27	<i>Reducción de Insumo</i> _____	97
28	<i>Producción por OSP</i> _____	99
29	<i>Consumos Máximos y Mínimos de las mejores OSP de cada proceso</i> _____	100



**REPUBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA  
UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL DE GUAYANA  
VICERRECTORADO ACADEMICO  
COORDINACIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN Y POSTGRADO**

**PRODUCTIVIDAD DE LOS PROCESOS DE REDUCCIÓN DIRECTA DE LA  
REGIÓN GUAYANA**

Autor: Ing. Jairo José Pico Ferrer

Tutor: Dr. Ing. Miguel Ángel Núñez

Fecha: Junio de 2008

**RESUMEN**

Este trabajo es el resultado de una investigación científica que tiene como tema objeto de estudio la productividad de los Procesos de Reducción Directa de Hierro de la Industria Siderúrgica Venezolana (MIDREX, HyL y FINMET). En esta industria se ha manifestado una tendencia a la disminución de la productividad, siendo esto una situación problemática. Como parte de la misma, se destaca el problema de que la productividad se gerencia de forma que no se integran los principales factores que inciden sobre la misma, y no se establecen las funciones de su medición, evaluación integralmente. Esto pone en riesgo su competitividad y califica como un problema científico, porque la forma adecuada de abordarlo es mediante la aplicación rigurosa de apropiados métodos y técnicas de la investigación de productividad.

La hipótesis directa fue la posibilidad de diseñar un modelo que permita medir y evaluar la Eficiencia, el Cambio Técnico, la Productividad y Competitividad (MECPC) integrando los factores tecnológicos.

Se propone un resultado concreto con nuevas cualidades, alcanzado mediante la aplicación del Análisis Envolvente de Datos (DEA). Los aportes esenciales de la investigación son el propio MECPC, y sus estrategias para la toma de decisiones en materia de productividad, que consiste en la medición y evaluación de la Eficiencia y Cambio Técnico de los Procesos de Reducción Directa de Hierro: MIDREX, HyL y FINMET; de las diferentes plantas radicadas en Guayana - Venezuela así como la obtención de los Cambios de Eficiencia y Cambio Técnico de estos procesos, y consecuentemente con el Índice de Malmquist se deriva la Productividad de los mismos.

Esta aplicación le permitió a las OSP de Guayana contribuir a la toma de decisiones de sus procesos en aras de reorientar las inversiones basándose en la productividad.

**Palabras claves:** Análisis Envolvente de Datos, Eficiencia, Cambio Técnico, Productividad, Malmquist.

## INTRODUCCIÓN

El concepto de productividad, desde que el economista Francois Quesnay acuñó el término en el año 1766 (Sumanth, 1989), ha sido una preocupación para la gerencia de las empresas industriales. Hoy la moderna gerencia Venezolana y en particular la radicada en Ciudad Guayana, muestra la necesidad de gerenciar la productividad (Ministerio de Industrias Básicas y Minería, 2002) de allí la necesidad optimarla, considerando correctamente que esta constituye un factor clave del éxito.

Sin embargo, en general se han omitido algunas consideraciones al respecto; la optimación de la productividad es un proceso que considera una multitud de interacciones de las diversas funciones operacionales, por lo cual es necesario tratar a la productividad con rigurosidad científica y técnica, situación que en el sector de la PYME de Guayana no se realiza apropiadamente.

La Industria Siderúrgica, para mantener una determinada posición en el mercado de los productos de acero que elabora y comercializa, y más aun, para mantener y elevar su competitividad identifica como esencial, el estudio de su productividad y el consecuente desarrollo de un mejor modo de gerenciarla. Como resultado de estas consideraciones, se ha generado la necesidad de contar con una herramienta de análisis de los resultados de los procesos de esta industria desde el punto de vista de la productividad. Por esto, el tema objeto de estudio en este trabajo es la productividad de los procesos siderúrgicos de Guayana, tomando como caso concreto de estudio, los procesos de Reducción Directa de Hierro (RDH).

El comportamiento optimizador es el cimiento de la acción gerencial. Así, la industria siderúrgica que logran una alta calidad de vida de sus empleados y clientes, maximizan sus beneficios y mejoran sus procesos, se considera productiva. Sin embargo, esto es posible si se toman las tres decisiones siguientes: a) De entre todos los niveles de producción posibles, debe elegir la cantidad de exumos que maximice el beneficio; b) De entre todas las combinaciones de insumos que sirven para producir el nivel de exumos anterior, la empresa debe elegir aquella combinación de insumos

que minimiza el costo de producción; y c) La empresa debe producir el exumo elegido con la cantidad mínima de insumos posible o lo que es lo mismo, no debe malgastar recursos.

Estas decisiones buscan aumentar la productividad apoyándose en la optimización de la relación insumos – exumos de todos y cada uno de los procesos involucrados. Analizar esta relación implica estudiar la eficiencia y el Cambio Técnico, y para ello es necesario, profundizar sobre las diferentes acepciones de eficiencia: técnica, pura, de escala, asignativa, económica; así como también el estudio del Cambio de Eficiencia y Cambio Técnico. Este enfoque permitirá el uso de la programación lineal, en particular el Análisis Envolvente de Datos (DEA) como herramienta de análisis cuantitativo, ya que mediante esta técnica será posible medir y evaluar los diferentes valores logrados en materia de productividad por cada uno de los procesos bajo estudio, y de esta manera poder optimizarlos.

Este estudio es una investigación aplicada que permitió analizar comportamiento de la eficiencia y la productividad de cada uno de los procesos bajo estudio. Los pasos a seguir para este estudio fueron: a) La caracterización de los procesos de reducción directa de hierro, b) Selección de los procesos mas representativos c) Análisis de los indicadores de Eficiencia Técnica, Pura, de Escala, Asignativa y Económica; Cambio Técnico y Productividad a través del Análisis Envolvente de Datos y el Índice de Malmquist.

El informe está estructurado en los siguientes capítulos. En el capítulo 1: Se expone el planteamiento del problema, los objetivos, la justificación e importancia y la delimitación del problema objeto de investigación. En el capítulo 2: Se detallan los aspectos del marco referencial y teórico. En el capítulo 3: Se presenta el diseño metodológico a seguir. En el capítulo 4: Análisis de resultados. Y finalmente, se presentan las conclusiones, recomendaciones, así como también, las referencias bibliográficas, apéndices y anexos.

## **CAPITULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El proceso de industrialización de Venezuela a partir de los años sesenta siguió los lineamientos de una política de sustitución de importaciones (Jatar (s.f) y Melcher 1992). Entre sus características principales se encuentran: una relativa disponibilidad de recursos financieros, un crecimiento rápido, altamente diversificado y con orientación hacia el mercado interno, alto nivel de proteccionismo estatal y escasa competencia interna.

Esta situación permitió a las empresas lograr un crecimiento rentable sin mayores restricciones en cuanto a la manera de mejorar el uso de sus recursos, de forma tal que, para la gerencia, no fue de vital importancia la búsqueda de una gestión realmente productiva.

Durante los últimos años, la mentalidad gerencial y empresarial venezolana ha ido cambiando, y se ha empezado a reconocer la importancia que reviste para la empresa un desempeño productivo, tal como lo expresa el Ministro de Industrias Básicas y Minería (MIBAM) Víctor Álvarez (artículo publicado por Arias, 2006). Sin embargo, si bien hay acuerdo en cuáles son los beneficios asociados con la productividad, hay diferentes maneras de entenderla.

A nivel macroeconómico, consensualmente se dice que la productividad, es la relación existente entre el valor de la producción de los bienes y servicios del país y el valor de los recursos empleados en la consecución de esa producción.

A nivel microeconómico, existen diversas definiciones de productividad, con variaciones en cuanto a su significado. Así, cuando alguna de estas definiciones es

usada lleva implícita una forma de medirla y evaluarla, lo cual nos permite realizar un análisis óptimo logrando una mejor forma de gerenciar.

Las investigaciones teóricas relacionadas con la medición y evaluación de la productividad en el ámbito de las industrias se encuentran en desarrollo, evidenciándose el comportamiento optimizador. Así, el motivo es que, bajo los supuestos habituales, las industrias maximizan el beneficio, por lo que son eficientes. Álvarez Pinilla (2001) explica que la optimización del beneficio exige que una empresa tome correctamente las tres decisiones siguientes: a) De entre todos los niveles de producción posibles, debe elegir el exumo que maximice el beneficio. b) De entre todas las combinaciones de insumos que sirven para producir el nivel de exumos anterior, la empresa debe elegir aquella combinación de insumos que minimiza el costo de producción. c) La empresa debe producir el exumo elegido con la cantidad mínima de insumos posible o, lo que es lo mismo, no debe malgastar recursos. Además de su relación con la productividad.

Estas decisiones requieren de un método que haga posible un análisis más preciso y con bajo requerimiento de datos.

## **2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

En la región de Guayana existen diversos Procesos de Reducción Directa, entre ellos se encuentran MIDREX, HyL, FINMET. La zona posee insumos tales como las minas de mineral de hierro en los cerros Bolívar, El Pao y San Isidro que contienen materias primas de alto tenor; EDELCA y PDVSA suministran energía eléctrica y de gas natural respectivamente, lo que transfiere ventajas competitivas a los procesos antes mencionados, ya que estos hacen uso de los insumos antes mencionados. Así mismo, la logística que se requiere para que estos procesos funcionen adecuadamente necesita que el manejo de estos insumos y sus costos, así como también los productos y sus precios sean un problema de Operación Industrial que la gerencia debe atender.

Además, Venezuela en general y Ciudad Guayana en particular, no escapan a la dinámica de la globalización y a la intervención del Poder Ejecutivo y Legislativo,



ya que la explotación del hierro y el acero constituyen una de las empresas básicas del Estado convirtiéndose esta industria en un factor importante tanto para el sector privado como el público, actores que influyen de una u otra manera en las operaciones de estos procesos.

El progreso tecnológico de los procesos siderúrgicos ha avanzado significativamente en las últimas décadas requiriéndose que las empresas de elaboración de hierro y acero deben adecuarse a estos cambios. Es por ello que se plantea como problema determinar cuales son los procesos de Reducción Directa más productivos que operan en Guayana.

Inferir sobre esta situación requiere realizar un análisis de la Eficiencia y el Cambio Técnico basándose en su medición y evaluación, y cuyo análisis permitirá inferir sobre la productividad. El análisis de la productividad con base a la eficiencia y el Cambio Técnico, requiere de métodos que permitan relacionar estos conceptos mediante algoritmos precisos.

Las múltiples variables que intervienen en estos análisis, así como, la necesidad del manejo de bases de datos, generan grandes volúmenes y diversidad de información así como su ordenamiento, requiriéndose de técnicas computacionales que faciliten esta tarea. Esto induce al uso del Análisis Envolvente de Datos y el Indicador de Malmquist.

El problema es que actualmente las empresas siderúrgicas de Ciudad Guayana basan su medición de productividad sobre indicadores que analizan su comportamiento parcial, obviando información sobre múltiples factores de la empresa que intervienen en la productividad y de otras empresas pertenecientes al mismo sector. Por lo cual se carece de un método que permita medir y evaluar la productividad considerando estos múltiples factores, que sea preciso, que requiera poca información y genere múltiples indicadores. Además que posibilite la comparación en el tiempo y con otras empresas.

### **3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA**

El estudio a realizar consiste en una investigación aplicada que permita medir y evaluar el comportamiento de la eficiencia y el Cambio Técnico de los procesos de Reducción Directa de Hierro presentes en la región de Guayana a objeto de determinar los procesos más productivos, y consecuentemente las empresas que los operan.

El alcance de esta investigación conlleva a estudiar la competitividad de las empresas bajo análisis, pero debido a la dificultad de la obtención de información la presente investigación abarcará el análisis de la productividad de las empresas bajo estudio.

Así mismo el método apropiado de medición y evaluación es el Análisis Envolvente de Datos (DEA) y el Indicador de Malmquist, ya que toman en cuenta la actuación de cada proceso tanto individualmente como grupal, y además, considera las variaciones de la Eficiencia y el Cambio Técnico en el tiempo.

### **4 OBJETIVOS**

#### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar la Eficiencia y el Cambio Técnico de los procesos de Reducción Directa de Hierro en la Región de Guayana, que permita la optimización de la Productividad de estos procesos.

#### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Caracterizar los procesos de Reducción Directa de Hierro, presente en la zona de Guayana.
2. Analizar la Productividad a través de la medición y evaluación de la Eficiencia y el Cambio Técnico basándose en los insumos y exumos de los procesos de Reducción Directa.
3. Proponer estrategias de optimización de la Productividad de los procesos de reducción directa presentes en Guayana, basados en los resultados de la medición y evaluación de la Eficiencia y el Cambio Técnico.

4. Validar las estrategias en los procesos estudiados.

## **5 JUSTIFICACIÓN O IMPORTANCIA**

Este estudio es de interés para la región de Guayana ya que permitirá determinar cuales de los procesos analizados presenta mayores ventajas y así estimular la inversión de nuevas plantas. Además de proponer un método para el análisis de la productividad de los procesos de Reducción Directa.

Los resultados de este estudio permitirán a la gerencia de estos procesos corregir desviaciones en su Eficiencia y Cambio técnico, ya que pueden ser utilizados para planificar, mejorar la actuación gerencial en materia de Productividad y en la elaboración de planes de producción, de reducción de costos y para el establecimiento de metas.

Actualmente las empresas muestran interés en la medición de la productividad. Entre las principales razones permite (Ruiz, Ceballos, González y Jiménez, s.f): a) Conocer los efectos de la globalización sobre la productividad en las empresas, b) Determinar la repercusión que algunas medidas de política económica, legislativa, sociales pueden tener sobre el nivel de eficiencia y productividad, c) Conocer cuál será el impacto del empleo de las nuevas tecnologías en el proceso de producción, y d) Analizar los efectos que sobre la productividad pueden tener los cambios en la organización, la cultura de la empresa y la gestión adecuada del recurso humano.

El uso de la técnica DEA tiene como principales aportes: a) Los requerimientos de información son mínimos, tanto en los insumos como exumos; b) Es conceptualmente fácil de entender; c) Su estructura matemática presenta un algoritmo eficiente de solución basado en la teoría de programación lineal; d) Permite la evaluación de múltiples factores de insumo y exumo de varias empresas; y, e) Genera gran cantidad de información sobre eficiencia técnica, pura, de escala, asignativa y económica tanto para insumo como exumo.

Utilizando el indicador de Malmquist junto con la técnica DEA, se genera información adicional que le permite hacer análisis ínter temporal sobre los Cambios de Eficiencia y el Cambio Técnico, lo cual es de importancia para eliminar el efecto de considerar que las empresas bajo análisis se encuentran en un mercado de competencia perfecta.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

El desarrollo de las naciones ha estado ligado a la evolución de sus industrias. En un principio la industria tenía un carácter artesanal. Hasta el siglo XVIII predominaban dos formas: una el taller artesanal, durante muchos siglos organizado en gremios, y segundo la industria domiciliaria, micro talleres controlados por comerciantes que suministraban materiales a trabajadores agrícolas, que así obtenían un complemento de renta.

A finales del siglo XVIII, y durante el siglo XIX, surge un movimiento conocido como revolución industrial, que consistió en cambiar el trabajo manual por maquinarias encargadas de realizar dicho trabajo. El inicio de este período lo marca el surgimiento de la máquina de vapor de James Watt, lo cual fue el inicio del proceso de mecanización de la industria textilera y la industria del acero.

Este salto tecnológico no sólo impactó en reducción de tiempos y costos de fabricación, sino también en un aumento de los ingresos ya que mediante las máquinas de transporte desarrolladas durante esta época fue posible colocar mayor cantidad de producto en el mercado.

Luego de la revolución industrial, la industria sigue evolucionando mediante la utilización de innovaciones tecnológicas, tales como la automatización de procesos, informática, robótica y nuevas formas de organización industrial para satisfacer las variaciones de demanda.

Esta evolución ha dado lugar a nuevos procedimientos de articulación de la actividad que dejan atrás los grandes asociaciones financieras de grandes industriales que tratan de monopolizar una determinada industria (trusts) para dar paso a redes interconectadas de pequeñas y medianas empresas (PYME) en distritos industriales o

Pequeñas Y Medianas Industrias, estas PYMI a su vez se ven en la necesidad de gestionar sus actividades con herramientas gerenciales que conduzcan a niveles cada vez mayores de productividad.

## 1 LA EMPRESA

Existen diversas concepciones de empresa. Entre ellas podemos encontrar:

1. Entidad integrada por el capital y el trabajo, como factores de la producción, y dedicada a actividades industriales, mercantiles o de prestación de servicios con fines lucrativos (Diccionario Real Academia Española, 2005)
2. Una empresa es un sistema que interacciona con su entorno materializando una idea, de forma planificada, dando satisfacción a unas demandas y deseos de clientes, a través de una actividad económica. (mi+d, 2006)
3. En términos estrictamente económicos, podríamos definir una empresa como una unidad económica que reúne una serie de factores de producción: recursos naturales, humanos, tecnológicos (o de capital) y financieros (que posibilitan la adquisición de los anteriores), y los utiliza para producir bienes y/o servicios, que vende –negocio- a otras empresas, a las familias o a las Administraciones públicas. (González Domínguez, 2000)

Todos los conceptos de empresa nombrados anteriormente, tienen ciertos elementos que se identifican como constantes, principalmente, la producción, el hombre y el dinero, Nuñez (2000).

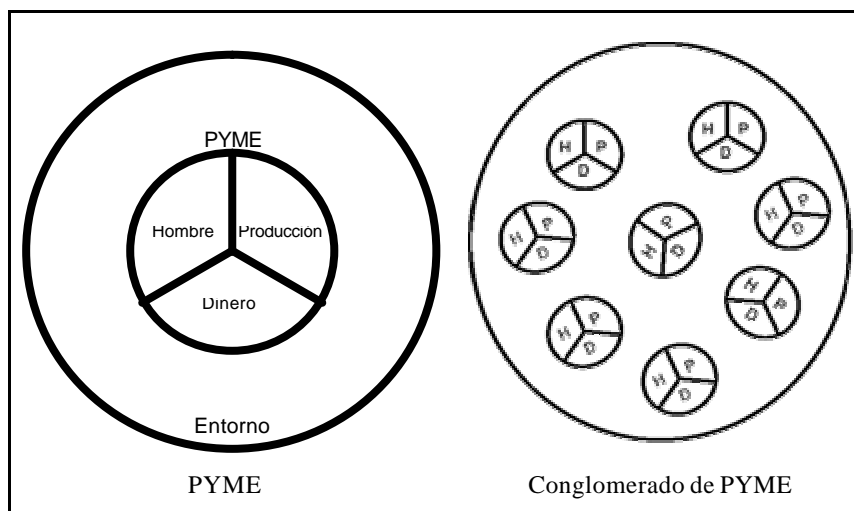
*La producción*, porque en definitiva a través de esta se procura interpretar la efectividad y eficiencia de un determinado proceso de trabajo en lograr productos o servicios que satisfagan las necesidades de la sociedad, en el que necesariamente intervienen siempre los medios de producción, los cuales están constituidos por los más diversos objetos de trabajo que deben ser transformados y los medios de trabajo que deben ser accionados; *el hombre*, porque es quien pone aquellos objetos y medios de trabajo en relación directa para dar lugar al proceso de trabajo; y *el dinero*, ya que es un medio que permite justipreciar el esfuerzo realizado por el hombre y su

organización en relación con la producción y sus productos o servicios y su impacto en el entorno. Todos estos elementos permiten configurar una estructura organizativa denominada Organizaciones Sociales de Producción (OSP).

## 2 ORGANIZACIONES SOCIALES DE PRODUCCIÓN (OSP)

Núñez (2000) define estas estructuras como Organizaciones Sociales de Producción (OSP), pues, se conciben y estructuran para satisfacer las necesidades de la sociedad a través del accionar por el hombre de los medios de trabajo, donde su dimensión estará limitada por la frontera que marca la responsabilidad directa de su gerencia, límites que pueden ser económicos, jurídicos, geográficos, además, que pueden ampliarse en función del impacto que tenga la satisfacción de las necesidades de su entorno.

Es decir, si aceptamos que una Pequeña Y Mediana Empresa (PYME) es la mínima expresión de una OSP, ya que ésta muestra en una escala mínima la presencia de la producción, el hombre y el dinero. Así esta PYME si se agrupa con sus similares puede formar un conglomerado o Pequeña Y Mediana Industria (PYMI) u OSP de nivel superior, que a su vez pueden seguir creciendo y formar una industria, lo que constituye otro nivel de OSP. Ver Ilustración 1.

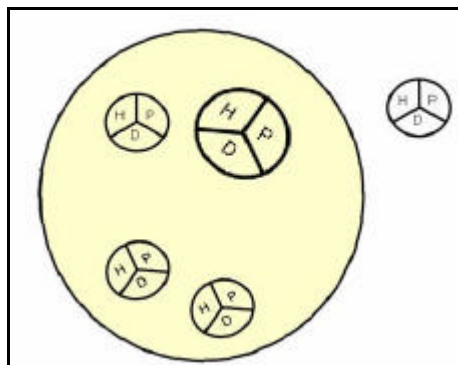


**Ilustración 1 Crecimiento de OSP.**

Fuente: Núñez, 2000

La medida en que la PYME evoluciona se puede dar dos tipos de crecimiento, los cuales son impulsados por la estrategia de productividad planificada.

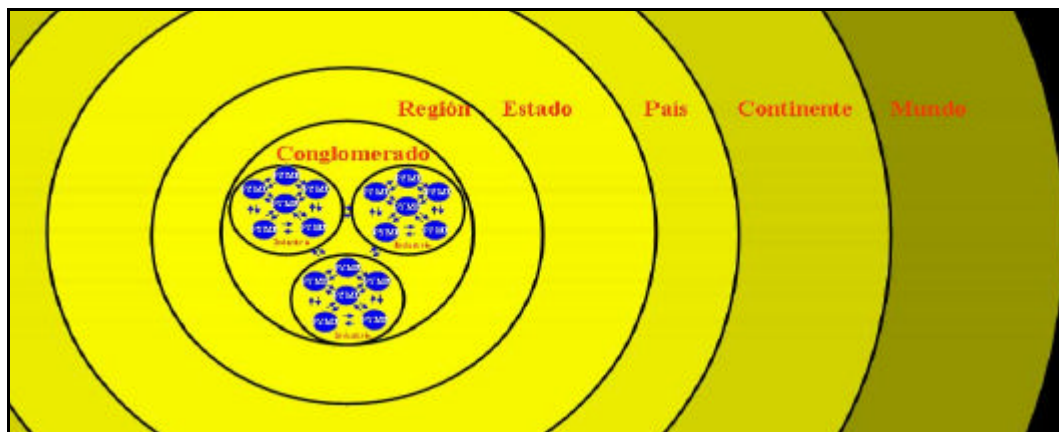
Crecimiento interior se refiere al aumento de las capacidades de transformación, lo cual se puede evidenciar por los aumentos de producción. Ver Ilustración 2.



**Ilustración 2 Evolución de PYME. Crecimiento interior**

Fuente: Nuñez, 2000

Crecimiento exterior se refiere al aumento de la presencia en mercados cada vez más grandes y competidos. Ver Ilustración 3.



**Ilustración 3 Evolución de PYME. Crecimiento exterior**

Fuente: Nuñez, 2000

### 3 PRODUCCIÓN

Se considera que la producción es la creación y elaboración de exumos (bienes o servicios) a partir de la utilización de unos insumos.



Ponce de León (s.f) indica que es uno de los principales procesos económicos, por medio del cual el trabajo humano crea riqueza. Respecto a los problemas que entraña la producción, tanto los productores privados como el sector público deben tener en cuenta diversas leyes económicas, datos sobre los precios y recursos disponibles. Es decir los denominados factores de producción.

#### **4 FACTORES DE PRODUCCIÓN**

El Banco Mundial define como factores de producción “Los insumos principales para la producción”, se consideran como todos aquellos elementos que le agregan valor al producto. Tradicionalmente, los economistas clasifican los factores de producción en tres categorías: trabajo, tierra y capital.

Sumanth (1989) los define de la siguiente manera: A) Factor Tierra: está constituido por los recursos naturales. Así como todo lo que se encuentra bajo el suelo, sin que intervenga la obra del hombre. B) Factor Trabajo: Se considera al trabajo como el esfuerzo realizado para asegurar un beneficio económico. En la industria, el trabajo tiene una gran variedad de funciones, que se pueden clasificar de la siguiente manera: producción de materias primas, así como también transformación de materias primas en objetos útiles. C) Factor Capital: se designa un conjunto de bienes y una cantidad de dinero de los que se puede obtener una serie de ingresos. En general, la empresa considerará como capital, los edificios, la maquinaria, los productos almacenados, las materias primas que se posean, así como las acciones, bonos y los saldos de las cuentas en los bancos.

La disponibilidad relativa de estos factores en un país (su dotación de factores) es uno de los aspectos más determinantes para el ejercicio de la productividad. Para que una OSP logre sus objetivos tiene que obtener la mejor combinación de los factores de producción disponibles. Esta combinación variará a lo largo del tiempo y dependerá de la necesidad de crecimiento.

## 5 EFICIENCIA, EFICACIA, EFECTIVIDAD

En el lenguaje cotidiano la utilización de los conceptos eficiencia, eficacia y efectividad se realiza de manera indistinta para expresar la forma en como se realiza una actividad. Por lo cual, el significado de cada uno se vuelve confuso y ambiguo.

Además, el ámbito de aplicación de estos términos es diverso. Sin embargo, en el ámbito económico estos conceptos han tenido una utilización diferenciada, la cual se presenta en el Cuadro 1.

**Cuadro 1**  
**Definiciones de eficiencia, eficacia y efectividad**

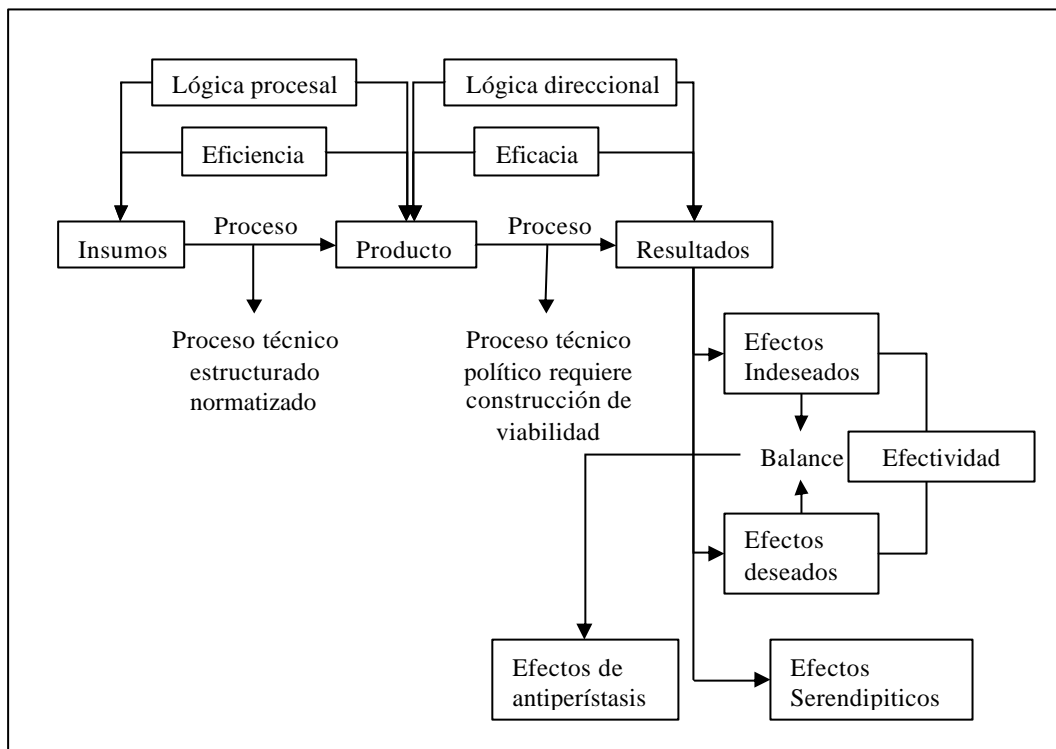
Concepto	Diccionario WEBSTER	Beno Sander	Mokate
<b>Eficiencia</b>	del latín <i>efficientia</i> : acción, fuerza, virtud de producir)	Criterio económico que revela la capacidad administrativa de producir el máximo resultado con el mínimo de recurso, energía y tiempo.	Grado en que se cumplen los objetivos de una iniciativa al menor costo posible
<b>Eficacia</b>	del latín <i>efficax</i> : eficaz, que tiene el poder de producir el efecto deseado	Criterio institucional que refleja la capacidad administrativa para alcanzar las metas o resultados propuestos. Logro de los objetivos.	“Eficacia se aplica a las cosas o personas que pueden producir el efecto o prestar el servicio a que están destinadas” <sup>1</sup>
<b>Efectividad</b>	del verbo latino <i>effectivus</i> : ejecutar, llevar a cabo, efectuar, producir, obtener como resultado	Criterio político que refleja la capacidad administrativa de satisfacer las demandas planteadas por la comunidad externa.	Constituye la relación entre los resultados (previstos y no previstos) y los objetivos <sup>2</sup>

Como se observa en el cuadro anterior, cada uno de estos conceptos tienen su diferenciación: la obtención de los objetivos planteados se denomina eficacia, la forma en como son obtenidos es eficiencia y la capacidad de manejo de los resultados con respecto a los objetivos planteados se denomina efectividad.

Kilian Zambrano (referenciado por González M, 2002) muestra una lógica por fases en las definiciones de los conceptos eficiencia, eficacia y efectividad.

<sup>1</sup> Concepto de Maria Moliner, referenciado por Mokarte, K. (1999) en *Eficacia, eficiencia, equidad y sostenibilidad: ¿qué queremos decir?*

<sup>2</sup> Concepto de Cohen y Franco (1993), referenciado por Mokarte, K. (1999) en *Eficacia, eficiencia, equidad y sostenibilidad: ¿qué queremos decir?*



**Ilustración 4 Estructura y lógica de una operación.**

**Fuente: Killian Z. (2004) Planificación y Control de la Producción Pública, Lito Formas**

En la ilustración anterior se aprecia la interrelación de cada uno de los conceptos siguiendo un enfoque operacional.

## 6 EFICIENCIA

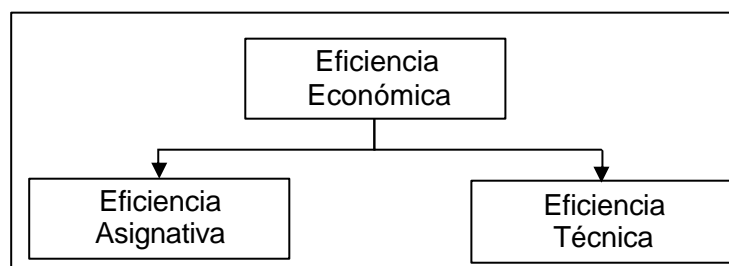
La Real Academia de la Lengua Española la define como: “Capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un efecto determinado”. En el ámbito económico, “La eficiencia es la relación entre un ingreso y un egreso; entre una entrada y una salida; entre un recurso y un producto”. Así, un sistema de producción es eficiente si dada una disponibilidad de insumos, es capaz de producir una cantidad máxima de exumos.

A pesar de tener muchos ámbitos de aplicación, la eficiencia se considera un concepto económico (García Prieto, 2002) relacionado con la forma de utilización de los insumos para obtener determinados exumos, por lo cual existían pocos trabajos de eficiencia a nivel microeconómico o empresarial.

En 1957 Michael James Farrell estableció nuevos enfoques para el estudio de la eficiencia y la productividad a nivel microeconómico, para el análisis de empresas. Finn R y Sarafoglou (2004) comentan que antes de la aparición del estudio de Farrell, el punto de vista econométrico predominante era el de establecer un rendimiento promedio entre las empresas analizadas. Farrell cambia este esquema al aceptar que existen ineficiencias en las empresas, por lo cual la manera de compararse es con una empresa que presente el mejor comportamiento operativo.

Los aspectos que consideró fueron: primero, la definición de eficiencia, y, segundo en base a esta definición como calcular esta eficiencia y sobre que referencia tecnológica hacerla.

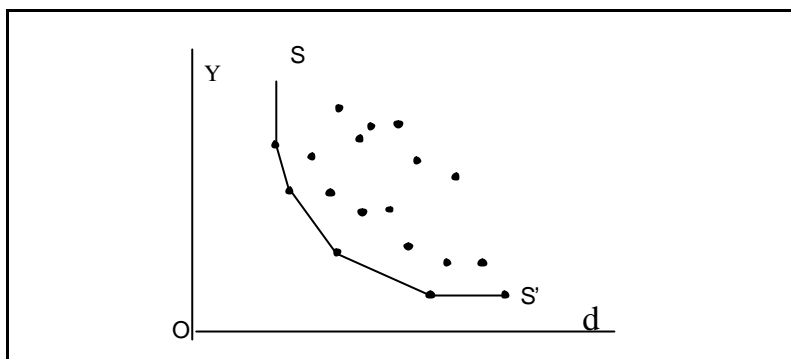
En cuanto a la definición de eficiencia, basado en los trabajos de Koopmans, Farrell propone la descomposición de la eficiencia en: eficiencia técnica, eficiencia asignativa y eficiencia económica.



**Ilustración 5 Descomposición de la Eficiencia Económica**

El cálculo de la eficiencia técnica, asignativa y económica, se basan en el conocimiento de la frontera de producción (o referencia tecnológica)

Generalmente se desconoce la forma de la frontera de producción, por lo cual Farrell propone como frontera una isocuanta no paramétrica convexa lineal por tramos (SS'), construida de tal forma que ninguna observación se queda debajo de ella (Ver Ilustración 6).



**Ilustración 6 Frontera de función de producción lineal a trozos.**

**Fuente: Ballesteros, 2004**

Esta función “está basada en los mejores resultados observados en la práctica” (Farrell 1957, citado en Finn R y Sarafoglou, 2004), por lo cual permitirá comparar cada empresa con otras empresas con comportamiento eficiente o ubicadas sobre esta frontera.

Esta OSP sobre la frontera constituye la mejor práctica operativa, ya que no es posible ser más eficiente que ella.

### **6.1 EFICIENCIA ECONÓMICA**

La eficiencia económica, definida en sus inicios como eficiencia global por Farrell, representa la reducción de costo para una OSP objeto de estudio si se asume que existe eficiencia técnica y eficiencia asignativa.

Ballesteros (2004) explica que Farrell establece que la eficiencia global es igual al producto de la eficiencia técnica y la eficiencia asignativa, como se muestra a continuación.

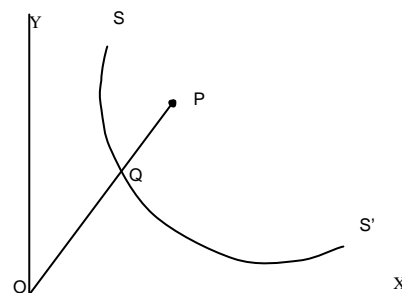
$$\text{Eficiencia Económica} = \text{Eficiencia Técnica} * \text{Eficiencia Asignativa}$$

### **6.2 EFICIENCIA TÉCNICA**

Mas Nicolau y Sellers, (2002) explican que Farrell definen la eficiencia técnica como la capacidad de reducción de insumos para obtener la misma cantidad de exumos, manteniendo las proporciones de utilización de cada insumo observado.

Para cuantificar la eficiencia técnica consideremos la explicación presentada por Ballesteros (2004): considérese una función de producción convexa ( $SS'$ ) con

rendimientos de escalas constante, para una empresa que utiliza dos insumos para obtener un exumo. Cada uno de los ejes de esta ilustración (eje X e Y) representan el nivel de contribución de cada insumo al exumo, Observe la Ilustración 7.



**Ilustración 7 Medida de la eficiencia técnica.**  
Fuente: Ballesteros, 2004

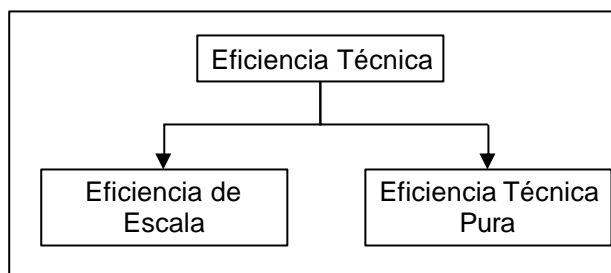
Farrell establece que la medida de eficiencia se basa en la variación de mediciones radiales: la distancia desde el origen hasta el punto de ineficiencia P (distancia  $\overline{OP}$ ), y la distancia radial de otra OSP que presente la mejor práctica operativa (distancia  $\overline{OQ}$ ).

Con lo cual, la eficiencia técnica se expresa como la relación

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

Es necesario notar que el hecho de suponer que la función de producción es convexa le permite saber que si la combinación de producción de la OSP P es factible, entonces la de la OSP Q también lo es. Y además, el supuesto de economía de escalas constante, le permite establecer una relación invariable entre la modificación de insumos y exumos, por lo cual la eficiencia medida será técnica y no dependerá de economías de escala variable.

Färe, Grosskopf y Lovell (1985) realizan una división de la eficiencia técnica, a la que llaman eficiencia técnica global (ETG), en eficiencia de escala (ES) y eficiencia técnica pura (ETP).

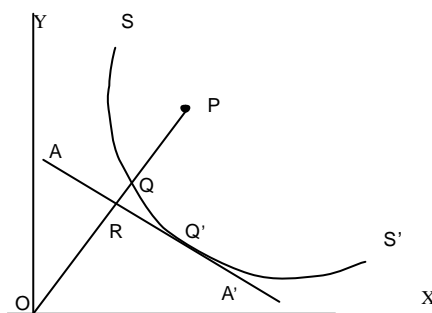


Una OSP es eficiente por escala cuando la elección de su escala de producción es la adecuada. Tal elección es relevante en los casos en que la frontera de producción subyacente presenta rendimientos a escala variables.

El concepto de eficiencia técnica pura es idéntico al de eficiencia técnica, una vez descontadas las ineficiencias de escala.

### 6.3 EFICIENCIA ASIGNATIVA

Mas, Nicolau, Sellers, (2002) González Hidalgo y García González (2004) expresan que la eficiencia asignativa se define para aquella situación en que, conocidos los costos relativos de los diferentes insumos utilizados en el proceso y partiendo del supuesto de que la tecnología de producción puede cambiar, se emplea la mejor combinación de insumos que permite alcanzar un determinado nivel de exumos con el menor costo posible.



**Ilustración 8 Medida de la eficiencia técnica y asignativa.**  
**Fuente: Ballesteros, 2004**

Para determinar la eficiencia asignativa, Farrell (Ballesteros, 2004) supone que se conocen los precios de los insumos, con lo cual es posible construir la isocuanta de precios de insumos AA', véase Ilustración 8.

Con esta isocuanta se trata de determinar cual es la combinación de insumos que mantiene los mismos niveles de producción de la OSP Q a un costo mínimo. Observe que esta combinación se obtiene en el punto Q' y que además esta OSP no solo es eficiente asignativamente, sino también es eficiente técnicamente ya que se encuentra sobre las dos isocuantas.

Las unidades de la eficiencia asignativa, al igual que la técnica, se presenta como porcentajes mediante la siguiente la expresión:

$$\text{Eficiencia Asignativa} = \frac{\overline{OR}}{\overline{OQ}}$$

## **7 MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA CON MODELO DE FRONTERA**

El Análisis Envolvente de Datos (DEA, por sus siglas en ingles), es una técnica que busca medir la eficiencia de una OSP con respecto a otras OSPs del mismo sector en condiciones donde no se conoce la función de producción que relaciona a los insumos con los exumos. Para esto se basa en técnicas de Programación Lineal, que permiten identificar cuales son las OSPs cuya eficiencia sea del 100% (OSP 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 (Finn R y Sarafoglou, 2004), cuando presenta la formulación matemática basada en los conceptos de eficiencia técnica, eficiencia asignativa presentados por Farrel.

El modelo de frontera, genera una frontera en un espacio que tiene como ejes:

1. A los recursos o factores del sistema productivo (insumos)
2. Los productos o servicios que genera (exumos)

Lo más común es considerar al total de insumos y exumos, considerando que estos resumen un número considerable de elementos o rubros:



**Cuadr o 2**  
**Insumos y exumos en el modelo de frontera**

<b>Ejes</b>	<b>Elementos o rubros</b>
Insumos o Entradas	1. Capital 2. Mano de Obra 3. Materia prima 4. Materiales y suministros 5. Insumos intermedios
Exumos o Salidas	1. Total de ventas 2. Cantidad de los productos o servicios generados 3. Valor agregado

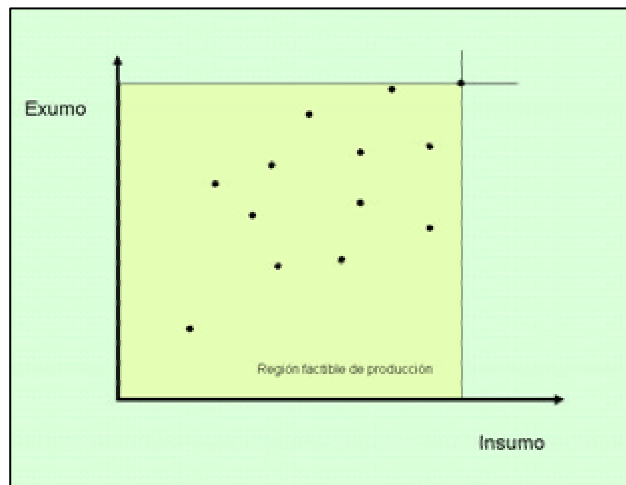
**Fuente: Mercado, 1997.**

Entendiendo que los elementos o rubros reúnen así mismo todos aquellos recursos necesarios para la producción, pero que por razones de simplificación se tomaran los ejes principales, es decir Insumos–Exumos. Ver figura siguiente



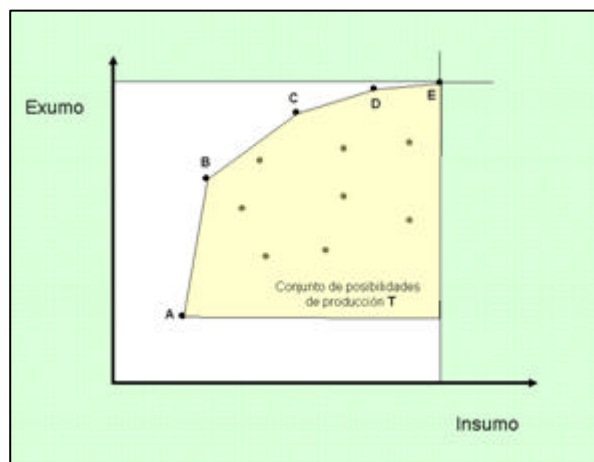
**Ilustración 9 Espacio de análisis de la técnica de frontera**

En este espacio de Insumo–Exumo cada punto representa una OSP (A, C, D, E,.....Z); este conjunto de puntos forman un área convexa, área que la denominamos región factible de producción de las OSPs estudiadas.



**Ilustración 10 Región factible de producción**

Luego si trazamos una Envolvente lineal a trozos que envuelva a todas las OSPs, se formará un conjunto convexo denominado “conjunto de posibilidades de producción T para ese conjunto de OSPs.



**Ilustración 11 Conjunto de posibilidades de producción-T**

La línea segmentada muestra la frontera generada por el modelo, sin embargo cada segmento tiene características particulares, es decir, en relación a su productividad la línea segmentada y formada por las OSP A, B, C, D, E se reconoce como frontera productiva, esto se argumenta pues la relación Insumo–Exumo son las óptimas, es decir, presentan el mejor comportamiento para ese grupo de OSPs (Charner, Cooper y Rhodes, 1957). Los puntos que se sitúan debajo de ella o el

conjunto de posibilidades de producción-T, representan el espacio en el cual es factible que se sitúen las OSPs del ramo.

Así mismo, los puntos situados en la frontera productiva (A, B, C, D, E), son puntos a los cuales los correspondientes valores eficiencia (?) para este modelo de optimización son iguales al 100%, que es el máximo valor factible de lograr, es decir,  $\theta_A = \theta_B = \theta_C = \theta_D = \theta_E = 1$ .

Cada punto interior del conjunto de posibilidades de producción se puede proyectar horizontalmente o verticalmente sobre la frontera productiva, multiplicando por su abscisa (insumo)  $X_i$  u ordenada (exumo)  $Y_i$  por su correspondiente valor de eficiencia  $T_i$ : " $T_i X_i$ ";  $F_i$ : " $F_i Y_i$ ". Ver Ilustración 12

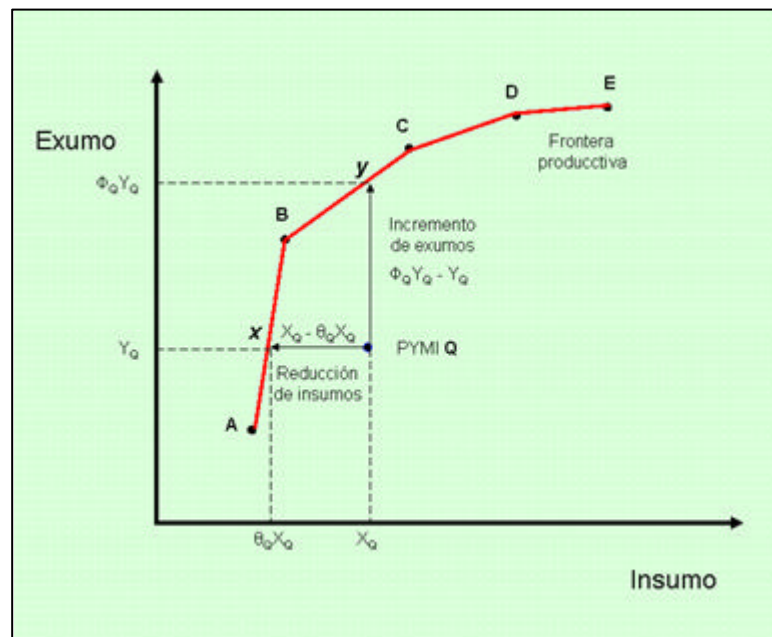


Ilustración 12 Productividad de insumo y exumo

## 7.1 TIPOS DEL MODELO DE FRONTERA

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

$$\begin{array}{l}
 \text{Maximizar} \\
 \\
 \text{Sujeto a:} \\
 \\
 \text{Donde:}
 \end{array}
 \frac{\sum_{i=1}^n I_i Y_i}{\sum_{i=1}^n u_i X_i}$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n I_i Y_i}{\sum_{i=1}^n u_i X_i} \leq 1$$

$$I_i, u_i \geq 0$$

- $\Theta$ : Eficiencia (Valor objetivo)  
 $I_i$ : Peso asociado al i-ésimo Exumo  
 $u_i$ : Peso asociado al i-ésimo Insumo  
 $Y_i$ : Cantidad del i-ésimo Exumo  
 $X_i$ : Cantidad del i-ésimo Insumo

Este problema, tomando como base a las cantidades de Insumos y Exumos se encarga de determinar la ponderación asociada a cada insumo y exumo de la OSP bajo análisis y también determinar el valor de su eficiencia. El modelo mostrado anteriormente, pertenece al estudio de la programación fraccional que tiene infinitas soluciones.

En los trabajos de Charnes y Cooper, se logró transformar este problema en uno de programación lineal que permitiera la utilización del algoritmo simplex, modelo que se denominó CCR (Siglas de A. Charnes, W. Cooper y E. Rhodes). Su formulación es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Maximizar} \quad & \Theta = \sum_{i=1}^n I_i Y_i \\ \text{Sujeto a:} \quad & \sum_{i=1}^n I_i Y_i - \sum_{i=1}^n u_i X_i \leq 0 \\ & \sum_{i=1}^n u_i X_i = 1 \\ & I_i; u_i \geq 0 \end{aligned}$$

Y su problema dual es:

$$\begin{aligned} \text{Minimizar} \quad & q^* = \min q \\ \text{Sujeto a:} \quad & \sum_{i=1}^n I_i X_i \leq q X_0 \\ & \sum_{i=1}^n I_i Y_i \geq Y_0 \\ & I_i \geq 0 \end{aligned}$$

A partir del modelo CCR fueron elaborados otros tres modelos, que dependen de una restricción adicional que considera la convexidad sobre las ponderaciones de los insumos y los exumos:

a) BCC (Siglas de R. Banker, A. Charnes y W. Cooper)

$$\begin{aligned} \text{Minimizar} \quad & q^* = \min q \\ \text{Sujeto a:} \quad & \sum_{i=1}^n I_i X_i \leq q X_0 \\ & \sum_{i=1}^n I_i Y_i \geq Y_0 \\ & \sum I_i = 1 \\ & I_i \geq 0 \end{aligned}$$

b) FG (Siglas de R. Färe y S. Grosskopf)

$$\text{Minimizar } \mathbf{q}^* = \min \mathbf{q}$$

$$\sum_{i=1}^n I_i X_i \leq \mathbf{q} X_0$$

$$\text{Sujeto a: } \sum_{i=1}^n I_i Y_i \geq Y_0$$

$$\sum I_i \leq 1$$

$$I_i \geq 0$$

c) ST (Siglas de L. Seiford y R. Thrall).

$$\text{Minimizar } \mathbf{q}^* = \min \mathbf{q}$$

$$\sum_{i=1}^n I_i X_i \leq \mathbf{q} X_0$$

$$\text{Sujeto a: } \sum_{i=1}^n I_i Y_i \geq Y_0$$

$$\sum I_i \geq 1$$

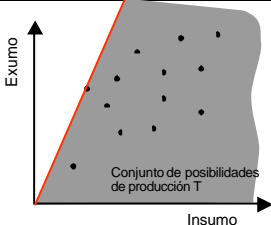
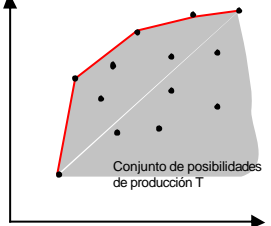
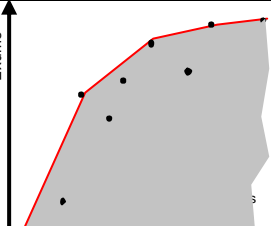
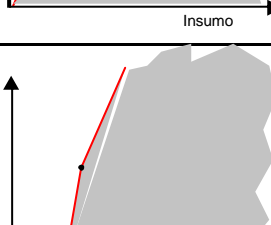
$$I_i \geq 0$$

Cada modelo de frontera genera diferentes conjuntos de posibilidades de producción T.

A continuación, se presenta un cuadro en donde se muestra la frontera de producción generada por cada modelo.

Cuadro3

Regiones de posibilidades de producción que definen los cuatro tipos de modelos según su relación de convexidad

Conjunto de posibilidades de producción T	Modelos de Insumo	Modelos de Exumo
 <p>Conjunto de posibilidades de producción T</p>	<p>Modelo CCR</p> <p>Minimizar <math>T = ?</math></p> $? X_0 \geq \lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_n X_n$ $\lambda_1 Y_1 + \lambda_2 Y_2 + \dots + \lambda_n Y_n \geq Y_0$ $\lambda_i \geq 0, \forall i$	<p>Modelo CCR</p> <p>Maximizar <math>\Phi = \phi</math></p> $X_0 \geq \lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_n X_n$ $\lambda_1 Y_1 + \lambda_2 Y_2 + \dots + \lambda_n Y_n \geq \phi Y_0$ $\lambda_i \geq 0, \forall i$
 <p>Conjunto de posibilidades de producción T</p>	<p>Modelo BCC</p> <p>Minimizar <math>T = ?</math></p> $? X_0 \geq \lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_n X_n$ $\lambda_1 Y_1 + \lambda_2 Y_2 + \dots + \lambda_n Y_n \geq Y_0$ $\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = 1$ $\lambda_i \geq 0, \forall i$	<p>Modelo BCC</p> <p>Maximizar <math>\Phi = \phi</math></p> $X_0 \geq \lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_n X_n$ $\lambda_1 Y_1 + \lambda_2 Y_2 + \dots + \lambda_n Y_n \geq \phi Y_0$ $\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = 1$ $\lambda_i \geq 0, \forall i$
 <p>Conjunto de posibilidades de producción T</p>	<p>Modelo FG</p> <p>Minimizar <math>T = ?</math></p> $? X_0 \geq \lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_n X_n$ $\lambda_1 Y_1 + \lambda_2 Y_2 + \dots + \lambda_n Y_n \geq Y_0$ $\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \leq 1$ $\lambda_i \geq 0, \forall i$	<p>Modelo FG</p> <p>Maximizar <math>\Phi = \phi</math></p> $X_0 \geq \lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_n X_n$ $\lambda_1 Y_1 + \lambda_2 Y_2 + \dots + \lambda_n Y_n \geq \phi Y_0$ $\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \leq 1$ $\lambda_i \geq 0, \forall i$
 <p>Conjunto de posibilidades de producción T</p>	<p>Modelo ST</p> <p>Minimizar <math>T = ?</math></p> $? X_0 \geq \lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_n X_n$ $\lambda_1 Y_1 + \lambda_2 Y_2 + \dots + \lambda_n Y_n \geq Y_0$ $\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \geq 1$ $\lambda_i \geq 0, \forall i$	<p>Modelo ST</p> <p>Maximizar <math>\Phi = \phi</math></p> $X_0 \geq \lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 + \dots + \lambda_n X_n$ $\lambda_1 Y_1 + \lambda_2 Y_2 + \dots + \lambda_n Y_n \geq \phi Y_0$ $\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n \geq 1$ $\lambda_i \geq 0, \forall i$

Así, para cada OSP se generan cuatro modelos enfocados principalmente a la determinación de las eficiencias de insumo y se elaboran otros cuatro modelos para la ineficiencia de los exumos.

Cada una de estas restricciones de convexidad lo que hace es considerar una frontera de producción bajo diferentes rendimientos de escalas, como se muestra en el cuadro siguiente:

**Cuadro 4**  
**Rendimientos en cada modelo DEA**

Modelos	Característica
CCR	Rendimientos Constantes
ST	Rendimientos Crecientes
FG	Rendimientos Decrecientes
BCC	Rendimientos Variables, es decir, cuando se combinan rendimientos crecientes y decrecientes

Con estos modelos podemos determinar la eficiencia Técnica Pura, de Escala, Técnica y Asignativa.

## 8 CAMBIO TÉCNICO

El estudio del progreso económico ha reconocido como el uso de la tecnología han influido sobre este progreso.

Una definición formal de Cambio Técnico es presentada por Fedriani Martel y Tenorio Villalón (2006): “Un Cambio Técnico en una tecnología es cualquier cambio en la frontera de producción que altere la relación entre consumos y producciones. Un Cambio Técnico se denomina progreso técnico si la producción aumenta para cualquier consumo, con respecto al que se obtenía antes del cambio”.

Este concepto es introducido a partir del artículo publicado en 1957 por el economista Robert Solow “*Technical change and the aggregate production function*” (Fedriani Martel y Tenorio Villalón, 2006). En la cual observa que hay un aumento de la producción que no es explicable por el aumento de la relación capital / mano de obra.



Solow explica que “cualquier clase de desplazamiento de la función de producción. Así como, los retardos, las aceleraciones, las mejoras en la educación de la fuerza de trabajo, y toda clase de cosas, aparecerán como Cambio Técnico” (Solow; 1957: 320, referenciado por Martínez de Ita).

En general estos procesos de cambio tecnológico 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, etcétera.
- f) Cambios tecnológicos orientados a perfeccionar las características de diseño de los productos finales.

## **9 PRODUCTIVIDAD**

La productividad es un termino que ha estado asociado con la industria, OSP, factores de producción y, evidentemente, con la producción. La Productividad, en economía, se define como la relación entre producción final y factores productivos (tierra, capital y trabajo) utilizados en la producción de bienes y servicios. De un modo general, la productividad se refiere a la que genera el trabajo: 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.

A lo largo de la historia el concepto de productividad ha sido definido por muchos autores, ver Cuadro siguiente,

**Cuadro 5**  
**Conceptos de Productividad**

<b>Año</b>	<b>Autor</b>	<b>Definición</b>
1766	Francois Quesnay	Aparece por primera vez el concepto de productividad. En su obra <i>Tableau Economique</i> , o Cuadro Económico, Quesnay pretendió mostrar de forma clara los principios de la circulación de la riqueza entre los diversos grupos – agricultores, propietarios y artesanos, en su modelo – que integran un sistema económico. <b>“ la regla de conducta fundamental es conseguir la mayor satisfacción con el menor gasto o fatiga”</b>
1776	Adam Smith	"El producto anual de la tierra y del trabajo de la nación solo puede aumentarse por dos procedimientos: o con un adelanto en las facultades productivas del trabajo útil que dentro de ellas se mantiene, o por algún aumento en la cantidad de ese trabajo. El adelanto de las facultades productivas depende, ante todo, de los progresos de las habilidades del operario, y en segundo término de los progresos de la maquinaria con que trabaja...".
1817	David Ricardo	En su obra, Principios de economía política y tributación planteó la teoría del valor, las ventajas absolutas y las ventajas comparativas donde relacionó la productividad con la competitividad de los países en el mercado internacional e incorporó la idea de los rendimientos decrecientes en el uso de los factores de producción.
1867	Carlos Marx	"La magnitud de valor de una mercancía se mantendría constante, por consiguiente, si también fuera constante el tiempo de trabajo requerido para su producción. Pero éste varía con todo cambio en la fuerza productiva del trabajo. La fuerza productiva del trabajo está determinada por múltiples circunstancias, entre otras por el nivel medio de destreza del obrero, el estadio de desarrollo en que se hallan la ciencia y sus aplicaciones tecnológicas, la coordinación social del proceso de producción, la escala y la eficacia de los medios de producción, las condiciones naturales".
1883	Littre	Define a la productividad como la "Facultad de producir"
1900	Early	Define a la productividad como la "Relación entre producción y los medios empleados para lograrla".
1940	Tinbergen	Definió a la productividad como "la "Relación entre el producto real y la utilización real de factores o insumos".
1955	Davis	Definió a la productividad como el "Cambio en el producto obtenido por los recursos gastados".
1957	Robert M. Solow	Incorpora el "residual" en la medición de la productividad.
1959	Fabricant	Definió a la productividad como "Una razón entre la producción y los insumos"; sus trabajos son a nivel nacional en la manufactura.
1960	Gubbels	"La productividad no es considerada como una facultad o una aptitud, sino más bien como una relación expresada: producto/insumos".

Año	Autor	Definición
1964	Wolf	"El concepto de productividad se entiende a través de los términos de función de producción que especifican las posibilidades para hacer sustituciones entre capital y trabajo y entre otros insumos"
1965	Kendrick y Creamer	Definiciones funcionales para la productividad parcial, de factor total y total Kendrick define a la PTF como una relación entre el producto real y los insumos; sus mediciones son a nivel nacional e industrial.
1966	Klein	"La productividad es el aspecto técnico de la explotación de los recursos y su tendencia decide el futuro de la empresa".
1973	Hdz Laos	"La productividad se define en términos técnicos, como la cantidad de producto obtenido por unidad de factor o factores utilizados para lograrla, medido en términos físicos. Para poder medirla se relaciona con cada uno de los factores que se emplea, la más común de estas medidas es la productividad del trabajo, la cual se mide como el número de unidades de producto obtenidos por hora-hombre empleadas".
1973	Easterfield	"La productividad puede ser definida simplemente como la relación entre el producto medible (en industria, maquinaria, etc.) y uno o más de los insumos utilizados en la producción".
1978	Stewart	Define a la productividad como "la razón del desempeño con respecto a los objetivos organizacionales entre la totalidad de los parámetros de insumo. Incorpora el concepto de utilidad para medir la productividad de la manufactura.
1979	David Sumanth	Productividad total: la razón de producción tangible entre insumos tangibles.
1979	Mackenzick	"La productividad es la relación cuantitativa entre lo que producimos y los recursos que utilizamos".
1979	Denison	"La productividad se define como la eficiencia de los productos a través de los recursos utilizados".
1983	Mark	"El concepto clásico de productividad, es aquél que define a la eficiencia con que el producto es generado a partir de los recursos utilizados".
1984	Martínez	"La productividad se entiende como sinónimo de rendimiento o de eficacia, hacer más con lo que se tiene sin menoscabo de la calidad; también podría interpretarse como la misma cantidad obtenida y alta calidad, al mismo tiempo".
1985	Novelo	"La productividad es un fenómeno humano determinado por tres factores y un resultado: las aptitudes y actitudes del hombre, el esfuerzo proyectado en el trabajo, la evolución de la relación insumo-producto y las calidades del trabajo y del hombre. $\text{Productividad} = \frac{\text{Producción}}{\text{Factor A} + \text{Factor B} + \text{Factor C}}$

Fuente: *María Eugenia Martínez De Ita*

Como se puede apreciar en la Cuadro anterior el concepto de productividad ha evolucionado en el tiempo. David Sumanth (1990) afirma que la primera vez que se

hace referencia a este concepto es en el año 1766, en la obra *Tableau Economique*, o Cuadro Económico, perteneciente al economista francés Francois Quesnay en la cual se expresa que “la regla de conducta fundamental es conseguir la mayor satisfacción con el menor gasto o fatiga”. En esta afirmación se expresa por primera vez la importancia una relación de productividad entre ingresos “satisfacción” y los gastos “fatiga” para obtener un bien.

Posteriormente Adam Smith, establece la importancia de la división del trabajo para mejorar los niveles de producción. Así en su obra “*La Riqueza de las Naciones*”, define el concepto de trabajo como una unidad de medida que permite establecer un criterio para aumentar las facultades de producción (productividad).

Luego David Ricardo en su libro “*Principios de economía política y tributación*”, mediante su teoría de Valor, Ventajas comparativas y absolutas, relaciona la productividad con la competitividad de los Países.

Martínez De Ita nos comenta que en la obra “*El capital*” de Karl Marx, también se hace referencia al concepto de productividad.

“... el grado social de productividad del trabajo se expresa en el volumen de la magnitud relativa de los medios de producción que un obrero, durante un tiempo dado y con la misma tensión de la fuerza de trabajo, transforma en producto... “ (Marx; 1980: 7, referenciado por Martínez de Ita)

Así pues, Karl Marx expresa que el incremento de la producción se debe a dos factores: la productividad del trabajo relacionada con el mejoramiento de las capacidades de producción, y la intensidad de trabajo relacionada directamente con el tiempo de efectivo de trabajo.

Independientemente de los conceptos, se puede apreciar que se consideran siempre los factores tales como el trabajo, capital, intensidad del trabajo, etc. Además se observa, que la mayoría de los autores se refieren a la productividad como un aumento en la producción de bienes.

Esto ha hecho que el concepto aceptado universalmente de productividad sea la relación que existe entre las unidades de insumos utilizados y la cantidad de bienes producidos. Esta definición, es la más aceptada universalmente, sin embargo no considera el aspecto sistémico de la productividad.

## 10 MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD

El análisis de la productividad ha sido en los últimos años materia de estudio para muchos investigadores, que además han explorado numerosas hipótesis acerca de las causas de su crecimiento a lo largo del tiempo. En la cuantificación de la productividad total de los factores se han desarrollado diversos métodos para su cuantificación. En el Cuadro siguiente se muestran los enfoques de medición más usados.

**Cuadro 6**  
**Métodos de medición de productividad**

Enfoque	Métodos	Supuesto
ÍNDICES	Productividad total, Productividad parcial	Las OSP son eficientes, por lo que la productividad se interpreta como desplazamientos de la función frontera, es decir, como <b>Cambio Técnico</b>
	Arreglos de factor, Multifactoriales	
FUNCIONES	Funciones de producción	
	Funciones de Cobb - Douglas	
RAZONES	Razones financieras, Valor Agregado	
	Posicionamiento financiero	
MODELOS DE FRONTERA	Análisis envolvente de datos	Tienen en cuenta explícitamente el posible comportamiento ineficiente de las OSP
	Índice de Malmquist	

El enfoque tradicional al análisis de la productividad mediante modelos “*no frontera*” incorpora el supuesto implícito de que todas las OSP son eficientes, por lo que el crecimiento de la productividad se interpreta como desplazamientos de la función frontera, es decir, como Cambio Técnico. Sin embargo, en presencia de ineficiencia, la estimación del Cambio Técnico estaría sesgada.

Los enfoques “*frontera*” tienen en cuenta explícitamente el posible comportamiento ineficiente de las OSP analizadas, midiendo como ineficiencia el incremento requerido de la producción con respecto al máximo valor técnicamente alcanzable definido por la frontera de producción.

El método de frontera DEA proporciona la técnica para el cálculo de la eficiencia que junto con el método del Índice de Malmquist permite la combinación de la eficiencia con el Cambio Técnico para medir la productividad, por lo cual esta combinación permite un análisis más riguroso de la productividad.

Así, el cálculo del índice de Malmquist requiere solamente datos relativos a cantidades y permite descomponer la productividad total de los factores de una OSP en el cambio debido a la mejora de la eficiencia técnica y el debido al Cambio Técnico. También presenta limitaciones, siendo la más relevante que se trata de un índice determinístico.

Este índice permite medir el crecimiento de la productividad entre dos períodos  $t$  y  $t+1$ . El procedimiento, propuesto por Caves, Christensen y Diewert en 1982 (referenciado por Martínez Cabrera, 2002), se basa en el cálculo de la distancia que separa a cada OSP de la frontera de referencia en cada período utilizando para ello la función distancia.

Una tecnología de producción, en un período  $t$ , se puede definir utilizando el conjunto de exumos, que representa el conjunto de todos los vectores de exumo  $y$ , que se pueden producir con el vector de insumos  $x$ . Es decir:

$$P^t(x) = \{y^t : (x^t, y^t) \text{ Es posible} \}$$

Si suponemos que  $P^t$  satisface ciertos axiomas, se puede definir la función de distancia del exumo como:

$$D^t(x^t, y^t) = \min \left\{ \mathbf{f} : \left( \frac{y^t}{\mathbf{f}} \right) \in P^t(x) \right\} \leq 1$$

Esta función se define como la inversa de la expansión proporcional máxima del vector de exumos  $y^t$ , dados los insumos  $x^t$ , para que la OSP  $(x^t, y^t)$  sea eficiente y se encuentre situado en la frontera del período  $t$ .  $D^t(x^t, y^t)$  toma valores inferiores a la unidad, si y sólo si,  $(x^t, y^t) \in P^t$ , y toma el valor unitario, si y sólo si,  $(x^t, y^t)$  se sitúa en la frontera de producción. En este último caso, la unidad evaluada será técnicamente eficiente.

Dado que se trata de comparar la evolución de la productividad, el índice de Malmquist precisa funciones de distancia con respecto a diferentes períodos de tiempo. Así, en un período posterior  $t+1$ , la función de distancia se define como:

$$D^t(x^{t+1}, y^{t+1}) = \min \left\{ \mathbf{f} : \left( \frac{y^{t+1}}{\mathbf{f}} \right) \in P^t(x) \right\} \leq 1$$

Esta función mide el máximo cambio proporcional en los exumos necesario para que  $(x^{t+1}, y^{t+1})$  sea factible con la tecnología del momento  $t$ . En este caso, el valor de la función distancia puede exceder la unidad, debido a que la observación evaluada no es posible con la tecnología de otro período.

A partir de estas funciones de distancia, Caves, Christensen y Diewert (1982,) (referenciado por Martínez Cabrera, 2002), definen el índice de productividad de Malmquist referido al período  $t$  como:

$$M^t = \frac{DC^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{DC^t(x^t, y^t)}$$

Un índice  $M^t > 1$  indica que la productividad en el período  $t+1$  es superior a la del período  $t$ , puesto que la expansión necesaria en los exumos del período  $t+1$  para que la observación sea factible en  $t$  es inferior a la aplicable a los exumos del período  $t$ . Por el contrario, un  $M^t < 1$  indica que la productividad ha descendido entre los períodos  $t$  y  $t+1$ .

De la misma manera se puede definir este índice referido al período  $t+1$ , para lo cual se deben utilizar las correspondientes funciones distancia, de forma que:

$$M^{t+1} = \frac{DC^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{DC^{t+1}(x^t, y^t)}$$

Para evitar los problemas derivados de la elección de uno u otro período, estos autores proponen elaborar una media geométrica de ambos. Por lo tanto, el índice se calcula definitivamente como:

$$M(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \sqrt{\left( \frac{DC^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{DC^t(x^t, y^t)} \right) \left( \frac{DC^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{DC^{t+1}(x^t, y^t)} \right)}$$

Si siguiendo a Färe, Grosskopf, Norris y Zhang (referenciados por Quirós, 2001), una forma equivalente de expresar este índice es:

$$M(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \left( \frac{DC^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{DC^t(x^t, y^t)} \right) \sqrt{\left( \frac{DC^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{DC^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right) \left( \frac{DC^t(x^t, y^t)}{DC^{t+1}(x^t, y^t)} \right)}$$

El primer término mide el cambio en la eficiencia técnica entre los períodos  $t$  y  $t+1$ . Si es mayor que uno, la producción en el período  $t+1$  es más eficiente que la producción en el período  $t$ . Si es igual a uno, la distancia respecto a la frontera es la misma. Si es menor que uno, en el período  $t+1$  la producción es menos eficiente que en  $t$ .

La media geométrica de las dos ratios incluidas en los corchetes nos informa sobre la existencia del Cambio Técnico experimentado entre los dos períodos evaluados en dos puntos  $x^t$  y  $x^{t+1}$ . Si han existido mejoras tecnológicas, tendrá un valor superior a uno.



Por lo tanto, un índice de Malmquist superior a la unidad indica mejoras de la productividad, mientras que si toma valores inferiores a la unidad, implica pérdidas. Además, debe tenerse en cuenta que, aunque el producto del cambio en la eficiencia técnica y el Cambio Técnico debe ser, por definición, igual al índice de Malmquist, estas dos componentes pueden tener comportamientos en direcciones opuestas.

El índice presentado se calcula asumiendo rendimientos constantes a escala. Si se considera que los rendimientos de escalas pueden ser variables, es posible descomponer este índice en cuatro componentes, tal como lo sugieren Simar y Wilson (1998) y Zofío y Lovell (1998): Cambio Eficiencia Pura, Cambio de Eficiencia de Escala, Cambio Técnico con rendimientos de escalas variables y Cambio Técnico del referente con respecto a la frontera de rendimientos Variables.

Utilizando la siguiente relación

$$EE_i^t(x_i^t; y_i^t) = \frac{DC_i^t(x_i^t; y_i^t)}{DV_i^t(x_i^t; y_i^t)}$$

Donde:

$EE_i^t(x_i^t; y_i^t)$  = eficiencia de escala del periodo t con datos del periodo t

$DC_i^t(x_i^t; y_i^t)$  = función distancia del periodo t de la frontera CCR con datos del periodo t

$DV_i^t(x_i^t; y_i^t)$  = función distancia del periodo t de la frontera BCC con datos del periodo t.

Por lo cual, la nueva expresión del Índice de Malmquist sería:

$$M_{CCD} = \frac{DV_i^{t+1}(x_i^{t+1}; y_i^{t+1})}{DV_i^t(x_i^t; y_i^t)} * \frac{EE_i^{t+1}(x_i^{t+1}; y_i^{t+1})}{EE_i^t(x_i^t; y_i^t)}$$

$$\sqrt{\frac{DV_i^t(x_i^{t+1}; y_i^{t+1})}{DV_i^{t+1}(x_i^{t+1}; y_i^{t+1})} \frac{DV_i^t(x_i^t; y_i^t)}{DV_i^{t+1}(x_i^t; y_i^t)}} * \sqrt{\frac{EE_i^t(x_i^{t+1}; y_i^{t+1})}{EE_i^{t+1}(x_i^{t+1}; y_i^{t+1})} \frac{EE_i^t(x_i^t; y_i^t)}{EE_i^{t+1}(x_i^t; y_i^t)}}$$

Para calcular las funciones distancia se utiliza el Análisis Envolvente de Datos.

En el caso de análisis de los componentes:  $DC_i^t(x_i^t; y_i^t)$ ,  $DC_i^t(x_i^{t+1}; y_i^{t+1})$ ,  $DC_i^{t+1}(x_i^t; y_i^t)$  el cálculo se realiza con el modelo CCR orientado a exumos; para el componente  $DV_i^t(x_i^t; y_i^t)$  y  $DV_i^{t+1}(x_i^{t+1}; y_i^{t+1})$  se utiliza el modelo BBC orientado a exumos.

En el caso de análisis ínter-periodos para el modelo BCC:  $DV_i^t(x_i^{t+1}; y_i^{t+1})$ ,  $DV_i^{t+1}(x_i^t; y_i^t)$  el cálculo se realiza con una variación de este modelo denominada Tamaño de Escala de Más Productivo (TEMP).

$$\begin{array}{ll}
 DV_i^{t+1}(x_i^t; y_i^t) = \min \frac{q}{f} & DV_i^t(x_i^{t+1}; y_i^{t+1}) = \min \frac{q}{f} \\
 \text{Sujeto a: } \begin{array}{l} qX_i^t \geq \sum X_i^{t+1} I_i \\ fY_i^t \leq \sum Y_i^{t+1} I_i \\ \sum I_i = 1 \\ I_i \geq 0 \end{array} & \text{Sujeto a: } \begin{array}{l} qX_i^{t+1} \geq \sum X_i^t I_i \\ fY_i^{t+1} \leq \sum Y_i^t I_i \\ \sum I_i = 1 \\ I_i \geq 0 \end{array}
 \end{array}$$

## 11 EJEMPLO DE MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD OSP TERNIUM SIDOR<sup>3</sup>

La productividad en las distintas áreas de producción de la OSP Ternium SIDOR se mide tomando en cuenta los siguientes elementos:

- a) Balance de metálico
- b) Consumos de Materiales no ferrosos, energía, insumos, etc.
- c) Estructuras de tiempos

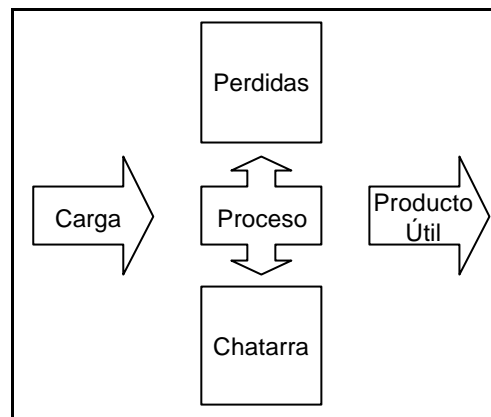
Estos elementos se utilizan como mediciones parciales y no se encuentran relacionadas entre si, lo que no permite una evaluación precisa e integral.

---

<sup>3</sup> Barbaro, Mario. (2008) Modelo para el incremento de la productividad en la acería de planchones de la empresa TERNIUN SIDOR

## 11.1 BALANCE METÁLICO

El balance metálico considera la relación entre las cantidades de material ferroso de entrada y el material ferroso rechazado y aceptado, ver Ilustración 13



**Ilustración 13 Balance metálico de una línea de producción**

Estas relaciones de balance metálico son cuantificadas mediante el indicador *Puesta a Mil* (PAM). Este indicador mide la Carga Metálica para obtener 1000 Kg. de producto.

$$PAM = \frac{\text{Carga (Material que entra en la línea)}}{\text{Salida (Material que sale de la línea)}}$$

Debido a la pérdida y chatarra resultante del proceso, este indicador siempre es mayor a uno, considerándose que el mejor comportamiento es cuando el indicador es igual a uno (1).

También puede definirse como la inversa del Rendimiento Metálico o también la inversa de la Productividad Parcial de Materiales.

$$\text{Rendimiento} = \frac{1}{PAM}$$

## 11.2 CONSUMOS

En el caso de los consumos, Ternium Sidor controla la gestión del consumo de materiales a través de indicadores llamados consumos específicos definidos por:

$$\text{Consumo específico del material A} = \frac{\text{Cantidad de material A}}{\text{Tn de Producto}}$$

Este indicador se aplica para todos los insumos que se consumen en cada área de producción, tales como: materias primas, materiales, combustibles, energía, etc.

Nótese que el indicador Consumo Específico es la inversa de la Productividad Parcial:

$$\text{Consumo específico del material A} = \frac{1}{\text{Productividad Parcial del material A}}$$

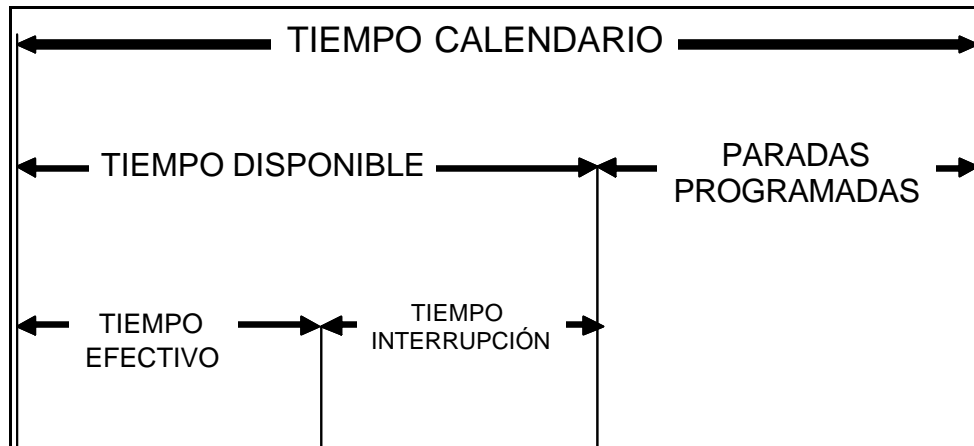
Este indicador permite conocer el Costo Específico de ese insumo, mediante la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \text{Consumo Específico del material "A"} * \text{Precio} &= \text{Costo Específico del insumo A} \\ \text{Kg / Tn} * \text{U\$\$ / Kg} &= \text{U\$\$ / Tn} \end{aligned}$$

Al utilizar el concepto de la inversa de la productividad, es decir, el consumo específico y el costo específico, es factible ordenar los materiales en familias y de esta manera resulta de la suma directa de los materiales de cada familia, encontrar el consumo específico y el costo específico de la familia de materiales que se trate.

## 11.3 ESTRUCTURA DE TIEMPOS

La Estructura de Tiempos se aplica a cada una de las áreas de producción para evaluar la eficiencia del uso del tiempo o sea la Productividad Horaria de cada área.



**Ilustración 14 Estructura de Tiempos de una línea de producción.**

**Fuente: Barbaro, 2008**

En la Ilustración 14 se aprecia el esquema de la estructura de tiempo de una línea operativa. A continuación se explica cada uno de los elementos que conforman esta estructura.

**Tiempo Calendario (TC) :** Es el total de tiempo expresado en horas que incluye el período de gestión, en este caso el Tiempo Calendario será el total de horas incluidas en el mes de gestión.

**Tiempo Disponible (TD):** Es el total de horas que corresponden de deducir al Tiempo Calendario la cantidad de horas correspondientes al tiempo no trabajado previamente programado (Feriados, Paradas Programadas, etc.)

$$TD = TC - (Feriados + Paradas Programadas + otros)$$

**Tiempo Total de Interrupciones (TI) o Demoras:** Es el total de horas de tiempo no trabajado debido a causas de paradas no programadas o intempestivas.

**Tiempo Efectivo (TE):** Es el total de horas resultantes de deducir del total del Tiempo Disponible el total de Tiempo de Interrupciones.

$$TE = TD - TI$$

**Utilización Disponible (UD):** Es la relación porcentual del Tiempo Disponible referido al Tiempo Calendario

$$UD = \frac{TD}{TC} * 100$$

Utilización Neta (UN): Es la relación porcentual del Tiempo Efectivo referido al Tiempo Disponible.

$$UN = \frac{TE}{TD} * 100$$

Utilización Total (UT): Es la relación porcentual del Tiempo Efectivo referido al Tiempo Calendario

$$UT = \frac{TE}{TC} * 100$$

#### **11.4 INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD**

Con base a los indicadores de tiempo y las cantidades de material utilizado, la OSP Ternium SIDOR definen los indicadores de productividad para cada área, tomando como ejemplo la sección de Hornos Eléctricos

Productividad Neta (para Hornos Eléctricos – PNHE): Es la relación del Total de Toneladas de Acero Líquido referido al total de Tiempo Efectivo

$$PNHE = \frac{TAL}{TE}$$

Productividad Disponible (para Hornos Eléctricos - PDHE): Es la relación del Total de Toneladas de Acero Líquido referido al total de Tiempo Disponible.

$$PDHE = \frac{TAL}{TD}$$

Eficiencia Efectiva (EE): Es la relación porcentual entre la Productividad Neta Real referido a la Productividad Neta Estándar.

$$EEHE = \frac{\text{PNHE (real)}}{\text{PNHE (estándar)}} * 100$$

La mayoría de las OSP utilizan estos métodos de medición y evaluación, lo que hace propicia la presentación de un método basado en el Análisis Envolvente de Datos (DEA).

## **12 CONTEXTO: REGIÓN GUAYANA<sup>4</sup>**

La Región Guayana está conformada por los estados Amazonas y Bolívar; cuenta con 18 municipios. Se encuentra ubicada al sur del Río Orinoco y limita por el norte con los estados Delta Amacuro, Monagas, Anzoátegui y Guárico; por el sur con las Repúblicas de Brasil y Colombia; por el este con la zona en reclamación con la República de Guyana; y por el oeste con la República de Colombia y el Estado Apure.

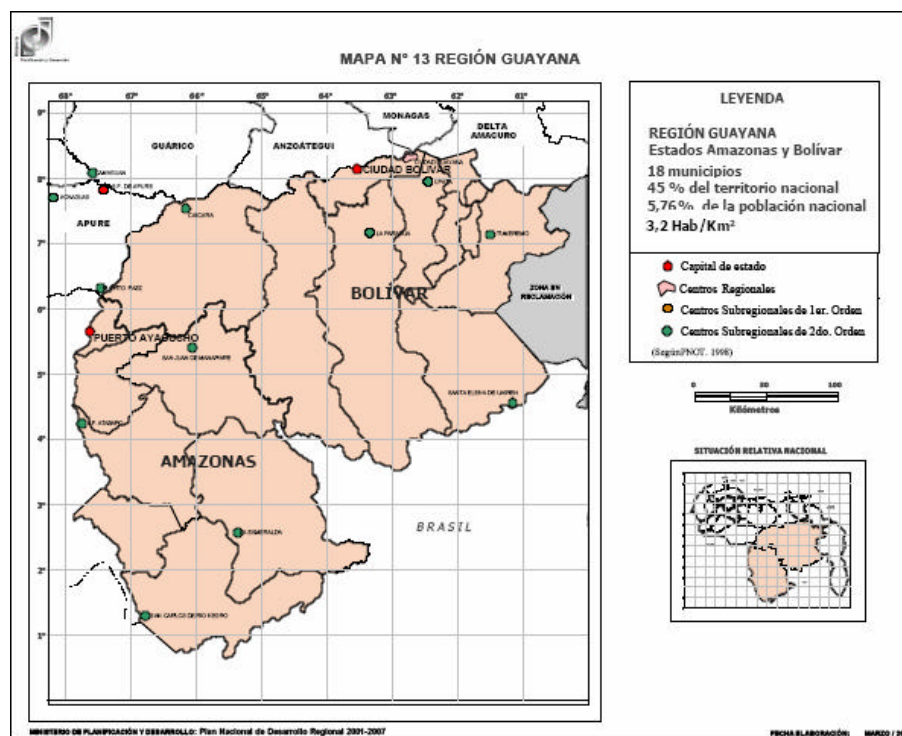
Ocupa una superficie de 418.145 km<sup>2</sup>, que representa el 45,6% del territorio nacional, y aloja una población, estimada para 1998 en 1.338.591 habitantes que representa el 5,76% de la población nacional (ver Ilustración 15).

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 producto totalmente semiterminado.

Presenta el más alto potencial en minerales no metálicos del país y se caracteriza por una gran diversidad de rocas y minerales, muchas de ellas de gran importancia económica. En el caso del hierro, se han estimado más de 3.000 millones de toneladas de alto tenor y más de 10.000 millones de toneladas de bajo tenor.

---

<sup>4</sup> PLAN NACIONAL DE DESARROLLO REGIONAL 2001 – 2007, Ministerio del Poder Popular para la Planificación y Desarrollo



**Ilustración 15 Mapa de la Región de Guayana.**

**Fuente: Ministerio de Planificación y Desarrollo.**

Tiene un complejo hidroeléctrico con una capacidad de generación instalada que representa, aproximadamente, el 71% de la energía generada en el país. Y se estima que, para el año 2006, dispondrá de 2.160 megavatios adicionales, generados por la represa Caruachi.

Asimismo, cuenta con el 75% del potencial hidrográfico del país:

- a) El Río Orinoco, con un caudal promedio de 30 millones de litros de agua por segundo, ofrece una vía de comunicación con el resto del mundo, y agua dulce no contaminada para la agricultura, la industria y el consumo humano en cantidades prácticamente ilimitadas.
- b) El Río Caroní, con un potencial hidroeléctrico que supera los 25 millones de kilovatios, y una capacidad instalada de millones de kilovatios, permitiendo ofrecer energía a todo el país, y también a precios competitivos en el mercado internacional.



- c) Capacidad portuaria que permite exportar mucho más de 15 millones de toneladas/año, con un tráfico que supera a los 1.000 barcos por año a través de un canal dragado de navegación Ciudad Guayana-Océano, de aproximadamente 320 Km.

## **12.1 ACTIVIDADES ECONÓMICAS**

Las limitaciones para el desarrollo de la actividad agrícola y pecuaria en el Estado Amazonas son sumamente acentuadas, dada la fragilidad ecológica imperante y las características de baja fertilidad de los suelos.

El turismo está poco desarrollado y no se cuenta con su adecuado aprovechamiento. Los parques industriales de pequeña y mediana empresas metalmeccánicas ubicados en Ciudad Guayana tienen una alta capacidad ociosa.

El sector industrial está conformado, básicamente, por empresas productoras de materia prima, las cuales tienen una alta dependencia de los ciclos económicos e industriales. Estas empresas generan el 91% del valor bruto de la producción y el 74% del empleo de la región. Posee poca capacidad exportadora, lo que significa que su inserción en los mercados internacionales es baja (alrededor de US\$ 2.000 millones).

El nivel de industrialización es significativo y representa el 30% de la economía de la región; sin embargo, es orgánicamente débil, debido a la carencia de cadenas productivas en los distintos sectores que conforman la economía regional, al sesgo hacia las industrias química, metalúrgica y siderúrgica, y al bajo peso relativo de los sectores de mayor componente tecnológico, además de su concentración en Ciudad Guayana.

## **13 LA CADENA DEL ACERO<sup>5</sup>**

La industria ferrominera, siderúrgica y de la metalmeccánica ferrosa, se integran en un proceso que alcanza desde la producción de mineral de hierro, de

---

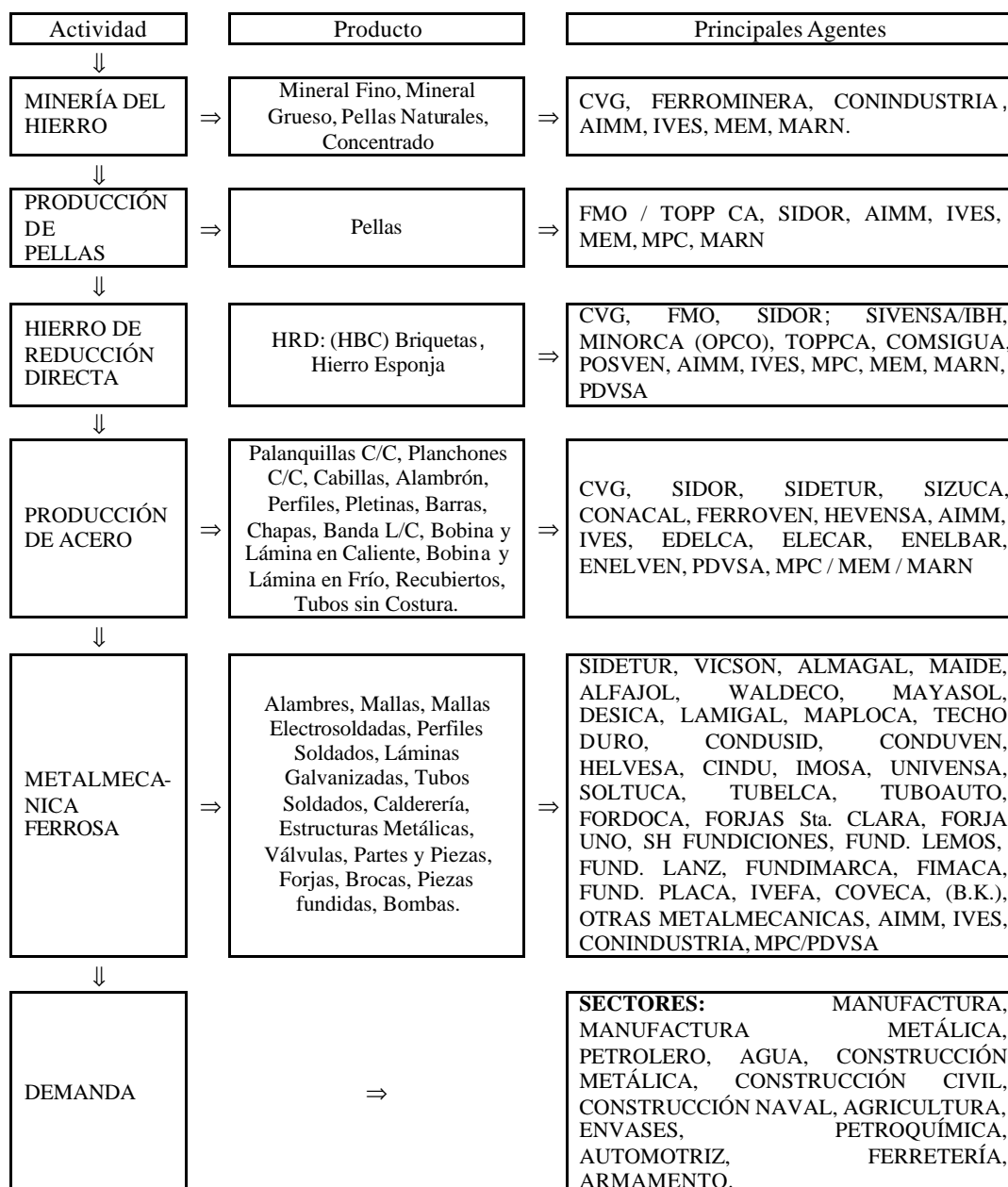
<sup>5</sup> PLAN NACIONAL DEL SECTOR HIERRO Y ACERO, Ministerio del Poder Popular para la Planificación y Desarrollo

pellas de mineral de hierro, y hierro de reducción directa (HRD), hasta la producción siderúrgica y su posterior transformación por parte de la industria metalmeccánica ferrosa.

Este proceso integrado, es conocido como LA CADENA DEL ACERO (ver Ilustración 16), cuyos aspectos sobresalientes se resumen así:

- a) 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 hierro de reducción directa (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 metalmeccánica ferrosa.
- b) En Venezuela, los tres primeros eslabones (mineral-HRD-acero) muestran sólidos signos de integración entre los mismos, fenómeno sustentado en buena parte, por el hecho de que la totalidad de las plantas tiene una misma área de localización en Ciudad Guayana, relativamente pequeña, que facilita el intercambio de los flujos de producción y la concentración de servicios de apoyo, amén de las buenas relaciones comerciales y de intercambios tecnológicos que favorecen la competitividad.
- c) La relación entre el tercer eslabón (acero) y el cuarto eslabón (metalmeccánica ferrosa) muestra posiciones débiles en cuanto a los mecanismos de integración entre ambos. La metalmeccánica ferrosa no ha crecido lo suficiente como para conformar un mercado nacional de magnitud suficiente para la producción de acero que, como compensación, debe fundamentar su comercio en la exportación de semielaborados y otros productos siderúrgicos que no se procesan en el país.
- d) Un análisis sobre el destino final de la producción de productos laminados planos de acero, permite afirmar que el mayor peso del eslabón de la metalmeccánica ferrosa recae en la producción de tubos soldados, estructuras metálicas, valvulería y otros productos, vinculados con la industria petrolera como consumidor final. El

resto de la industria metalmeccánica ferrosa, cuya producción tiene un destino final distinto a la industria petrolera, tiene un menor peso relativo.



**Ilustración 16 Cadena del Acero**

Fuente: Jóvito Martínez.

#### 14 PROCESOS DE REDUCCIÓN DIRECTA <sup>6</sup>

La reducción directa de minerales de hierro, que 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, es un pilar de la ruta de producción de aceros por medio de los hornos eléctricos de aceración, la cual a partir de la segunda mitad del siglo XX ha presentado un crecimiento exponencial. Desde sus comienzos en las décadas de los cincuenta y sesenta la producción de hierro de reducción directa como materia prima para la aceración, ha pasado de unas setecientas mil toneladas anuales a cerca de cuarenta millones de toneladas en el año dos mil dos.

El repunte en los últimos años que ha tenido la producción de hierro de reducción directa puede decirse que es debido a las siguientes razones:

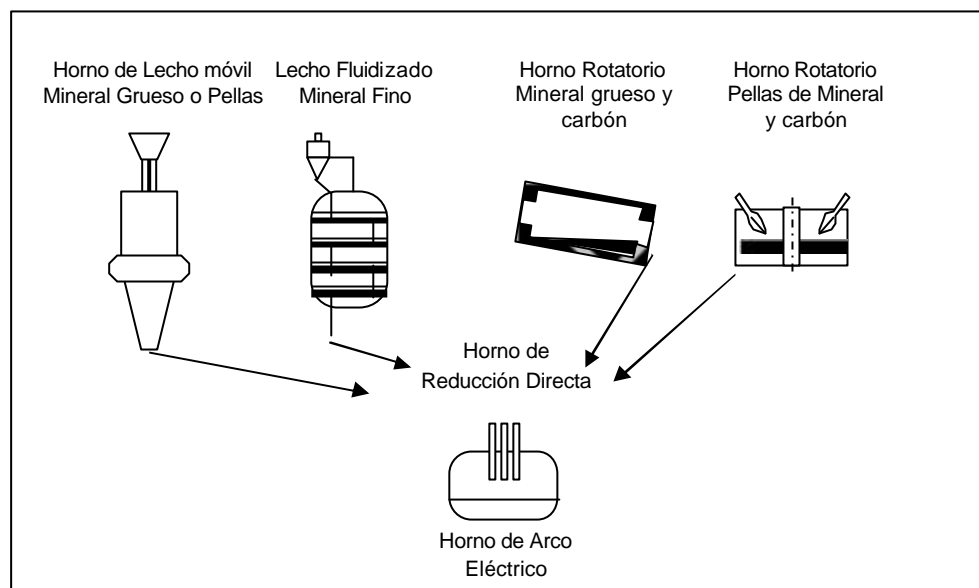
1. Alta eficiencia térmica.
2. El gas natural utilizado en los procesos es limpio y barato.
3. Mejor control en la producción de acero por la calidad del HRD, alta Metalización, contenido de carbono conocido y controlado y bajo nivel de impurezas.
4. Escasez de fuentes metálicas de reciclaje como chatarra.

La producción mundial de HRD, esta claramente ubicada y la razón principal de esa ubicación es el precio del gas natural. América Latina y los países del medio este son las regiones del globo con mayor producción y son llamadas a tener un prominente desarrollo en la industria del acero basada en procesos de Reducción Directa.

Muchos procesos se han desarrollado en este medio siglo, pero sólo algunos han logrado permanecer en operación. Los principales procesos se pueden esquematizar de acuerdo al modelo de reactor y a la fuente de agente reductor como se ve continuación:

---

<sup>6</sup> CURSO DE REDUCCION DIRECTA DE MINERALES DE HIERRO, Prof. Henry R. Bueno Colina



**Ilustración 17** Representación esquemática de los principales reactores utilizados por los procesos de reducción directa.

La mayor producción de HRD esta desplazada hacia los procesos a gas natural, abarcando mas del 90% de la producción mundial representada por los dos procesos mas difundidos como son el proceso Midrex y el proceso HyL. En el ultimo quinquenio se ha puesto de manifiesto otro proceso el Finmet, tecnología venezolana con una capacidad instalada de mas de 4 millones de Tm en sus dos plantas, una de las cuales esta instalada en Australia y la otra en Venezuela, pero solo ha alcanzado el 50% de su capacidad instalada.

#### 14.1 PROCESO MIDREX.

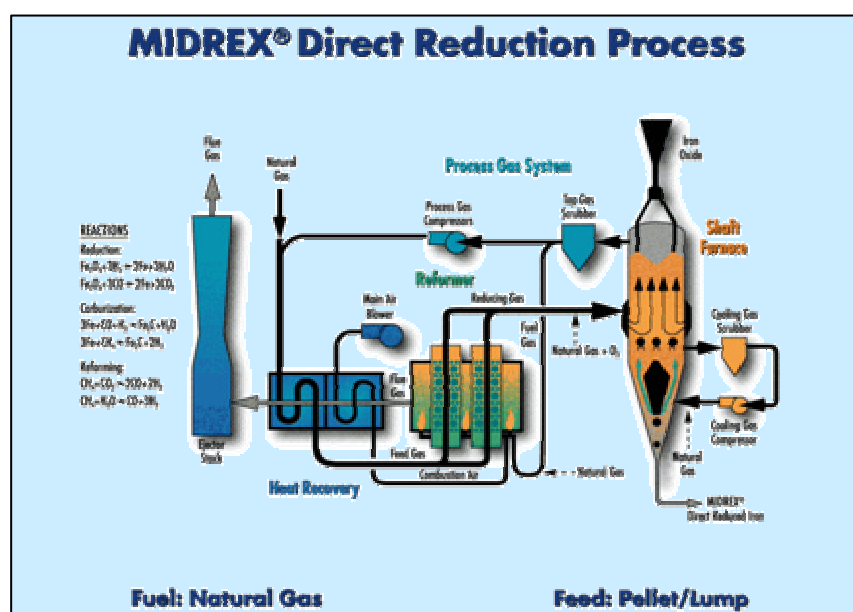
El proceso de reducción directa Midrex, emplea un número de sistemas y equipos para el manejo del óxido, del agua y del producto metalizado, los cuales son operados automáticamente por relaciones muy precisas que permiten convertir los óxidos de hierro en hierro de alta Metalización.

Las características de mayor significación del proceso son:

- a) Alta eficiencia por la recirculación de gas de tope, tanto para recuperar los reductores no utilizados como para recuperar el calor de combustión de la

fracción que debe ser purgada para el control de la presión del sistema y eliminación de oxidantes.

- b) El sistema es operado a baja presión
- c) Utilización de un reformador estequiométrico, en el cual el oxidante es directamente tomado del gas de tope.
- d) El flujo continuo de sólidos a través del reactor permite la obtención de un producto homogéneo.



**Ilustración 18** Esquema general de Midrex.

El gas de tope que sale del reactor es lavado y enfriado en un equipo de contacto directo que permite controlar la temperatura. En el equipo de enfriamiento el gas es dividido en dos corrientes, una para el gas proceso y una para el de tope combustible, cuya relación es aproximadamente 2:1, dependiendo la precisión de esta relación de las condiciones del proceso. La corriente de gas proceso es comprimida para compensar las caídas de presión en los diferentes equipos. El gas comprimido y con una temperatura controlada por adición de agua al compresor, es precalentado y mezclado con gas natural también precalentado. Cuando el contenido de azufre en el gas es alto (el catalizador disminuye su actividad cuando el  $\text{H}_2\text{S}$  es mayor a 10 ppm), bien sea porque el gas natural contiene compuestos con azufre o bien porque el

mineral o la pella procesada liberan azufre durante la reducción, el gas es tratado con óxido de zinc que absorbe el  $H_2S$ .

La mezcla llamada gas de alimentación, es alimentada a los tubos porta catalizador que están alineados en la caja radiante del reformador, agrupados en paquetes de 30 o 36 tubos cada paquete. La temperatura de operación de la caja es mantenida entre 1100 y 1120 °C, en algunos casos es operada hasta 1150 °C, pero a expensas de un rápido deterioro de los tubos. La temperatura debe ser alta porque todo el calor requerido por las reacciones es suministrado por las paredes de los tubos. El gas que sale del reformador es un gas reductor con más de 90 % de agentes reductores y su temperatura normalmente se ubica entre 920 y 950 °C.

El gas reductor obtenido, que también se conoce como gas reformado, en este gas se hace los controles del proceso básicamente monitoreando cuatro variables importantes, la relación  $H_2/CO$ , el % de metano, el % de dióxido de carbono y la temperatura del gas.

Dado que el gas reformado sale del reformador a una temperatura más alta que la requerida para el reactor de reducción, una porción del gas se enfría en un equipo de contacto directo y se regresa a la corriente principal para controlar la temperatura al nivel deseado, que varía entre 850 y 880 °C. Hoy en día existen plantas que no requieren este enfriamiento porque operan a temperaturas superiores, inclusive inyectan oxígeno para aumentar la temperatura.

Después de esta operación el gas es llamado gas de bustle, se le añade gas natural para el control de carbono del producto y para evitar un sobre calentamiento del lecho.

El gas de bustle entra al reactor y comienza a oxidarse por las reacciones de reducción que tienen lugar en toda la columna del reactor y abandona el mismo con un grado de oxidación próximo 42 %.

## 14.2 PROCESO HYL.

El Proceso HyL II, consiste básicamente de dos secciones que operan independientemente, una sección para la generación del gas reductor y la otra para la reducción de los minerales de hierro.

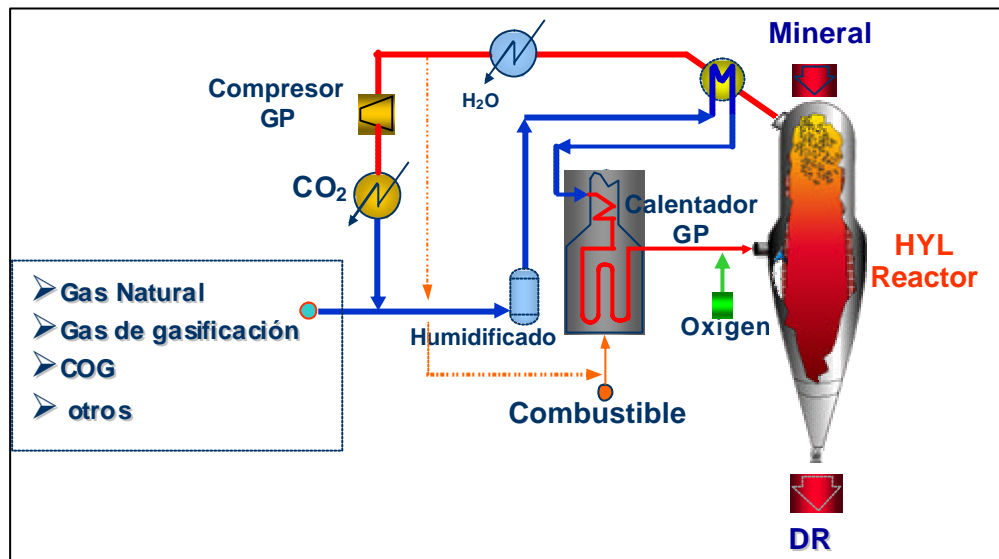


Ilustración 19 Esquema general del Proceso HyL.

La sección de generación de gas reductor, está constituido por un reformador gas - vapor convencional y su correspondiente equipo de recuperación de calor que incluye el área de generación de vapor. Las reacciones de reformación tienen lugar en tubos de alta aleación llenos con catalizador estándar a base de níquel. La energía requerida por las reacciones es suministrada por combustibles disponibles. El calor sensible de los gases de combustión es utilizado para precalentar el gas de alimentación y para la generación de vapor.

La sección de reducción esta conformada por el reactor de reducción, el lavador de gas, el calentador de gas, los compresores de recirculación y la unidad de absorción de dióxido de carbono. Una mezcla de gas de recirculación y gas reformado de reposición entran al reactor después de haber sido precalentada alrededor de 925 °C, donde fluye en contracorriente con el lecho de óxido que desciende, efectuándose las reacciones de reducción. Para reutilizar los agentes



reductores que no reaccionaron, del gas agotado que deja el reactor se eliminan selectivamente el vapor de agua y el dióxido de carbono producto de las reacciones de reducción. Casi la totalidad del gas de tope es reciclado, solo una pequeña porción es purgada del sistema para controlar la concentración de los inertes y la presión del sistema.

La mayor parte de las plantas del proceso HyL, presentan un circuito de enfriamiento, compuesto por la parte cónica del reactor, un compresor y un enfriador de contacto directo.

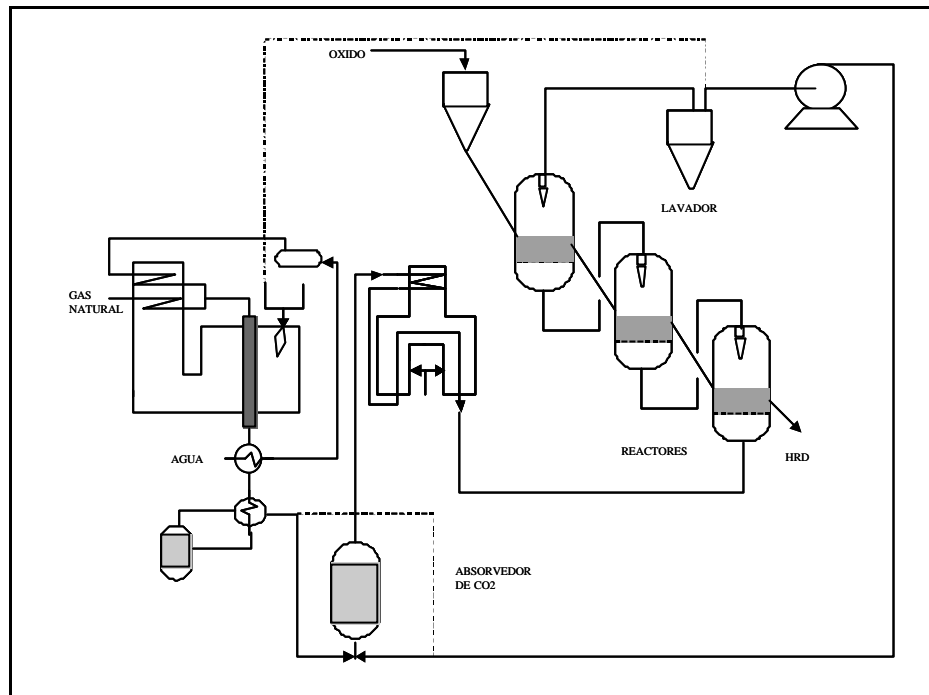
El mineral de hierro en forma de pellas, mineral en trozos o una mezcla puede ser procesada en el reactor, produciendo HRD homogéneo de alta calidad, con Metalización de 95 % y un contenido de carbono controlado entre 1,5 y 3,0 %.

El proceso HyL es caracterizado por: a) la alta presión de operación 5,5 Kg./cm<sup>2</sup>, b) Un sistema automatizado de válvulas que controlan la presurización y c) despresurización a la entrada y salida de las tolvas de carga de óxido y descarga de HRD.

La energía sensible del HRD, que es normalmente removida bien por un circuito de gas de enfriamiento en la producción de HRD frío o bien en el enfriamiento por contacto directo con agua del HBI producido, puede ser recuperada en el EAF disminuyendo la energía requerida en el proceso de aceración. En este sentido HyL introdujo en los años noventas el transporte neumático para transportar HRD caliente hasta el EAF.

### **14.3 PROCESO FINMET**

A diferencia de los proceso Midrex y HyL, el proceso Finmet se caracteriza principalmente porque el mineral que procesa es de granulometría fina, con un tamaño de partícula comprendido entre 0,1 y 3mm y porque el mismo es tratado en un lecho fluidizado en lugar de un lecho empacado.



**Ilustración 20 Esquema general del proceso Finmet.**

Al igual que los otros procesos de reducción, el proceso Finmet está constituido por dos grandes secciones, una sección para la generación del gas reductor y la otra para la reducción de los minerales de hierro. La sección de generación de gas reductor, está constituido por un reformador gas - vapor convencional y su correspondiente equipo de recuperación de calor que incluye el área de generación de vapor. Las reacciones de reformación tienen lugar en tubos de alta aleación llenos con catalizador estándar a base de níquel. La energía requerida por las reacciones es suministrada por combustibles disponibles. El calor sensible de los gases de combustión es utilizado para precalentar el gas de alimentación y para la generación de vapor.

La sección de reducción está conformada por un tren de tres reactores de lecho fluidizado de reducción, el lavador de gas, el calentador de gas, los compresores de recirculación y la unidad de absorción de dióxido de carbono. Una mezcla de gas de recirculación previamente depurado de vapor de agua y dióxido de carbono y una corriente de gas reformado de reposición entran al reactor inferior del

tren después de haber sido precalentada alrededor de 780 °C, donde fluye a través del lecho de óxido que está expandido y en serie atraviesa los otros reactores, efectuándose las reacciones de reducción.

En cada reactor en particular se completa una fase de la reducción, en el primer reactor el óxido se precalienta y pasa de hematita a Magnetita, en el segundo reactor la Magnetita pasa a wustita y en el tercer reactor el material alcanza el porcentaje de Metalización deseado. Para reutilizar los agentes reductores que no reaccionaron en su primer paso por los reactores, del gas agotado que deja el tren de reactores se eliminan selectivamente el vapor de agua y el dióxido de carbono producto de las reacciones de reducción. Casi la totalidad del gas de tope es reciclado, solo una pequeña porción es purgada del sistema para controlar la concentración de los inertes y la presión del sistema.

El proceso Finmet es caracterizado además por la alta presión de operación de 10 Kg./cm<sup>2</sup>, lo que permite compensar las grandes caídas de presión ocurridas en el sistema.

## **15 PROPUESTA DEL AUTOR**

En esta investigación se pretende contar con una herramienta que permita analizar Productividad a través de la Eficiencia y el cambio Técnico de los procesos de Reducción Directa de Hierro en la Región de Guayana.

Para realizar esto es necesario caracterizar los procesos de Reducción Directa en una unidad que permita su análisis, esta unidad lo constituye lo definido por OSP ya que la misma posee como elementos esenciales: a) la producción, representada por el proceso de reducción directa; b) el hombre, todo lo relacionado con el personal directo e indirecto necesario para llevar a cabo los procesos; c) y el dinero, conformado por las inversiones necesarias para poder lograr colocar los productos en el mercado.

A partir de la OSP, se estructurará un modelo que permita identificar el efecto de cada uno de los elementos: producción, hombre y dinero en la OSP y su relación

con la eficiencia, Cambio Técnico y la productividad. Este enfoque nos permite proponer dos dimensiones para la elaboración de nuestro modelo, una de prosecución; y otra de expansión.

Prosecución, en esta dimensión establecemos que primero se es eficiente, luego se es productivo.

Expansión, en esta dimensión establecemos que si una OSP obtiene crecimiento de prosecución emigrará hacia escenarios de mayores ganancias o provecho.

En nuestro modelo es necesario redefinir los conceptos de eficiencia y productividad, para ello seguiremos el método propuesto por Bueno Campos, Eduardo (1999), que propone las preguntas siguientes:

- a) ¿Cuáles son los ámbitos o campos del conocimiento y de la acción humana en lo que se emplea las palabras eficiencia y productividad?
- b) ¿Cuáles son los caracteres que explican cada ámbito y son comunes en cada situación identificada?
- c) ¿Cuál puede ser la propuesta conceptual, de carácter universal, de eficiencia, y productividad?

Los ámbitos en los cuales se aplican la eficiencia y la productividad se estructurarán en cuatro niveles sistémicos de gestión:

- a) Micro (pequeño, del griego Mikros): Este nivel involucra la gestión de la OSP a un nivel operativo, ya que en este nivel se planifica la forma de utilizar los recursos para obtener los exumos requeridos. Es decir el principal problema de este nivel es la eficiencia.
- b) Meso (medio, del griego Mesos): Representa la gestión de la OSP a un nivel estratégico. En este nivel se analiza no solo la utilización de los recursos, sino también la posibilidad de aumentar las capacidades de utilización de los recursos para conseguir que aumenten la eficiencia y por ende la productividad. Es un nivel

en donde se comprometen las operaciones de la OSP es decir, finanzas, personal, producción, logística

- c) Macro (grande, del griego Makros): Este nivel representa la gestión a nivel industrial. Es decir, la gestión que resulta de las actividades de varias empresas. En este nivel las empresas alcanzan sus niveles de competitividad ya que se requiere la interacción con otras empresas bien sea para competir por posicionamiento en el mercado o por obtención de recursos
- d) Meta (más allá, del griego Metá): La empresa no solo debe mantener sus niveles de competitividad, sino que debe buscar expandir su nivel de actuación a niveles superiores, por ejemplo pasar del ámbito nacional al internacional.

De acuerdo a la segunda pregunta, en donde se tratan los caracteres o características comunes de los cuatros niveles de gestión, se pueden inscribir en los cuatros caracteres según Bueno (1999): Área de actuación, Situación de operaciones, Sistema de objetivos, Recursos y Capacidades.

**Cuadro 7**  
**Niveles y caracteres**

Caracteres	Niveles Sistémicos De Gestión			
	Micro	Meso	Macro	Meta
Escenario de actuación	Producción	Empresa	Cluster, conglomerados	País, Continente
Situación de operaciones	Procesos de producción.	Operaciones empresariales	Operaciones Ínter empresariales	Operaciones regionales, estatales, internacionales
Sistemas de objetivos	Volumen de producción	Niveles de Ventas	Aumento de la participación en el mercado.	Expansión del mercado.
Recursos y capacidades	Insumos, procesos, exumos.	Distribución de producto, logística.	Promoción, Capacidad competitiva	Alianza, Carteles, Sucursales, Globalización, competencia internacional, Ampliación de mercado.

**Fuente: del autor**

El Cuadro 7 muestra los niveles y sus caracteres. En este cuadro se puede ver que la actividad de una empresa en el nivel micro puede propagarse a escenarios cada vez mayores. Así mismo, sus operaciones requieren de un grado mayor de complejidad y de interrelación pues a medida de que el escenario aumenta se requiere

de mayor capacidad logística. Esto a su vez plantea que en la medida que los niveles sistémicos de gestión aumentan, los objetivos son más exigentes y que los recursos y capacidades necesarios para actuar en cada uno de esos niveles requieren de mayores esfuerzos gerenciales que consecuentemente este esfuerzo se traduce en mayores beneficios, para ello la gerencia debe tomar tres decisiones importantes:

- a) De entre todos los niveles de producción posibles, debe elegir la cantidad de exumos que maximice el beneficio.
- b) De entre todas las combinaciones de insumos que sirven para producir, la gerencia debe elegir aquella combinación de insumos que minimiza el costo de producción.
- c) La empresa debe producir el exumo elegido con la cantidad mínima de insumos posible o lo que es lo mismo, no debe malgastar recursos.

Así, una OSP es eficiente:

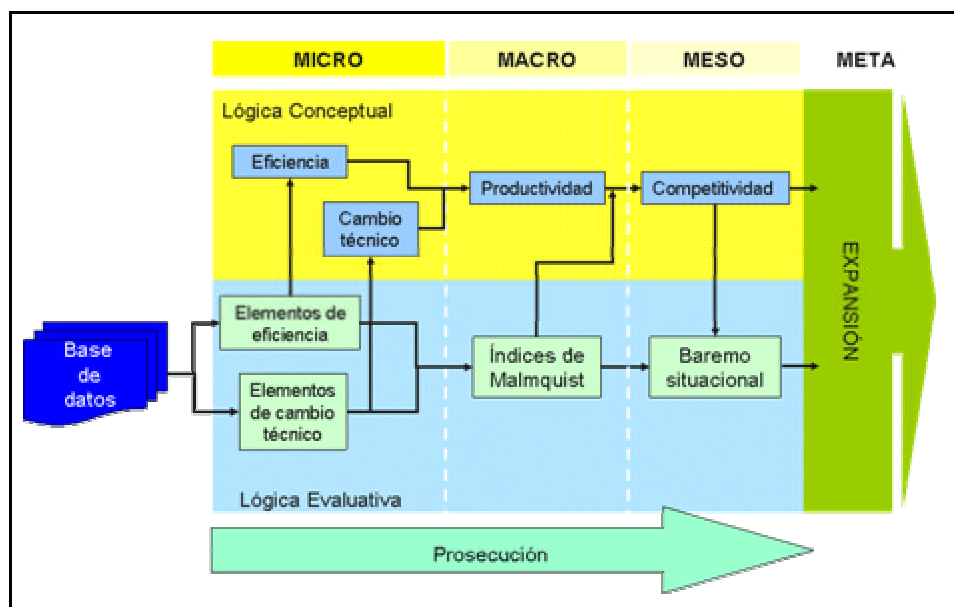
*“Cuando elige y obtiene la producción que maximiza los beneficios combinando los insumos al menor costo”*

De forma similar una propuesta conceptual de carácter universal para la productividad es:

*“La productividad es la optimación de los recursos y capacidades a través de cambio de eficiencia que permite el logro de los objetivos orientados por las operaciones de la Organización Social de Producción en cualquier nivel sistémico de gestión”*

Además, el concepto de Cambio Técnico utilizado en esta investigación es: *cualquier clase de desplazamiento de la función de producción, no explicable al mejoramiento de la utilización de los insumos* (Solow; 1957: 320, referenciado por Martínez de Ita).

La relación entre estos conceptos se muestra en el Modelo Topológico de Eficiencia, Cambio Técnico, Productividad y Competitividad (MECPC) presentado en la Ilustración 21.



**Ilustración 21 Modelo Topológico de Eficiencia, Cambio Técnico, Productividad y Competitividad.**

**Fuente: Del Autor.**

El modelo es alimentado por la bases de datos referentes al comportamiento histórico de las cantidades de insumos y exumos.

Las dimensiones de prosecución y expansión se analizan desde dos perspectivas: la lógica conceptual y la lógica evaluativa.

Basándonos en la teoría de índice de Stean Malmquist, la lógica conceptual muestra que la variación de la eficiencia y el Cambio Técnico repercuten directamente sobre la productividad. Y la variación de la productividad necesariamente lleva a obtener competitividad (Paul Krugman, 1994). De igual manera se muestra el nivel sistémico de gestión que influye directamente sobre cada uno de ellos.

La lógica evaluativa nos muestra la secuencia de medición y evaluación de cada concepto según su nivel de prosecución.

Como se ha mostrado en el marco teórico del presente estudio, este proceso de evaluación se puede realizar a través del Análisis Envolvente de Datos, ya que este procedimiento permite relacionar los elementos de eficiencia y Cambio Técnico para obtener indicadores de eficiencia y Cambio Técnico, y además, calcular el Índice de Malmquist que indicará cual ha sido la variación de la productividad en el periodo bajo estudio.

La información generada por este modelo permitirá la construcción de un Baremo Situacional en donde se podrá evaluar y analizar los niveles de competitividad de la OSP, todo esto con la finalidad de conseguir un nivel de gestión Meta o referente que permita la Expansión a niveles superiores.



### **CAPITULO III**

#### **MARCO METODOLOGICO**

La metodología a emplear estará basada en la revisión bibliográfica de los conceptos básicos de productividad y de las nuevas filosofías de medición y evolución de la productividad, utilizadas en la actualidad (evaluación del estado del arte).

#### **1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La formulación de un modelo, corresponde a la realización de un proyecto factible, ya que está orientado a “...proporcionar respuestas o soluciones a problemas planteados en una determinada realidad...”, Balestrini, (1998), Pág. 9, donde la elaboración de la propuesta final, requiere de “...la realización de un diagnóstico de la situación existente y la delimitación de las necesidades del hecho estudiado, para formular un modelo operativo en función de las demandas de la realidad abordada”, ídem. A tal efecto, la investigación fue abordada en dos grandes fases, para cumplir con los requisitos inherentes a un Proyecto Factible.

En la primera fase, se realizó un diagnóstico de la situación existente en la realidad objeto del estudio, a fin de medir y evaluar a la Eficiencia y Cambio Técnico de los procesos de Reducción Directa de Hierro.

En la segunda fase, y atendiendo a los resultados del diagnóstico, se formuló el modelo matemático propuesto, referido a un Modelo de Análisis Envolvente de Datos e Índices de Malmquist para el sector siderúrgico, donde se dará respuestas a la optimación productividad de los proceso estudiados.

La principal fuente de investigación provino de la revisión del marco conceptual o teórico, que hoy en día existe sobre productividad, la observación directa y análisis de las prácticas actuales dentro del área de estudio, la investigación de campo a

realizar y la generación de una posición del investigador ante esas teorías y a los hallazgos efectuados.

## **2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

Se plantea una investigación no experimental transversal o transeccional, ya que se analizaron los fenómenos tal y como de dan en su contexto real, Sampèri y otros, (1998), pág. 184, afirman al respecto que “se observarán situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente por el investigador”; lo que se quiere es analizar como es y se manifiesta un fenómeno y sus componentes. Por lo tanto, la investigación será de tipo descriptivo, teniendo como fundamento la caracterización del estado del arte en productividad. En el caso en estudio el fenómeno a observar será la productividad de los procesos de Reducción Directa de hierro.

## **3 POBLACIÓN**

Tamayo y Tamayo, (2000), pág, 114, definen la población 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”. A tal efecto, la población objeto del estudio será los Procesos de Reducción Directa presente en la región de Guayana: Midrex, H y L, y FINMET.

Según el reporte de *MIDREX Technologies* existen un total de 156 módulos de reducción directa a nivel mundial (ver anexo A), determinándose que 17 módulos están presentes en Guayana, y se encuentran distribuido de la siguiente manera: Ver Cuadro 8

**Cuadro 8**  
**Distribución de Empresas y módulos de reducción directa en la región de Guayana**

Proceso	Planta	Localización	Capacidad (Mt/año)	Módulos	Producto	Inicio	Condición
MIDREX	Ternium SIDOR I	Matanzas, Venezuela	0,35	1	DRI	'77	O
	Ternium SIDOR II	Matanzas, Venezuela	1,29	3	DRI	'79	O
	OPCO	Puerto Ordaz, Venezuela	1,00	1	HBI	'90	O
	VENPRECAR	Matanzas, Venezuela	0,82	1	HBI	'90	O
	COMSIGUA	Matanzas, Venezuela	1,00	1	HBI	'98	O
HYL	SIDOR II	Matanzas, Venezuela	2,11	3	DRI	'81	O
	Matesi	Matanzas, Venezuela	1,50	2	HBI	'00	O
FINMET	Orinoco Iron	Matanzas, Venezuela	2,20	4	HBI	'00	O
FIOR	Operaciones RDI	Matanzas, Venezuela	0,40	1	HBI	'76	I
<b>TOTAL</b>			<b>10,67</b>	<b>17</b>			

Fuente: 2006 World Direct Reduction Statics: MIDREX Technologies, Inc / Condición:  
**O-Operando, I – Inactivo**

#### 4 LA MUESTRA

La utilizada en el estudio fue de tipo intencional, ya que se seleccionaron aquellas empresas que según el criterio del investigador, cumplan con ciertas características previamente definidas; a tal efecto, Arias, (1997), Pág. 34, señala que el muestreo intencional es la “selección de los elementos, con base a criterios o juicios del investigador”.

Para seleccionar la muestra de este estudio se ha utilizado los siguientes criterios:

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 un proceso de aprendizaje consolidado, y además, estar en operación a fin de poder aplicar los resultados del presente estudio.
3. Todos los elementos deben competir por los insumos y recursos: Ya que los elementos a comparar deben pertenecer a un mismo sector, por lo cual se deben hacer preferente en la obtención de insumos y recursos.
4. A fin de considerar el efecto de la escala de producción en el Cambio Técnico, la capacidad de producción por módulos no será un factor limitante en la selección de las empresas a analizar.

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

**Cuadro 9**  
**Muestra seleccionada**

Proceso	Planta	Localización	Capacidad (Mt/año)	Módulos	Producto	Tiempo de Operación (Años)	Condición
MIDREX	Ternium SIDOR I	Matanzas, Venezuela	0,35	1	DRI	31	O
	Ternium SIDOR II	Matanzas, Venezuela	1,29	3	DRI	29	O
	OPCO	Puerto Ordaz, Venezuela	1,00	1	HBI	18	O
	VENPRECAR	Matanzas, Venezuela	0,82	1	HBI	18	O
	COMSIGUA	Matanzas, Venezuela	1,00	1	HBI	10	O
HYL	SIDOR II	Matanzas, Venezuela	2,11	3	DRI	27	O
	Matesi	Matanzas, Venezuela	1,50	2	HBI	8	O
FINMET	Orinoco Iron	Matanzas, Venezuela	2,20	4	HBI	8	O
<b>TOTAL</b>			<b>10,27</b>	<b>16</b>			

Fuente: 2006 World Direct Reduction Statics: MIDREX Technologies, Inc / Condición:  
O-Operando, I – Inactivo

## **5 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

Para la realización del presente estudio y en función a su objetivo, el cual plantea el análisis de la productividad sector siderúrgico como una modalidad de proyecto factible, se utilizaron una serie de instrumentos y técnicas de recolección de información; se utilizaron técnicas de revisión y análisis a los informes empresariales, económicos y de gestión del sector, así como de la revisión documental de la bibliografía reportada por el autor. Adicionalmente, se utilizaron entrevistas aplicadas a personal clave dentro del área a evaluar, lo cual permitirá esencialmente alcanzar, los objetivos específicos propuestos y en consecuencia su objetivo general.

Dada la modalidad del estudio (proyecto factible), el cual requiere delimitar el problema de investigación, realizar un diagnóstico de la productividad y operacionalizar una situación deseada mediante la formulación de un modelo matemático, se utilizarán las herramientas estratégicas siguientes:

Técnicas y protocolos instrumentales de la investigación documental para establecer el basamento teórico de la investigación y de la observación documental. Se recurrirá, en consecuencia, a la recolección y análisis teórico de referencias bibliográficas con información de Bibliotecas, Archivos Técnicos, Internet, Revistas actualizadas, Centro de Investigación del sector siderúrgico, Informes Gerenciales, Informes Ejecutivos, etcétera.

Técnicas de entrevista, con la finalidad de obtener la opinión del personal del sector.

## **6 ANÁLISIS DE DATOS.**

Los datos obtenidos durante la investigación fueron sometidos a un proceso de selección, tabulación e interpretación, para posibilitar el logro de conclusiones y recomendaciones, con base a los resultados obtenidos.

Se establecerán relaciones entre los hallazgos encontrados, las interrogantes de la investigación y las variables estudiadas; utilizando el análisis sistémico y los métodos de evaluación estratégicos, como el análisis DEA. Los datos se clasificarán,

agruparán, categorizarán, dividirán y subdividirán, atendiendo a sus características, para posteriormente ser analizados.

La información recopilada a través de los instrumentos y técnicas de recolección de datos se presentará de forma organizada mediante la representación escrita, cuadros e ilustraciones.

Para el procesamiento de los datos, se utilizarán tanto medios manuales como automatizados, utilizando técnicas de tabulación, análisis envolvente de datos, no paramétrica. Finalmente, para su análisis, se utilizarán las técnicas lógicas (deducción, análisis y síntesis) y técnicas estadísticas inferenciales.

## **7 TÉCNICAS PARA LA FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO.**

La formulación del Modelo matemático de medición y evaluación de la Eficiencia y el Cambio Técnico, considerara a los procesos de Reducción Directa como entes que minimizan la utilización de insumos y maximizan sus niveles de producción.

Uno de los controles más deseables sería aquel que nos proporcionara el grado de eficiencia de las OSP, lo que es lo mismo indica el aprovechamiento de los insumos, además de controles que garantizan el Cambio Técnico, es decir la utilización de los recursos tecnológicos.

Visto este enfoque, explicaremos su construcción. Para inferir sobre esto consideraremos que la productividad se compone de eficiencia y Cambio Técnico, además de analizar su comportamiento en el tiempo.

Estas mediciones son posibles a través de los modelos de Análisis Envolventes de Datos siguientes:

1. El Modelo DEA CCR: Este modelo fue inicialmente propuesto por E. Rhodes en su tesis doctoral dirigida por W. Cooper y modificado por A. Charnes.

2. El Modelo DEA BCC: El modelo BCC es una modificación del modelo CCR, realizada por R. Banker.
3. El Modelo DEA FG: El modelo FG es una modificación del modelo CCR, realizada por R. Färe y S. Grosskopf.
4. El Modelo DEA ST: El modelo ST es una modificación del modelo FG, realizada por L. Seiford y R. Thrall.
5. Modelo de los indicadores de Malmquist

La aplicación de estos modelos permitirá la medición y evaluación de la productividad basada en eficiencia y Cambio Técnico, y la evaluación de los resultados de esta medición. Estos modelos serán asistidos por programas de computación tales como Ábaco PL y Ábaco DEA que son diseños del autor.

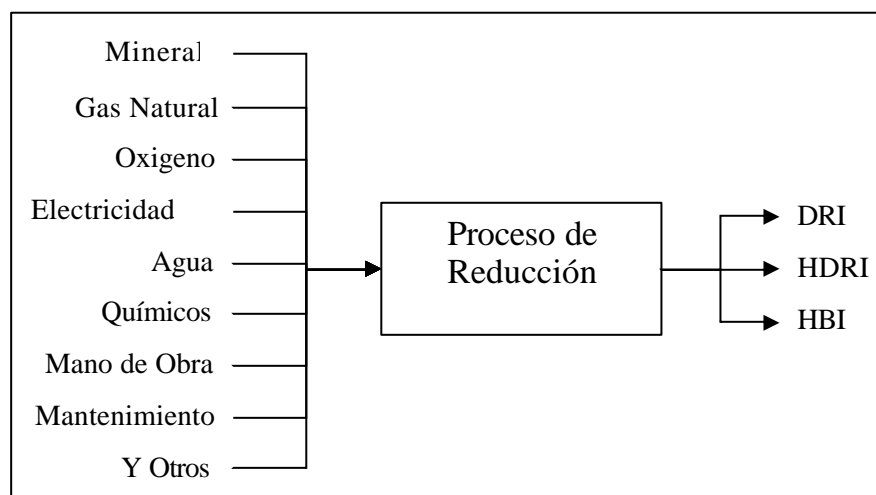
## CAPITULO IV

### RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de la investigación, así como también sus respectivos análisis y las propuestas estratégicas de mejoras de la productividad de los procesos de reducción directa MIDREX, H y L, FINMET.

#### 1 CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE REDUCCIÓN DIRECTA DE HIERRO, PRESENTES EN LA ZONA DE GUAYANA.

Como ya se mencionó anteriormente, los procesos de Reducción Directa presentes en la región de Guayana son: MIDREX, HyL y FINMET. 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 que 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), tal como se muestra en la figura siguiente



**Ilustración 22** Caracterización de los procesos de reducción.

Fuente: del autor.



Aunque la finalidad de los tres procesos es la misma, cada uno tiene su tecnología de producción.

El proceso de reducción de MIDREX consta básicamente de tres etapas: a) Reducción: En esta etapa se retira el oxígeno del mineral para eliminar el óxido de hierro; b) Reformación: En esta etapa se genera el gas de reducción; y c) Recuperación de calor: es usado para ventear a la atmósfera los gases de combustión generados en el reformador y para precalentar el aire del sistema principal de combustión.

Los procesos HyL y FINMET están conformados por dos etapas: una de reformación y otra de reducción del mineral, pero se diferencian por la cantidad de reactores utilizados en la etapa de reducción de mineral.

Estas diferencias de tecnológicas conllevan a que cada proceso tenga su consumo específico de insumos, ver Cuadro 10.

**Cuadro10**  
**Patrones de cargas de diseño por proceso**

INSUMOS	Unidad/ton	MIDREX			HyL			FINMET
		DRI	HDRI	HBI	DRI	HDRI	HBI	HBI
Iron Oxide	t	1,50	1,50	1,50	1,42	1,45	1,45	1,90
Gas Natural de proceso	Gcal.	265,42	268,74	265,42	248,83	254,36	259,89	398,13
Electricidad	kWh	60,00	55,00	75,00	95,00	95,00	115,00	150,00
Agua	m <sup>3</sup>	1,00	1,00	1,20	1,20	1,20	1,50	2,50
Mano de obra	H-h	0,11	0,12	0,13	0,10	0,10	0,15	2,10

**Fuente: Midrex Technologies, [www.Hylsamex.com.mx](http://www.Hylsamex.com.mx); Estanga L 2007.**

Así mismo, se muestra la producción lograda en el lapso de estudio. Ver Cuadro 11.

**Cuadro 11**  
**Millones de toneladas de Producción por año**

PROCESO	EMPRESA	AÑOS						
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
MIDREX	Ternium SIDOR I	0,25	0,20	0,23	0,19	0,27	0,33	0,32
	Ternium SIDOR II	0,92	0,73	0,84	0,69	1,00	1,22	1,17
	OPCO	0,71	0,57	0,65	0,54	0,77	0,95	0,91
	VENPRECAR	0,58	0,46	0,53	0,44	0,63	0,77	0,74
	COMSIGUA	0,71	0,57	0,65	0,54	0,77	0,95	0,91
HYL	SIDOR II	1,50	1,20	1,38	1,13	1,63	2,00	1,91
	MATESI	1,07	0,85	0,98	0,81	1,16	1,42	1,36
FINMET	ORINOCO IRON	0,96	1,8	1,63	2,57	1,6	1,32	1,31
<b>Total</b>		<b>6,69</b>	<b>6,38</b>	<b>6,89</b>	<b>6,90</b>	<b>7,83</b>	<b>8,95</b>	<b>8,61</b>

**Fuente: World Direct Reduction Statistics, 2006**

También se muestra los costos y precios unitarios por tonelada de producción para el periodo de análisis, ver Cuadro 12.

Utilizando la información del Cuadro 11 y del Cuadro 12, se deriva el Cuadro 13 en la cual muestra el comportamiento de los ingresos y egresos de cada empresa por año.

**Cuadro 12**  
**Precios y costos unitarios por tonelada producida**

PROCESOS	EMPRESAS	Años													
		2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006	
		Costo	Precio	Costo	Precio	Costo	Precio	Costo	Precio	Costo	Precio	Costo	Precio	Costo	Precio
MIDREX	Ternium SIDOR I	425,26	587,79	608,02	628,93	557,37	623,06	620,29	640,69	495,22	736,79	549,60	832,58	760,38	949,14
	Ternium SIDOR II	192,68	587,79	378,40	721,98	314,21	623,06	357,60	713,81	380,76	736,79	356,21	832,58	490,27	1006,42
	OPCO	237,64	529,01	373,81	577,23	361,36	560,75	347,53	576,62	367,95	663,11	397,52	749,32	441,25	854,22
	VENPRECAR	290,51	568,72	415,71	547,52	458,67	623,06	357,60	640,69	424,72	736,79	441,69	832,58	490,27	949,14
	COMSIGUA	280,50	587,79	424,71	628,93	432,66	623,06	382,73	683,95	409,96	736,79	441,69	832,58	490,27	949,14
HYL	SIDOR II	482,77	534,89	516,78	561,63	509,25	566,98	512,20	623,68	499,33	698,52	569,24	761,39	654,63	789,68
	Matesi	482,77	534,89	519,50	522,75	509,25	566,98	512,20	623,68	499,33	698,52	569,24	761,39	654,63	860,37
FINMET	Orinoco Iron	499,03	505,25	522,15	530,51	547,72	555,78	511,22	545,67	537,73	627,52	618,39	705,96	711,15	953,05

Fuente: Estanga, L. 2007

**Cuadro 13**  
**Egresos e Ingresos anual por empresa**

PROCESOS	EMPRESAS	Años													
		2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006	
		Egreso	Ingreso	Egreso	Ingreso	Egreso	Ingreso	Egreso	Ingreso	Egreso	Ingreso	Egreso	Ingreso	Egreso	Ingreso
MIDREX	Ternium SIDOR I	105,75	146,16	120,85	125,01	127,23	142,23	116,56	120,39	133,89	199,20	181,99	275,68	240,89	300,69
	Ternium SIDOR II	176,59	538,72	277,20	528,90	264,36	524,20	247,67	494,37	379,43	734,21	434,72	1016,09	572,46	1175,13
	OPCO	168,84	375,85	212,28	327,80	235,68	365,72	186,58	309,58	284,23	512,24	376,08	708,90	399,39	773,20
	VENPRECAR	168,21	329,31	192,40	253,41	243,80	331,18	156,47	280,34	267,39	463,86	340,56	641,95	361,67	700,17
	COMSIGUA	199,29	417,61	241,19	357,16	282,18	406,36	205,48	367,20	316,68	569,15	417,86	787,67	443,77	859,11
HYL	SIDOR II	723,72	801,85	619,22	672,97	700,81	780,25	580,24	706,52	813,88	1138,53	1136,32	1519,88	1250,25	1508,17
	Matesi	514,49	570,04	442,53	445,30	498,20	554,68	412,49	502,27	578,58	809,38	807,81	1080,48	888,80	1168,14
FINMET	Orinoco Iron	479,07	485,04	939,88	954,92	892,79	905,91	1313,84	1402,37	860,37	1004,03	816,28	931,87	931,61	1248,49

## 2 ANALISIS DE LA EFICIENCIA.

Este análisis se realizará de acuerdo a su descomposición mostrada en la Ilustración 5, y comenzando en forma ascendente.

La eficiencia técnica indica la capacidad de reducción en volumen de los insumos se muestra en la Cuadro 14

**Cuadro 14**  
**Índices de Eficiencia Técnica orientada a los Insumos. Año 2000**

<b>Modelo</b>	<b>Organización Social de Producción</b>	<b>Eficiencia Técnica</b>
<b>Charnes, Cooper y Rhodes (CCR)</b>	TERNIUM SIDOR I	0,453
	TERNIUM SIDOR II	1,000
	OPCO	0,730
	VENPRECAR	0,642
	COMSIGUA	0,687
	SIDOR II	0,363
	MATESI	0,363
	ORINOCO IRON	0,332
<b>Färe y Grosskopf (FG)</b>	TERNIUM SIDOR I	0,453
	TERNIUM SIDOR II	1,000
	OPCO	0,730
	VENPRECAR	0,642
	COMSIGUA	0,687
	SIDOR II	1,000
	MATESI	0,470
	ORINOCO IRON	0,332
<b>Seiford y Thrall (ST)</b>	TERNIUM SIDOR I	1,000
	TERNIUM SIDOR II	1,000
	OPCO	0,872
	VENPRECAR	0,825
	COMSIGUA	0,776
	SIDOR II	0,363
	MATESI	0,363
	ORINOCO IRON	0,348
<b>Banker, Charnes Cooper (BCC)</b>	TERNIUM SIDOR I	1,000
	TERNIUM SIDOR II	1,000
	OPCO	0,872
	VENPRECAR	0,825
	COMSIGUA	0,776
	SIDOR II	1,000
	MATESI	0,470
	ORINOCO IRON	0,348

En el cuadro anterior se muestra la eficiencia técnica de todas las OSP bajo todos los modelos estudiados en el año 2000. En este se puede observar que la

empresa TERNIUM SIDOR II es la más eficiente, debido a que su valor de eficiencia técnica es uno (1) en todos los modelos, siendo esta la mejor relación Egreso-Ingreso. Los valores de la eficiencia técnica para todo el lapso de estudio y para cada modelo se encuentra en la (ver ANEXO B).

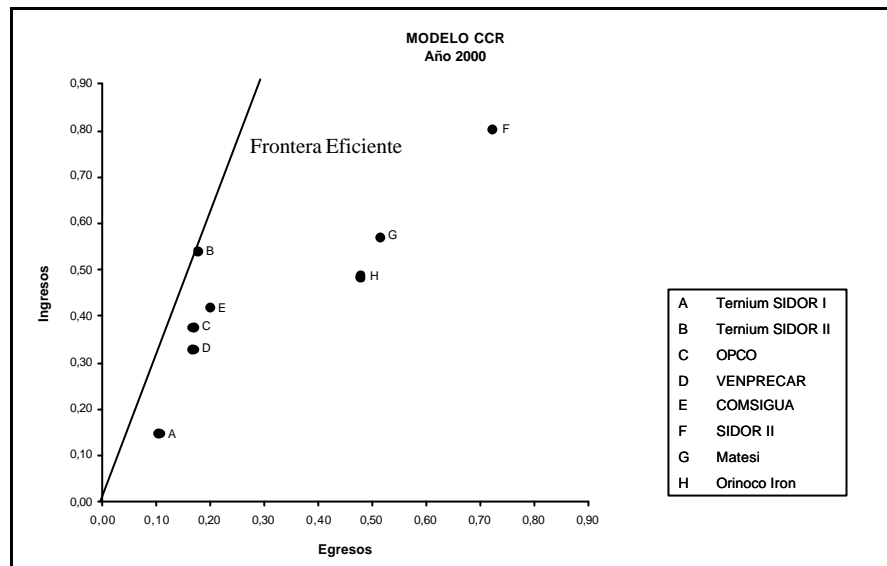
El cuadro siguiente muestra un extracto del Cuadro B1 del ANEXO B, que presenta el número de veces que cada OSP aparece en la frontera eficiente de todos los modelos y cada uno de los años, esto es indicativo de cuales empresas permanecen en los mejores niveles, es decir, Ternium SIDOR II es la OSP más eficiente durante el lapso estudiado pues en todos los años aparece en los cuatros modelos estudiados lo cual indica que es la OSP que presenta la mejor practica operativa.

**Cuadro 15**  
**Número de veces en la frontera eficiente**

PROCESO	OSP	AÑOS							Veces por OSP	Veces por Proceso
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006		
MIDREX	Ternium SIDOR I	2	2	2	2	2	2	2	14	46
	Ternium SIDOR II	4	4	4	4	4	4	4	28	
	OPCO	0	0	0	0	0	0	0	0	
	VENPRECAR	0	0	0	2	0	0	2	4	
	COMSIGUA	0	0	0	0	0	0	0	0	
HYL	SIDOR II	2	0	0	0	2	2	2	8	8
	Matesi	0	0	0	0	0	0	0	0	
FINMET	Orinoco Iron	0	2	2	2	0	0	0	6	6

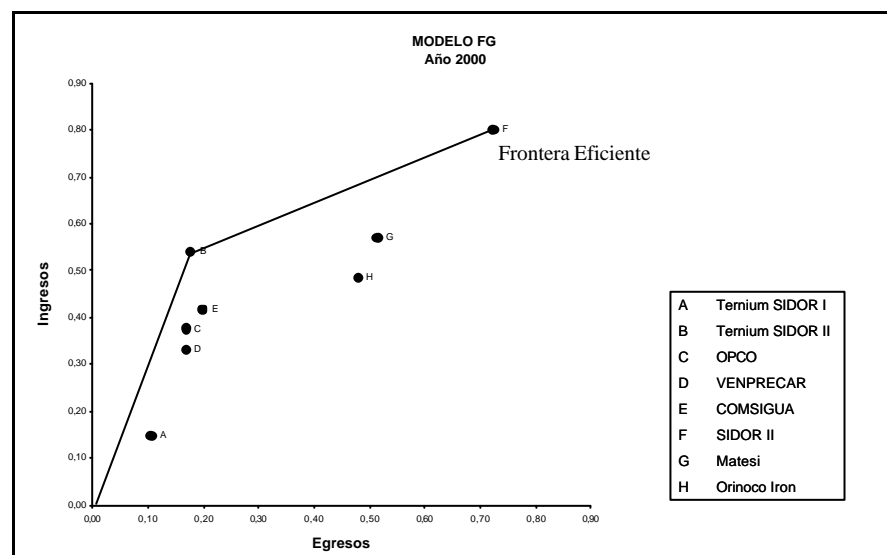
El proceso más eficiente de los estudiados es el MIDREX ya que la frecuencia de aparición en la frontera eficiente es de 46 veces, después se encuentra el proceso HyL con 8 veces y por último el proceso FINMET con 6 veces.

Seguidamente se muestra la ilustración de cada modelo de eficiencia técnica para el año 2000.



**Ilustración 23 Modelo CCR del año 2000.**

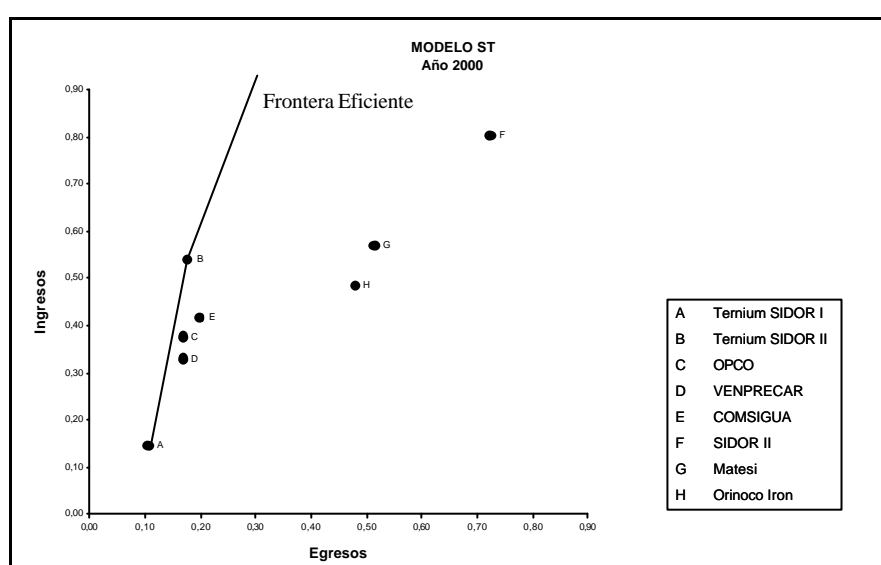
El modelo CCR muestra que la OSP Ternium SIDOR II (B) es la más eficiente para una escala de producción constante es decir, que los aumentos de insumos generan un aumento de exumos en una relación 1 a 1. Las demás OSP que no están sobre la frontera no son eficientes. Esta frontera va desde 0 para por B y continua hasta el infinito.



**Ilustración 24 Modelo FG del año 2000.**

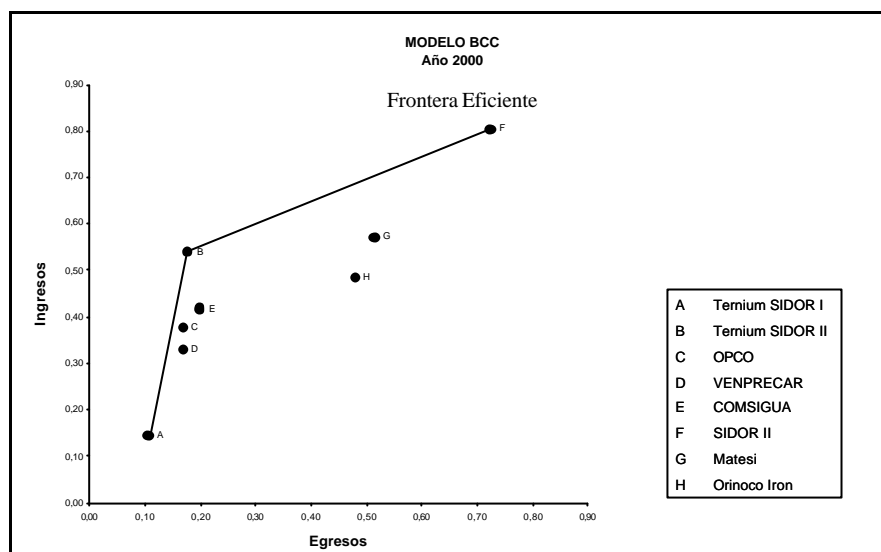
La Ilustración 24 muestra el modelo FG, en el cuál la OSP Ternium SIDOR II

(B) resulta ser eficiente, además de la OSP SIDOR II (F). Este modelo presenta dos fases: una fase constante que va desde 0 hasta B, donde Ternium SIDOR II es la eficiente y una fase decreciente que va desde B hasta F. Esta fase decreciente corresponde al hecho de que para cantidades de insumos iguales la cantidad de exumo aumenta en una relación menor a uno, en esta fase SIDOR II resulta ser la más eficiente, es decir el modelo contempla un punto de quiebre ubicado en Ternium SIDOR II.



**Ilustración 25 Modelo ST del año 2000.**

La Ilustración 25 muestra el modelo ST, en el cual las OSP eficiente son Ternium SIDOR II (B) y Ternium SIDOR I (A). Así mismo muestra una frontera eficiente en una fase creciente que va desde A hasta B, que corresponde al hecho de aumentos de insumos generan aumentos de exumos en una proporción mayor a uno; y además, muestra una fase constante que va desde B hasta el infinito, de igual modo que en el modelo CCR.

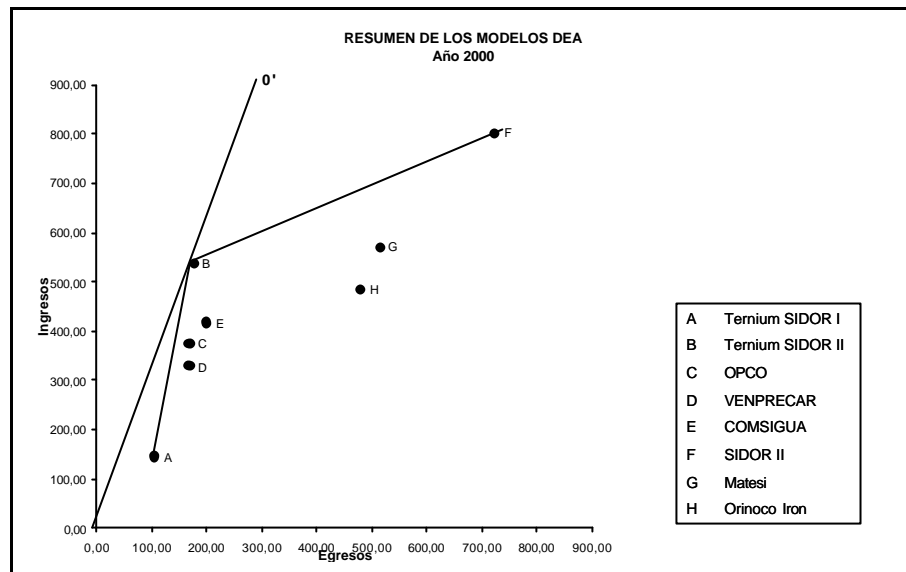


**Ilustración 26 Modelo BCC del año 2000.**

La Ilustración 26 muestra la frontera de eficiencia para el modelo BCC. En este modelo las OSP eficiente son Ternium SIDOR I (A), Ternium SIDOR II (B) y SIDOR II (F). La frontera de eficiencia consta de dos partes: una etapa creciente que va desde A hasta B y otra decreciente que va desde B hasta F. Esta frontera se considera como una frontera real pues todos sus puntos lo forman OSP, a diferencia de los otros modelos que pasan por 0 o tienden a infinito, y esto es una situación ideal.

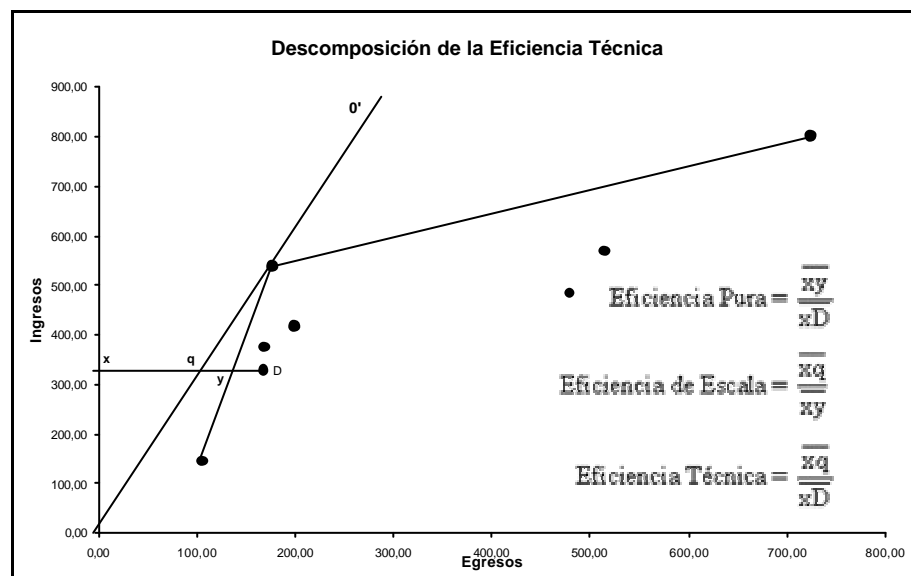
En resumen el año 2000 muestra en todos sus modelos que las OSP Ternium SIDOR II (B), Ternium SIDOR I (A) y SIDOR II (F) son las más eficientes para las escalas de producción constante, creciente y decreciente, respectivamente. En la Ilustración 27 se aprecia este resumen.





**Ilustración 27 Modelo CCR y BCC para el año 2000**

La ilustración anterior nos muestra las fronteras del modelo CCR (segmento  $O'O'$ ) y del modelo BCC (segmento  $ABF$ ). Así mismo, las medidas de eficiencia se pueden obtener relacionando estos modelos, que permiten obtener la eficiencia pura y la eficiencia de escala. Ver Ilustración 28.



**Ilustración 28 Descomposición de la Eficiencia Técnica.**

**Fuente: García Esteban y Coll Serrano. 2003**

Con el segmento xD se derivan las relaciones existente entre la eficiencia pura, de escala y técnica, las cuales se expresan en el Cuadro 16

**Cuadro 16**  
**Índices de Eficiencias año 2000**

Organización Social de Producción	Eficiencias		
	Pura <sup>7</sup>	Escala	Técnica <sup>7</sup>
	a	b	c = a*b
TERNIUM SIDOR I	1,000	0,453	0,453
TERNIUM SIDOR II	1,000	1,000	1,000
OPCO	0,872	0,837	0,730
VENPRECAR	0,825	0,778	0,642
COMSIGUA	0,776	0,885	0,687
SIDOR II	1,000	0,363	0,363
MATESI	0,470	0,772	0,363
ORINOCO IRON	0,348	0,954	0,332

La OSP Ternium SIDOR II presenta la mayor eficiencia técnica, es decir, presenta la mejor relación insumo – exumo. La eficiencia de escala es una relación existente entre la eficiencia del modelo BCC y la eficiencia del modelo CCR (valor real entre valor ideal). Esta eficiencia permite estimar que tan próximo se está de un ideal de producción, es decir a escala constante.

Por ejemplo, la OSP OPCO debe reducir en un 12,8 %  $((1 - 0.872) * 100\%)$  sus insumos para estar sobre la frontera de eficiencia BCC, a partir de esta frontera OPCO debería reducir otro 16,3%  $((1 - 0.837) * 100\%)$  hasta llegar a la frontera del modelo CCR que se considera una situación ideal. Es decir la reducción total de insumos debe ser de 27 %  $((1 - (0.872*0.837))*100)$ . Un análisis similar se realiza con las eficiencias asignativa y económica.

---

<sup>7</sup> Cálculos realizados con el software Ábaco DEA

**Cuadro 17**  
**Índices de Eficiencia económica año 2000**

Organización Social de Producción	Eficiencia				
	Pura I	Escala II	Técnica Global III	Asignativa IV	Económica V
TERNIUM SIDOR I	1,000	0,453	0,453	1,000	0,453
TERNIUM SIDOR II	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
OPCO	0,872	0,837	0,730	0,872	0,637
VENPRECAR	0,825	0,778	0,642	0,825	0,530
COMSIGUA	0,776	0,885	0,687	0,776	0,533
SIDOR II	1,000	0,363	0,363	1,000	0,363
MATESI	0,470	0,772	0,363	0,470	0,171
ORINOCO IRON	0,348	0,954	0,332	0,348	0,116

Por ejemplo, la OSP Ternium SIDOR I tiene una Eficiencia Asignativa igual a uno (1) lo que implica que no puede reducir los costos de insumos y debe reducir 54,7%  $((1-0.453) * 100\%)$  la utilización de la cantidad de insumos (Eficiencia Técnica), es decir la estrategia de reducción de Egresos totales debe estar enfocada al mejoramiento de la utilización de las cantidades de insumos para alcanzar una Eficiencia Económica superior a 45,3% que es lo que muestra sus resultados durante el año 2000.

También, se puede observar que la OSP OPCO muestra una eficiencia técnica de 0,73 y una eficiencia asignativa de 0,872 esto quiere decir que debe mejorar la utilización de las cantidades de insumos en un 27 %  $((1-0,73)*100\%)$  y además reducir sus costos en un 12,8 %  $((1-0,872)*100\%)$  para alcanzar una eficiencia económica mayor al 63,7%.

Nótese que la eficiencia técnica pura es igual a la eficiencia asignativa para este estudio, esto se debe a que se está trabajando con dos variables: total de insumos y total de exumos; Lo que induce a estudiar el impacto de la eficiencia a través del Índice de Malmquist, pues este índice opera con el cambio de la eficiencia técnica pura, de escala y el Cambio Técnico.

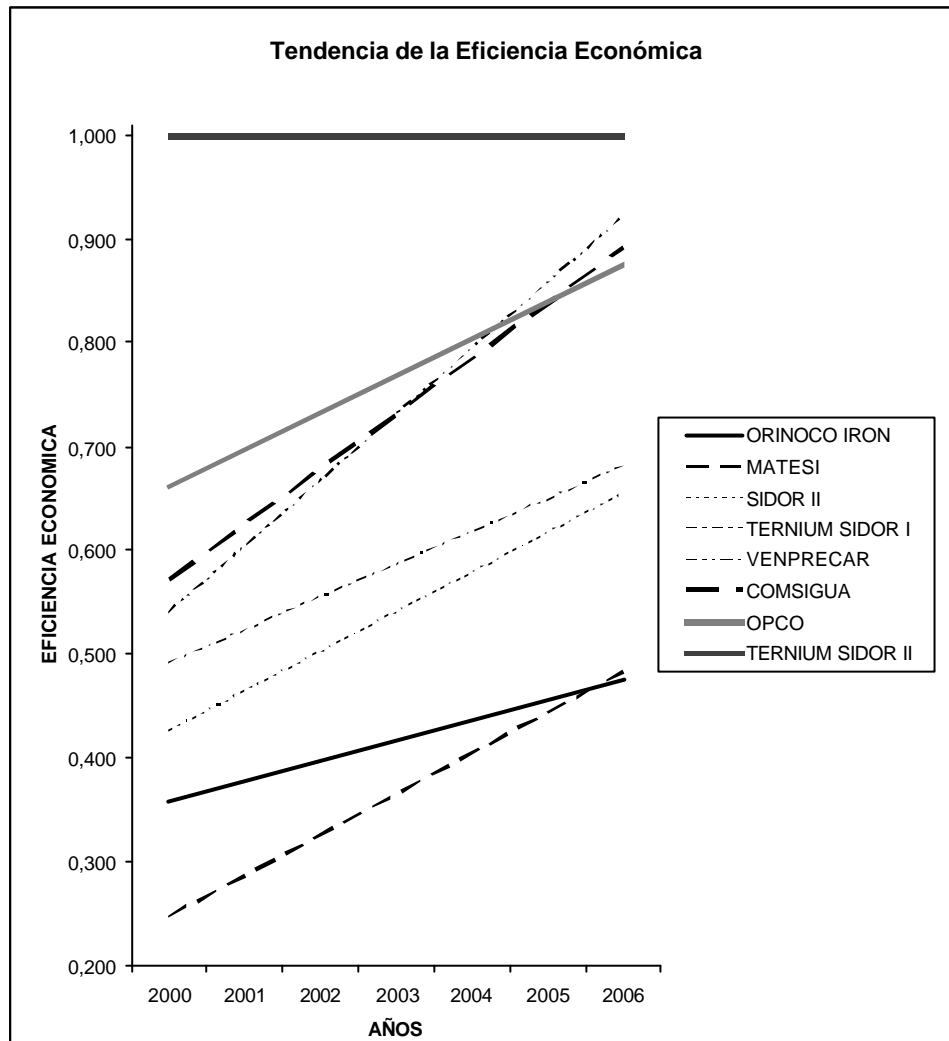
Este análisis es extensible para todas las OSP involucradas en el estudio (ver cuadro B2 en ANEXOS B).

A continuación se presenta un cuadro resumen de la eficiencia económica para el lapso de estudio. Ver Cuadro 18

**Cuadro 18**  
**Índices de Eficiencia Económica**

Organización Social de Producción	AÑO						
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
TERNIUM SIDOR I	0,453	0,542	0,564	0,517	0,769	0,648	0,608
TERNIUM SIDOR II	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
OPCO	0,637	0,760	0,689	0,752	0,910	0,707	0,931
VENPRECAR	0,530	0,611	0,548	0,898	0,857	0,726	0,943
COMSIGUA	0,533	0,678	0,571	0,843	0,891	0,688	0,918
SIDOR II	0,363	0,462	0,549	0,522	0,723	0,572	0,588
MATESI	0,171	0,291	0,354	0,380	0,575	0,371	0,410
ORINOCO IRON	0,116	0,532	0,512	0,535	0,469	0,243	0,506

Este cuadro muestra que Ternium SIDOR II es la OSP más eficiente de todas, ya que su índice de eficiencia económica es 1,000 en todos los años; Lo que se traduce en que esta es la OSP con la mejor práctica operativa de todas las OSP observadas. Así mismo, se observa en el cuadro una tendencia de crecimiento de la eficiencia económica, tendencia que se muestra en la ilustración siguiente.



**Ilustración 29 Tendencia de la Eficiencia Económica durante el lapso 2000 - 2006**

Las causas de este crecimiento de la eficiencia económica serán analizadas a través del Índice de Malmquist, índice que recoge la influencia de las diferentes eficiencias.

En resumen, el proceso más eficiente es MIDREX siendo Ternium SIDOR II la OSP que representa esa eficiencia.

### 3 ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD.

El análisis de la productividad se realizará a través del índice de Malmquist propuesto por Caves, Christensen y Diewert y modificado por Färe, Grosskopf, Norris y Zhang, usando la ecuación:

$$M(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \left( \frac{DC^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{DC^t(x^t, y^t)} \right) \sqrt{\left( \frac{DC^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{DC^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right) \left( \frac{DC^t(x^t, y^t)}{DC^{t+1}(x^t, y^t)} \right)}$$

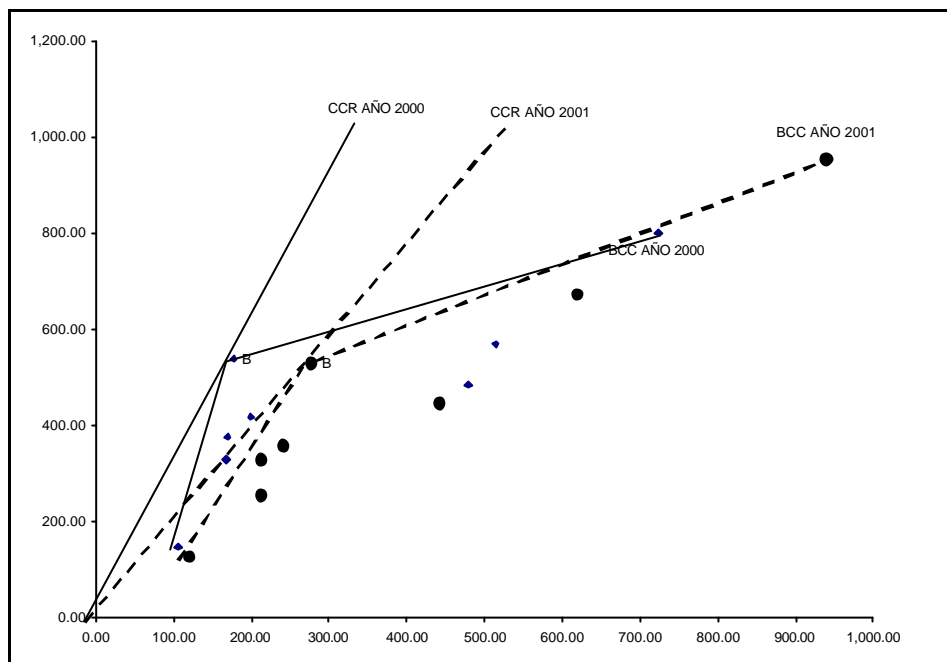
Este índice opera con una relación entre cambio de Eficiencia y Cambio Técnico en el tiempo. Es decir, relaciona estos valores tomando un año base móvil contra el año siguiente: 2000 con 2001; 2001 con 2002; 2002 con 2003; 2003 con 2004; 2004 con 2005; 2005 con 2006; y además se analiza el cambio total para el lapso estudiado: 2000 con 2006.

#### 3.1 CAMBIO DE EFICIENCIA

Este cálculo se hace con el primer término del índice de Malmquist:

$$\begin{aligned} \text{Cambio de Eficiencia} &= \text{Cambio de Eficiencia Pura} * \text{Cambio de Eficiencia de Escala} \\ \left( \frac{DC^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{DC^t(x^t, y^t)} \right) &= \frac{DV_i^{t+1}(x_i^{t+1}; y_i^{t+1})}{DV_i^t(x_i^t; y_i^t)} * \frac{EE_i^{t+1}(x_i^{t+1}; y_i^{t+1})}{EE_i^t(x_i^t; y_i^t)} \end{aligned}$$

Como se ha comentado en el epígrafe 6.2, la Eficiencia Pura se refiere a la estimación bajo escalas de producción variables y la eficiencia de Escala se refiere al comportamiento de la eficiencia entre la escala de producción constante con la escala de producción variable, como se muestra en la Ilustración 30.



**Ilustración 30 Cambios de Eficiencias**

### 3.1.1 Cambio de Eficiencia Pura

Esta comparación fue calculada a través del software ÁBACO DEA<sup>8</sup>, cuyos resultados se muestran en el cuadro siguiente

**Cuadro 19**  
**Cambio de Eficiencia Pura para el lapso 2000 - 2006**

Organización Social de Producción	Periodos de análisis (Años)						
	00 - 01	01 - 02	02 - 03	03 - 04	04 - 05	05 - 06	00 - 06
TERNIUM SIDOR I	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
TERNIUM SIDOR II	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
OPCO	1,19710	0,90700	1,07150	1,10250	0,86350	1,17280	1,29900
VENPRECAR	1,22260	0,86720	1,40990	0,94650	0,91630	1,15310	1,49490
COMSIGUA	1,07850	0,92690	1,22290	1,02560	0,85540	1,19120	1,27740
SIDOR II	0,89880	1,09990	0,91910	1,10060	1,00000	1,00000	1,00000
MATESI	0,86240	1,18760	0,95040	1,11230	0,95600	1,04330	1,08000
ORINOCO IRON	1,41060	1,00000	1,00000	0,88190	0,81910	1,27880	1,30300

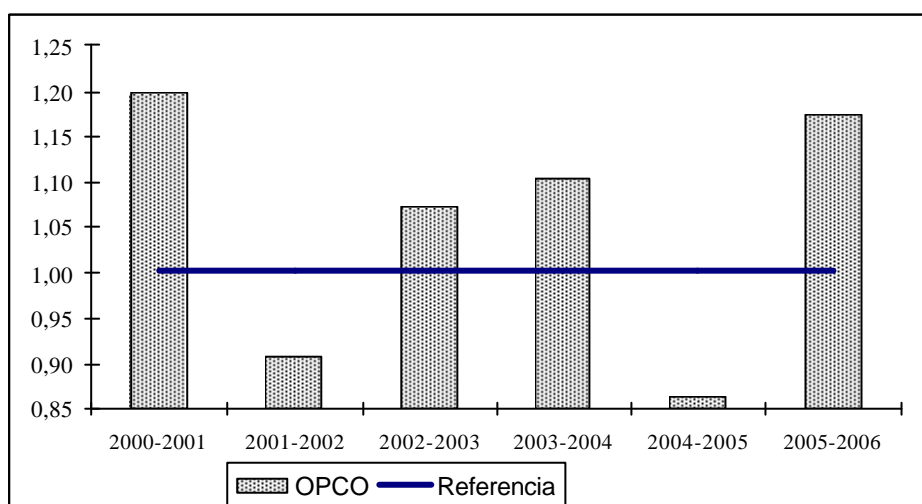
<sup>8</sup> Software patentado por el autor

Los valores de el cuadro indican el Cambio de la Eficiencia Pura de acuerdo al criterio siguiente:

- Valores  $> 1$  La eficiencia Pura del periodo  $t + 1$  fue mejor que la del periodo  $t$
- Valores  $= 1$  La eficiencia Pura del periodo  $t + 1$  fue igual al periodo  $t$
- Valores  $< 1$  La eficiencia Pura del periodo  $t + 1$  fue peor que la del periodo  $t$

Las OSP Ternium SIDOR I y Ternium SIDOR II mantienen su Eficiencia Pura (100% ver Cuadro 17 columna I) pues el indicador es igual a uno durante todo el lapso analizado, esto significa que su practica operativa ha sido constante durante el lapso estudiado, es decir, la utilización de las cantidades de insumos ha sido la adecuada para la obtención de los exumos en cada periodo.

La OSP OPCO muestra mejoras y desmejoras en el lapso estudiado



**Ilustración 31 Cambio de Eficiencia Pura OPCO.**

En la gráfica se puede observar que las relaciones 2000 – 2001; 2002 – 2003; 2003 – 2004 y 2005 – 2006 presentan índices mayores a uno puesto que la eficiencia para el tiempo  $t + 1$  es mayor que la eficiencia del periodo  $t$ , es decir, la eficiencia aumenta. En las relaciones 2001 – 2002 y 2004 – 2005 ocurre una disminución de la Eficiencia Pura puesto que los índices son menores a uno. Un análisis similar se puede realizar para cada una de las OSP.



### 3.1.2 Cambio de Eficiencia de Escala

El Cambio de Eficiencia de Escala obedece a la relación existente entre el modelo ideal y el modelo real, es decir, que tan próximo se está de llegar al ideal representado por el modelo CCR o rendimiento de escalas constantes. Esto fue estimado con ÁBACO DEA y los resultados se muestran a continuación

**Cuadro 20**  
**Cambio de Eficiencia de Escala para el lapso 2000 - 2006**

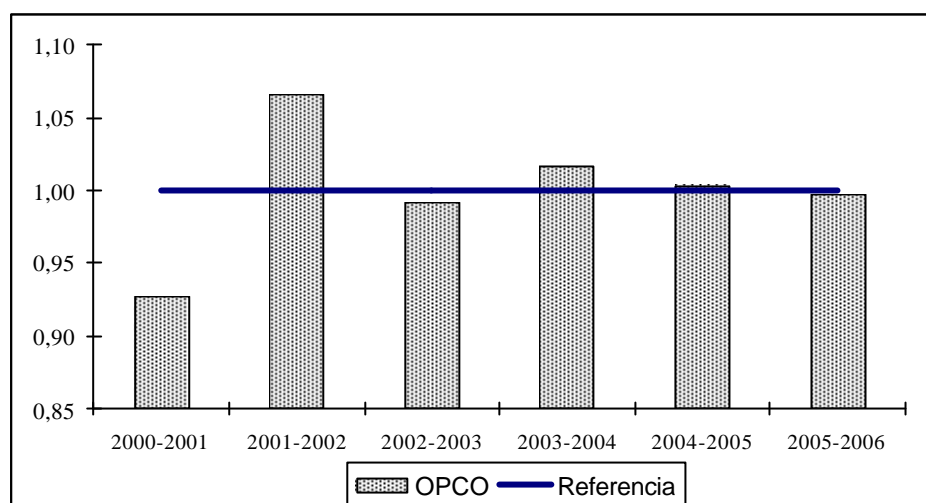
Organización Social de Producción	Periodos de análisis (Años)						
	00 - 01	01 - 02	02 - 03	03 - 04	04 - 05	05 - 06	00 - 06
TERNIUM SIDOR I	1,1966	1,0399	0,9178	1,4859	0,8429	0,9383	1,3422
TERNIUM SIDOR II	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
OPCO	0,9265	1,0661	0,9913	1,0163	1,0028	0,9971	0,9950
VENPRECAR	0,8798	1,1444	0,9293	1,0553	0,9818	1,0141	0,9831
COMSIGUA	1,0477	1,0095	1,0081	1,0115	1,0151	0,9817	1,0748
SIDOR II	1,7450	0,8962	1,1820	1,0768	0,7916	1,0269	1,6180
MATESI	1,6838	0,8965	1,1431	1,0654	0,8280	1,0724	1,6323
ORINOCO IRON	1,1375	0,9610	1,0450	1,2789	0,9887	1,0453	1,5097

Los valores del cuadro indican el Cambio de la Eficiencia de Escala, de acuerdo al criterio siguiente:

- Valores > 1 Se acerca la frontera real de la frontera ideal
- Valores = 1 Se mantiene la posiciones de la frontera
- Valores < 1 Se aleja la frontera real de la frontera ideal

La OSP Ternium SIDOR II mantienen su Eficiencia Escala (100% ver Cuadro 17 columna II) pues el indicador es igual a uno durante todo el lapso analizado, esto significa que durante el lapso de estudio esta OSP ha trabajado bajo un tamaño de escala óptimo.

La OSP OPCO muestra mejoras y desmejoras en el lapso estudiado, ver Ilustración 32.



**Ilustración 32 Cambio de Eficiencia de Escala OSP OPCO**

En la ilustración se muestra que la OSP OPCO tiende a mejorar sistemáticamente su relación entre la frontera de real y la frontera ideal, es decir, la utilización de sus insumos muestra un mejoramiento del comportamiento real con el ideal.

### 3.1.3 Cambio de Eficiencia Técnica

Considerando el efecto del Cambio de Eficiencia Pura y de Escala, se muestra a continuación un cuadro resumen del cambio de Eficiencia Técnica.

**Cuadro 21**  
**Cambio de Eficiencia para el lapso 2000 al 2006**

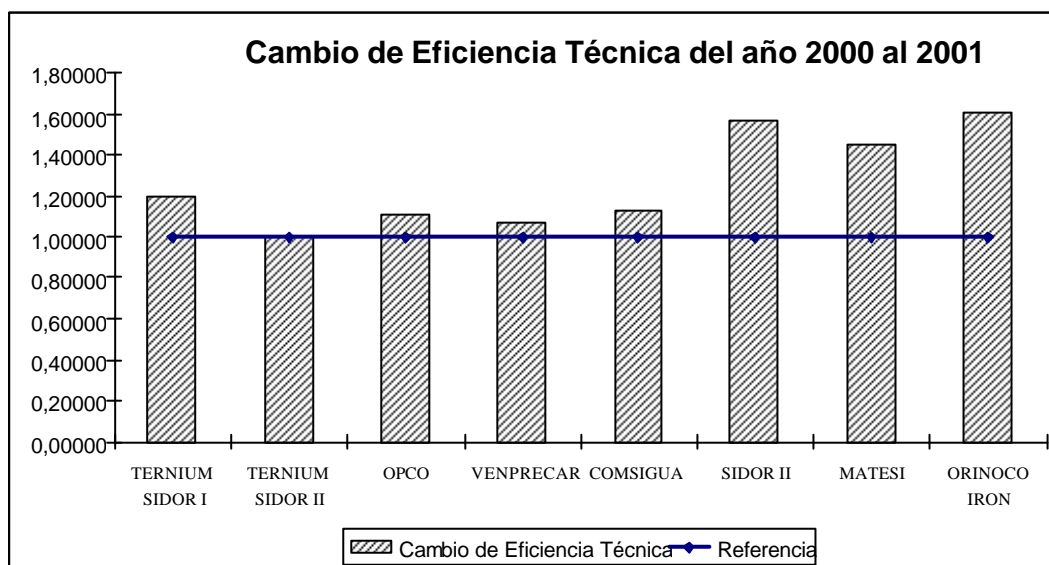
Organización Social de Producción	Periodos de análisis (Años)						
	00 - 01	01 - 02	02 - 03	03 - 04	04 - 05	05 - 06	00 - 06
TERNIUM SIDOR I	1,19660	1,03990	0,91780	1,48590	0,84290	0,93830	1,34220
TERNIUM SIDOR II	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
OPCO	1,10911	0,96695	1,06218	1,12047	0,86592	1,16940	1,29251
VENPRECAR	1,07564	0,99242	1,31022	0,99884	0,89962	1,16936	1,46964
COMSIGUA	1,12994	0,93571	1,23281	1,03739	0,86832	1,16940	1,37295
SIDOR II	1,56841	0,98573	1,08638	1,18513	0,79160	1,02690	1,61800
MATESI	1,45211	1,06468	1,08640	1,18504	0,79157	1,11883	1,76288
ORINOCO IRON	1,60456	0,96100	1,04500	1,12786	0,80984	1,33673	1,96714

Los valores de el cuadro indican el Cambio de la Eficiencia Técnica, de acuerdo al criterio siguiente:

- Valores > 1 Progreso de la Eficiencia Técnica
- Valores = 1 Se mantiene la Eficiencia Técnica
- Valores < 1 Retroceso de la Eficiencia Técnica

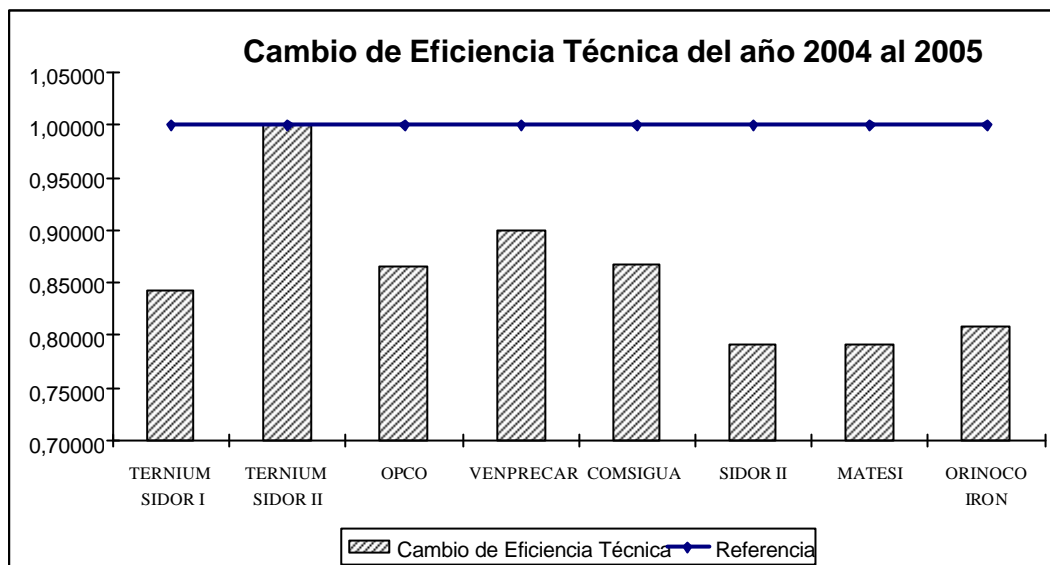
Al analizar las OSP, de el cuadro anterior se observa que Ternium SIDOR II mantiene sus niveles de eficiencia técnica durante el lapso de estudio, y las demás OSP obtienen mejoras y desmejoras a través del tiempo.

Así mismo, el Cuadro 21 permite realizar un análisis del comportamiento del Cambio de Eficiencia entre periodos.



**Ilustración 33 Cambio de Eficiencia Técnica año 2000 – 2001**

En la ilustración anterior, el periodo 2000 con 2001 se observa un progreso sistemático en la Eficiencia Técnica, ya que todos los valores obtenidos por las diferentes OSP son mayores de uno (1) a excepción de Ternium SIDOR II que presenta un valor de uno (1) lo que indica que para este periodo ha sido la OSP a considerar como referencia.



**Ilustración 34 Cambio de Eficiencia Técnica año 2004 – 2005**

Para el lapso 2004 – 2005 se observa el peor comportamiento de la Eficiencia Técnica ya que todos los valores obtenidos son menores a uno (1).

**Cuadro 22  
Cambio de Eficiencia Técnica Total por proceso y OSP**

PROCESO	Organización Social de Producción	Periodo 2000-2006
MIDREX	TERNIUM SIDOR II	1,00000
	OPCO	1,29251
	TERNIUM SIDOR I	1,34220
	COMSIGUA	1,37295
	VENPRECAR	1,46964
HyL	SIDOR II	1,61800
	MATESI	1,76288
FINMET	ORINOCO IRON	1,96714

En el cuadro anterior se muestran por proceso y OSP los cambios en la Eficiencia Técnica ordenada de forma ascendente para el lapso de estudio. Estos valores muestran que el proceso MIDREX tienen los menores porcentajes de cambio en Eficiencia Técnica, seguido de HyL y luego FINMET. Lo que se traduce en que la OSP ORINOCO IRON ha aumentado en un 96,71% su eficiencia del año 2006 con respecto al año 2000. En el caso de los Procesos MIDREX muestran el menor porcentaje de cambio pues están próximos a la frontera eficiente.

### 3.2 CAMBIO TÉCNICO

El Cambio Técnico refleja los desplazamientos bien sea hacia arriba o hacia debajo de la frontera eficiente, entre dos periodos. Es decir, que cuando se desplaza hacia arriba existe un aumento de producción a un mismo nivel de insumos y cuando existe un desplazamiento hacia abajo la producción disminuye para el mismo nivel de insumos.

Esto se estima a través de la siguiente fórmula

$$\text{Cambio Técnico} = \sqrt{\left( \frac{DC^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{DC^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right) \left( \frac{DC^t(x^t, y^t)}{DC^{t+1}(x^t, y^t)} \right)}$$

Los resultados obtenidos mediante el software Ábaco DEA, se presentan en el cuadro siguiente.

**Cuadro 23**  
**Cambio Técnico para el lapso 2000 al 2006**

Organización Social de Producción	Periodos de análisis (Años)						
	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	00-06
TERNIUM SIDOR I	0,625419	1,039281	1,006623	0,969407	1,207917	0,878216	0,672957
TERNIUM SIDOR II	0,625392	1,039176	1,006612	0,969404	1,207898	0,878320	0,672873
OPCO	0,625391	1,039214	1,006612	0,969400	1,207856	0,878188	0,672945
VENPRECAR	0,625438	1,039274	1,006669	0,969344	1,207903	0,878234	0,672912
COMSIGUA	0,625419	1,039296	1,006682	0,969400	1,207858	0,878257	0,672871
SIDOR II	0,625407	1,039243	1,006626	0,969405	1,207882	0,878206	0,672824
MATESI	0,625386	1,039162	1,006635	0,969482	1,207993	0,878215	0,672864
ORINOCO IRON	0,625458	1,039318	1,006688	0,969440	1,208009	0,878216	0,672925

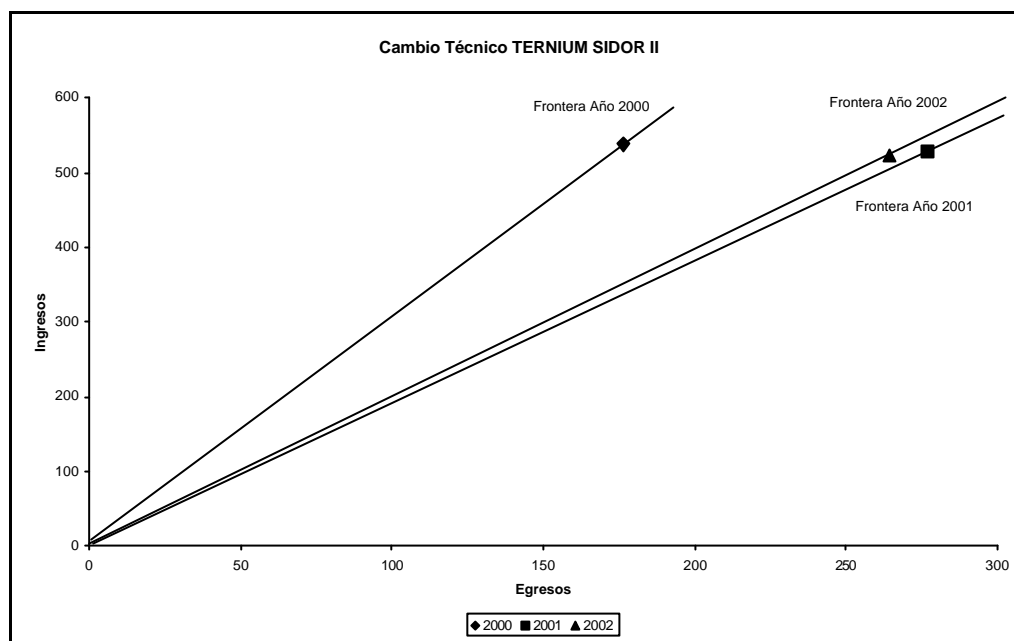
El análisis de los datos se realiza de acuerdo al criterio siguiente:

Valores > 1 Desplazamiento eficiente de la frontera

Valores = 1 Se mantiene la frontera eficiente

Valores < 1 Desplazamiento ineficiente de la frontera

También se puede apreciar en la Ilustración 35.



**Ilustración 35 Cambio Técnico TERNIUM SIDOR II**

La frontera del año 2001 se desplazó ineficientemente respecto a la frontera del año 2000, está por debajo de ella. Lo que se traduce en un índice de Cambio Técnico de 0,625392 es decir menor de uno (1). Sin embargo, en el año 2002 para esa misma empresa se observa un desplazamiento eficiente (Índice de Cambio Técnico de 1,039176) ya que la frontera del año 2002 está por encima de la del 2001.

Al realizar un análisis por año, se observa que existe fluctuaciones en el comportamiento del indicador: el periodo 2000 al 2001 se presenta un desplazamiento ineficiente, luego existe recuperación en los periodos 2001 – 2002 y 2002 – 2003, luego otra desmejora en el periodo 2003 – 2004, recuperación de 2004 – 2005 y finalmente una desmejora en el periodo 2005 – 2006. Al hacer el análisis del Cambio Técnico Total para el periodo 2000 – 2006, se observa que el desplazamiento total de la frontera es ineficiente ya que para todas las OSP presentan valores menores a uno.

Esto refleja que aun cuando la producción aumenta año a año ver Cuadro 11, los ingresos fluctúan impactando negativamente en el resultado.

### 3.3 ÍNDICE DE MALMQUIST

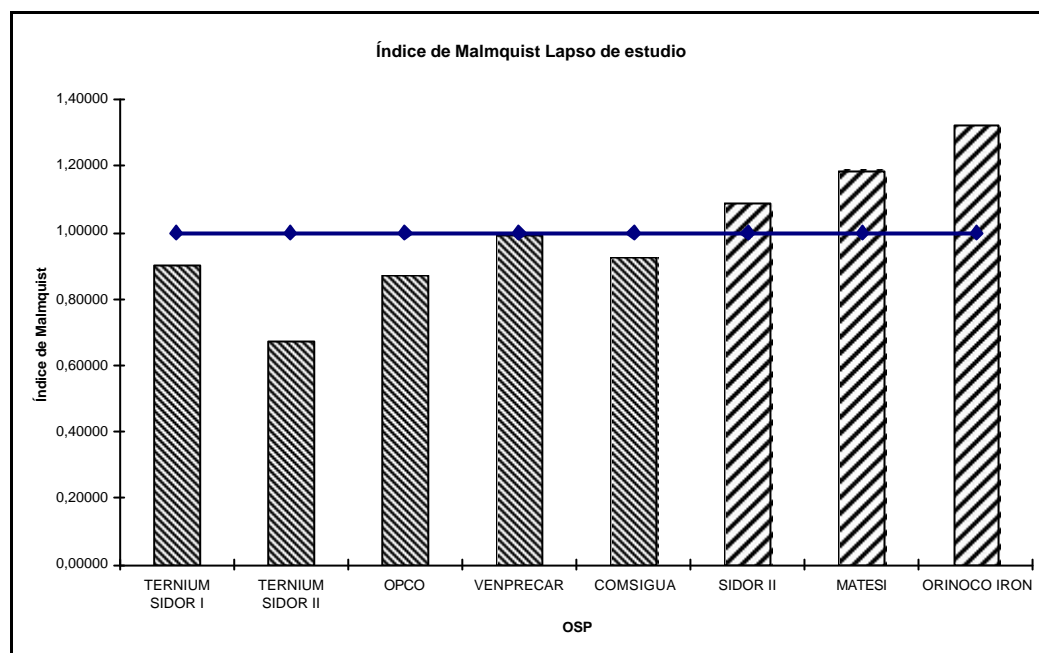
Como ya se ha explicado, el Índice de Malmquist indica el cambio de productividad entre dos periodos. Es decir, si para una OSP se observa entre periodos una mejora de productividad, entonces el Índice de Malmquist será mayor que 1; en cambio, si dicha empresa experimenta a lo largo del periodo una pérdida de productividad el índice de Malmquist será menor a 1; y si no se produce cambio productivo el índice será la unidad. No obstante, debe tenerse presente que, los componentes de este índice, cambio eficiencia técnica y Cambio Técnico, pueden evolucionar en direcciones opuestas, es decir, es posible que, al mismo tiempo, se produzca una mejora de la eficiencia técnica y regreso en el Cambio Técnico.

Los valores obtenidos en el lapso de estudio se presentan en el cuadro siguiente.

**Cuadro 24**  
**Índice de Malmquist para el lapso de estudio**

Organización Social de Producción	Periodos de análisis (Años)						
	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	00-06
TERNIUM SIDOR I	0,7483759	1,0807484	0,9238781	1,4404414	1,0181535	0,8240301	0,9032427
TERNIUM SIDOR II	0,6253920	1,0391760	1,0066122	0,9694037	1,2078976	0,8783198	0,6728729
OPCO	0,6936297	1,0048703	1,0692013	1,0861848	1,0459039	1,0269524	0,8697846
VENPRECAR	0,6727484	1,0314005	1,3189574	0,9682213	1,0866575	1,0269704	0,9889358
COMSIGUA	0,7066889	0,9724749	1,2410434	1,0056501	1,0488035	1,0270352	0,9238181
SIDOR II	0,9808928	1,0244133	1,0935742	1,1488666	0,9561594	0,9018295	1,0886292
MATESI	0,9081284	1,1063786	1,0936102	1,1488786	0,9562085	0,9825775	1,1861818
ORINOCO IRON	1,0035830	0,9987847	1,0519886	1,0933941	0,9782987	1,1739368	1,3237364

Los resultados muestran que para el lapso de estudio 2000-2006 desde el punto de vista de la productividad las OSP TERNIUM SIDOR I, TERNIUM SIDOR II, OPCO, VENPRECAR y CONSIGUA muestran una pérdida de productividad (todos sus índices son menores a uno) a diferencia de SIDOR II, MATESI y ORINOCO IRON que muestran una mejora de la productividad, ya que sus índices son mayores a uno.



**Ilustración 36 Índice de Malmquist periodo de estudio.**

De acuerdo con los índices de Malmquist la gráfica anterior indica, que existen tres OSP productivas en el lapso estudiado: SIDOR II, MATESI y ORINOCO IRON.

#### **4 ESTRATEGIAS DE MEJORA**

Las estrategias de mejoras se basarán en la optimización del comportamiento de los Índices de Malmquist obtenidos, es decir, estos índices deben ser mayores o iguales a uno (1). Y la segunda estrategia se basará en determinar la OSP con el mejor comportamiento para el lapso de estudio y compararse con ésta, de forma que se debe emular la mejor referencia del grupo analizado. Estas estrategias están orientada a los sectores micro y macro del modelo MECPC.

##### **4.1 ESTRATEGIA 1: MEJORA DE ÍNDICES**

La mejora de la productividad se basará en el aumento del índice de Malmquist a través del Cambio de Eficiencia y de Cambio Técnico, los cuales deben ser mayores o iguales a uno (1). Las OSP muestran que son eficientes pues sus índices de Cambio de Eficiencia son mayores o iguales a uno (1), sin embargo su Cambio Técnico es muy bajo.



**Cuadro 25**  
**Incremento del Cambio Técnico periodo 2000 – 2006**

PROCESO	OSP	Cambio de Eficiencia	Cambio Técnico	Índices de Malmquist	Nuevo Cambio Técnico	Incremento del Cambio Técnico
		A	B	C = A * B	B' = 1/A	D = B' / B
MIDREX	TERNIUM SIDOR I	1,34220	0,67296	0,90324	0,74505	1,10712
	TERNIUM SIDOR II	1,00000	0,67287	0,67287	1,00000	1,48616
	OPCO	1,29251	0,67295	0,86978	0,77369	1,14971
	VENPRECAR	1,46964	0,67291	0,98894	0,68044	1,01119
	COMSIGUA	1,37295	0,67287	0,92382	0,72836	1,08246
HyL	SIDOR II	1,61800	0,67282	1,08863		
	MATESI	1,76288	0,67286	1,18618		
FINMET	ORINOCO IRON	1,96714	0,67293	1,32374		

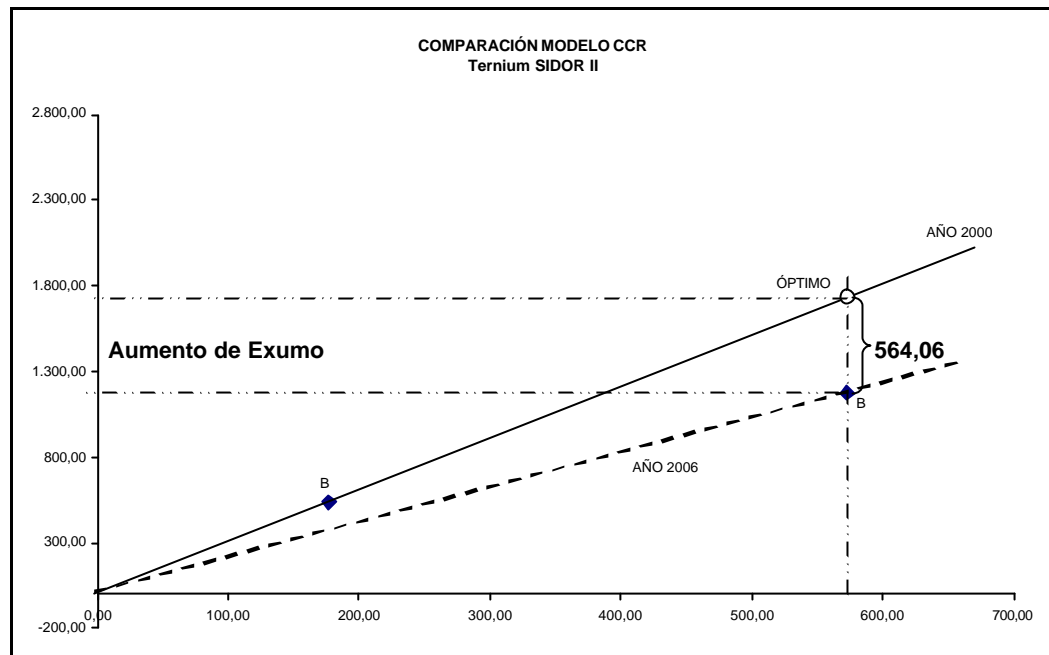
Las OSP que poseen el proceso MIDREX deben mejorar su productividad en proporción a los índices de Malmquist señalados en el cuadro 25, columna D.

Ternium SIDOR II aún cuando es la OSP más eficiente y además muestra que no requiere de cambios de eficiencia puesto que su valor es uno (1), es la menos productiva ya que debe mejorar en un 0,48616 (48,62%) su actuación en materia de Cambio Técnico. Este hecho se debe a que a pesar de que Ternium SIDOR II utiliza sus insumos de manera eficiente (eficiencia técnica) en comparación con las demás OSP, el comportamiento del Cambio Técnico indica que la actuación del año 2006 en relación al año 2000 fue en desmejora puesto que su índice es menor a uno (1).

Siendo el factor Cambio Técnico el incidente negativamente, esto se traduce en la necesidad de mejorar en cuanto al aumento del exumo ( $564,06 = 1175,13 * 1,48^9 - 1175,13^{10}$ ).

<sup>9</sup> Fuente Cuadro 25, OSP Ternium SIDOR II

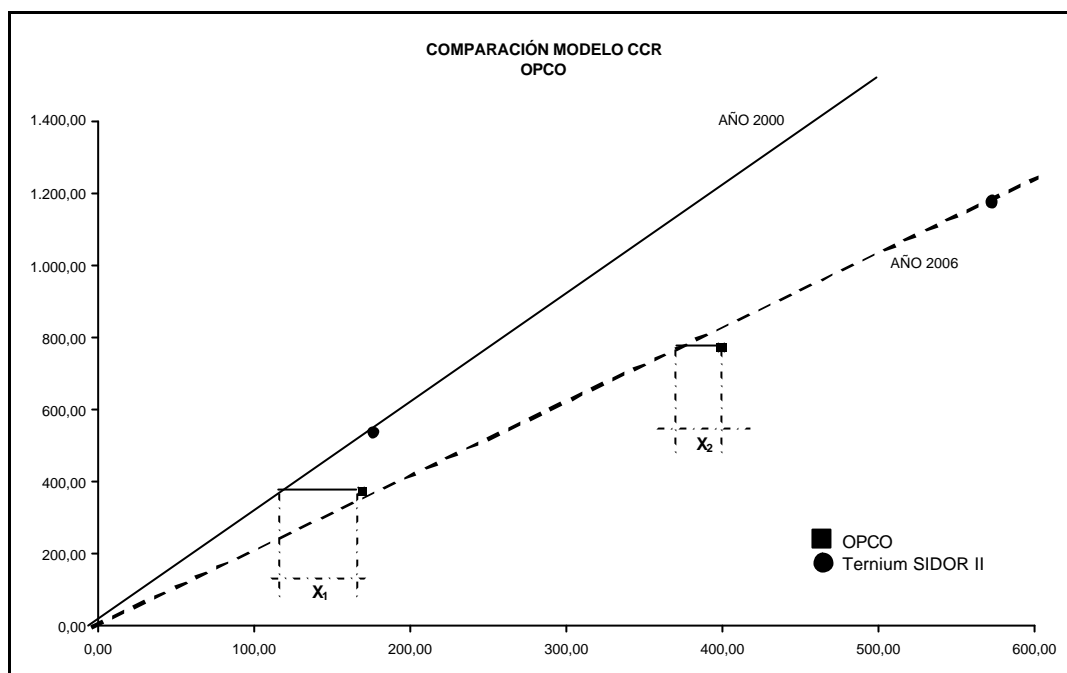
<sup>10</sup> Fuente Cuadro 13, año 2006



**Ilustración 37 Comparación Modelo CCR**

Para alcanzar este óptimo relativo de exumos manteniendo el nivel de insumos del año 2006 el exumo debe aumentar en  $564.06 \cdot 10^9$  Bs, es decir, si esta cantidad de insumos se hubiese consumido con las condiciones del año 2000 se hubiese obtenido la cantidad adicional, ver Ilustración 34. Un análisis similar debe realizarse para todas las OSP restantes.

De igual manera, si tomamos a OPCO la cual muestra un cambio de eficiencia técnica de 1,29251; y aun cuando mejoró en el año 2006 respecto al 2000 no fue suficiente por que debe alcanzar la Frontera Eficiente del año 2006 y al mismo tiempo debe mejorar el Cambio Técnico. Esto se puede observar en la Ilustración 38.



**Ilustración 38 Comparación Modelo CCR OPCO.**

Para mejorar su eficiencia la empresa debe reducir en  $X_2 = 399,32 - (399,32 * 0,987^{11}) = 5,19116 \cdot 10^9$  Bs sus insumos, y además aumentar sus exumos en un 14,97% ( $773,19 * 1,14971 = 888,9442$ ).

#### 4.2 ESTRATEGIA 2: COMPARACIÓN CON LA MEJOR OSP ANALIZADA O BENCHMARKING

Es importante señalar, que la reducción de insumos tiene un límite en los patrones de cargas de diseño (ver Cuadro 10) y en los record de producción o máxima producción posible, orientándose siempre con las tres premisas siguientes

- De entre todos los niveles de producción posibles, debe elegir el nivel de exumo que maximice el beneficio.
- De entre todas las combinaciones de insumos que sirven para producir el nivel de exumos anterior, la empresa debe elegir aquella combinación de insumos que minimiza el costo de producción.

<sup>11</sup> Ver Tabla B1 en ANEXO B, Eficiencia Modelo BCC año 2006

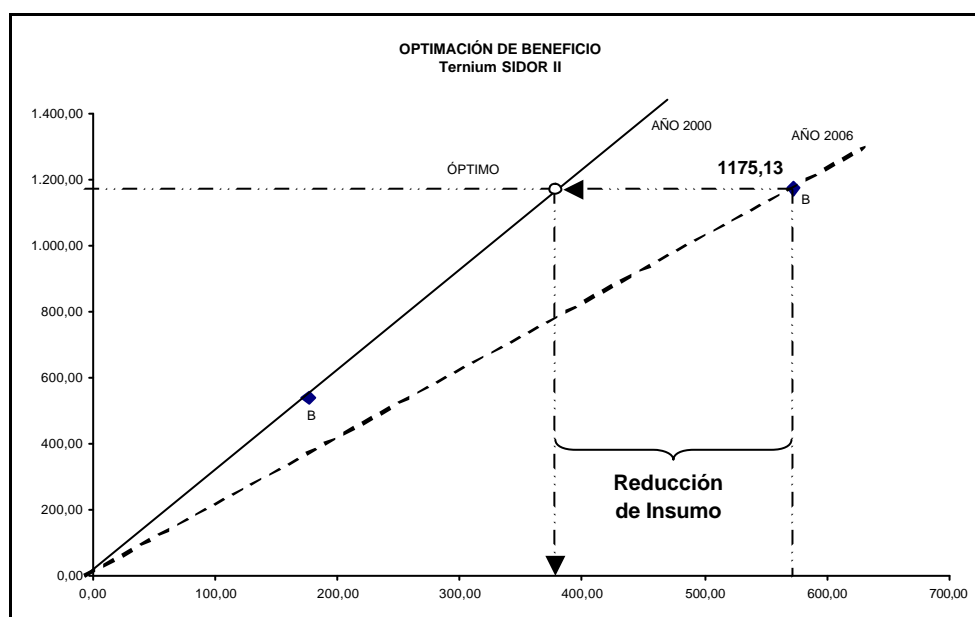
c) La empresa debe producir el exumo elegido con la cantidad mínima de insumos posible o, lo que es lo mismo, no debe malgastar recursos.

Como se ha demostrado anteriormente, la OSP más eficiente para todos los modelos es Ternium SIDOR II, ya que su eficiencia técnica es una (1) en todos los modelos analizados, razón por la cual el nivel de exumo que maximice el beneficio a seleccionar debe ser el mayor exumo de esta OSP durante el lapso de estudio.

**Cuadro 26**  
**Insumos y Exumos Ternium SIDOR II**

Concepto	AÑOS						
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Insumos	176,59	277,2	264,36	247,67	379,43	434,72	572,46
Exumos	538,72	528,9	524,2	494,37	734,21	1016,09	1175,13
<b>Exumos / Insumos</b>	<b>3,05</b>	<b>1,91</b>	<b>1,98</b>	<b>2,00</b>	<b>1,94</b>	<b>2,34</b>	<b>2,05</b>

Del Cuadro 26 se observa que en el año 2006 se logró el mayor exumo 1175,13. A partir de este nivel de exumo, se determinará cual es la combinación de insumos que minimizaría el costo de producción. Ver Ilustración 39



**Ilustración 39 Optimización del Beneficio Ternium SIDOR II.**

De la Ilustración anterior se observa que manteniendo el nivel de exumo del año 2006, la OSP Ternium SIDOR II puede alcanzar el óptimo mediante una

reducción de insumos hasta alcanzar la Frontera Eficiente del año 2000 ya que es la mejor Frontera del periodo de estudio ya que durante este año se obtuvo la mejor relación Insumo – Exumo (3,05, ver Cuadro 26 año 2000).

Esta reducción tomará en cuenta la mejor Frontera de Eficiencia durante el lapso de estudio, representada por la Frontera del año 2000 puesto que esta frontera envuelve todos los datos de la OSP Ternium SIDOR II.

A fin de determinar este porcentaje de reducción, debe resolverse el siguiente modelo CCR con la siguiente variante Insumos y Exumos que forman la frontera del año 2000 comparándolo con el Insumo y Exumo de Ternium SIDOR II durante el año 2006.

$$\begin{aligned} &\text{Minimizar} && \mathbf{q}^* = \min \mathbf{q} \\ &\text{Sujeto a:} && \sum_{i=1}^n (I_i X_i)_{2000} \leq \mathbf{q} X_{2006} \\ &&& \sum_{i=1}^n (I_i Y_i)_{2000} \geq Y_{2006} \\ &&& I_i \geq 0 \end{aligned}$$

Utilizando el software ÁBACO PL se obtiene el siguiente resultado Eficiencia Técnica = 0,6729<sup>12</sup>, lo cual significa que la reducción de insumos de la OSP Ternium SIDOR II para el año 2006 deber ser de 32,71% (1 – 0,6729). Este análisis es extensible a todas y cada una de las OSP bajo estudio<sup>12</sup>.

**Cuadro 27**  
**Reducción de Insumo**

OSP	Exumo							Maximo Exumo	Reducción de Insumo
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006		
TERNIUM SIDOR I	146,16	125,01	142,23	120,39	199,2	275,68	<b>300,69</b>	300,69	0,4092
TERNIUM SIDOR II	538,72	528,9	524,2	494,37	734,21	1016,09	<b>1175,13</b>	1175,13	0,6729
OPCO	375,85	327,8	365,72	309,58	512,24	708,9	<b>773,2</b>	773,2	0,6346
VENPRECAR	329,31	253,41	331,18	280,34	463,86	641,95	<b>700,17</b>	700,17	0,6346
COMSIGUA	417,61	357,16	406,36	367,2	569,15	787,67	<b>859,11</b>	859,11	0,6346
SIDOR II	801,85	672,97	780,25	706,52	1138,53	<b>1519,88</b>	1508,17	1519,88	0,3954
MATESI	570,04	445,3	554,68	502,27	809,38	1080,48	<b>1168,14</b>	1168,14	0,4308
ORINOCO IRON	485,04	954,92	905,91	<b>1402,37</b>	1004,03	931,87	1248,49	1402,37	0,4393

<sup>12</sup> Ver ANEXO C

Estas reducciones mostradas en el Cuadro 27, pueden lograrse mediante la combinación de tres acciones: a) Llevar el proceso a los patrones de carga de diseño, b) Realizar una reducción de costos de Operación o c) Reducir cantidad de insumos y costos simultáneamente.

## **5 VALIDACION**

El método DEA nos permite determinar en cuanto se debe reducir insumos, aumentar exumos o realizar los dos procesos simultáneamente para lograr el comportamiento de la mejor OSP observada en el grupo.

La decisión a tomar sobre el aumento de exumos y/o reducción de insumos, está basada en las estrategias explicadas anteriormente: a) Mejorar el comportamiento de los Índices de Malmquist y b) Comparación con la mejor OSP analizada o Benchmarking.

Una vez determinado el porcentaje de reducción de insumos o aumento de exumos, se mostrará la validez real de la aplicación de estas estrategias.

### **5.1 ESTRATEGIA 1: MEJORA DE LOS ÍNDICES DE MALMQUIST**

Los resultados de esta estrategia muestra que las empresas deben aumentar su nivel de exumos para obtener la mejor relación insumo / exumo. Debido a que en este mercado el precio del exumo no es controlable, las decisiones de mejora en el nivel de exumo deben estar basadas en el aumento de la producción.

Al analizar las toneladas de producción contra la capacidad instalada, se observa que las OSP no utilizan toda su capacidad instalada, ver Cuadro 28

**Cuadro 28**  
**Producción por OSP**

Proceso	OSP	Millones de Toneladas								Máxima Producción	Capacidad Instalada	% Capacidad Utilizada
		00	01	02	03	04	05	06				
MIDREX	Ternium SIDOR I	0,28	0,22	0,25	0,21	0,30	0,37	0,35	0,37	0,35	105,71%	
	Ternium SIDOR II	0,91	0,73	0,84	0,69	0,99	1,21	1,16	1,21	1,29	93,80%	
	OPCO	0,70	0,56	0,65	0,53	0,77	0,94	0,90	0,94	1	94,00%	
	VENPRECAR	0,58	0,46	0,53	0,44	0,63	0,77	0,74	0,77	0,815	94,48%	
	COMSIGUA	0,70	0,56	0,65	0,53	0,77	0,94	0,90	0,94	1	94,00%	
HYL	SIDOR II	1,50	1,20	1,37	1,13	1,63	1,99	1,91	1,99	2,11	94,31%	
	MATESI	1,06	0,85	0,97	0,80	1,15	1,41	1,35	1,41	1,5	94,00%	
FINMET	ORINOCO IRON	0,96	1,80	1,63	2,57	1,60	1,32	1,31	1,80	2,2	81,82%	

El cuadro anterior muestra que el año 2005 fue el mejor en cuanto a cantidad de producción, a excepción de la OSP ORINOCO IRON en donde el mejor año fue el 2001. Sin embargo, el año 2005 no fue el año en donde se obtienen los mayores niveles de exumos (ver año 2006, ver Cuadro 27).

Esto indicaría que los precios de los exumos del año 2005 no favorecieron su actuación, y los precios del año 2006 compensaron la falta de producción. Esto nos indicaría que las decisiones sobre los niveles de producción deberían llevar a obtener niveles superiores a la Producción Máxima Observada o alcanzar la capacidad instalada.

El porcentaje de utilización indica que la máxima producción se encuentra muy cercana a la capacidad instalada, por ejemplo, las OSP MIDREX oscilan en un 97% lo cual se considera una utilización muy alta, en consecuencia para aumentar la producción se debe aumentar el número de módulos, es decir la capacidad.

## 5.2 ESTRATEGIA 2: COMPARACIÓN CON LA MEJOR OSP ANALIZADA O BENCHMARKING.

Esta estrategia está relacionada con el mejoramiento de la utilización de los insumos. A continuación se muestra la ubicación del patrón de Carga en relación a los consumos máximos y mínimos.

**Cuadro 29**  
**Consumos Máximos y Mínimos de las mejores OSP de cada proceso**

Proceso	Concepto	Unidad	Mínimos Logrados	Máximos Logrados	Patrón de Carga	Ubicación Patrón de Carga
MIDREX (Ternium SIDOR II) nivel de producción 1.213.170 t	Mineral	t	967.300,35	1.704.503,85	1.819.755,00	?
	Gas Natural	Nm3	238.210.620,00	420.969.990,00	322.001.012,18	«
	Electricidad	Kwh	77.144.354,36	144.430.163,16	72.790.200,00	?
	Agua	m3	17.211.750,00	35.981.700,00	1.213.170,00	?
	Químicos	Kg.	716.008,80	1.249.565,10	1.239.166,50	«
	Mano de Obra	h-h	2.515.655,61	4.651.269,52	133.448,70	?
	Mantenimiento	h-h	3.859.356,28	7.043.301,07	3.882.144,00	«
	Otros		688.470,00	1.213.170,00	1.213.170,00	«
HYL (SIDOR II) nivel de producción 1.991.430 t	Mineral	t	1.604.784,60	2.934.162,00	2.827.830,60	«
	Gas Natural	Nm3	665.646.570,00	1.182.909.420,00	495.532.218,04	?
	Electricidad	Kwh	639.653.580,00	1.137.106.530,00	189.185.850,00	?
	Agua	m3	15.821.820,00	30.484.800,00	2.389.716,00	?
	Químicos	Kg.	1.130.130,00	1.931.687,10	1.982.895,30	?
	Mano de Obra	h-h	5.391.417,16	8.683.863,11	199.143,00	?
	Mantenimiento	h-h	5.981.735,71	10.241.849,81	6.173.433,00	«
	Otros		1.130.130,00	1.991.430,00	1.991.430,00	«
FINMET (ORINOCO IRON) nivel de producción 2.570.000 t	Mineral	t	1.824.000,00	4.985.800,00	3.097.000,00	«
	Gas Natural	Nm3	345.600.000,00	943.190.000,00	648.954.783,57	«
	Electricidad	Kwh	139.200.000,00	393.210.000,00	244.500.000,00	«
	Agua	m3	2.400.000,00	22.925.000,00	4.075.000,00	«
	Químicos	Kg.	960.000,00	2.878.400,00	1.818.614,29	«
	Mano de Obra	h-h	2.016.000,00	5.499.800,00	3.423.000,00	«
	Mantenimiento	h-h	4.368.000,00	11.924.800,00	4.238.000,00	?
	Otros		960.000,00	2.570.000,00	1.630.000,00	«
<b>? Sobre el rango, ? Debajo del rango, « En el rango de actuación</b>						

Se muestra que los patrones de cargas no son cumplidos, es decir algunos elementos están en rango, y otros sobre o por debajo del rango comportamiento que sugiere la optimización en las cantidades de insumos a consumir, sugiriéndose consumir las cantidades del patrón de carga.



## CONCLUSIONES

Mediante la realización del presente estudio se obtienen las siguientes conclusiones:

1. El Modelo Eficiencia, Cambio Técnico, Productividad y Competitividad (MECPC) permite la medición y evaluación de los procesos de Reducción Directa de Hierro.
2. A través del Análisis Envolvente de Datos-BCC se determinó que las OSP Asignativamente más Eficientes son Ternium SIDOR I, Ternium SIDOR II, SIDOR II ya que sus indicadores de Eficiencia Asignativa son uno (1) o 100% para el lapso estudiado. Es decir, muestra la mejor utilización de costos. Las otras OSP son menos eficientes ya que sus indicadores son de: OPCO, VENPRECAR Y COMSIGUA tienen 0,943; VEMPRECAR = 0,825; COMSIGUA = 0,776; MATESI = 0,47 y ORINOCO IRON = 0,348 jerárquicamente.
3. A través del Análisis Envolvente de Datos-CCR se determinó que la OSP Técnicamente más Eficientes es Ternium SIDOR II ya que su indicador de Eficiencia Técnica es uno (1) o 100% para el lapso estudiado. Es decir, muestra la mejor utilización de cantidades. Las otras OSP son menos eficientes ya que sus indicadores son de: OPCO = 0,73; COMSIGUA = 0,687; VEMPRECAR = 0,642; Ternium SIDOR I = 0,453; SIDOR II = 0,363; MATESI = 0,363 y ORINOCO IRON = 0,332 jerárquicamente.
4. A través del Análisis Envolvente de Datos BCC y CCR se determinó que la OSP económicamente más eficiente es Ternium SIDOR II ya que su indicador de Eficiencia Económica es uno (1) o 100% para el lapso estudiado. Es decir, muestra la mejor utilización de cantidades y costos simultáneamente. Las otras OSP son menos eficientes ya que sus indicadores son de: VEMPRECAR = 0,943; OPCO = 0,931; COMSIGUA = 0,918; Ternium SIDOR I = 0,608; SIDOR II = 0,588; ORINOCO IRON = 0,506 y MATESI = 0,410 jerárquicamente.

5. A través del Análisis Envolvente de Datos - BCC y CCR, se obtuvo que las OSP con los mejores cambios de Eficiencia Pura son: Ternium SIDOR I, Ternium SIDOR II y SIDOR II ya que sus indicadores son de uno (1) o 100% para el lapso 2000 – 2006. Es decir, estas OSP hacen la mejor utilización los insumos en el tiempo. Las demás OSP han alcanzado un nivel de cambio en la Eficiencia Pura de: OPCO = 1,29900; VENPRECAR = 1,49490; COMSIGUA = 1,27740; MATESI = 1,08000 y ORINOCO IRON = 1,30300, es decir, su aproximación a uno (1) debe ser obtenida.
6. A través del Análisis Envolvente de Datos - BCC y CCR, se obtuvo que la OSP con el mejor cambio de Eficiencia de Escala es: Ternium SIDOR II ya que su indicador de cambio de Eficiencia de Escala es de uno (1) o 100% para el lapso 2000 – 2006. Es decir, esta OSP aumenta su producción en tiempo de 0,91 Mt en el año 2000 a 1,16 Mt en el año 2006 manteniendo una posición de Eficiencia durante este lapso. Las demás OSP aun cuando han aumentando sus niveles de producción estos aumentos no ha sido suficiente para estar en la frontera eficiente mostrando un índice de cambio de Eficiencia de Escala de: MATESI = 1,6323; SIDOR II = 1,6180; ORINOCO IRON = 1,5097; Ternium SIDOR I = 1,3422; COMSIGUA = 1,0748; lo cual indica que se acercan al ideal del 100%. OPCO = 0,9950 y VENPRECAR = 0,9831 muestra un valores menores a uno, lo cual lo coloca en una posición muy ineficiente puesto que se aleja del ideal del 100%.
7. Considerando simultáneamente los cambios de eficiencia Pura y de Escala, se obtiene los cambios de eficiencia Técnica. La OSP con el mejor cambio Técnico es Ternium SIDOR II puesto que su indicador es igual a uno (1) o 100%. Las demás OSP, aún cuando no han llegado a la frontera de eficiencia, presentan progreso en los cambios de eficiencia Técnica puesto que presentan valores mayores de uno (1): ORINOCO IRON = 1,96714; MATESI 1,76288; SIDOR II = 1,61800; VENPRECAR = 1,46964; COMSIGUA 1,37295; Ternium SIDOR I = 1,34220 y OPCO = 1,29251.

8. Se debe invertir en el proceso MIDREX aumentando su capacidad de Producción y así aumentar el Cambio Técnico, pues estos procesos son los más eficientes.
9. El cambio técnico muestra un desplazamiento ineficiente de la frontera de eficiencia puesto que el índice de cambio Técnico para todas las OSP han sido menores de 0,6729.
10. El índice de Malmquist refleja que las OSP más productivas son SIDOR II, MATESI Y ORINOCO IRON pues sus valores son 1,08; 1,18 y 1,32 respectivamente, los cuales son índices mayores que uno.
11. La perspectiva de prosecución del Modelo MECPC permite analizar cuales deben ser la utilización de insumos u obtención de exumos necesarios para mejorar los Índices de Malmquist.
12. La estrategia N° 2: COMPARACIÓN CON LA MEJOR OSP ANALIZADA O BENCHMARKING permite establecer metas de producción basándonos en el óptimo temporal del periodo de análisis.
13. La utilización de las técnicas DEA permite analizar las dimensiones de expansión y prosecución del Modelo MECPC, así este modelo posibilita el análisis simultáneo de la Eficiencia Técnica, Asignativa, de Escala, Económica y la Productividad de los Procesos de Reducción Directa de Hierro.
14. Las estrategias de mejoras conducen a una adecuación de utilización de insumos respecto a las mejores prácticas y a una optimización de costos. Y de igual manera, a un aumento controlado de los niveles de producción.

## RECOMENDACIONES

De los resultados y conclusiones obtenidas con este estudio se recomiendan las siguientes acciones:

1. Mejorar el acceso a la información de Cantidades y Precios, para facilitar la implantación del Modelo de Eficiencia, Cambio Técnico, Productividad y Competitividad (MECPC)
2. Mejorar la utilización de los insumos de acuerdo a los patrones de carga de diseño.
3. Ampliar este estudio para analizar el comportamiento de la Competitividad de los procesos de Reducción Directa de Hierro en Guayana.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez Ayuso, I. (s.f). *Eficiencia técnica en las economías europeas: influencia del capital público y educación en un entorno de frontera estocástica*. SEMINARIO DE TESIS UNIVERSIDAD COMPLUTENSE. [Documento en línea]. Disponible en <http://www.ucm.es/info/icae/seminario/seminario0203/08abr.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
2. Álvarez Esteban, L. Gallizo Larraz, J. y Hernández García, M. (2005) *Eficiencia técnica y convergencia en la industria manufacturera de la Unión Europea*. [Documento en línea]. *Estudios de Economía Aplicada*, 20(2), 381-401. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/301/30120208.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
3. Álvarez Pinilla, A. coord. (2001). *La medición de la eficiencia y la productividad*. Madrid, España. Editorial Pirámide.
4. Arias, G. (2006, Enero, 30). La soberanía productiva y política garantizan una definitiva independencia. [Revista en línea]. *Prensa Presidencial – Ministerios de Comunicaciones e Información (MINCI)*. Disponible en: [http://minci.gov.ve/noticias-prensa-presidencial/28/9095/la\\_soberania\\_productiva.html](http://minci.gov.ve/noticias-prensa-presidencial/28/9095/la_soberania_productiva.html) [Consulta:2007, Marzo, 18]
5. Arieu, A. (s.f). *Eficiencia técnica comparada en elevadores de granos de Argentina, bajo una aplicación de análisis de envoltante de datos. La situación del puerto de Bahía Blanca*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.aep.org.ar/espa/anales/resumen04/04/Arieu.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
6. Arzubi, A. y Berbel, J. (s.f). *Determinación de eficiencia usando DEA en explotaciones lecheras de argentina. Argentina*. [Documento en línea].

Disponible en:

<http://www.uco.es/grupos/edr/aeaa/congreso/produccion/AArzubi.doc>

[Consulta:2007, Marzo, 18]

7. Arzubí, A. y Berbel, J. (s.f). *Un análisis no paramétrico de eficiencia en explotaciones lecheras de argentina. Argentina.* [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.uco.es/~es1bevej/articulos/analisisleche.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
8. Balaguer Coll, M. (2002). *La eficiencia en las administraciones locales ante diferentes especificaciones del output.* [Documento en línea]. Disponible en: [http://www.ief.es/Publicaciones/Revistas/Hacienda%20Publica/170\\_Eficiencia.pdf](http://www.ief.es/Publicaciones/Revistas/Hacienda%20Publica/170_Eficiencia.pdf) [Consulta:2007, Marzo, 18]
9. Balestrini, M. (1998) *Como se elabora un proyecto de investigación.* 2ª Edición. Editorial: BL Consultores. Caracas - Venezuela.
10. Baltazar Silva, A. (2004). *La eficiencia de los centros de salud: el caso de los hospitales privados.* [Documento en línea]. *Revista Electrónica de Ciencia Administrativa (RECADM)*, 3(2). Disponible en: <http://www.presidentekennedy.br/recadm/edicao6/artigo09.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
11. Banco Mundial. (s.f). *Más Allá Crecimiento Económico.* [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.worldbank.org/depweb/spanish/beyond/beg-sp.html> [Consulta:2007, Marzo, 18]
12. Barbaro, M. (2008). *Modelo para el incremento de la productividad en la acería de Planchones de la empresa TERNIUN SIDOR* [Tesis de Maestría no publicada]. Universidad Nacional Experimental de Guayana. Venezuela.
13. Barr, R. (2004). DEA software tools and technology: A State-of-the-Art Survey. [Documento en línea]. *Handbook on Data Envelopment Analysis, Kluwer*

- Academic Publishers, Boston, 2004. 539-566* Disponible en: <http://faculty.smu.edu/barr/pubs/tr04-05.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
- 14.** Beltrán Ballesteros, V. (2004). *Conjunto de productividad para problemas de análisis envolvente de datos*. [Versión completa en línea]. Tesis de Maestría. Universidad De Puerto Rico Recinto Universitario De Mayagüez. Puerto Rico. Disponible en: <http://grad.uprm.edu/tesis/beltranballesteros.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
- 15.** Bosch P, M., Goic F, M. y Bustos S, P. (2004) *Análisis de desempeño de las categorías en un supermercado usando Data Envelopment Analysis*. [Documento en línea]. Departamento de Ingeniería Industrial · Universidad de Chile, Chile. Disponible en: <http://www.dii.uchile.cl/~ceges/publicaciones/ceges66.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
- 16.** Bueno Campos, E. (1999) *Estrategia y dirección estratégica (una guía en la formación para un MBA)*. [Documento en línea]. Asociación Española de Contabilidad y Administración de Empresas (AECA). España. Disponible en <http://www.gestion2000.com/pdflibros/9136.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
- 17.** Bueno Colina, H. (s.f) *Curso De Reduccion Directa De Minerales De Hierro*. Universidad Nacional Experimental de Guayana.
- 18.** Cabrera Melgar, O. O. (s.f). *El papel de la eficiencia económica y el Cambio Técnico en el desenvolvimiento económico centroamericano*. [Documento en línea]. Departamento de Investigación Económica y Financiera - Banco Central de Reserva de El Salvador. Disponible en: [http://www.eclac.cl/redima/noticias/paginas/0/22770/Rd2005CA\\_OscarCabreraPAPER.pdf](http://www.eclac.cl/redima/noticias/paginas/0/22770/Rd2005CA_OscarCabreraPAPER.pdf) [Consulta:2007, Marzo, 18]
- 19.** Castells Oliván, M. (2006). Discurso de ingreso del Académico Numerario, Excmo. Sr. Dr. D. Manuel Castells Oliván. [Libro en línea]. En *De la función de*

*producción agregada a la frontera de posibilidades de producción: productividad, tecnología y crecimiento económico en la era de la información.* Real Academia de Ciencias Económicas y Financieras. Disponible en: [http://www.uoc.edu/dt/esp/castells\\_racef.pdf](http://www.uoc.edu/dt/esp/castells_racef.pdf) [Consulta: 2007, febrero, 13]

20. Centro de Estudio de Competitividad. (s.f). *El concepto de competitividad Sistémica*. [Documento en línea]. Instituto Tecnológico Autónomo de México. México. Disponible en: [http://cec.itam.mx/htm/Working%20papers/DTEC-04-01\\_esp.pdf](http://cec.itam.mx/htm/Working%20papers/DTEC-04-01_esp.pdf) [Consulta:2007, Marzo, 18]
21. Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2002, Septiembre). *Asesoría para la estimación del factor de productividad (x) de las actividades de distribución y comercialización a usuarios regulados de los servicios públicos domiciliarios de gas combustible por red (informe resultados)*. [Documento en línea]. Medellín. Disponible en: [http://domino.creg.gov.co/Publicac.nsf/0/d100d46a1e969c9145256c45003cb68d/\\$FILE/Circular036-anexo-nforme%20%20Final%20Resultados%20gas.pdf](http://domino.creg.gov.co/Publicac.nsf/0/d100d46a1e969c9145256c45003cb68d/$FILE/Circular036-anexo-nforme%20%20Final%20Resultados%20gas.pdf) [Consulta:2007, Marzo, 18]
22. Contreras Rubio, I. Mármol Conde, A. (2002). La inclusión de outputs no deseables en el Análisis Envolvente de Datos (DEA). [Documento en línea]. En *X Jornadas Madrid 2002. Asociación Española de Profesores Universitarios de Matemáticas para la Economía y la Empresa*. Disponible en: [www.uv.es/asepuma/X/C26C.pdf](http://www.uv.es/asepuma/X/C26C.pdf) [Consulta:2007, Marzo, 18]
23. Definición.org. (s.f). [Diccionario en Línea]. Disponible en: <http://www.definicion.org> [Consulta:2007, Marzo, 7]
24. Delgado Rodríguez M. J., Álvarez Ayuso, I. (s.f). *Comparación de la eficiencia técnica de los sectores productivos regionales: 1980-1995*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.ucm.es/BUCM/cee/icae/doc/0305.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]



25. Delgado Rodríguez, M. J., Álvarez Ayuso, I (s.f). *Medición de la eficiencia técnica para los países de la UE*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.ucm.es/BUCM/cee/icae/doc/0210.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
26. Delgado Rodríguez, M. J., Álvarez Ayuso, I (2005). *Evaluación de la eficiencia técnica en los países miembro de la Unión Europea*. [Documento en línea]. *Revista Gestión y Política Pública*. 14(1). 107-128. Disponible en: [http://www.gestionypoliticapublica.cide.edu/num\\_anteriores/Vol.XIV\\_NoI\\_1erse/m/Delgado\\_y\\_Alvarez.pdf](http://www.gestionypoliticapublica.cide.edu/num_anteriores/Vol.XIV_NoI_1erse/m/Delgado_y_Alvarez.pdf) [Consulta:2007, Marzo, 18]
27. Díaz Torres, G. M. (). Construcción de índices asociados a técnicas multivariadas y al Análisis Envolvente de Datos (AED) para los centros educativos distritales. Disponible en: <http://dspace.uniandes.edu.co:5050/dspace/handle/1992/449?mode=full> [Consulta:2007, Marzo, 18]
28. Diccionario de la lengua española©. (2005). [Diccionario en Línea] Espasa-Calpe S.A., Madrid. Disponible en: <http://www.rae.es> [Consulta:2007, Marzo, 7]
29. Díez Martín, F. Martín Jiménez. F. (2003). Una aplicación del análisis de frontera en los centros propios de la universidad de Sevilla. [Documento en línea]. *Capítulo del libro, XVII Congreso Nacional y XIII Congreso Hispano-Francés de AEDEM, "Evolución, Revolución, y Saber en las Organizaciones"*, 1601-1610, Burdeos (Francia), Disponible en: [http://www.personal.us.es/fdiez/pdf/UNA\\_APLICACION\\_DEL\\_ANALISIS\\_DE\\_FRONTERA\\_EN\\_LOS\\_CENTROS\\_PROPIOS\\_DE\\_LA\\_UNIVERSIDAD\\_DE\\_SEVILLA.pdf](http://www.personal.us.es/fdiez/pdf/UNA_APLICACION_DEL_ANALISIS_DE_FRONTERA_EN_LOS_CENTROS_PROPIOS_DE_LA_UNIVERSIDAD_DE_SEVILLA.pdf) [Consulta:2007, Marzo, 18]
30. Domenech Vilariño, R. (1993, Mayo). Funciones de costes para la banca española: un análisis con datos de panel. [Libro en línea]. *Investigaciones Económicas, Fundación SEPI*. 17(2). 263-284. Disponible en:

- <ftp://ftp.funep.es/InvEcon/paperArchive/May1993/v17i2a3.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
31. Domínguez Ríos, M. C. (s.f). *Enfoque de competitividad sistémica en el estudio de la innovación empresarial* [Documento en línea]. Disponible en: [http://www.viep.buap.mx/viep\\_files/ponencias/ENFOQUE\\_DE\\_COMPETITIVIDAD\\_SIST\\_MICA\\_EN\\_EL\\_ESTUDIO\\_DE\\_LA\\_IN%85.pdf](http://www.viep.buap.mx/viep_files/ponencias/ENFOQUE_DE_COMPETITIVIDAD_SIST_MICA_EN_EL_ESTUDIO_DE_LA_IN%85.pdf) [Consulta:2007, Marzo, 18]
32. 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.
33. Fedriani Martel, E. M., Tenorio Villalón, Á. F. (2006, junio). Progreso técnico: una aproximación desde la Teoría de Grupos de Transformaciones de Lie. [Documento en línea]. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa. 1.* 5-24. Disponible en: [www.upo.es/RevMetCuant/art1.pdf](http://www.upo.es/RevMetCuant/art1.pdf) [Consulta:2007, Marzo, 18]
34. Fiallos, J. (2003, Febrero). Metodología de evaluación de eficiencia relativa para cooperativas de aportes y créditos. [Documento en línea]. *Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia*. Disponible en: <http://empleados.uniandes.edu.co/dependencias/Departamentos/ingenieria-industrial/magister/memos/marzo2003/FIALMEE.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
35. Finn R., F. y Sarafoglou, N. (2004). *On the origins of Data Envelopment Analysis*. *Department of Economics University of Oslo*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.oekonomi.uio.no/memo/memopdf/memo2400.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]

36. Fontela, E. (2004) Cambio tecnológico en el siglo XXI. [Documento en línea]. *Revista Valenciana de Estudios Economicos. Presidencia de la Generalitat Valenciana. Centro de Documentación y Análisis de Datos.* 45(46). 112-124. Disponible en: [http://www.pre.gva.es/argos/fileadmin/argos/datos/RVEA/libro\\_45\\_46/113-45\\_46.pdf](http://www.pre.gva.es/argos/fileadmin/argos/datos/RVEA/libro_45_46/113-45_46.pdf) [Consulta:2007, Marzo, 18].
37. Fuente, A. de la. (1992, Septiembre). Histoire d'a: Crecimiento y progreso técnico. [Libro en línea] *Investigaciones Economicas, Fundación SEPI,* 16(3), 331-391. Disponible en: <ftp://ftp.funep.es/InvEcon/paperArchive/Sep1992/v16i3a1.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
38. Fuentes Pascal, R. (2000). *Eficiencia en los centros públicos de educación secundaria de la provincia de Alicante.* [Versión completa en línea]. Tesis Doctoral, España. Disponible en: [http://www.eumed.net/tesis/rfp/007245\\_1.pdf](http://www.eumed.net/tesis/rfp/007245_1.pdf) [Consulta:2007, Marzo, 18]
39. Gallego, J. (2003, febrero, 11). El cambio tecnológico y la economía neoclásica. [Documento en línea]. *Revista DYNA. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia.* Disponible en: <http://www.minas.unalmed.edu.co/facultad/publicaciones/dyna2005/138/EL%20CAMBIO%20TECNOL%20GICO%20Y%20LA%20ECONOM%20CDA.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
40. García Prieto, C. (2002) *Análisis de la eficiencia técnica y asignativa a través de las fronteras de estocásticas de costes: Una aplicación a los hospitales de INSALUD.* [Versión completa en línea]. Tesis Doctoral, España. Disponible en: <http://descargas.cervantesvirtual.com/servlet/SirveObras/00253839888847284196746/009941.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]

41. González Domínguez, F. J. (2000). *Creación de empresas*. [Resumen en Línea]. Editorial Pirámide. Disponible en: [http://claweb.cla.unipd.it/spagnolo/gen/traduccion\\_macola/modelos/la-empresa.htm](http://claweb.cla.unipd.it/spagnolo/gen/traduccion_macola/modelos/la-empresa.htm) [Consulta:2007, Marzo, 18]
42. Gonzáles Fidalgo, E. (s.f). *Comparación de Modelos DEA para la medición y descomposición de la eficiencia técnica en explotaciones lecheras*. [Documento en línea]. Departamento de Administración de Empresas – Universidad Oviedo. Disponible en: <http://www.uniovi.es/fidalgo/congresos/jei1.pdf> [Consulta:2007, marzo, 18]
43. González Fidalgo, E. García González, J. V. (2004). *Aplicación y utilidad del análisis envolvente de datos en la medida de la eficiencia de los equipos de atención primaria de Asturias*. [Documento en línea] Documento preparado para la XXIV Jornadas de la Asociación De Economía De La Salud (AES): Respuestas individuales y sociales ante los riesgos para la salud. España. <http://www.fgcasal.org/aes/docs/VicenteGarciaComunicacionJornadasAES1.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
44. González M., J. C. (2002). *La verdad sobre eficiencia, eficacia y efectividad*. [Documento en línea]. Venezuela. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos11/veref/veref.shtml> [Consulta:2007, Marzo, 18]
45. González Serrano, M. M., Trujillo Castellano, L. (2005). *La medición de la eficiencia en el sector portuario: revisión de la evidencia empírica*. [Documento en línea]. Universidad de Las Palmas de G.C. Departamento de Análisis Económico Aplicado. Documento de trabajo 2005-06. España. Disponible en: <http://www.bibliotecas.ulpgc.es/fcee/hemeroteca/documentos%20de%20trabajo/DocumentosDTrabajo/doc60/DT2005-06.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]

46. Guralnik, Davi B. (1972) Webster's new world dictionary of the american language. *The world Publishing company*. 2º Ed. United State of America.
47. Hernández Sampieri, R; Fernández Collado, C; Baptista Lucio, P. (1998). *Metodología de la investigación*. México. McGraw Hill.
48. Jatar, A. J. (s.f). *Políticas de competencia en economías recientemente liberalizadas: El caso de Venezuela*. [Documento en línea]. *Superintendencia de Promoción y Protección de la Libre Competencia (PROCOMPETENCIA)*. Venezuela Disponible en: <http://www.procompetencia.gov.ve/politicacompetenciavenezuela.html#6> [Consulta:2007, Marzo, 18]
49. Kato Maldonado, L. (2000). Rotación de capital y selección de técnicas en el modelo Multisectorial de producción lineal y en el esquema Marxista de producción basado en la Teoría del Valor Trabajo. [Documento en línea]. Disponible en: [www.iwgv.org/files/00kato.rtf](http://www.iwgv.org/files/00kato.rtf) [Consulta:2007, Marzo, 18]
50. Krugman, P. (1994). *Competitiveness - A Dangerous Obsession* [resumen]. Revista: Foreign Affairs [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.pkarchive.org/global/pop.html> [Consulta:2008, Enero, 27]
51. Lanteri, L. N. (s.f). Productividad, desarrollo tecnológico y eficiencia. La propuesta de los índices malmquist. *Revista Anales. Asociación Argentina de Economía Política*. Disponible en: [http://www.aaep.org.ar/espa/anales/PDF\\_02/lanteri.pdf](http://www.aaep.org.ar/espa/anales/PDF_02/lanteri.pdf) [Consulta:2007, Marzo, 18]
52. Leone, R. de, Merelli. E. (1996). Data Envelopment Analysis an introduction. [Documento en línea]. *Logistica su Calcolatore per la pianificazione della produzione nelle piccole e medie imprese*. AIRO, Ancona. Disponible en: <http://www.bioagent.net/merelli/Files-pdf/dea.ps> [Consulta:2007, Marzo, 18]

53. López Roa, Á. L., Esteban García, J. y Coll Serrano, V. (2003, diciembre). *Competitividad y eficiencia*. [Documento en línea]. *Estudios de Economía Aplicada*. 21(003). 423-450. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/301/30121302.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
54. Lozano Chavarría, P. y Mancebón Torrubia, M. J. (2001, Octubre). La eficiencia productiva: empresa nacional versus empresa extranjera. [Documento en línea]. *Revista ICE (Información Comercial Española)*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. 794. 23-36 Disponible en: <http://www.revistasice.com/Estudios/Documen/ice/794/ICE7940301.PDF> [Consulta:2007, Marzo, 18]
55. Mansonn, J. (2003). How can we use the result from DEA analysis? Identification of firm-relevant units. [Documento en línea]. *Journal of Applied Economics*. Universidad del CEMA. Argentina. Mayo, 6(1). 157-175. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/103/10306107.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
56. Mariaca, R. (2002). *Eficiencia de las empresas bancarias y su continuidad en el mercado (aplicación del método DEA)*. [Documento en línea]. Instituto de Investigaciones Económicas. Documento de Trabajo No. 10/02. Disponible en: <http://www.iisec.ucb.edu.bo/papers/2001-2005/iisec-dt-2002-10.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
57. Martínez Cabrera, M. (2002). *Productividad y eficiencia en la gestión pública del transporte de ferrocarriles: implicaciones de política económica*. Instituto de Estudios Fiscales. (P.T.N 28/02). [Documento en línea]. España. Disponible en: [http://www.ief.es/publicaciones/PapelesDeTrabajo/pt2002\\_28.pdf](http://www.ief.es/publicaciones/PapelesDeTrabajo/pt2002_28.pdf) [Consulta:2007, Marzo, 18]

58. Martínez de Ita, M. E. (s.f). *El concepto de productividad en el análisis económico*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.redem.buap.mx/acrobat/eugenia1.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
59. Martínez Paz, J. M. y Dios Palomares, R. (s.f). *Eficiencia productiva en la horticultura protegida almeriense*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.revecap.com/vieea/autores/M/142.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
60. Martínez Roget, F., Miguel Domínguez, J.C. de. y Murias Fernández, P. (2005). *El análisis envolvente de datos en la construcción de indicadores sintéticos. Una aplicación a las provincias españolas*. [Documento en línea]. *Estudios De Economía Aplicada*. 23(3). 753-711. España. Disponible en: <http://www.revista-eea.net/coleccion/documentos/23308.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
61. Martínez, S. F. (2005). Filosofía del cambio tecnológico: desarrollo dependiente de trayectoria versus determinismo tecnológico. [Documento en línea]. *Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM*. En Actas del XII Congreso Nacional de Filosofía, AFRA y Universidad Nacional del Comahue, F. Erazun y M.I. Mudrovic (eds.), EDUCO, Neuquén, Argentina. Disponible en: [http://www.filosoficas.unam.mx/~sfmar/publicaciones/cambiotecn\(nauquen04iif05.pdf](http://www.filosoficas.unam.mx/~sfmar/publicaciones/cambiotecn(nauquen04iif05.pdf) [Consulta: 2007, febrero, 3]
62. Más, F. J., Nicolau, J. L. y Sellers, R. (2002, julio). *Eficiencia en la distribución: una aplicación en el sector de agencias de viajes*. (WP-EC 2002-17). [Documento en línea]. España: Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas, S.A. Disponible en: <http://www.ivie.es/downloads/docs/02/wpec-17.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
63. Maudos, J. (1996, Septiembre). *Eficiencia, Cambio Técnico y productividad en el sector bancario español: una aproximación de frontera estocástica*. [Documento en línea]. *Investigaciones Económicas*. 20(3). 339-358. Disponible en:

- <ftp://ftp.funep.es/InvEcon/paperArchive/Sep1996/v20i3a3.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
64. Maudos, J., Pastor, J. M. y Serrano, L. (1998). *Convergencia en las regiones españolas: Cambio Técnico, eficiencia y productividad*. Documento en línea. *Revista Española de Economía*. 15(2). 235-264. Disponible en: <http://ddd.uab.es/pub/ree/02101025v15n2p235.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
65. Maudos, J., Pastor, J. M. y Serrano L. (2000, Enero). Crecimiento de la productividad y su descomposición en progreso técnico y cambio de eficiencia una aplicación sectorial y regional de España (1964-93). [Documento en línea]. *Investigaciones Económicas, Fundación SEPI*, 24(1). 177-205. Disponible en: <ftp://ftp.funep.es/InvEcon/paperArchive/Ene2000/v24i1a6.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
66. Melcher, D. (1992, publicado en 1995). *La industrialización en Venezuela*. [Documento en línea]. *Revista Economía Facultad De Ciencias Económicas Y Sociales. Universidad De Los Andes Mérida, Venezuela. N° 10*. Disponible en: [http://iies.faces.ula.ve/Revista/Articulos/Revista\\_10/Pdf/Rev10Melcher.pdf](http://iies.faces.ula.ve/Revista/Articulos/Revista_10/Pdf/Rev10Melcher.pdf) [Consulta:2007, Marzo, 18]
67. Mercado, E. (1997). *Productividad: Base de la competitividad*. México. Editorial Limusa.
68. Ministerio De Planificación Y Desarrollo. (2002). *Plan Nacional del sector del Hierro y del Acero. (Venezuela)*. [Documento en línea]. Disponible en: [http://www.gobiernoonlinea.ve/gobierno\\_al\\_dia/docs/PlanNacionalHierroAcero.pdf](http://www.gobiernoonlinea.ve/gobierno_al_dia/docs/PlanNacionalHierroAcero.pdf) [Consulta:2007, Marzo, 18]
69. Mir P. y Colom A. (s.f). *El análisis microeconómico de la producción y el Cambio Técnico*. [Documento en línea]. En *V Jornadas de Economía Crítica: La*



- Crisis del Estado de Bienestar y la Unión Europea*. Disponible en: <http://www.ucm.es/info/ec/jec5/pdf/area7/area7-5.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
70. Mokate, K. (1999, febrero). *Eficacia, eficiencia, equidad y sostenibilidad: ¿qué queremos decir?* [Versión Completa en Línea]. Disponible en: [http://www.ipardes.gov.br/pdf/cursos\\_eventos/governanca\\_2006/gover\\_2006\\_03\\_eficacia\\_eficiencia.pdf](http://www.ipardes.gov.br/pdf/cursos_eventos/governanca_2006/gover_2006_03_eficacia_eficiencia.pdf) [Consulta:2007, Marzo, 18].
71. Naciones Unidas Comisión Económica Para América Latina Y El Caribe-CEPAL. (2001) *Elementos de competitividad sistémica de las pequeñas y medianas empresas (PYME) del istmo centroamericano*. [Documento en línea]. México. Disponible en: <http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/1/9481/1499.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
72. Núñez, M. (2000). *Diseño de un modelo integral de la productividad para la industria siderúrgica venezolana*. Tesis doctoral no publicada. La Habana - Cuba.
73. Oliber, M. (2007, Enero) *El Cambio Tecnológico*. [Documento en línea]. Disponible en: [http://www.miempresa.com/index.php?option=com\\_content&task=view&id=7&Itemid=2](http://www.miempresa.com/index.php?option=com_content&task=view&id=7&Itemid=2) [Consulta: 2007, marzo, 3]
74. Parra, F. J., Prieto, A. M. y Zofio, J. L. (s.f). *Cambio técnico en el modelo input-output de castilla y león mediante el análisis envolvente de datos DEA*. [Documento en línea]. Disponible en: [http://www.jcyl.es/jcyl/cee/dgeae/congresos\\_ecoreg/CERCL/1451.PDF](http://www.jcyl.es/jcyl/cee/dgeae/congresos_ecoreg/CERCL/1451.PDF) [Consulta:2007, Marzo, 18]
75. Pedraja Chaparro F. Salinas Jiménez, J. y Smith P. (1994, Mayo). *La restricción de las ponderaciones en el análisis envolvente de datos: una fórmula para mejorar la evaluación de la eficiencia*. [Documento en línea]. 18(2). 365-380.

Disponible en: <ftp://ftp.funep.es/InvEcon/paperArchive/May1994/v18i2a6.pdf>  
[Consulta:2007, Marzo, 18]

- 76.** Peñaloza Ramos, M. C. (2003, Diciembre). *Evaluación de la Eficiencia en instituciones hospitalarias públicas y privadas con Data Envelopment Analysis (DEA)*. [Documento en línea]. *Serie Archivos de Economía*. Documento de trabajo N° 204. Bogotá-Colombia. Disponible en: [http://www.dnp.gov.co/archivos/documentos/DEE\\_Archivos\\_Economia/244\\_Evaluacion\\_con\\_DEA\\_de\\_eficiencia\\_hospitales.pdf](http://www.dnp.gov.co/archivos/documentos/DEE_Archivos_Economia/244_Evaluacion_con_DEA_de_eficiencia_hospitales.pdf) [Consulta:2007, Marzo, 18]
- 77.** Pinzón Martínez, M. J. (s.f). *Medición de eficiencia técnica relativa en hospitales públicos de baja complejidad mediante la metodología data envelopment analysis (DEA)*. [Documento en línea]. Disponible en: [http://www.dnp.gov.co/archivos/documentos/DEE\\_Archivos\\_Economia/245\\_eficiencia\\_tecnica\\_hospitales\\_publicos\\_con\\_DEA.pdf](http://www.dnp.gov.co/archivos/documentos/DEE_Archivos_Economia/245_eficiencia_tecnica_hospitales_publicos_con_DEA.pdf) [Consulta:2007, Marzo, 18]
- 78.** Ponce de León, A. Q. (s.f). *Glosario de ecología de la producción*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger1/gloecopro.htm>  
[Consulta:2007, Marzo, 7]
- 79.** Prokopenko, J. (1989). *“la gestión de la productividad: manual practico”*. (3ª.ed.). Mexico: Editorial Limusa.
- 80.** Quirós, C., Picazo, A. J. (2001) Liberalización, eficiencia y Cambio Técnico en telecomunicaciones. [Documento en línea]. *Revista de Economía Aplicada*. 9(25). 77-113. Disponible en: <http://www.uv.es/~ajpicazo/cquiros.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
- 81.** Raffo Lecca, E. Ruiz Lizama, E. (2005). *Fronteras de eficiencia para operadores de decisiones*. [Documento en línea]. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*. 8(1): 77-82. Perú. Disponible en:

[http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/Vol8\\_n2/a12.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/indata/Vol8_n2/a12.pdf)

[Consulta:2007, Marzo, 18]

- 82.** Renato de Leone, E. M. (s.f). *Data Envelopment Analysis an introduction*. [Documento en línea]. *Dipartimento Di Matematica e Fisica. Università di Camerino*. Disponible en: <http://www.bioagent.net/merelli/Files-pdf/dea.ps>  
[Consulta:2007, Marzo, 18]
- 83.** Rojas, P. y Sepúlveda, S. (1999). *Competitividad De La Agricultura: Cadenas Agroalimentarias Y El Impacto Del Factor Localización Espacial*. [Documento en línea]. *Serie Cuadernos Técnicos / IICA ; N° 02*. San José de Costa Rica-Costa Rica. Disponible en: <http://www.grupochorlavi.org/php/doc/documentos/181.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
- 84.** Rojas Rodríguez, J. E. (s.f). *Aplicación del Análisis Envolvente de Datos a la evaluación de la eficiencia de gastos administrativos para la industria de seguros generales en Colombia*. [Documento en línea]. Disponible en: <http://dspace.uniandes.edu.co:5050/dspace/handle/1992/449?mode=full>  
[Consulta:2007, Marzo, 18]
- 85.** Ruiz Jiménez, A., González Expósito, I., Ceballos Hernández, C. y Jiménez Jiménez, M. (s.f). *An approach to measuring service productivity*. [Documento en línea]. España. Disponible en: [http://www.aloj.us.es/dgpst1/material\\_adicional/Productividad%20-%20Ruiz%20y%20Otros%20\(2005\).pdf](http://www.aloj.us.es/dgpst1/material_adicional/Productividad%20-%20Ruiz%20y%20Otros%20(2005).pdf) [Consulta:2007, Marzo, 18]
- 86.** Salazar T., B. (1994, Febrero). *Funciones de producción, Cambio Técnico y crecimiento*. [Documento en línea]. *Centro De Investigaciones Y Documentación Socioeconómica (CIDSE). Facultad De Ciencias Sociales Y Económicas. Universidad del Valle*. Santiago de Cali – Chile. Disponible en: <http://socioeconomia.univalle.edu.co/nuevo/public/index.php?seccion=CIDSE&v>

- [er=PUBLICACIONES&publicacion=DOCUMENTOS&documento=16&download=1&PHPSESSID=930726c9646cbbd3c12616f12a37ab79.](#) [Consulta:2007, Marzo, 18]
87. Sallan Leyes, J. M. (2001, febrero, 16) *Modelos de estrategia formalizada y eficacia organizativa: el caso de las instituciones de educación superior europeas*. [Versión Completa en Línea]. Tesis Doctoral. Disponible en: [http://www.tdx.cbuc.es/TESIS\\_UPC/AVAILABLE/TDX-0426101-090510/#documents](http://www.tdx.cbuc.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0426101-090510/#documents)[Consulta:2007, Marzo, 18]
88. Sánchez Choliz, J. (1989). La razón patrón de Sraffa y el Cambio Técnico. [Documento en línea]. *Investigaciones Económicas. Fundación SEPI*. 13(1). 137-154. Disponible en: <ftp://ftp.funep.es/InvEcon/paperArchive/Ene1989/v13i1a7.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
89. Sanhueza Hormazábal, R. E. (2003, Noviembre). *Fronteras de eficiencia, metodología para la determinación del valor agregado de distribución*. [Versión Completa en Línea]. Tesis Doctoral. Santiago de Chile. Disponible en: <http://www2.ing.puc.cl/power/paperspdf/sanhuezathesis.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
90. Sumanth, D. (1990). *Ingeniería De La Productividad*. Traducción de la 1era edición. Naucalpan de Juárez, Edo. De Mexico: McGraw-Hill. 1990.
91. Tamayo y Tamayo. M. (2000) *El proceso de la Investigación Científica*. Editorial Limusa S.A, México.
92. Trillo del Pozo, D. (2002, Octubre). Análisis económico y eficiencia del sector público. [Documento en línea]. *VII Congreso Internacional del CLAD sobre la Reforma del Estado y de la Administración Pública, Lisboa, Portugal*. 8-11.

- Disponible en: <http://www.clad.org.ve/fulltext/0044506.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]
93. Velásquez Bermúdez, J. M. y Saldaña Cortes, C. (2003). *Eficiencia: definición y medición*. [Documento en línea]. *DecisionWare Ltda.* Documento de trabajo (DW-DT-003-2003). Disponible en: <http://www.dw-ltd.com/documentacion.htm> [Consulta:2006, Septiembre, 29]
94. Visbal Cadavid, D. A. (s.f). Evaluación de la eficiencia relativa en el uso de recursos de las universidades públicas colombianas mediante la metodología data envelopment analysis. [Documento en línea]. En *XIII CLAIO Congreso Latino-Iberoamericano de Investigación Operativa. Montevideo, Uruguay 2006*. Disponible en: <http://dspace.uniandes.edu.co:5050/dspace/handle/1992/449?mode=full> [Consulta:2007, Marzo, 18]
95. Velázquez Angona, F. J. (1993, Septiembre). Economías de escala y tamaños óptimos en la industria española (1980-1986). [Libro en línea] *Investigaciones Económicas, Fundación SEPI*, 17(3), 507-525. Disponible en: <ftp://ftp.funep.es/InvEcon/paperArchive/Sep1993/v17i3a7.pdf> [Consulta:2007, Marzo, 18]

**ANEXO A**

## ANEXO B

**Cuadro B1**  
**Eficiencia Técnica anual orientada a los Insumos**

Modelo	Organización Social de Producción	AÑOS						
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Charnes, Cooper y Rhodes (CCR)</b>	TERNIUM SIDOR I	0,453	0,542	0,564	0,517	0,769	0,648	0,608
	TERNIUM SIDOR II	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	OPCO	0,730	0,809	0,783	0,831	0,931	0,806	0,943
	VENPRECAR	0,642	0,690	0,685	0,898	0,897	0,806	0,943
	COMSIGUA	0,687	0,776	0,726	0,895	0,929	0,806	0,943
	SIDOR II	0,363	0,570	0,561	0,610	0,723	0,572	0,588
	MATESI	0,363	0,527	0,561	0,610	0,723	0,572	0,640
	ORINOCO IRON	0,332	0,532	0,512	0,535	0,603	0,488	0,653
<b>Färe y Grosskopf (FG)</b>	TERNIUM SIDOR I	0,453	0,542	0,564	0,517	0,769	0,648	0,608
	TERNIUM SIDOR II	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	OPCO	0,730	0,809	0,783	0,831	0,931	0,806	0,943
	VENPRECAR	0,642	0,690	0,685	0,898	0,897	0,806	0,943
	COMSIGUA	0,687	0,776	0,726	0,895	0,929	0,806	0,943
	SIDOR II	1,000	0,810	0,979	0,856	1,000	1,000	1,000
	MATESI	0,470	0,527	0,631	0,623	0,795	0,649	0,640
	ORINOCO IRON	0,332	1,000	1,000	1,000	0,778	0,488	0,775
<b>Seiford y Thrall (ST)</b>	TERNIUM SIDOR I	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	TERNIUM SIDOR II	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	OPCO	0,872	0,939	0,880	0,905	0,977	0,877	0,987
	VENPRECAR	0,825	0,886	0,800	1,000	0,955	0,901	1,000
	COMSIGUA	0,776	0,874	0,787	0,942	0,959	0,854	0,974
	SIDOR II	0,363	0,570	0,561	0,610	0,723	0,572	0,588
	MATESI	0,363	0,553	0,561	0,610	0,723	0,572	0,641
	ORINOCO IRON	0,348	0,532	0,512	0,535	0,603	0,497	0,653
<b>Banker, Charnes Cooper (BCC)</b>	TERNIUM SIDOR I	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	TERNIUM SIDOR II	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	OPCO	0,872	0,939	0,880	0,905	0,977	0,877	0,987
	VENPRECAR	0,825	0,886	0,800	1,000	0,955	0,901	1,000
	COMSIGUA	0,776	0,874	0,787	0,942	0,959	0,854	0,974
	SIDOR II	1,000	0,810	0,979	0,856	1,000	1,000	1,000
	MATESI	0,470	0,553	0,631	0,623	0,795	0,649	0,641
	ORINOCO IRON	0,348	1,000	1,000	1,000	0,778	0,497	0,775

**CuadroB2**  
**Índices de eficiencia lapso de estudio**

Año	Organización Social de Producción	Eficiencia				
		Pura I	Escala II	Técnica Global III	Asignativa IV	Económica V
2000	TERNIUM SIDOR I	1,000	0,453	0,453	1,000	0,453
	TERNIUM SIDOR II	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	OPCO	0,872	0,837	0,730	0,872	0,637
	VENPRECAR	0,825	0,778	0,642	0,825	0,530
	COMSIGUA	0,776	0,885	0,687	0,776	0,533
	SIDOR II	1,000	0,363	0,363	1,000	0,363
	MATESI	0,470	0,772	0,363	0,470	0,171
	ORINOCO IRON	0,348	0,954	0,332	0,348	0,116
2001	TERNIUM SIDOR I	1,000	0,542	0,542	1,000	0,542
	TERNIUM SIDOR II	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	OPCO	0,939	0,862	0,809	0,939	0,760
	VENPRECAR	0,886	0,779	0,690	0,886	0,611
	COMSIGUA	0,874	0,888	0,776	0,874	0,678
	SIDOR II	0,810	0,704	0,570	0,810	0,462
	MATESI	0,553	0,953	0,527	0,553	0,291
	ORINOCO IRON	1,000	0,532	0,532	1,000	0,532
2002	TERNIUM SIDOR I	1,000	0,564	0,564	1,000	0,564
	TERNIUM SIDOR II	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	OPCO	0,880	0,890	0,783	0,880	0,689
	VENPRECAR	0,800	0,856	0,685	0,800	0,548
	COMSIGUA	0,787	0,922	0,726	0,787	0,571
	SIDOR II	0,979	0,573	0,561	0,979	0,549
	MATESI	0,631	0,889	0,561	0,631	0,354
	ORINOCO IRON	1,000	0,512	0,512	1,000	0,512
2003	TERNIUM SIDOR I	1,000	0,517	0,517	1,000	0,517
	TERNIUM SIDOR II	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	OPCO	0,905	0,918	0,831	0,905	0,752
	VENPRECAR	1,000	0,898	0,898	1,000	0,898
	COMSIGUA	0,942	0,950	0,895	0,942	0,843
	SIDOR II	0,856	0,713	0,610	0,856	0,522
	MATESI	0,623	0,979	0,610	0,623	0,380
	ORINOCO IRON	1,000	0,535	0,535	1,000	0,535
2004	TERNIUM SIDOR I	1,000	0,769	0,769	1,000	0,769
	TERNIUM SIDOR II	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	OPCO	0,977	0,953	0,931	0,977	0,910
	VENPRECAR	0,955	0,939	0,897	0,955	0,857
	COMSIGUA	0,959	0,969	0,929	0,959	0,891
	SIDOR II	1,000	0,723	0,723	1,000	0,723
	MATESI	0,795	0,909	0,723	0,795	0,575
	ORINOCO IRON	0,778	0,775	0,603	0,778	0,469



Año	Organización Social de Producción	Eficiencia				
		Pura I	Escala II	Técnica Global III	Asignativa IV	Económica V
2005	TERNIUM SIDOR I	1,000	0,648	0,648	1,000	0,648
	TERNIUM SIDOR II	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	OPCO	0,877	0,919	0,806	0,877	0,707
	VENPRECAR	0,901	0,895	0,806	0,901	0,726
	COMSIGUA	0,854	0,944	0,806	0,854	0,688
	SIDOR II	1,000	0,572	0,572	1,000	0,572
	MATESI	0,649	0,881	0,572	0,649	0,371
	ORINOCO IRON	0,497	0,982	0,488	0,497	0,243
2006	TERNIUM SIDOR I	1,000	0,608	0,608	1,000	0,608
	TERNIUM SIDOR II	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	OPCO	0,987	0,955	0,943	0,987	0,931
	VENPRECAR	1,000	0,943	0,943	1,000	0,943
	COMSIGUA	0,974	0,968	0,943	0,974	0,918
	SIDOR II	1,000	0,588	0,588	1,000	0,588
	MATESI	0,641	0,998	0,640	0,641	0,410
	ORINOCO IRON	0,775	0,843	0,653	0,775	0,506

## ANEXO C

### **Formulación y Tableros Simplex de Estrategia N° 2: COMPARACIÓN CON LA MEJOR OSP ANALIZADA O BENCHMARKING.**

Ver archivo "SIMPLEX ESTRATEGIA 2.xls" en la carpeta:

[Letra unidad de Cd]:\ANEXO\ANEXO C\SIMPLEX ESTRATEGIA 2.xls