



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN  
NICOLÁS DE HIDALGO**

---

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES**

**PROGRAMA DE MAESTRIA EN CIENCIAS  
EN COMERCIO EXTERIOR**

**“EL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS Y SU  
EFICIENCIA EN LA CUENCA DEL PACÍFICO (2003-  
2008): UN ANÁLISIS ENVOLVENTE DE DATOS”**

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

**ING. ARIEL GUTIÉRREZ ORTIZ**

DIRECTOR DE TESIS:

**DR. ZOE TAMAR INFANTE JIMÉNEZ**



Morelia, Michoacán. Julio de 2010

# Índice

Resumen	XV
Abstract	XVI
Introducción	1
Capítulo 1. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.1 Planteamiento del problema	4
1.1.1 Descripción del problema	17
1.2 Objetivos de la investigación	24
1.2.1 Objetivo general	24
1.2.2 Objetivo específico	24
1.3 Hipótesis de la investigación	25
1.3.1 Hipótesis general	25
1.3.2 Hipótesis específicas	25
1.4 Variables	26
1.4.1 Variables independientes	26
1.4.2 Variable dependiente	26
Capítulo 2. TEORÍA DE LA EFICIENCIA	27
2.1 Teoría de la eficiencia	27
2.1.1 Conceptos básicos de eficiencia	29
2.1.2 Eficiencia técnica	30
2.1.3 Eficiencia asignativa	34
2.1.4 Antecedentes de la eficiencia y el Análisis Envolvente de Datos	35
2.2 Modelos de frontera DEA: fundamentos teóricos y metodológicos	40
2.3 Aspectos técnico-metodológicos del DEA	42

2.4 Benchmarking	45
2.5 Fundamentos de programación lineal	46
2.6 Generalidades de los modelos DEA	47
2.7 Pesos fijos y variables	51
2.8 El modelo básico CCR (Charnes, Cooper y Rhodes)	52
2.9 El modelo BCC (Banker, Charnes y Cooper)	59
2.10 Orientación del modelo	62
2.11 Análisis slacks (holguras) de las variables	64
2.12 Ventajas y desventajas de la utilización de los modelos DEA	65
Capítulo 3. LOS MODELOS DEA EN LA EFICIENCIA DE LAS TERMINALES DE CONTENEDORES: EVIDENCIA EMPÍRICA	68
3.1 Evolución de la economía de puertos	68
3.2 Análisis del sector portuario	70
3.3 Eficiencia y desempeño portuario	72
3.4 La eficiencia y los puertos/terminales de contenedores	74
3.5 Evolución en la investigación de la eficiencia en puertos/terminales de contenedores	76
3.6 DEA y desempeño de los puertos/terminales de contenedores	78
3.7 Medición de la eficiencia portuaria de contenedores	80
3.8 Mediciones portuarias de input y de output	81
3.9 Principales resultados sobre el uso de los modelos DEA en las terminales portuarias	83
3.10 Definición de variables y orientaciones de los modelos DEA	90
Capítulo 4. LOS MODELOS CCR Y BCC CON ORIENTACIÓN <i>OUTPUT</i> : EL CASO DEL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS EN LA CUENCA DEL PACÍFICO	100
4.1 Tipo de Investigación	100

4.2 Modelos CCR y BCC	101
4.3 Variables e indicadores para medir la eficiencia de las terminales de contenedores	103
4.4 Universo y objeto de estudio	105
4.5 Nomenclatura en los modelos DEA	105
Capítulo 5. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA EFICIENCIA EN LAS TERMINALES DE CONTENEDORES EN EL PERIODO 2003-2008	107
5.1 Eficiencia portuaria en 2003	108
5.1.1 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo CCR	111
5.1.2 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo BCC	113
5.2 Eficiencia portuaria en 2004	116
5.2.1 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo CCR	118
5.2.2 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo BCC	120
5.3 Eficiencia portuaria en 2005	123
5.3.1 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo CCR	125
5.3.2 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo BCC	126
5.4 Eficiencia portuaria en 2006	129
5.4.1 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo CCR	130
5.4.2 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo BCC	132
5.5 Eficiencia portuaria en 2007	134
5.5.1 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo CCR	136
5.5.2 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo BCC	138
5.6 Eficiencia portuaria en 2008	140
5.6.1 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo CCR	142
5.6.2 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo BCC	144
5.7 Proyección de eficiencia portuaria para 2009 y 2010	147

5.7.1 Proyección con el modelo CCR para 2009 y 2010	147
5.7.2 Proyección con el modelo BCC para 2009 y 2010	149
Capítulo 6. CONCLUSIONES	152
Capítulo 7. RECOMENDACIONES	159
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	163
ANEXO 1. Cuadros con datos <i>input</i> y <i>output</i> de los puertos de contenedores de la Cuenca del Pacífico 2003-2008	175

## Relación de figuras, gráficas y cuadros

### Figuras

Figura 1. Eficiencia técnica en el modelo de Farrell .....	37
Figura 2. Eficiencia en el modelo de Farrell .....	38
Figura 3. Metodología DEA .....	49
Figura 4. Frontera de producción del modelo CCR .....	60
Figura 5. Fronteras de producción del modelo BCC.....	61
Figura 6. Orientaciones en DEA .....	63
Figura 7. Análisis slacks de las variables.....	64
Figura 8. Mediciones de desempeño y de desarrollo organizacional.....	80
Figura 9. Dinámica comercial por regiones 2003 .....	109
Figura 10. Dinámica comercial por regiones 2004 .....	117
Figura 11. Dinámica comercial por regiones 2005 .....	123
Figura 12. Dinámica comercial por regiones 2006 .....	129
Figura 13. Dinámica comercial por regiones 2007 .....	135
Figura 14. Dinámica comercial por regiones 2008 .....	141

### Gráficas

Gráfica 1. Niveles de eficiencia modelo CCR para el año 2003.....	112
Gráfica 2. Niveles de eficiencia modelo BCC para el año 2003.....	114
Gráfica 3. Niveles de eficiencia modelo CCR para el año 2004.....	119
Gráfica 4. Niveles de eficiencia modelo BCC para el año 2004.....	121
Gráfica 5. Niveles de eficiencia modelo CCR para el año 2005.....	125
Gráfica 6. Niveles de eficiencia modelo BCC para el año 2005.....	127
Gráfica 7. Niveles de eficiencia modelo CCR para el año 2006.....	131
Gráfica 8. Niveles de eficiencia modelo BCC para el año 2006.....	133
Gráfica 9. Niveles de eficiencia modelo CCR para el año 2007.....	137
Gráfica 10. Niveles de eficiencia modelo BCC para el año 2007.....	139
Gráfica 11. Niveles de eficiencia modelo CCR para el año 2008.....	143
Gráfica 12. Niveles de eficiencia modelo BCC para el año 2008.....	145

### Cuadros

Cuadro 1. Resumen de indicadores input empleados según frecuencia para medir la eficiencia portuaria .....	95
--	----

Cuadro 2. Resumen de indicadores output empleados según frecuencia para la medir la eficiencia portuaria .....	96
Cuadro 3. Valores estimados de eficiencia para 2009 y 2010 con el modelo CCR.....	148
Cuadro 4. Valores estimados de eficiencia para 2009 y 2010 con el modelo BCC .....	150
Cuadro 5. Datos input y output de los puertos de contenedores de la Cuenca del Pacífico 2003 .....	176
Cuadro 6. Datos input y output de los puertos de contenedores de la Cuenca del Pacífico 2004 .....	177
Cuadro 7. Datos input y output de los puertos de contenedores de la Cuenca del Pacífico 2005 .....	178
Cuadro 8. Datos input y output de los puertos de contenedores de la Cuenca del Pacífico 2006 .....	179
Cuadro 9. Datos input y output de los puertos de contenedores de la Cuenca del Pacífico 2007 .....	180
Cuadro 10. Datos input y output de los puertos de contenedores de la Cuenca del Pacífico 2008 ...	181

## Glosario de términos y abreviaturas

**Actividad portuaria:** construcción, conservación, desarrollo, uso, aprovechamiento, explotación, operación, administración de los puertos, terminales e instalaciones portuarias en general, incluyendo las actividades necesarias para el acceso a los mismos, en las áreas marítimas, fluviales y lacustres (Educarm, 2009).

**Administrador portuario:** persona jurídica constituida o domiciliada en el país, que administra un puerto o terminal portuario. El Administrador Portuario puede ser público o privado (Educarm, 2009).

**Benchmarking:** el proceso de comparar el desempeño contra las prácticas de otras compañías, con el propósito de mejorar la actuación. Las compañías también pueden hacer una referencia interna. Rastreando y comparando la acción actual con las del pasado (Banxia, 2009).

**Carga contenerizada:** carga manejada en contenedores que se intercambian entre los modos de transporte (Educarm, 2009).

**Compañías o líneas navieras:** son el principal cliente de las terminales de contenedores. Cuando sus barcos atracan en una terminal esperan y desean que los tiempos empleados en las operaciones de carga-descarga sean lo más breves posibles, por lo que las terminales que busquen una buena posición en el mercado en relación con la competencia, deberán desarrollar unos procesos logísticos y poseer instalaciones tecnológicamente modernas y suficientes, que les permitan cumplir las exigencias de dichas compañías, cada vez con mayor diligencia (Educarm, 2009).

**Contenedor:** caja prismática de sección cuadrada o rectangular, destinada a transportar y almacenar cantidades máximas de todo tipo de productos y embalajes, que encierra y protege los contenidos de pérdidas y daños, que puede ser conducido

por cualquier medio de transporte, manejado como “unidad de carga” y trasladada sin remanipulación del contenido. Las dimensiones del contenedor con uso más extensivo son 8 x 8 x 20 pies y de 8 x 8 x 40 pies (Educarm, 2009).

**Correlación:** expresa la concordancia entre dos variables según el sentido de la relación de estas en términos de aumento ó disminución (e-biometria, 2009).

**CGPMM:** Coordinación General de Puertos y Marina Mercante (CGPMM-SCT, 2008).

**DEA, *Data Envelopment Analysis (Análisis Envolvente de Datos)*:** es una técnica no paramétrica, utilizada para la medición del desempeño y *benchmarking*. Utiliza la programación lineal para determinar las eficiencias relativas de un conjunto de unidades homogéneas (comparables) (Banxia, 2009).

**DMU, Decision Making Unit (Unidad de Toma de Decisiones):** fue el nombre utilizado por Charnes *et al.* (1978) para describir las unidades a ser analizadas en el DEA. El uso de este término se destina a reorientar el énfasis del análisis desde las empresas con fines de lucro hasta las entidades para la toma de decisiones (Banxia, 2009).

**Épsilon ( $\epsilon$ ):** es una constante positiva muy pequeña ( $1 \times 10^{-6}$ ) no Arquimedean. Esto significa que no existe número real por el cual se pueda multiplicar para obtener un número más pequeño. Épsilon es en teoría matemática un mecanismo que nos permite manejar los valores de la variable de holgura en cero, sin agregar o sustraer cualquier monto real de la función objetivo. En la práctica, esto significa que los inputs y los outputs no son materias primas maltratadas y evita que una unidad sea erróneamente clasificada como eficiente (Banxia, 2009).

**Estocástico:** perteneciente o relativo al azar. Teoría estadística de los procesos cuya evolución en el tiempo es aleatoria, tal como la secuencia de las tiradas de un dado (e-biometria, 2009).

**Forma envolvente:** este término es utilizado para describir la formulación de un modelo DEA que envuelve el concepto de compuesto de unidades (Banxia, 2009).

**Función de producción:** describe la relación óptima entre los inputs y outputs con el objetivo de maximizar el output para los inputs dados. En DEA lo equivalente a la función de producción es la frontera de eficiencia (Banxia, 2009).

**Función:** expresión que liga dos o más variables de forma determinística (e-biometria, 2009).

**Grúa:** es una máquina o dispositivo cuya función es la de levantar mecánicamente determinados materiales o cargas (Transporte, 2009).

**Homogeneidad:** se refiere al grado de similitud entre las unidades. Las metas operacionales de las unidades en análisis deberían ser similares, así como sus características operativas (Banxia, 2009).

**Infraestructura portuaria:** obras civiles e instalaciones mecánicas, eléctricas y electrónicas, fijas y flotantes, construidas o ubicadas en los puertos, para facilitar el transporte y el intercambio modal. Está constituida por:

- *Acceso acuático:* canales, zona de aproximación, obras de abrigo o defensa tales como rompeolas y esclusas y señalizaciones náuticas.
- *Zonas de transferencia de carga y tránsito de pasajeros:* muelles, diques, dársenas, áreas de almacenamiento, boyas de amarre, tuberías subacuáticas, ductos, plataformas y muelles flotantes.

- **Acceso terrestre:** vías interiores de circulación, líneas férreas que permitan la interconexión directa e inmediata con el sistema nacional de circulación vial (Educarm, 2009).

**Inputs/Outputs virtuales:** definen el nivel de importancia que se atribuye a cada factor. La suma de los *inputs* virtuales para cada unidad siempre es igual a 1. La suma de los *outputs* virtuales es igual al resultado de eficiencia de las unidades (Banxia, 2009).

**Instalaciones portuarias:** obras de infraestructura y superestructura, construidas en un puerto o fuera de él, destinadas a la atención de naves, prestación de servicios portuarios o construcción y reparación de naves (Educarm, 2009).

**Modelo:** es una representación simplificada de la realidad (e-biometria, 2009).

**Modelo BCC:** es un modelo DEA utilizado cuando existe una relación entre inputs y outputs con rendimientos a escala variables. Se llamó BCC después de que Banker, Charnes y Cooper lo introdujeron en 1984 (Banxia, 2009).

**Modelo CCR:** es probablemente el modelo DEA más conocido y utilizado. Es un modelo utilizado cuando existe una relación entre inputs y outputs con rendimientos a escala constantes. Fue el primer modelo DEA desarrollado y se llamó así después de que Charnes, Cooper y Rhodes lo introdujeran en 1978 (Banxia, 2009).

**Modelo estocástico:** es un modelo en donde se incorpora el riesgo por medio de algún atributo sobre el cual no se tiene certeza absoluta de su comportamiento. Si bien resulta más realista, no se elimina nunca la incertidumbre; ya que ésta no es mensurable con anterioridad. Puede introducirse aquí el caso de mercados imperfectos e incompletos (e-biometria, 2009).

**Modelo determinístico:** es un modelo en donde existe certeza absoluta sobre cuál es la naturaleza del impacto. Son los más fáciles de modelar y de interpretar los resultados (e-biometria, 2009).

**Modelo dual:** el modelo dual y primal de los modelos DEA proveen dos maneras de ver el mismo problema y los resultados de eficiencia calculados son los mismos con ambos (Banxia, 2009).

**Muelle:** infraestructura portuaria en la orilla de un río, lago o mar especialmente dispuesta para cargar y descargar las naves y para la circulación de vehículos (Murcia Educarm, 2009).

**Multicolinealidad:** es una situación en la que se presenta una fuerte correlación entre variables explicativas del modelo. La correlación ha de ser fuerte, ya que siempre existirá correlación entre dos variables explicativas en un modelo, es decir, la no correlación de dos variables es un proceso sublime, que sólo se podría encontrar en condiciones de laboratorio (e-biometria, 2009).

**Nivel de confianza:** se define como 1 menos el nivel de significación. Se suele expresar en tanto por ciento (e-biometria, 2009).

**Nivel de significación:** la probabilidad de rechazar una hipótesis nula verdadera; es decir, la probabilidad de cometer un error de tipo I (e-biometria, 2009).

**OMC (Organización Mundial del Comercio):** es la única organización internacional que se ocupa de las normas que rigen el comercio entre los países. Los pilares sobre los que descansa son los acuerdos de la OMC, que han sido negociados y firmados por la grana mayoría de los países que participan en el comercio mundial y ratificados por sus respectivos parlamentos. El objetivo es ayudar a los productores de bienes y servicios, los exportadores y los importadores a llevar adelante sus

actividades. Establecida el 1ro. de enero de 1995, con sede en Ginebra, Suiza (OMC, 2010).

**Operaciones portuarias:** es la entrada, salida, fondeo, atraque, desatraque, amarre, desamarre y permanencia de naves en el ámbito territorial de un puerto (Murcia Educarm, 2009).

**Pesos:** dentro de los modelos DEA los pesos son los valores “desconocidos” que son calculados para determinar la eficiencia de las unidades. El resultado de eficiencia es la suma ponderada de los outputs entre la suma ponderada de los inputs para cada unidad. Los pesos son calculados para resolver el programa lineal de tal manera que cada unidad se muestra en la mejor luz posible. Los pesos indican la importancia asignada a cada factor (input/output) en el análisis (Banxia, 2009).

**Prueba no paramétrica:** técnica estadística que no presupone ninguna distribución de probabilidad teórica de la distribución de nuestros datos (e-biometria, 2009).

**Prueba paramétrica:** en contraposición de la técnicas no paramétricas, las técnicas paramétricas si presuponen una distribución teórica de probabilidad subyacente para la distribución de los datos. Son más potentes que las no paramétricas (e-biometria, 2009).

**Puerto:** localidad geográfica y unidad económica de una localidad donde se ubican los terminales, infraestructuras e instalaciones, terrestres y acuáticos, naturales o artificiales, acondicionados para el desarrollo de actividades portuarias (Educarm, 2009).

**SCT:** Secretaría de Comunicaciones y Transportes (CGPMM-SCT, 2008)

**Slack (holgura):** representa la baja producción del output o el uso excesivo del input. Representa las mejoras necesarias para convertir una unidad ineficiente en eficiente.

Dichas mejoras están en la forma de un incremento/disminución de inputs u outputs (Banxia, 2009).

**Técnicas no paramétricas:** son técnicas estadísticas que no presuponen ningún modelo probabilístico teórico. Son menos potentes que las técnicas paramétricas, aunque tienen la ventaja que se pueden aplicar más fácilmente (e-biometria, 2009).

**Terminal de contenedores:** se trata de un intercambiador intermodal dotado de una capacidad determinada de almacenamiento en tierra en aras de regular los diferentes ritmos de llegadas de los medios de transporte terrestre y marítimo. El objetivo esencial de una terminal de contenedores es proporcionar los medios y la organización necesarios para que el intercambio de contenedor entre los modos de transporte terrestre y marítimo se produzca en las mejores condiciones de rapidez, eficiencia, seguridad, respeto al medio ambiente y economía (Educarm, 2009).

**TEU:** unidad equivalente a un contenedor de 20 pies de largo. Siglas del término de inglés “*Twenty Equivalent Unit*” (Transporte, 2009).

**UNCTAD, *United Nations Conference on Trade and Development* (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo):** establecida en 1964, la UNCTAD promueve la integración de los países en desarrollo en la economía mundial (UNCTAD, 2002).

**Variable aleatoria:** variable cuyo resultado varía según la muestra según una distribución de probabilidad (e-biometria, 2009).

**Variable continua:** aquella que puede tomar una infinidad de valores, de forma que dados dos valores cualesquiera, también pueda tomar cualquier valor entre dichos valores (e-biometria, 2009).

**Variable discreta:** variable que toma un número finito o infinito de valores, de forma que no cubre todos los posibles valores numéricos entre dos dados, en contraposición de las continuas (e-biometria, 2009).

**Variable respuesta o dependiente:** variable objeto del estudio y que sus resultados se pretenden explicar por medio de las variables llamadas explicativas o independientes (e-biometria, 2009).

**Variable:** objeto matemático que puede tomar diferentes valores. Generalmente asociado a propiedades o características de las unidades de la muestra. Lo contrario de variable es constante (e-biometria, 2009).

**Variables independientes o explicativas:** variables que no sirven para construir un modelo que explique el comportamiento de una o más variables respuesta (e-biometria, 2009).

## Resumen

En este trabajo de investigación se realiza una medición de los niveles de eficiencia en las terminales portuarias de contenedores pertenecientes a algunos países del bloque económico de la Cuenca del Pacífico: Australia, Canadá, Corea del Sur, Chile, China, El Salvador, Estados Unidos, Ecuador, Guatemala, Japón, México, Panamá, Perú, Singapur y Taiwán. Haciendo un comparativo entre el puerto de Lázaro Cárdenas y otros 32 puertos pertenecientes a los países mencionados, para el periodo de 2003 a 2008. Para llevar a cabo dicha medición se utilizan los modelos del Análisis Envolvente de Datos (DEA), específicamente los modelos de Charnes, Cooper y Rhodes (CCR) y de Banker, Charnes y Cooper (BCC). El análisis de varios investigadores expertos en la medición de eficiencia portuaria con estos modelos permite identificar y definir las variables que serán utilizadas en esta investigación. Los resultados obtenidos con el modelo CCR indican que el puerto de Lázaro Cárdenas se ubicó en los últimos lugares con respecto a los demás puertos analizados, sin alcanzar a rebasar el promedio de eficiencia en ningún año de estudio. El modelo BCC reveló resultados muy parecidos al modelo anterior en algunos años, pero en tres años consecutivos ubicó al puerto en mención como eficiente, probablemente esto deba a que en esos años fue cuando dicho puerto atrajo más líneas navieras a sus instalaciones y en gran medida ayudo a que se elevara el movimiento de mercancía contenerizada. Las sugerencias que los modelos mostraron en relación a los problemas del puerto de Lázaro Cárdenas fueron semejantes, afectando principalmente a la superficie de la terminal, al movimiento de contenedores y al número total de grúas pórtico, mientras que la longitud del muelle no afecto directamente al nivel de eficiencia. Con esto se demuestra la hipótesis central de la investigación, demostrando que los factores seleccionados explicaron la eficiencia de la terminal de contenedores del puerto de Lázaro Cárdenas para el periodo de 2003 a 2008, conociendo los valores de esos niveles de eficiencia y comparándolos con los otros puertos de la Cuenca del Pacífico.

## Abstract

This work presents an efficiency measurement of port container terminals that belong at some countries of the economic bloc named Pacific Rim like: Australia, Canada, South Korea, Chile, China, El Salvador, United States, Ecuador, Guatemala, Japan, Mexico, Panama, Peru, Singapore and Taiwan. Making a comparison between the port of Lázaro Cárdenas and other 32 ports belonging to the countries mentioned, in the period from 2003 to 2008. For making this measurement the Data Envelopment Analysis (DEA) models are using, Charnes, Cooper and Rhodes (CCR) and Banker, Charnes and Cooper (BCC) models, specifically. The analysis from several scholars on the port efficiency measurement using DEA models allows identifying and defining the variables that will be use in this research. The results using the CCR model indicated that the port of Lázaro Cárdenas was on the last places regarding other ports, without achieving the efficiency average in the period of study. In some years the BCC model revealed similar results to the CCR model. Three consecutive years the port of Lázaro Cárdenas was efficient. Likely this was because in that period this port attracted more shipping lines and they established on it and extent to which helped to increase the container throughput. About the port problems, the suggestions of both models were similar, affecting to the terminal area, container throughput and total number of gantry cranes, mainly; whereas the berth length did not impact to the efficiency level, directly. It helps to demonstrate the main hypothesis of this research, showing the selected factors explained the efficiency of port container terminal of Lázaro Cárdenas from 2003 to 2008, knowing the levels of efficiency and making the comparison with other ports from the Pacific Rim.

# Introducción

Actualmente los puertos marítimos han tomado importancia debido a que más de la mitad del comercio mundial se realiza por vía marítima. Es relevante destacar que los puertos son sitios en los cuales se realizan importaciones y exportaciones de mercancías utilizando como medio de transporte el barco o buque, el cual a diferencia de los otros medios de transporte permite llegar a diversos destinos, siendo en algunos casos, la manera más económica.

Los puertos marítimos están inmersos en la dinámica del comercio internacional y forman una parte esencial, en materia económica de una nación. Como es conocido, en el mundo existen países que dependen en gran medida del comercio internacional. Por lo tanto, se observa que los puertos toman un valor muy alto para llevar a cabo con éxito las labores de importación y exportación de un país y a su vez, para realizar dichas actividades es necesario que los puertos tengan una infraestructura (instalaciones y maquinaria y equipo) apropiada y ésta sea utilizada eficientemente.

Las instalaciones y la maquinaria y equipo con que los puertos cuentan para llevar a cabo sus actividades juegan un papel muy importante, por lo tanto el objetivo de esta investigación es conocer con certidumbre qué instalaciones y qué maquinaria y equipo son los factores que explican y determinan el nivel de eficiencia del puerto de contenedores de Lázaro Cárdenas en Michoacán, México y hacer un comparativo con otros 32 puertos, todos ellos pertenecientes a la Cuenca del Pacífico. Además, establecer su *benchmarking*.

Como hipótesis fundamental se establece que los factores que explican y determinan el nivel de eficiencia de los puertos de contenedores son los siguientes: longitud del muelle, superficie de la terminal, número total de grúas pórtico y el movimiento anual de contenedores. Con estas variables es posible conocer los niveles de eficiencia de

cada uno de los puertos participantes en este estudio para cada uno de los años considerados.

El trabajo de investigación está estructurado de la siguiente manera: En el primer capítulo se tienen los fundamentos de la investigación donde se contempla la situación problemática en relación a la importancia de medir la eficiencia en las terminales portuarias de contenedores y en el cual algunos especialistas en el tema expresan el papel que juegan los puertos marítimos en la dinámica comercial del transporte de mercancías utilizando los contenedores y la tendencia que se visualiza a futuro de los puertos. Se aborda una justificación que permite realizar esta investigación, derivándose unas preguntas, objetivos e hipótesis principales y específicas, las cuales al término de esta investigación se estarán resolviendo. Además, se muestra cada uno de los puertos seleccionados para llevar a cabo esta investigación, tomando en cuenta datos característicos tales como su dinámica comercial y el tamaño.

El capítulo segundo contiene información relacionada con los fundamentos teóricos de la eficiencia y de los modelos DEA, los cuales sustentan este trabajo. Se puede observar desde la idea del concepto de eficiencia y sus diferentes tipos, naciendo de desde el punto de vista de los modelos de frontera para continuar con su evolución hasta generarse un instrumento de medición de la eficiencia. Con ello nace el DEA como una herramienta más que permite la medición de eficiencia en cualquier unidad de producción homogénea. Se revisan los aspectos metodológicos de los modelos DEA. Con el surgimiento de estos modelos a partir de una combinación de las ciencias económico-administrativas (fronteras de producción) y de la investigación de operaciones (programación lineal). Además, se analizan los modelos a utilizar CCR y BCC, su evolución en la estructura matemática, las orientaciones de los modelos DEA y la nomenclatura que se utilizará.

En el capítulo tercero se muestran y analizan las diversas aplicaciones de los modelos DEA al sector portuario, concibiendo con esto una serie de variables *input* y *output* que diversos investigadores expertos a nivel mundial han utilizado para medir

la eficiencia de los puertos marítimos. De este modo se realiza una matriz de variables que permite decidir cuáles de ellas son apropiadas para llevar a cabo la medición de la eficiencia y siendo esas variables las utilizadas en esta investigación.

El cuarto capítulo muestra en términos generales los aspectos técnicos de la investigación, revisando el tipo de investigación a utilizar, conociendo la nomenclatura de las variables, plasmando la trascendencia de este estudio, mostrando el universo que comprende la investigación y analizando los instrumentos que permitieron llevar a cabo la recolección y tratamiento de los datos.

En el capítulo quinto se exponen los resultados que se obtuvieron de la eficiencia de cada uno de los puertos por cada año desde 2003 a 2008, al haber aplicado los modelos DEA-CCR y DEA-BCC, el primero de ellos representa una situación hipotética al tratarse del uso de rendimientos a escala constantes y el segundo es una aplicación más práctica al trabajar con rendimientos a escala variables. Revisando cuáles fueron los puertos eficientes y cuáles los ineficientes, presentando las recomendaciones que ambos modelos establecen tomando como base el puerto que servirá para establecer un posible *benchmarking* para Lázaro Cárdenas, de así requerirlo. Similarmente, se contempla un análisis del comercio llevado a cabo en cada uno de los años y se realiza una proyección de los niveles de eficiencia que podrían presentarse para los años 2009 y 2010 con ambos modelos.

En el sexto capítulo se plasman las conclusiones, las cuales se derivan de la realización de toda la investigación y en donde se comparan las preguntas, objetivos e hipótesis establecidas contra los resultados obtenidos.

Por último, en el capítulo séptimo se presentan las recomendaciones, las cuales nacen de la experiencia adquirida a lo largo de todo el estudio. Se establecen para cada una de las variables ciertas recomendaciones que podrían de alguna manera impactar y ayudar a mejorar los niveles de eficiencia del puerto de estudio.

# Capítulo 1. FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

Medir la eficiencia es una tarea que debe de ocupar una parte importante dentro de las actividades de la industria portuaria, con la finalidad de mejorar las posibilidades de desarrollo y éxito. La competencia entre los puertos marítimos es cada día más fuerte, teniendo como propósito ser la mejor alternativa para que las empresas realicen sus actividades comerciales de importación y exportación.

En este primer capítulo se comenzará por revisar el planteamiento y la descripción del problema de esta investigación, continuando con el objetivo general y los objetivos específicos, posteriormente se exponen la hipótesis general y las hipótesis específicas planteadas, y por último se plasman las variables independientes y la variable dependiente, las cuales serán utilizadas para llevar a cabo las mediciones de eficiencia.

## 1.1 Planteamiento del problema

Los puertos al ser un subsistema de la red total del transporte y un lugar de reunión de otros modos de transporte son esencialmente una infraestructura económica que sirve para manejar cargas domesticas e internacionales (Park y De, 2004: 53). La actividad portuaria contribuye a la independencia económica de las naciones y representa un factor estratégico en el comercio internacional. Los puertos contribuyen al desarrollo de los países, no sólo por el hecho de jugar un papel esencial en el tráfico exterior, sino porque también actúan como promotores del crecimiento de las áreas en las que están emplazados, promueven determinados tráficos, generan ingresos para el estado (tasas portuarias), crean empleo, etc. (Rúa, 2006: 2).

Un puerto eficiente aumenta la productividad de los factores primarios de producción (mano de obra y capital) y la rentabilidad de las unidades de producción lo cual permite mayores niveles de producción, ingreso y empleo. Optimizar la eficiencia de un sistema portuario mejora el acceso del país al mercado internacional, conduciéndolo directamente al aumento del comercio y, a través de esto, a elevar su ingreso. Monitorear el desempeño del puerto, en un mundo rápidamente cambiante, es crucial para medir sus niveles de eficiencia y con ello su competitividad (Park y De, 2004: 53-54). Bajo ese ambiente competitivo, la medición de la eficiencia portuaria no sólo es una herramienta administrativa poderosa, sino que constituye el insumo más importante para realizar los informes regionales y nacionales de las operaciones y la planeación del puerto Wang *et al.* (2003: 699).

La relevancia económica de los puertos procede del hecho de que la mayor parte del comercio exterior de una región se realiza vía marítima. A modo de ejemplo cabe citar que, en términos de cantidad de mercancía, más del 80% del comercio internacional se lleva a cabo por esta vía. Fenómenos como la globalización, que conlleva una descentralización del proceso productivo, la liberalización de la economía, y la creación y ampliación de grandes áreas comerciales, han desembocado en una expansión continuada de los intercambios comerciales y, por tanto, del tráfico marítimo y de la actividad de los puertos.

El nivel de eficiencia de los puertos afecta en gran medida a la competitividad de los países. Ello es debido a que los puertos constituyen un enlace relevante en la cadena de transporte, por lo que si actúan de forma eficiente se consiguen menores precios de exportación, lo que a su vez favorece la competitividad de los productos en los mercados internacionales. Para mantener una posición competitiva en dichos mercados, las naciones necesitan conocer los factores que condicionan la eficiencia de los puertos y establecer comparaciones continuas de la eficiencia entre los puertos que integran el sector nacional y también con los puertos de otras regiones. (González, 2004: 9-11).

La importancia que hoy tienen los temas relacionados con la medición de la eficiencia portuaria para incrementar la competitividad a nivel mundial, producen el presente estudio, el cual tiene repercusión práctica sobre el comercio exterior y el desarrollo del puerto de Lázaro Cárdenas (LC) aportando información valiosa que servirá de material de reflexión y acción sobre el quehacer de dicho puerto y generar estrategias (*benchmarking*) tendientes a incrementar el grado de eficiencia de sus terminales de contenedores, realizando un comparativo en relación a las actividades propias efectuadas por los puertos de Manzanillo y Ensenada (México); Brisbane (Australia); Vancouver (Canadá); Antofagasta, Iquique, San Antonio y Valparaíso (Chile); Qingdao, Shanghai, Xiamen, Tianjin, Yantian, Hong Kong KCTY<sup>1</sup> y Hong Kong RTT<sup>2</sup> (China); Guayaquil (Ecuador); Kwangyang y Busan (Corea del Sur); Balboa (Panamá); Long Beach, Los Ángeles, Oakland, Seattle, Tacoma y Portland (Estados Unidos); Singapur (Singapur); Yokohama (Japón); Callao (Perú); Quetzal (Guatemala); Acajutla (El Salvador); y Kaohsiung y Keelung (Taiwan), en el periodo 2003-2008.

Los puertos seleccionados para esta investigación participan en el comercio en conjunto con el puerto de Lázaro Cárdenas. Además, son puertos que llevan a cabo actividades comerciales entre sí y que son parte de la Cuenca del Pacífico. A continuación se realiza la descripción de cada uno de ellos y la dinámica comercial que sus naciones tuvieron en el periodo de análisis.

El tamaño de los puertos depende del movimiento de contenedores (TEUs), por lo que los puertos de tamaño medio, también conocidos como puertos secundarios, son los que manejan de 40 mil hasta 200 mil TEUs; los puertos de tamaño grande, también llamados puertos regionales, son los que mueven como mínimo 200 mil contenedores y los puertos que mueven más de un millón de TEUs son conocidos como mega puertos o centros de carga (González, 2008: 15).

---

<sup>1</sup> Hong Kong KCTY (*Kwai Chung-Tsing Yi*) es uno de los dos conjuntos de terminales de contenedores más importantes en dicho país.

<sup>2</sup> Hong Kong RTT (*River Trade Terminal*) es el otro conjunto de terminales de contenedores.

El puerto de Brisbane se encuentra en la parte este de Australia. Las exportaciones diarias de productos vía este puerto son principalmente: lana, cereales, carne, minerales, azúcar y conservas. Existen una amplia gama de industrias en dicho puerto destacando: procesadoras de alimentos, aserraderos, refinerías de petróleo, fábricas de papel, astilleros; y fabricantes de fertilizantes, cemento, automóviles y productos de caucho.

Los principales productos de importación incluyeron, en general petróleo crudo, cemento, petróleo refinado, pequeños volúmenes de hierro y acero, materiales para la construcción, madera, fertilizantes y productos químicos, papel y pulpa de madera, y automóviles. En relación a los productos exportados se incluyeron carbón y petróleo refinado, además de pequeños volúmenes de cereales, algodón, productos cárnicos, hierro, acero, madera y astillas de madera. El puerto es considerado por el World Port-Source (2009) de tamaño grande.

El puerto de San Antonio se encuentra en la costa oeste de Chile. En 2002, la CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) lo consideró como el octavo puerto más grande de la región, es el puerto líder en todo el país en el manejo de graneles sólidos (World Port-Source, 2009). Las importaciones llegaron principalmente de todo América y Asia 78.5% y 13.8%, respectivamente. Las exportaciones fueron hacia el resto de América (51%), Europa (25%), Asia (23%). Aproximadamente el 58% de la mercancía manejada es contenerizada (San Antonio, 2009). Su tamaño de considera medio (World Port-Source, 2009).

El puerto de Antofagasta se ubica al norte de Chile. Contribuye al tránsito de mercancías desde y hacia Bolivia, Argentina y Paraguay. Las cargas más relevantes que se mueven en dicho puerto son cátodos de cobre, concentrados de zinc, ceniza de soda, químicos y fertilizantes (Antofagasta, 2010).

El puerto de Iquique se encuentra en la costa norte de Chile. El 51.3% del comercio se trata de importaciones y el resto de exportaciones (48.7%). El cobre y la comida del mar son de los productos principales que se exportan (Iquique, 2009).

El puerto de Valparaíso descansa en la costa central de Chile. Los productos de exportación más comunes son vino, cobre y fruta fresca. Las importaciones representan un 55% del comercio total, mientras que el 45% restante son exportaciones (World Port-Source, 2009). Los principales productos de importación son plátano, maquinaria, preparaciones aglutinantes y abonos minerales y químicos; provenientes de Ecuador, Estados Unidos, China, México y Taiwán. Las mayoría de las exportaciones se dirigen hacia Colombia, Perú, Japón y en menor grado a México (Valparaíso, 2009). Es considerado de tamaño medio (World Port-Source, 2009).

El puerto de Qingdao se encuentra al este de China, en 1984 fue nombrado zona de desarrollo tecnológico y económico, apoyado por el crecimiento de los sectores secundarios y terciarios. Tiene relaciones comerciales con más de 450 puertos en más de 130 países alrededor del mundo.

Las principales cargas manejadas por este puerto incluyen contenedores, hierro, carbón, petróleo crudo y granos. Otras cargas incluyen aluminio, fertilizantes, carbonato de sodio, cemento, caucho, madera, algodón y artículos de ferretería. Es calificado como un puerto grande. Los productos de mayor importación son el algodón y el caucho. El producto de mayor exportación son las toallas. Japón y Estados Unidos son los receptores más importantes de estas mercancías. Es considerado como un puerto de tamaño grande (World Port-Source, 2009).

El puerto de Shanghai es el más popular de China y el puerto que ocupa la segunda posición y uno de los que posee una gran superficie. Localizado en la costa este de China, tiene una base sólida en los sectores de tecnología y manufactura. Cada año, las exportaciones e importaciones movidas a través de este puerto representan un 25% del valor total del comercio exterior de China. Cada mes, alrededor de dos mil

buques de contenedores salen del puerto de Shanghai, llevando carga a los principales mercados de todo el mundo. Las principales exportaciones se dirigen hacia Europa, América del Norte, Japón y África (Ídem).

Existen diversas especializaciones del dicho puerto en el manejo, almacenaje y transporte de importaciones de granos, aceites y alimentos; las exportaciones contemplan arroz y otras cargas de granos. Otras cargas más de hierro, acero, carbón, arena, grava, madera, minerales metálicos, fertilizantes químicos y materiales para la construcción. Además, también se manejan vehículos y equipo pesado. Es considerado como un mega puerto (Ídem).

El puerto de Tianjin localizado en la costa este de China. El sector manufacturero de este puerto es el más grande y con un rápido crecimiento económico. Dicho puerto tiene relaciones comerciales con más de 600 puertos en 180 países y regiones alrededor del mundo.

Las principales importaciones están representadas por carbón, petróleo crudo, automóviles y partes automotrices. Las principales exportaciones son de maquinaria, productos eléctricos y electrónicos, productos agrícolas, acero y textiles. Es catalogado como un puerto grande (Ídem).

El puerto de Xiamen está localizado en el sureste de China y es uno de los diez puertos más importantes de ese país. Sus principales rutas se trazan hacia América, Europa y Asia. Las mercancías manejadas son textiles, productos químicos, fabricación de herramientas mecánicas, telecomunicaciones, productos del mar y materiales de piedra, siendo este último el que tuvo la mayor representación en las exportaciones. Las principales importaciones provienen de la India, Brasil y España. Su tamaño es considerado como medio (Ídem).

El puerto de Yantian se encuentra al sureste de China considerado como el principal puerto de contenedores del sur de dicho país. En el tráfico de mercancías, las

exportaciones principales son de zapatos y textiles teniendo como destino Europa, América y Australia. Su tamaño se cataloga como grande (Ídem).

El puerto de Busan es el más grande de Corea del Sur, localizado al sureste. Dicho puerto es una puerta de entrada y salida de productos vitales para Corea del Sur, conectando a dicho país con el océano pacífico y Asia. Maneja cerca del 40% de las exportaciones del país, 80% de las cuales son contenerizadas. En ocasiones han despachado hasta 130 buques por día.

La principal carga contenerizada movida por dicho puerto son los textiles. Otras cargas que también son representativas contemplan productos electrónicos, plásticos y caucho, productos de acero, productos químicos, alimentos preparados, productos derivados del petróleo, productos no metálicos, automóviles y autopartes, productos animales y vegetales, madera y algunos derivados, cereales, cementos y otros minerales. Por su tamaño es considerado como un puerto grande (Ídem).

El puerto de Kwangyang está ubicado en la costa sureste de Corea del Sur. Considerado como el segundo puerto más grande de esa nación. Su actividad se centra principalmente en el manejo de carga contenerizada, construcción de buques y producción de acero. En menores proporciones también se manejan graneles, productos químicos y gas natural licuado (Ídem).

El puerto de Guayaquil se encuentra en la costa oeste de Ecuador, es el puerto más grande e importante del país. Maneja casi todas las importaciones y un 50% de las exportaciones de la nación. Las principales industrias establecidas en dicho puerto contemplan los aserraderos, talleres de maquinaria, fundidoras, curtidoras de calzado, refinerías de azúcar y diversas fábricas de bienes de consumo. Dicho puerto maneja aproximadamente el 93% del tráfico de contenedores de todo el país. Es considerado como un puerto de tamaño medio (Ídem).

El puerto de Acajutla es el principal puerto de El Salvador, ubicado al noroeste del país en las costas del pacífico. Maneja grande volúmenes de exportaciones de café, azúcar y bálsamo. Catalogado como un puerto de tamaño medio (Ídem).

Las principales importaciones provienen de Estados Unidos, Brasil, Rusia, México y China. Por otro lado, las exportaciones se dirigen principalmente hacia Estados Unidos, Panamá y Canadá. Los productos de exportación que más se manejan son azúcar, melaza de caña, textiles, alcohol (etanol), hierro, acero y sus derivados. Las mercancías de importación incluyen maíz, trigo, diesel, harina de soya, arroz, sulfato de amonio y carbón mineral (CEPA, 2009)

Puerto Quetzal está localizado en el suroeste de Guatemala, es el puerto más grande del lado del pacífico del país. Las importaciones más representativas son maíz, fertilizantes, trigo, carbón, combustibles, hierro, arroz, sal, vehículos, papel y grasas. Las principales exportaciones son azúcar, plátanos, alcohol etílico y melones. Catalogado como un puerto de tamaño medio (World Port-Source, 2009).

El puerto de Hong Kong es uno de los puertos más grandes del mundo, contemplando las dos terminales KCTY y RTT. Se encuentra en la costa sur de China y se trata de una región especial administrativa de dicho país. Catalogado como un mega puerto (Ídem).

Los destinos más comunes de las exportaciones son la parte continental de China, Estados Unidos, Japón, Corea y Taiwán. Los principales productos que se exportan son maquinaria eléctrica, aparatos de telecomunicaciones, juguetes y textiles. El origen de las principales importaciones es la parte continental de China, Japón, Singapur, Taiwán, Estados Unidos y Corea. Siendo las mercancías más representativas minerales no metálicos, petróleo y sus derivados, plásticos, aparatos fotográficos, equipo óptico y relojes (Hong-Kong, 2010).

El puerto de Yokohama está localizado en la costa del pacífico de Japón. Es uno de los puertos más grandes de este país. El 55% del movimiento de mercancía son exportaciones y el restante 45% se trata de importaciones. Las exportaciones más importantes son metales y maquinaria, automóviles, autopartes, productos químicos industriales, productos acuáticos y pequeños volúmenes de productos minerales y forestales. En la categoría de las importaciones las principales son gas natural licuado, productos forestales y minerales. Es catalogado como un mega puerto (World Port-Source, 2009).

El puerto de Ensenada se encuentra en la costa noroeste de México. El algodón es el producto de mayor exportación hacia Estados Unidos y Asia. Otras mercancías que se manejan son trigo, minerales, gases naturales licuados y perecederos. Tiene conexión con 64 puertos en 28 países. Las exportaciones tienen como destino Asia, Centro y Sudamérica, Europa y África. Las importaciones provienen de Asia, Nicaragua y Nueva Zelanda. Debido al incremento de las industrias maquiladoras las relaciones con los países asiáticos incrementan día con día. Es considerado como un puerto de tamaño medio (Ídem).

El puerto de Manzanillo se ubica en las costas del pacífico mexicano. Es el puerto con mayor ocupación de carga en el país. Las exportaciones que se llevan a cabo incluyen maíz, copra, limones, plátanos, alimentos enlatados, vino, minerales y madera. Catalogado como un puerto de tamaño medio (Ídem).

El puerto de Balboa está ubicado en el sur de Panamá del lado del océano pacífico. Maneja una tercera parte de toda la carga movida en el país. Opera buques de alta capacidad con orígenes Asia y la costa oeste de Latinoamérica. También es considerado como un puerto central de operaciones con servicio a toda América del Sur y el Caribe. Es catalogado como un puerto de tamaño medio (Ídem).

El puerto de Callao es el más importante puerto comercial de Perú. Los principales productos que se exportan son metales refinados, minerales, comida del mar y aceite

de pescado. Dentro de los productos principales que se importan son trigo, madera, maquinaria y equipo pesado. El 64% son importaciones y el resto exportaciones (36%). Se cataloga como un puerto de tamaño grande (Ídem).

El puerto de Singapur está localizado en el sureste de Asia. Los principales productos que se exportan son productos electrónicos, petróleo, productos farmacéuticos y químicos. Las principales importaciones son de petróleo crudo, componentes electrónicos, maquinaria industrial, automóviles, alimentos y bebidas, hierro y acero. Generalmente, se adquieren insumos y se refinan para después exportarlos. La mayoría de las exportaciones se envían a Hong Kong, Malasia, Estados Unidos e Indonesia, principalmente. Por otro lado, las importaciones provienen primordialmente de Estados Unidos de América, Malasia, China y Japón (*Singapore-Goverment*, 2010). Es considerado un mega puerto (*World Port-Source*, 2009).

El puerto de Kaohsiung se localiza en las costas del sur de Taiwán, es el principal puerto de ese país. Las principales mercancías producidas en la región son aluminio, cemento, azúcar refinada, sal, ladrillos, tejas, fertilizantes y papel. La mayoría de las exportaciones incluyen a los productos agrícolas y de pesca de la región, especialmente enlatados. Se cataloga como un puerto de tamaño grande (Ídem).

El puerto de Keelung se ubica en la parte norte de Taiwán, el segundo puerto más grande de este país. Los principales productos manejados son carbón, petróleo, cemento y productos químicos. Es catalogado como un puerto de tamaño grande (Ídem).

El puerto de Long Beach está localizado en el condado de Los Ángeles, Estados Unidos de América. El 61.5% de la carga se trata de importaciones y el restante 38.5% son exportaciones. Sus principales socios comerciales son China, Japón, Corea del Sur, Taiwán, México, Irak y Ecuador. Los principales productos de importación son petróleo crudo, productos electrónicos, plásticos, muebles y ropa.

Las exportaciones más importantes incluyen: coque de petróleo, petróleo refinado, papel, alimentos y productos químicos. Considerado como un mega puerto (Ídem).

El puerto de Los Ángeles está localizado en la costa suroeste de Estados Unidos de América. Las principales mercancías de importación son muebles, prendas de vestir, autopartes, productos electrónicos y zapatos. Del lado de las exportaciones se manejan papel, cartón, chatarra, algodón, alimentos para animales y resinas. Las rutas principales de este puerto incluyen el lejano oriente, Australia y Nueva Zelanda, India, Golfo Pérsico y Latinoamérica. Catalogado como un mega puerto (Ídem).

El puerto de Oakland se ubica en la costa oeste de Estados Unidos de América. Casi el 60% de la carga comercial movida es con Asia y el pacífico sur. El 46% de la carga corresponde a importaciones y el resto a las exportaciones (54%). Los productos más importantes que se exportan son frutas, cáscara de fruta, comida del mar, maquinaria, automóviles, bebidas, productos químicos, chatarra, cueros, pieles, celulosa, papel, cartón, cereales, granos, conservas, plásticos y algodón. En relación a los principales productos de importación son ropa, juguetes, bebidas, automóviles, equipo deportivo, productos de acero, madera, especias, té, café, instrumental médico, textiles, aluminio y papel. Es considerado como un mega puerto (Ídem).

El puerto de Seattle se ubica al noroeste de Estados Unidos de América. El 60% del comercio corresponde a importaciones y el 40% restante a exportaciones. Catalogado como un mega puerto (Ídem).

El puerto de Tacoma se localiza en el noroeste de Estados Unidos de América, prácticamente a un costado del puerto de Seattle. Las principales industrias ubicadas son la maderera, fundidoras, procesadoras de alimentos y plantas electroquímicas. El 57% del comercio se trata de importaciones y el resto de exportaciones. Sus principales socios comerciales son China/Hong Kong, Japón, Alaska, Taiwán, Corea del Sur, Canadá, México, entre otros.

Los principales productos de exportación son granos, cereales, productos de acero, maquinaria industrial, automóviles y autopartes, papel, vegetales preparados, madera y comida para animales. Del lado de las importaciones están productos electrónicos, autopartes, automóviles, zapatos, juguetes, equipo deportivo, ropa, plásticos y equipo óptico y de fotografía. Es considerado como un mega puerto (Ídem).

El puerto de Portland en el pacífico de la costa noroeste de Estados Unidos de América. Las principales exportaciones que salen por este puerto son trigo, potasio, carbonato de sodio y acero. Del lado de las importaciones, las más importantes son cemento, piedra caliza, acero, automóviles y aceite. Los socios comerciales más importantes son Japón, Corea del Sur, Taiwán y México. Es catalogado como un puerto de tamaño medio (Ídem).

Como se puede observar los puertos anteriores se seleccionaron considerando su tamaño, manejo de contenedores y nivel de infraestructura. Es decir, los puertos gigantes y que ocupan los primeros lugares a nivel mundial serán útiles para poder establecer el *benchmarking* para el puerto de Lázaro Cárdenas y los otros puertos ayudaran a que los niveles de eficiencia obtenidos tengan menos variaciones.

Está investigación se basa en un análisis a profundidad de la eficiencia de las terminales portuarias de contenedores de Lázaro Cárdenas y su situación en comparación con varios puertos de la Cuenca del Pacífico, ya que con anterioridad no se han realizado estudios al respecto. A nivel internacional se han llevado a cabo estudios comparativos de la eficiencia portuaria en diversos países. Por ejemplo, existen trabajos acerca de los puertos de Australia, China, España, Inglaterra y algunos otros puertos de la región de Asia.

En la actualidad el puerto de Lázaro Cárdenas ha tomado una importancia relevante, primeramente para nuestro estado (Michoacán), ya que es prioridad del gobierno en turno (periodo 2008-2012) dar la promoción, crecimiento y desarrollo a dicho puerto y colocarlo en primer lugar en el país. En segundo lugar, es relevante para nuestro

país porque participa activamente en los corredores multimodales para el transporte de mercancías hacia el este y oeste de los Estados Unidos de América y Canadá.

El puerto de Lázaro Cárdenas ubicado en la zona costera del estado de Michoacán, es considerado uno de los puertos más importantes de este país. Por sus condiciones naturales se perfila como un soporte para que los productos procedentes de Asia lleguen con mayor rapidez a los Estados Unidos de América y Canadá, mercados de alto consumo de mercancías orientales.

La presente investigación tiene como finalidad conocer las variables o factores que explican y determinan los niveles de eficiencia de las terminales portuarias de contenedores de Lázaro Cárdenas y realizar un comparativo con otras terminales pertenecientes a la Cuenca del Pacífico. Asimismo, con los resultados obtenidos se realizará un *benchmarking* para las terminales portuarias de contenedores de Lázaro Cárdenas en las áreas que así lo requieran.

Este tipo de investigación es de gran importancia para los países y regiones que cuentan con un comercio marítimo, ya que en estos últimos años han venido creciendo y desarrollándose rápidamente los puertos marítimos como lugares esenciales para llevar a cabo el comercio (importaciones y exportaciones).

Como se ha mencionado en este trabajo, existen investigaciones que ya se han realizado en esta materia y que vienen dándose desde mediados de los años 90 y hasta la fecha. En México, revisando la literatura al respecto, sólo se cuenta con un trabajo realizado en el año de 2002 por Estache *et al.* Dicha investigación está encaminada al análisis de la eficiencia portuaria desde el punto de vista de las reformas portuarias y las privatizaciones que se han dado en los puertos mexicanos.

Es por eso que, la investigación en turno pretende ser una base teórica-metodológica para la medición de la eficiencia de las terminales portuarias y con ello comenzar a estar dentro de la dinámica mundial del desarrollo de puertos marítimos. Es decir, no continuar rezagados en esa materia, sino al contrario, empezar a dar más prioridades

al desarrollo y crecimiento de nuestros puertos marítimos y vincular este tipo de investigaciones con los expertos a nivel nacional e internacional, y así tener otros puntos de vista y consejos con respecto a esta materia.

### *1.1.1 Descripción del problema*

Los puertos son un conjunto de instalaciones y servicios que permiten la realización del intercambio de mercancías entre medio terrestre y acuático a nivel nacional e internacional. Es la puerta por donde pasa la mayoría de los productos del comercio económico internacional, al igual de ser la interface entre el transporte terrestre y marítimo. Los puertos son parte de la cadena de transporte internacional y del comercio mundial.

Según Deshmukh (2003), citado por Doerr y Sánchez (2006: 7) ningún país debe pensar en su progreso económico sin el desarrollo de una infraestructura de transporte eficiente. Khalid, Muda y Zamil (2004), mencionados por Doerr y Sánchez (2006: 7) indican que en razón a que los puertos desempeñan un papel estratégico y crucial en el bienestar económico de la nación, resulta vital que los gobernantes, operadores portuarios y las autoridades portuarias centren el foco de sus esfuerzos en promover y resaltar la competitividad y eficiencia de sus puertos.

La medición de indicadores de la operación portuaria no es sólo una herramienta de la autoridad o el operador portuario, sino también es información útil para formular política y planes de desarrollo del transporte en un país. Estas tareas y mediciones ya están en la agenda de prioridades de muchas autoridades. Doerr y Sánchez (2006: 9) comentan que la UNCTAD (1987) acentuó la necesidad de mejorar y medir la eficiencia portuaria concluyendo que muchos de los estudios disponibles sobre indicadores de productividad portuaria eran poco satisfactorios. El informe de la UNCTAD indica que cualquier esfuerzo por analizar la eficiencia portuaria es formidable debido al gran número de parámetros implicados, así como la carencia de datos actualizados y confiables.

El contenedor para el transporte marítimo fue inventado en 1955 por Mr. *Malcom McLean*. En 1966, *Sea-Land* fue el primer servicio trasatlántico que utilizó los contenedores. El uso de los contenedores a nivel mundial ha estado en continuo crecimiento desde entonces. Durante el 2008, se estima que el 90% comercio mundial será por vía marítima en términos de volumen. En el año 1980 se tuvo un movimiento de 13.5 millones de TEUs<sup>3</sup>, mientras que para el año 1990 ya se movían 28.5 millones TEUs. Para el año 2000 se llegó a los 66 millones TEUs. El crecimiento económico de los países está ocasionando un incremento sustancial en el comercio mundial de contenedores de 20 pies (TEUs). Se estima que en el 2012 el tráfico mundial de contenedores será de 491 millones de TEUs. El transporte marítimo es el modo más eficiente del comercio internacional, con menos daños al medio ambiente y movimientos económicos de gran escala (Díaz-Bautista, 2008: 2).

El funcionamiento portuario poco eficiente afecta el costo de importar y exportar productos, impactando negativamente en la competitividad de un país. En un puerto ineficiente, y por lo tanto en una cadena logística portuaria ineficiente debe desarrollarse prontamente una completa redefinición de sus procesos y operaciones (Doerr y Sánchez, 2006: 7-14).

Los puertos marítimos destinados al embarque y desembarque de grandes volúmenes de carga son parte importante de la infraestructura de México. La importancia estratégica de los puertos para México se observa no sólo por realizar 80% de su comercio por vía marítima, sino por el potencial que representa la movilización y almacenaje de mercancías en una economía globalizada, actividad que ha permitido a naciones como Singapur convertirse en potencias económicas en el sureste asiático (Díaz-Bautista, 2008: 2).

En los últimos tres sexenios, México ha contado con una infraestructura portuaria en aumento. Sin embargo, el ritmo de crecimiento económico de México, al igual que el

---

<sup>3</sup> *Twenty-foot Equivalent Unit* (Unidad equivalente a 20 pies): una medida estándar de contenedores

crecimiento de las inversiones públicas y privadas en materia de puertos ha sido insuficiente para satisfacer las necesidades de transporte y comunicaciones de la población. Todo ello para alcanzar estándares competitivos a nivel internacional (Díaz-Bautista, 2008: 6).

En la actualidad, los especialistas en el ramo de puertos reconocen que los puertos mexicanos todavía no se pueden comparar con los puertos más importantes a nivel mundial como los de Ámsterdam, Nueva York, Los Ángeles-Long Beach, Hong Kong y Singapur. Las estadísticas de los puertos muestran de manera muy clara la posición de los puertos en México a nivel internacional. México no cuenta con ningún puerto entre los 50 más importantes del mundo en materia de tráfico de contenedores, TEUs (Díaz-Bautista, 2008: 6).

Esta problemática cobra relevancia en la medida en que los puertos de la apertura comercial y globalización económica requieren no sólo altos niveles de eficiencia operativa para subsistir, sino transformarse en verdaderas plataformas logísticas para impulsar el comercio exterior del país (Martner y Moreno, 2004: 2).

México y sus puertos se encuentran inmersos en la competencia mundial. El desarrollo de cada una de las terminales portuarias, desde infraestructura y mejora de servicios hasta la diversificación de los mismos, ha sido limitado y necesita aumentar, ya que el sector de puertos se ha convertido en uno de los sectores económicos del país que tienen más necesidad de crecimiento en la presente década (Díaz-Bautista, 2008: 7).

Actualmente en el contexto económico mundial de globalización los puertos mexicanos juegan un papel preponderante en la dinamización de la economía, no solamente local o regional e incluso nacional, sino a nivel de Norteamérica y a nivel de toda la Cuenca de Asia y el Pacífico. La inversión pública y privada en puertos mexicanos durante 2007 alcanzó un total de 7,000 millones de pesos (unos 642 millones de dólares) (Díaz-Bautista, 2008: 6).

Desde la década de los ochenta, con la apertura comercial en México y la globalización creciente de los procesos productivos, el comercio exterior se convirtió en piedra angular del crecimiento económico del país y, por ende, los puertos revalorizaron su función de infraestructura para el manejo, la transferencia y la distribución de mercancías.

En la década de los noventa, la reestructuración portuaria se manifestó en una profunda transformación de este sector. El ingreso de actores privados trajo consigo inversiones y modernización en infraestructura y equipo para los principales puertos del país. También hubo mejoras en los indicadores de rendimiento operativo (Martner y Moreno, 2004: 1-16).

En México, como menciona Pérez (1995), citado por Díaz-Bautista (2008: 8), la modernización del sistema portuario mejora la eficiencia operativa y supera el rezago acumulado en infraestructura al construirse terminales especializadas de carga. Esto ha generado un cambio sustantivo en la geografía portuaria nacional desde los noventa, donde se puede destacar el crecimiento de carga en contenedores y la aparición de redes de transporte intermodal como sistema de optimización del flujo de carga, para responder a los flujos de carga y exigencias de un contexto portuario muy competitivo a escala mundial.

La tendencia en México es que haya puertos especializados, que puedan ejercer función y carácter comercial y operar en el mercado altamente competitivo a nivel nacional e internacional. Los puertos mexicanos deben tener un enfoque administrativo con orientación comercial ya que son catalizadores de la economía y se genera actividad comercial en las ciudades y estados circundantes (Díaz-Bautista 2008: 14).

El sistema portuario nacional desempeña un papel fundamental para el crecimiento de la economía mexicana, ya que además de vincularla con los mercados mundiales, constituye una importante fuente de valor y de ventajas competitivas en los ámbitos nacional, regional y local.

Para las embarcaciones en desarrollo, se necesitan nuevos sistemas de carga y descarga, así como nuevas configuraciones de los sistemas de transporte y nuevos patios. A su vez, las grúas también sufrirán cambios, ya que una nueva generación de grúas porta-contenedores está siendo desarrollada para trabajar con dos contenedores en forma simultánea. El objetivo es reducir tiempos muertos y la estadía de los buques en puerto, así como aprovechar eficientemente los espacios y las instalaciones portuarias (CGPMM-SCT<sup>4</sup>, 2008: 7-14).

Bajo el nuevo escenario, se estableció la necesidad de contar con un sistema de transporte y de puertos que apoyasen el intercambio comercial con diversos países y continentes. Para responder a tales demandas, durante la segunda mitad de la década de los ochenta, se inició un proceso de mejora en los puertos mexicanos que contempló aspectos de operación, infraestructura, equipo, desarrollo de la logística y de las redes intermodales (Martner y Moreno, 2004: 1-16).

Los puertos de América Latina y el Caribe prestan servicios a un mercado cada vez más competitivo, en donde, al igual que en las economías más desarrolladas, se ha venido incrementando sostenidamente el tráfico de contenedores en naves especializadas. Los gobiernos y las autoridades portuarias de la región se esfuerzan por mejorar los niveles de eficiencia de sus puertos en busca de la mayor competitividad que exige el nuevo entorno (Doerr y Sánchez, 2006: 8).

En un puerto no solo confluyen los modos marítimos y terrestres de transporte si no que una inmensa variedad de servicios, instituciones y empresas, múltiples recursos e intereses que convergen en diversas operaciones, comunes de acceso, circulación, control, atención, manipulación, recepción y despacho de naves, cargas y medios. En este ambiente, las mediciones de productividad y eficiencia portuaria son una herramienta esencial para los administradores, gerentes, autoridades, operadores y

---

<sup>4</sup> CGPMM: Coordinación General de Puertos y Marina Mercante.  
SCT: Secretaría de Comunicaciones y Transportes

planificadores portuarios involucrados en las faenas y la programación del transporte marítimo. Tales mediciones, además de construir un dato importante para las operaciones de transporte, sirven para informar y ayudar a las autoridades locales, regionales y nacionales acerca de la actividad, su eficiencia y la proyección de futuros planes (Doerr y Sánchez, 2006: 9).

La industria portuaria se asocia normalmente a instalaciones de larga vida útil y con inversiones proyectadas con un horizonte de planificación de largo plazo. Normalmente, para un año venidero, un puerto de contenedores puede predecir con bastante aproximación su volumen de transferencia anual de carga. Esto es porque, en el corto plazo, un puerto de contenedores tiene una base de clientes (las líneas navieras) bastante estable. En ese caso, cómo utilizar eficientemente los recursos necesarios es la clave para un buen ahorro de costos en la producción portuaria.

Con la rápida globalización de la economía y comercio internacional, muchos puertos de contenedores deben reevaluar frecuentemente sus capacidades para asegurar que podrán proporcionar servicios satisfactorios a sus usuarios y mantener su competitividad. A veces, la necesidad de construir una nueva terminal o un aumento de capacidad resulta algo que es inevitable. Sin embargo, antes de que un puerto ponga un plan en ejecución, es de gran importancia que sepa si ha utilizado completamente sus instalaciones existentes y maximizado su producción (Doerr y Sánchez, 2006: 12).

Los puertos son fundamentales en la política económica de los países, ya que permiten hacer más eficiente el sistema de transporte de los mismos, fomentan el crecimiento del comercio con otros países, alivian la congestión de los principales corredores terrestres, mejoran los enlaces marítimos con las regiones insulares y periféricas de un país y refuerzan el transporte multimodal y la logística del transporte (Díaz-Bautista, 2008: 5-6).

El aumento del transporte de mercancías por vía marítima, y la ventajosa posición geográfica de México al tener más de 11,000 kilómetros de costa en los litorales del

Pacífico y Atlántico, brindan a los puertos mexicanos la oportunidad de explotar el tráfico marítimo en la zona (Díaz-Bautista, 2008: 12).

La Cuenca del Pacífico es un espacio geográfico que cubre más de la mitad del globo y representa el concepto de un borde terrestre litoral encerrando al océano de mayor extensión y profundidad que existe. Este borde litoral, a su vez es la puerta de entrada y salida a la más grande superficie terrestre continental del mundo. Son estas características las que le otorgan un peso decisivo en la economía mundial, ya que en esta enorme superficie, se concentra el 50 por ciento de la población total del mundo, constituyendo un gigantesco mercado consumidor y productor.

En más de los 40 países ribereños que se ubican en su Cuenca, se reúnen aproximadamente el 47 por ciento del producto mundial bruto y se concentran alrededor del 37 por ciento de las exportaciones totales que se intercambian en el planeta. Dicha zona, es una de las más desarrolladas del mundo y abarca hoy en día más del 50% del comercio mundial (SlideShare, 2009).

Estudiar la productividad y eficiencia en puertos y terminales de contenedores es más importante que antes, debido a los mayores y nuevos requerimientos del comercio por vía marítima y la competitividad relacionada. En vista de la importancia y complejidad de la operación y servicios en puertos es de gran significancia examinar la evolución reciente de la productividad y eficiencia (Doerr y Sánchez, 2006: 45).

En vista de lo expresado en el párrafo anterior, el estudio y conocimiento de la eficiencia permitiría que los puertos, en especial los mexicanos, se posicionen en el *ranking* mundial dentro de los primeros lugares, ayudando con ello a elevar de alguna manera la economía del país.

Frente a esta realidad es necesario cuestionarnos, ¿Cuál ha sido la eficiencia de la terminal de contenedores de Lázaro Cárdenas en relación con las terminales de los

puertos de la Cuenca del Pacífico<sup>5</sup> en el periodo 2003-2008 y qué factores explicaron ese comportamiento?

De manera particular, ¿En qué medida y en qué magnitud la longitud del muelle, la superficie de la terminal, el número total de grúas pórtico<sup>6</sup> y la cantidad de contenedores movidos anualmente fueron factores determinantes que incrementaron la eficiencia de la terminal de contenedores de Lázaro Cárdenas en relación con las terminales de los puertos de la Cuenca del Pacífico en el periodo 2003-2008?

## 1.2 Objetivos de la investigación

### 1.2.1 *Objetivo general*

Realizar la comparación de la eficiencia de la terminal de contenedores del puerto de Lázaro Cárdenas en relación con las terminales de los puertos de la Cuenca del Pacífico y conocer los factores que la explicaron en el periodo 2003-2008.

### 1.2.2 *Objetivo específico*

Determinar de qué manera y en qué magnitud la longitud del muelle, la superficie de la terminal, el número total de grúas pórtico y la cantidad de contenedores movidos anualmente en la terminal de contenedores del puerto de Lázaro Cárdenas fueron factores determinantes que incrementaron la eficiencia en relación a las terminales de los puertos de la Cuenca del Pacífico en el periodo 2003-2008.

---

<sup>5</sup> Los puertos de la Cuenca del Pacífico que se estudian son: Manzanillo y Ensenada (México); Brisbane (Australia); Vancouver (Canadá); Antofagasta, Iquique, San Antonio y Valparaíso (Chile); Qingdao, Shanghai, Xiamen, Tianjin, Yantian, Hong Kong KCTY y Hong Kong RTT (China); Guayaquil (Ecuador); Kwangyang y Busan (Corea del Sur); Balboa (Panamá); Long Beach, Los Ángeles, Oakland, Seattle, Tacoma y Portland (Estados Unidos); Singapur (Singapur); Yokohama (Japón); Callao (Perú); Quetzal (Guatemala); Acajutla (El Salvador); y Kaohsiung y Keelung (Taiwan).

<sup>6</sup> Número de total de grúas pórtico se refiere a la suma de grúas pórtico en muelle más grúas pórtico en patio que se tienen en el puerto.

## 1.3 Hipótesis de la investigación

### 1.3.1 Hipótesis general

La eficiencia de la terminal de contenedores del puerto de Lázaro Cárdenas está por debajo del promedio en relación a las terminales de los puertos de la Cuenca del Pacífico y los factores que la explicaron en el periodo de 2003 a 2008 fueron la longitud del muelle, la superficie de la terminal, el número total de grúas pórtico y la cantidad de contenedores movidos anualmente.

### 1.3.2 Hipótesis específicas

1. La longitud del muelle de la terminal de contenedores del puerto de Lázaro Cárdenas fue un factor que no incidió positivamente para incrementar la eficiencia en relación a las terminales de los puertos de la Cuenca del Pacífico en el periodo 2003-2008.
2. La superficie de la terminal de contenedores del puerto de Lázaro Cárdenas fue un factor que incidió positivamente para incrementar la eficiencia en relación a las terminales de los puertos de la Cuenca del Pacífico en el periodo 2003-2008.
3. El número total de grúas pórtico en la terminal de contenedores del puerto de Lázaro Cárdenas fue un factor que incidió positivamente para incrementar la eficiencia en relación a las terminales de los puertos de la Cuenca del Pacífico en el periodo 2003-2008.
4. La cantidad de contenedores movidos anualmente en la terminal de contenedores del puerto de Lázaro Cárdenas fue un factor que incidió positivamente para incrementar la eficiencia en relación a las terminales de los puertos de la Cuenca del Pacífico en el periodo 2003-2008.

## 1.4 Variables

### 1.4.1 Variables independientes

**Inputs:**

- Longitud del muelle de las terminales portuarias de contenedores (metros).
- Superficie de las terminales portuarias de contenedores (hectáreas).
- Número de total de grúas pórtico de las terminales portuarias de contenedores (cantidad).

**Output:**

- Movimiento anual de contenedores en las terminales portuarias de contenedores.

### 1.4.2 Variable dependiente

- Eficiencia de las terminales portuarias de contenedores.

# Capítulo 2. TEORÍA DE LA EFICIENCIA

La teoría de la eficiencia se remonta hasta los años 50, cuando Tjalling C. Koopmans y Gerard Debreu en 1951 comienzan sus investigaciones con relación al uso eficiente de los recursos empresariales y al análisis de producción. En 1957 Michael J. Farrell, basado en los trabajos de Koopmans y Debreu, estudió la forma de medir la eficiencia, dividiéndola en eficiencia técnica y asignativa. Similarmente, Abraham Charnes, William Cooper y Edward Rhodes inspirados en las investigaciones de Farrell, dan origen al Análisis Envolvente de Datos o Data Envelopment Analysis (DEA), herramienta que utilizada en esta investigación para medir la eficiencia de las terminales portuarias de contenedores.

En este capítulo comenzaremos con un primer esbozo de la teoría de la eficiencia a partir de los estudios realizados por Farrell, revisando los conceptos básicos y los antecedentes de la eficiencia; posteriormente se hará una revisión de los fundamentos teóricos y metodológicos de los modelos de frontera DEA y finalmente se presentarán las estructuras matemáticas de los dos modelos a utilizar para medir la eficiencia.

## 2.1 Teoría de la eficiencia

El concepto de una función de producción ocupa un lugar central en la literatura sobre la teoría de producción. En algunas discusiones este concepto está asociado con un proceso tecnológico particular. Entonces se supone que la función representa el output de una mercancía como una función de las cantidades de varios factores de producción, combinados de acuerdo a una fórmula o principio tecnológico dado. El desarrollo de este concepto ha llevado a la distinción entre situaciones en donde el conjunto de posibles combinaciones de factores no está restringido y las situaciones en donde algunos factores pueden ser sólo combinados en proporciones fijas a cada uno. Otra situación puede ser conciliada con la noción de una función de producción definida en el espacio factorial total permitiendo al administrador descartar partes de

las cantidades de factores específicos. Las funciones de producción correspondientes tienen pliegues en los puntos donde las proporciones de los factores disponibles coinciden con las proporciones técnicas específicas al proceso en cuestión (Koopmans, 1951: 33-34).

La técnica empleada en producción es el resultado de la elección gerencial. Los administradores escogen sobre emplear combinaciones eficientes de varios procesos para obtener, en algún sentido, mejores resultados. Hablando en términos de un producto de cierta calidad, un administrador eficiente escogerá aquella combinación de actividades productivas que maximice la cantidad producida de los factores disponibles los cuales han dado características cualitativas. En este concepto, las características de calidad de los factores disponibles y del producto deseado especifican las variables de entrada en la función de producción (Koopmans, 1951: 33-34).

El problema de medir la eficiencia productiva de una industria es importante tanto para los teóricos como para los hacedores de política económica. Los argumentos teóricos relacionados a la eficiencia de diferentes sistemas económicos deben ser sometidos a pruebas empíricas. De manera similar, la planeación económica debe ocuparse de determinadas industrias, siendo importante conocer hasta qué punto una determinada industria puede esperar que incremente su *output* simplemente incrementando su eficiencia, sin absorber más recursos.

Para resolver este problema se han producido mediciones cuidadosas de algunos o todos los *inputs* y *outputs* de la industria, sin embargo se ha fallado en combinar esas mediciones con la finalidad de obtener una eficiencia satisfactoria. Este fracaso se dio en parte a una negligencia del lado teórico del problema. De hecho, por un gran tiempo fue considerada adecuada para medir la productividad promedio de la mano de obra, y para usarla como una medición de eficiencia. Esta no es una medición claramente satisfactoria, ya que ignora todos los *inputs* de ahorro de mano de obra, pero fue utilizado ampliamente por econométricos. Recientemente, los intentos han

sido realizados para construir “índices de eficiencia”, en los que una medida ponderada de los *inputs* es comparada con los *outputs* (Farrell, 1957: 254-255).

### *2.1.1 Conceptos básicos de eficiencia*

En una perspectiva de largo plazo la eficiencia implica la maximización del beneficio y la minimización de los costos. Farrell (1957) citado por Navarro (2005: 26) fue el primero en introducir el marco teórico básico para estudiar y medir la eficiencia. Propuso que se visualice la eficiencia desde una perspectiva real y no ideal, donde cada firma o unidad productiva sea evaluada en relación a otras tomadas de un grupo representativo y homogéneo. De esta forma, la medida de la eficiencia será relativa y no absoluta, donde el valor agregado de eficiencia para una firma determinada corresponde a una expresión de la desviación observada respecto a aquellas consideradas como eficientes.

El mismo autor dividió a la eficiencia en dos componentes: eficiencia técnica y eficiencia asignativa<sup>7</sup>. El producto de ambas eficiencias provee una medida de la eficiencia económica<sup>8</sup>, la cual significa básicamente que la sociedad debe maximizar en términos dinámicos sus beneficios a partir de los escasos recursos que posee (Arzubi y Berbel, 2002: 106). De esta forma, la “eficiencia económica es considerada como el logro de la máxima producción al menor costo posible” (Pinzón, 2003: 17). Asimismo, el propio Farrell, definió a la eficiencia económica como el tipo de eficiencia que presentaría una asignación en caso de ser eficiente desde el punto de vista técnico y asignativo.

Profundizando en el estudio de la eficiencia económica se tiene que cuando una empresa o firma desea cumplir con un objetivo económico se encuentra ante diversas opciones (García, 2002) citado por Navarro (2005: 26):

---

<sup>7</sup> La Eficiencia Asignativa, también conocida como Eficiencia de Precio.

<sup>8</sup> La Eficiencia Económica, también conocida como la Eficiencia Global.

- Si una firma intenta minimizar el costo de producción, se habla de eficiencia de costos. Esta eficiencia indica el menor costo a través del cual las empresas pueden conseguir cada nivel de producción, dada la tecnología y los precios de los factores productivos.
- Si el objetivo consiste en maximizar el ingreso, se tiene eficiencia en el ingreso, la cual es posible conseguir a partir de los factores del proceso de producción, considerando los precios a los cuales se venden los productos.
- Finalmente, si la empresa maximiza los beneficios, requiere que se obtenga el máximo ingreso al mínimo costo, pero además es necesario que la empresa adopte el tamaño más adecuado para aprovechar las economías de escala.

Para que existan tanto la eficiencia en costos, ingresos y beneficios, es necesario que se proporcione tanto la eficiencia técnica como la asignativa. Por lo tanto, es necesario ampliar la conceptualización de los dos componentes de la eficiencia económica.

### *2.1.2 Eficiencia técnica*

Uno de los componentes de la eficiencia económica es la eficiencia técnica o productiva. La generalidad de este concepto ha favorecido la aparición en la literatura de diversas definiciones.

En relación al concepto de eficiencia técnica, Koopmans (1951: 33) definió la situación de eficiencia técnica como aquella en la que un incremento en cualquiera de los *outputs*, exige una reducción en al menos alguno de los restantes o el incremento de alguno de los *inputs*, o bien, en la que la disminución de un *input* cualquiera exige, al menos, el aumento de algún otro o la disminución de algún *output*.

Debreu (1951: 16) y Farrell (1957: 259) conceptualizaron a la eficiencia técnica como la diferencia entre uno y un cociente que representa la mayor reducción proporcional

en todos los *inputs* que aún permite la producción de todos los *outputs*, o como uno más el mayor crecimiento proporcional permitido en todos los *outputs* con el mismo consumo de *inputs*.

Yarad (1990: 183) menciona que la eficiencia técnica consiste en obtener la máxima producción física factible, dada la tecnología existente, a partir de una cierta cantidad de insumos.

Por su parte, González-Páramo (1995: 40) afirma que la eficiencia productiva o eficiencia técnica de una empresa está dada por su capacidad para transformar unos *inputs* (trabajo, capital y otros factores) en *outputs* (bienes o servicios) en el contexto de una tecnología, que puede sintetizarse mediante una función de producción, que marca el valor máximo o “frontera” de *output* alcanzable a partir de diversas combinaciones de *inputs*.

Trillo (2002: 5) menciona que el estudio de la eficiencia técnica o productiva centra su atención en el uso de los recursos humanos o de capital en la producción de uno o varios bienes y servicios. Es decir, se basa en utilizar unidades físicas, lo que implica que queda fuera del análisis el costo o precio de los factores y la valoración de los ingresos obtenidos de la producción.

La definición de la función de producción eficiente significa que la eficiencia técnica de cualquier firma es relativa al conjunto de firmas de la cuales la función es estimada. Si más firmas son introducidas en el análisis, podrían reducir, pero no pueden incrementar la eficiencia técnica de una firma dada.

Es interesante notar que la simple heterogeneidad de los factores no importará, siempre y cuando se distribuya de manera equilibrada con respecto a las empresas. Es cuando existen diferencias entre las firmas en el promedio de calidad (o más estrictamente, en la distribución de cualidades) de un factor, en donde la eficiencia técnica de una firma reflejará la calidad de sus *inputs* además de la eficiencia de su administración. Si esas diferencias en la calidad son físicamente medibles, podría ser

posible reducir este efecto definiendo un amplio número de factores de producción relativamente homogéneos, aunque en la práctica nunca sería posible eliminarlos completamente.

Por eso, la eficiencia técnica de una firma siempre debe, hasta cierto punto, reflejar la calidad de sus inputs; es imposible medir la eficiencia de su administración separada de los factores. Así que, la eficiencia técnica es definida en relación a un conjunto de firmas dado, con respecto a un conjunto dado de factores medidos de una forma específica y cualquier cambio en esas especificaciones afectará la medición (Farrell, 1957: 259-260).

A partir del trabajo inicial de Farrell, otros autores han propuesto conceptos alternativos. Navarro (2005: 28) cita a Forsund y Hjalmarsson (1974) y Forsund *et al.* (1980), quienes descompusieron la eficiencia técnica, asignativa y de escala. Posteriormente Banker, Charnes y Cooper (1984) mencionados por Navarro (2005: 28), dividieron la eficiencia técnica (o eficiencia técnica global) en eficiencia técnica pura y eficiencia de escala.

La eficiencia técnica pura muestra en qué medida la unidad productiva analizada está extrayendo el máximo rendimiento de los recursos físicos a su disposición. Mientras que la eficiencia de escala es relevante cuando la tecnología de producción presenta rendimientos de escala variables. Este tipo de eficiencia muestra si la unidad productiva analizada ha logrado alcanzar el punto óptimo de escala. Los rendimientos de escala se obtienen al aumentar proporcionalmente la cantidad de todos los factores que intervienen en la función de producción. Existen tres tipos de rendimientos de escala (Varian, 1998: 331-333):

- Rendimientos constantes a escala. Significa que sí se incrementa la cantidad de cada uno de los factores, la producción aumenta en la misma proporción.
- Rendimientos crecientes a escala. Implica que sí se incrementa la cantidad de cada uno de los factores, la producción aumenta en una proporción mayor.

- Rendimientos decrecientes a escala. Se presentan cuando al incrementarse la cantidad de cada uno de los factores, la producción aumenta en una menor proporción.

De esta forma, la eficiencia técnica global es el producto de las eficiencias técnica pura y de escala. Partiendo del concepto de eficiencia técnica, se considera a la tecnología como un elemento clave para entender éste término. Las empresas se enfrentan a restricciones tecnológicas, puesto que sólo existen algunas combinaciones de factores viables para obtener una cantidad dada de producción, por lo que las empresas deben limitarse a adoptar planes de producción que sean factibles desde un punto de vista tecnológico. Así, al conjunto de todas las combinaciones de factores y de productos tecnológicamente factibles, se le denomina conjunto de producción. Este conjunto muestra las elecciones tecnológicas posibles de la empresa.

Si los factores cuestan dinero a la empresa, es necesario examinar la producción máxima posible correspondiente a una cantidad dada de factores, esto es lo que se denomina como frontera del conjunto de producción y mide el volumen máximo de producción que puede obtenerse con una cantidad dada de factores. De aquí se deriva el concepto de isocuanta, que es el conjunto de todas las combinaciones posibles de los factores que son suficientes para obtener una cantidad dada de producción (Varian, 1998: 331-333).

Entre las posibles causas de la ineficiencia técnica, productiva o global, generalmente se encuentra un problema relacionado con la organización de las tareas por parte del responsable de la gestión. Otra posible explicación podría encontrarse en la motivación de los individuos que forman parte de la organización productiva. La denominada eficiencia X, cuyo origen se encuentra en Leibenstein (1966) mencionado por Navarro (2005: 29), se derivaría de la inexistencia de incentivos y mecanismos de evaluación que aseguren el máximo rendimiento de los trabajadores y, en consecuencia, garanticen la consecución del mayor producto

posible. Los individuos pueden limitar su esfuerzo, en su propio interés, de manera que se requieran más horas de trabajo de las necesarias por cada factor de producción.

### *2.1.3 Eficiencia asignativa*

La eficiencia asignativa tiene su base en la teoría microeconómica, específicamente en la teoría de Pareto. No obstante, otros autores han proporcionado definiciones acordes a su función como elemento de la eficiencia económica, como se presenta a continuación.

En microeconomía existe eficiencia en la asignación cuando no se desperdician recursos, y además se cumple el principio del óptimo de Pareto. Deben cumplirse tres condiciones básicas para lograr la eficiencia en la asignación:

- Eficiencia económica. Implica la eficiencia tecnológica (o técnica), así como utilizar los factores de producción en proporciones que minimicen costos.
- Eficiencia del consumidor. Ocurre cuando los consumidores no logran mejorar asignando de nuevo sus presupuestos.
- Igualdad del costo marginal (costo de producir una unidad adicional de producto, incluyendo los costos externos) y de beneficio social marginal (valor del beneficio de una unidad adicional de consumo, incluyendo beneficios externos).

Por su parte, Hernández Laos (1985: 1-448) sostiene que la eficiencia asignativa se refiere a la asignación de recursos, lo cual corresponde al criterio de asignar una cantidad fija de recursos entre situaciones alternativas con el propósito de maximizar la cantidad del producto o satisfacción, ya sea que el análisis se concentre en la esfera de la producción o en la del consumo.

Yarad (1990: 183) menciona que la eficiencia asignativa o de costos se refiere a que el gasto monetario total en insumos utilizados para producir una cantidad dada de bienes sea el mínimo posible de acuerdo a los precios de los insumos.

González-Páramo (1995: 41) afirma que la eficiencia asignativa o de precios se da cuando una empresa maximiza beneficios o minimiza costos.

Existe eficiencia asignativa cuando el administrador de una unidad productiva ha sabido no sólo alcanzar el conjunto frontera de producción, sino que también lo hizo eligiendo aquella combinación de factores que le permite minimizar los costos incurridos para un nivel de producción dado Bosch, Navarro y Giovagnoli (1999: 7).

Se entiende por eficiencia asignativa que las señales de precios deben ser eficiente en términos económicos, es decir, deben aproximarse a una asignación óptima de Pareto.

#### *2.1.4 Antecedentes de la eficiencia y el Análisis Envoltente de Datos*

En los años inmediatos a la posguerra hubo un interés general en el crecimiento y productividad, y el documento más influyente sobre esos asuntos dentro de un entorno macro fue el de Solow (1957: 212-220). Al mismo tiempo Farrell sentó las bases para los nuevos enfoques hacia los estudios de eficiencia y productividad en el nivel micro, envolviendo nuevas ideas sobre dos asuntos: cómo definir la eficiencia y productividad y cómo calcular la tecnología del *benchmark* (punto de referencia) y las mediciones de eficiencia.

La suposición fundamental fue la posibilidad de las operaciones ineficientes, inmediatamente apuntando hacia un concepto de función de producción frontera como el *benchmark* (punto de referencia), en contraposición a la noción de desempeño promedio (Forsund y Sarafoglou, 2000: 4).

Farrell (1957), inspirado en los trabajos de Debreu y Koopmans obtiene una medida de eficiencia total, compuesta de dos elementos: eficiencia técnica y eficiencia asignativa. Este autor considera una empresa que emplea dos factores de producción (*input*) para producir un solo producto (*output*), generado bajo condiciones de rendimientos constantes a escala. El supuesto de rendimientos constantes a escala permite que toda la información relevante sea presentada en una isocuanta. Esta restricción es abandonada posteriormente, al trabajar un modelo alternativo donde mide la eficiencia bajo condiciones de rendimientos no constantes a escala (Farrell y Fieldhouse, 1962), todos ellos citados en Navarro (2005: 40).

En la figura 2, el punto P representa los insumos de los dos factores por unidad de producto que necesita la empresa. La isocuanta  $SS'$  representa las combinaciones posibles de los dos factores que la empresa más eficiente podría requerir para producir una unidad de producto (Navarro, 2005: 40).

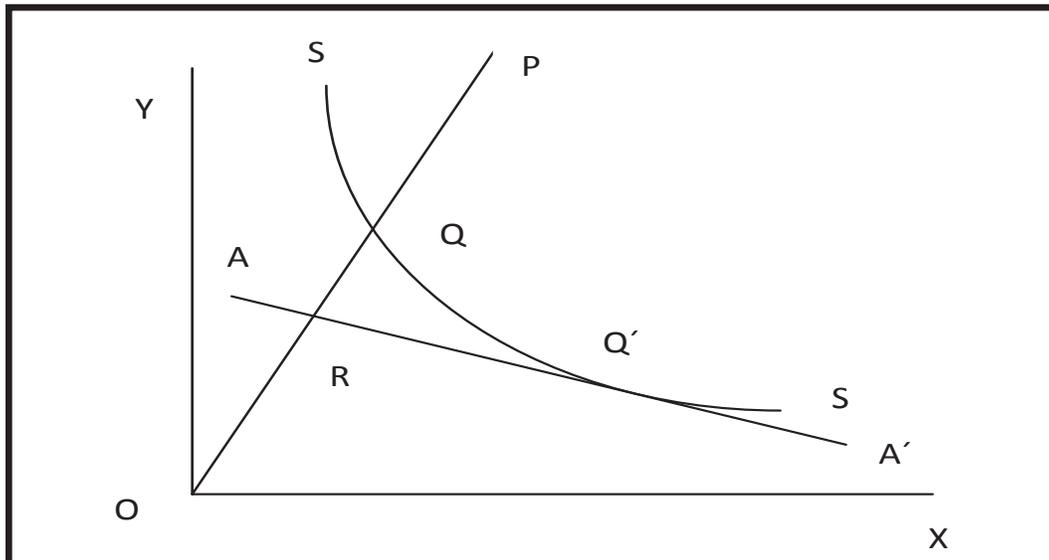
El punto Q representa una empresa eficiente que usa los dos factores en la misma proporción que la empresa P. La razón  $OQ/OP$  define la eficiencia técnica de la empresa P (Farrell, 1957). La eficiencia técnica es una medida de eficiencia que relaciona la combinación de factores que utilizaría la empresa más eficiente existente en el mercado en esos momentos (Hernández Laos, 1981), mencionado en Navarro (2005: 40).

Se necesita además, una medida que nos explique cuándo una empresa usa los factores de la producción en las mejores proporciones, de acuerdo a sus precios. Así en la figura 1, si  $AA'$  (línea de isocostos) tiene una inclinación igual a la razón de los precios de los dos factores,  $Q'$  y no Q es el método óptimo de producción. La empresa P producirá a un costo igual a R si hubiese escogido adecuadamente las técnicas y proporción de factores correctos. La relación  $OR/OQ$  mide lo que Farrell llama eficiencia asignativa y como tal se refiere a la selección apropiada (o inapropiada) de la combinación de insumos (Hernández Laos, 1981).

Finalmente para Farrell, la eficiencia total es igual al producto de la eficiencia asignativa y la eficiencia técnica.

$$OR / OP = (OR / OQ) \bullet (OQ / OP) \quad (1)$$

Figura 1. Eficiencia técnica en el modelo de Farrell



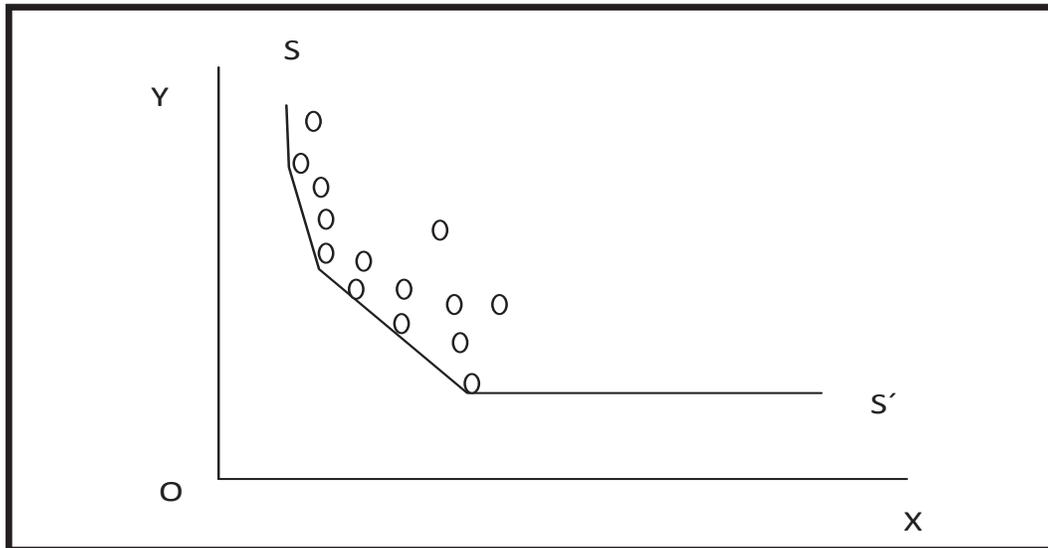
Fuente: Navarro (2005)

Dado que la función de producción eficiente estará representada por isocuantas, el problema de Farrell, es estimar la isocuanta de la empresa más eficiente. Este autor la estima introduciendo una línea (como la que se muestra en la figura 2), que envuelve los puntos localizados en el plano de producción. El autor supone que la isocuanta eficiente es convexa al origen y que si en la práctica es posible alcanzar dos de esos puntos, también lo es obtener un punto que represente el promedio ponderado de dos de las firmas más eficientes; el peso de cada punto se determina de forma tal que se obtenga la proporción de factores deseada.

Farrell (1957), además del estudio de la eficiencia al nivel de la empresa introduce medidas de eficiencia agregadas para toda la industria. Esto es lo que él llama, eficiencia estructural e indica el grado en que una industria se mantiene al nivel del comportamiento de sus empresas más eficientes. La eficiencia estructural de una industria es mayor en la medida en que la distribución de las empresas se concentra

en la proximidad de su frontera hacia el origen en el plano de los insumos (Navarro, 2005: 40-42).

Figura 2. Eficiencia en el modelo de Farrell



Fuente: Navarro (2005)

La estimación de funciones de producción frontera bajo condiciones de rendimientos crecientes a escala, es importante y difícil. Farrell y Fieldhouse (1962), citados en Navarro (2005: 41) discuten dos soluciones para este problema:

La primera, consiste en agrupar observaciones de acuerdo a los productos y entonces estimar la función de producción eficiente para cada grupo de productos separadamente. Los autores llamaron a este procedimiento Método de Agrupamiento. La estimación de las funciones de producción eficientes por este método, contempla dos clases de variaciones: primero, errores de observación (el tipo de error aleatorio comúnmente tratado con trabajo estadístico) y en segundo lugar, variaciones en la eficiencia, lo que puede conducir a desviaciones de las observaciones en una sola dirección respecto a la función de producción eficiente (Navarro, 2005: 42).

La segunda solución conocida como Método Global, considera una función de producción que relaciona la cantidad  $X$  de un solo producto con los insumos (*inputs*)

$x_1, x_2, \dots, x_n$ . Esta función de producción puede interpretarse como la mayor cantidad de  $X$  que puede ser obtenida de cualquier conjunto de insumos dado, y se representa como sigue:

$$X = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (2)$$

Alternativamente, podemos pensar en cómo determinar el conjunto de todas las combinaciones de insumos y productos que son técnicamente posibles. En este caso, debemos representarlo por la siguiente desigualdad:

$$X \leq f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3)$$

Este conjunto de puntos algunas veces se refiere al conjunto de puntos alcanzable, y cuando se habla de que la función de producción es convexa, realmente se quiere decir que el conjunto de puntos alcanzable es convexo (Farrell y Fieldhouse, 1962), mencionados por Navarro (2005: 42-43).

Farrell más tarde propuso computar los parámetros de la función frontera, a través de la forma Cobb-Douglas. Aigner y Chu en 1968 fueron los primeros en seguir la sugerencia de Farrell. Ellos especificaron una función de producción frontera Cobb-Douglas, que requería que todas las observaciones estuvieran en o bajo la frontera. Su modelo puede ser escrito como sigue:

$$\ln y = \ln f(x) - u \quad (4)$$

$$\ln y = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \alpha_i \ln x_i - u \quad (5)$$

Los parámetros del vector  $\alpha = (\alpha_0, \alpha_1, \dots, \alpha_n)$  pueden ser estimados a través de la programación lineal o a través de la programación cuadrática. La eficiencia técnica de cada observación puede ser computada directamente del vector de residuos, ya que “ $u$ ” representa la ineficiencia técnica (Navarro 2005: 43).

### *Contribuciones de Farrell*

La contribución de Farrell fue romper el camino en tres aspectos:

- i. Las mediciones de eficiencia estuvieron basadas en las contracciones o expansiones radiales uniformes desde las observaciones ineficientes hacia la frontera.
- ii. La frontera de producción fue especificada como las variables lineales más pesimistas del envolvimiento de los datos.
- iii. La frontera fue calculada a través de la solución de sistemas de ecuaciones lineales, obedeciendo a dos condiciones sobre la unidad isocuanta:
  - a) Que su pendiente no es positiva.
  - b) Que ningún punto observado cae entre el mismo y el origen (Farrell, 1957).

En la elección de un *benchmark* de la frontera de producción Farrell adopta un enfoque más práctico, comenzando con consideraciones de ingeniería y terminando con recomendar mejores prácticas (Forsund y Sarafoglou, 2000: 4-5). Él dejó pasar una conexión con la teoría de la producción axiomática que hubiera sido muy apropiada para motivar su elección de la contracción o expansión radial de una observación a la frontera, a saber el concepto de la función de distancia introducido a los economistas por Shephard (1953: 1-111).

Shephard utilizó la función de distancia como un recurso crucial cuando se estableció la dualidad fundamental entre producción y costos.

## **2.2 Modelos de frontera DEA: fundamentos teóricos y metodológicos**

*Data Envelopment Analysis* (DEA) es un enfoque “orientado a los datos” relativamente nuevo para evaluar el desempeño de un conjunto de entidades iguales llamadas

Unidades de Toma de Decisión (DMUs) que transforman múltiples *inputs* en múltiples *outputs*. La definición de una DMU es genérica y flexible. En años recientes se ha visto una gran variedad de aplicaciones de DEA para evaluar los desempeños de diferentes clases de entidades, en diferentes actividades, en diferentes contextos y en diferentes países. Esas aplicaciones de DEA han utilizado DMUs de varias formas para evaluar el desempeño de entidades como hospitales, Fuerza Aérea de Estados Unidos de América, universidades, ciudades, cortes, firmas de negocios, entre otros. Porque requiere muy pocas suposiciones, también ha abierto posibilidades para su uso en casos en que ha sido resistente a otros enfoques por la naturaleza compleja de las relaciones entre los múltiples *inputs* y múltiples *outputs* involucrados en las DMUs (Cooper *et al*, 2004: 1-2).

Como se dijo en Cooper *et al.* (2000: 1), el DEA también ha sido utilizado para suministrar nuevos conocimientos en actividades (y entidades) que ha sido evaluadas previamente por otros métodos. Por ejemplo, estudios de prácticas de *benchmarking* con DEA han identificado numerosas fuentes de ineficiencia en algunas de las firmas más rentables y esto ha proveído un vehículo para identificar mejores *benchmarks* en varios estudios aplicados. El uso del DEA ha sugerido una reconsideración de estudios previos de la eficiencia con que las actividades pre y post-fusiones han sido conducidas en bancos que fueron estudiados con DEA.

Desde que el DEA fue introducido en 1978, investigadores de varios campos rápidamente han reconocido que es una excelente y fácil metodología utilizada para modelar procesos operacionales para evaluaciones de desempeño. La orientación empírica del DEA y la ausencia de una necesidad para las numerosas suposiciones a priori que acompañan a otros enfoques (como el análisis de regresión estadística) han resultado en su uso en varios estudios involucrando estimación de fronteras eficientes en los sectores gubernamentales, sin fines de lucro, privados y regulados. Formalmente, el DEA es una metodología dirigida hacia las fronteras más que a las tendencias centrales. En lugar de intentar ajustar un plano de regresión a través de

centrar los datos como en la regresión estadística, por ejemplo, una superficie de variables lineales caen en lo más alto de las observaciones (Cooper *et al.*, 2004: 2).

Aún y cuando las ideas pioneras del modelo DEA (*Data Envelopment Analysis* o Análisis de la Envolvente de Datos) fueron establecidas por el inglés Farrell (1957) tratando de dar solución a un problema agrícola, no fue sino hasta que Charnes *et al.* (1978), sentaron los fundamentos matemáticos de la teoría moderna del método de frontera DEA, estructurándolo como un modelo de programación lineal (Mercado, 1997). Charnes *et al.* (1997) afirman que el origen de esta técnica es debida a Rhodes, cuando en 1978 aplicó DEA al análisis de la eficiencia del programa de educación *Follow-Through* de las escuelas públicas de Estados Unidos, mencionados por Navarro (2005: 39).

De manera esencial en el modelo DEA se siguen los conceptos básicos de Farrell (1957). No obstante, junto con este autor, otros más proporcionaron los fundamentos necesarios para que esta técnica pudiera surgir y fuera utilizada: Charnes y Cooper (1962), Aigner y Chu (1968) y Afriat (1972), citados en Navarro (2005: 39).

## 2.3 Aspectos técnico-metodológicos del DEA

DEA es un modelo de frontera no paramétrico determinístico, dado que éste no requiere la especificación de la forma funcional, además de que toda desviación con respecto a la frontera es considerada como ineficiencia.

Los modelos DEA aprovechan el *know-how* de las DMU's analizadas, de forma tal que identifican las eficientes e ineficientes, además de fijar objetivos de mejora para las segundas a partir de los logros de las primeras, es decir, realizan un *benchmarking* de las unidades evaluadas, empleando únicamente la información disponible en las propias empresas, sin necesidad de realizar supuestos teóricos.

A partir de las cantidades empleadas de *inputs* y las cantidades producidas de *outputs*, los modelos DEA determinan cuáles son las mejores prácticas, comparando la DMU escogida con todas las posibles combinaciones lineales del resto de unidades de la muestra, para definir posteriormente con ellas una frontera de producción empírica. La eficiencia de cada DMU analizada se mide como la distancia a la frontera.

La técnica DEA, englobada dentro de la metodología de los métodos de frontera, se encuentra sustentada sobre el riguroso concepto de eficiencia ofrecido por la teoría microeconómica. DEA se enfoca al estudio de la eficiencia desde un punto de vista interno, es decir, de utilización de los recursos, pero siempre en relación a la forma en que los están utilizando otras empresas similares.

DEA permite comparar cada empresa ineficiente con aquella empresa eficiente con similar combinación de *outputs* e *inputs*, que actúa como referente, *peer*<sup>9</sup>. Ésta proporcionará información útil para guiar las decisiones de las empresas ineficientes que aspiren a mejorar.

A diferencia de los métodos tradicionales basados en *ratios* (relaciones) de productividad, en los que la búsqueda de medidas globales de valoración de la actuación obliga generalmente a establecer a priori unas ponderaciones para los *outputs* e *inputs*, los modelos DEA proporcionan esta medida de eficiencia global sin necesidad de establecer las ponderaciones mencionadas a priori. De hecho, es la misma metodología la que los asigna. Además, el análisis de indicadores de productividad parcial a situaciones con múltiples insumos y múltiples productos.

Profundizando sobre las diferencias básicas entre la estimación de fronteras estocásticas y DEA para el cálculo de la eficiencia, éstas se concentran en el tratamiento del ruido aleatorio y la flexibilidad que otorgan a la curva de eficiencia. En otras palabras, mientras que el enfoque paramétrico intenta separar el ruido de la

---

<sup>9</sup> El referente o *peer* es la empresa que mantiene las mejores prácticas dentro del grupo analizado, lo cual constituye el punto de referencia para las empresas ineficientes que aspiran a mejorar.

ineficiencia, el enfoque no paramétrico busca no confundir errores de especificación de la forma funcional con ineficiencia.

La estimación econométrica se desarrolló adoptando la idea inicial de eficiencia a la forma funcional de una frontera, que indica la máxima producción para una combinación de factores dada. Pueden observarse puntos por debajo de la frontera, que representan firmas que producen debajo del máximo posible, pero nunca por encima de ésta. Esta función, si bien permítela existencia de desviaciones de la frontera por razones distintas a la ineficiencia, tiene la limitante de suponer a priori una forma funcional para los datos (Arzubi y Berbel, 2002), citados en Navarro (2005:49-50).

En el DEA se establece la formulación del modelo y su resolución calcula la frontera de producción como una envolvente de datos, determinándose para cada uno de los datos, determinándose para cada uno de los datos si pertenece o no a la frontera. Se adapta a contextos multiproductos, e incluso, de ausencia de precios. Sin embargo, presenta dificultad para comprobar hipótesis estadísticas.

Otra ventaja importante de la técnica DEA consiste en que tanto los *inputs* como los *outputs* pueden estar expresados indistintamente en términos monetarios y /o unidades físicas. Sin embargo, los modelos DEA presentan algunas ventajas e inconvenientes respecto a otros modelos, entre las desventajas se encuentran que los resultados son muy susceptibles a una mala especificación de las variables asociadas de *inputs* y *outputs* a utilizar, así como el número de observaciones comparadas. Además, se requiere que las unidades de análisis sean similares entre sí.

Existen cuatro principales modelos DEA: el modelo con rendimientos constantes a escala (CRS), el modelo con rendimientos variables a escala (VRS), el modelo aditivo y el modelo multiplicativo.

Los modelos DEA pueden tener dos orientaciones, hacia la optimización en la combinación de inputs (modelo *input*-orientado) para la obtención del *output*, o hacia la optimización en la producción de *outputs* (modelo *output*-orientado) (Navarro, 2005: 50-53).

## 2.4 Benchmarking

La idea original de Farrell ha podido trasladarse a su aplicación empírica a través fundamentalmente de dos metodologías: la estimación de fronteras estocásticas y las mediciones DEA. La primera implica el uso de la econometría y para la segunda se recurre a algoritmos de programación lineal y al *benchmarking*.

El *benchmarking* se puede definir como la medida de una actuación en comparación con la de las mejores compañías de su clase, determina cómo la mejor de ellas ha logrado estos niveles de actuación y utiliza la información como base para los objetivos, estrategias y aplicación de la propia compañía (Bemowski, 1991: 21). El proceso de *benchmarking* significa:

- Determinar las características apropiadas del proceso receptor y utilizarlas para comparar un proceso con otro (el donante).
- Desarrollar los datos sobre la actuación del proceso mejor practicado dentro o fuera de una organización, que requiera la aplicación del benchmarking.
- Comparar y evaluar el proceso o procesos según los datos relativos a las características medidas.
- Desarrollar medidas para mejoras continuas partiendo de los nuevos datos.
- Aplicar los cambios del proceso planificados.
- Controlar la eficacia de estos cambios.

El *benchmarking* requiere, por tanto, una acción planificada de la evaluación y la aplicación. En un intento por modificar el proceso, a la luz de los nuevos

conocimientos obtenidos sobre un proceso más efectivo. El *benchmarking* puede ser dividido en tres áreas:

- Interna. Una evaluación de prácticas dentro de una organización.
- Competitiva. Muy limitada en la aplicación real, ya que requiere competidores que admitan y cooperen en la mejora de una o ambas empresas.
- Inter-industrial. Evaluaciones entre operaciones en distintas industrias.

*Benchmarking* significa adaptar las mejores prácticas, más que copiarlas. Implica utilizar el conocimiento de un proceso para determinar lo que es utilizable del proceso donante. De esta forma, la mentalidad o cultura que rodea el *benchmarking* debe ser mejorar y exceder las dimensiones de la actuación del proceso donante (Navarro, 2005: 47).

El *benchmarking* es un proceso encaminado a conseguir información útil que ayude a una organización a mejorar sus procesos y el cual debe continuar realizándose una y otra vez. Para ello la técnica del Análisis Envolvente de Datos (DEA) permitirá identificar los aspectos que requieren modificaciones y mejoras que lograrán ser eficientes. La técnica mencionada tiene en sus fundamentos el uso de la programación lineal como una herramienta que permite realizar los cálculos necesarios que ayudarán a aplicar el *benchmarking*. De esta manera, es importante hacer un espacio para revisar los fundamentos de la programación lineal.

## **2.5 Fundamentos de programación lineal**

La programación lineal es una técnica pionera en el análisis de las decisiones internas de una empresa sobre la asignación de recursos. La programación lineal representa uno de los avances más importantes en la teoría de la producción. Su ventaja principal es de cálculo y se basa en el uso de computadoras. La programación lineal tiene su fundamento en los siguientes supuestos (Pinzón, 2003: 17):

- Existe más de una restricción.
- La producción y los precios de los factores son constantes, de modo que las líneas de presupuesto e isocosto puedan representarse con líneas rectas.
- Hay rendimientos constantes a escala y proporciones tecnológicamente fijas de insumos o factores (por lo que las rutas de expansión con las líneas rectas que pasan por el origen).

La programación lineal es un caso especial de la programación matemática, en donde todas las funciones que hay en el modelo son lineales: siempre existe una función objetivo lineal por optimizar (maximizar o minimizar), sujeta a restricciones lineales individuales. Las variables del modelo que son continuas, únicamente pueden tomar valores no negativos. Además, se requiere un conocimiento exacto de los parámetros y recursos utilizados en la construcción del modelo (Serra, 2004: 1-174).

Todo problema de programación lineal conocido como el problema primal tiene su problema correspondiente denominado el problema dual. Esto es, si el problema primal es la maximización de producción el problema dual es la minimización de insumos y viceversa (Navarro, 2005: 48-49).

## 2.6 Generalidades de los modelos DEA

El uso de la técnica DEA se ha enfocado al campo de la producción para la medición de la eficiencia, o en su caso, para proporcionar las estimaciones necesarias sobre productividad. En este sentido, la definición de eficiencia utilizada en el modelo está dada por (Mercado, 1997), citado por Navarro (2005: 56):

$$\text{Eficiencia} = \text{Total de salidas (outputs)} / \text{Total de entradas (inputs)}$$

De manera más general la eficiencia puede definirse como:

$$E = \frac{\textit{Salidas}}{\textit{Entradas}} \quad (6)$$

O formalmente:

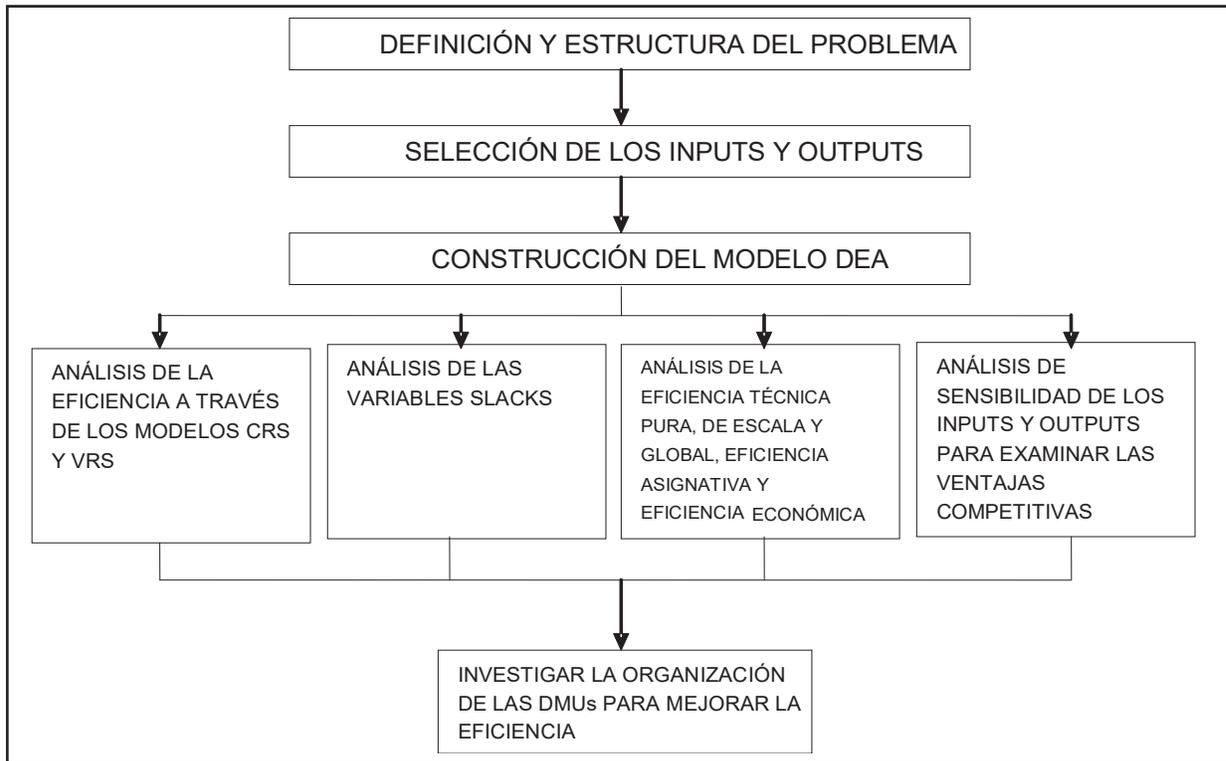
$$E = \frac{\sum_{i=0}^N v_i y_i}{\sum_{i=0}^N u_i x_i} \quad (7)$$

Donde  $E$  representa la eficiencia,  $x_i$  y  $y_i$  son las entradas (*inputs*) y salidas (*outputs*) respectivamente, mientras que los parámetros  $u_i$  y  $v_i$  muestran las importancias relativas de cada uno de los parámetros.

El principal problema de evaluación de eficiencia se terminaría si el analista conociera de antemano la importancia relativa de cada una de las entradas y salidas. Sin embargo, esta información es en general, desconocida.

La evaluación de la eficiencia usualmente involucra múltiples *inputs* y *outputs*, para lo cual deberán seleccionarse atendiendo a la definición del problema objeto de estudio. Metodológicamente la estructura de la investigación de los modelos DEA, en la que se contemplan estos aspectos y elementos adicionales que conllevan no solamente al análisis de la productividad a partir de la técnica DEA, sino a la propuesta de alternativas para mejorar la eficiencia se plantea en la figura siguiente (Lo, *et al.*, 2001), mencionados por Navarro (2005: 56-57).

Figura 3. Metodología DEA



Fuente: Navarro, J.C.L., (2005)

La preocupación central es la evaluación del desempeño y específicamente la evaluación de las actividades de organizaciones como firmas de negocios, agencias gubernamentales, hospitales, instituciones educativas, etc. Tales evaluaciones toman una variedad de formas en el análisis habitual. Algunos ejemplos incluyen costos por unidad, beneficios por unidad, satisfacción por unidad, y así sucesivamente, los cuales son mediciones establecidas en la forma de una relación como la siguiente:

$$\frac{Output}{Input} \quad (8)$$

Esta es una medición de eficiencia usada comúnmente. La medición usual de “productividad” también asume una relación utilizada para evaluar el desempeño de un trabajador o empleado. “*Output* por trabajador-hora” o “*output* por trabajador empleado” son ejemplos con ventas, beneficios u otras mediciones de *output* las cuales aparecen en el numerador. Tales mediciones a veces son referidas como “medidas parciales de productividad”. Esta terminología es destinada a distinguirlas

de las “medidas de productividad total de los factores”, porque lo último intenta obtener una relación de valor *output-input* que toma en cuenta todos los *outputs* e *inputs*. Moverse de las mediciones parciales de productividad hacia las medidas de productividad total de los factores combinando todos los *inputs* y *outputs* para obtener una única relación ayuda a evitar la imputación de las ganancias a un factor (o un *output*) que son realmente atribuibles a algún otro *input* (u *output*). Por ejemplo, una ganancia en *output* resultante de un incremento en capital o administración mejorada podría ser erróneamente atribuida a la mano de obra (cuando una única relación de *output* hacia *input* es utilizada). Sin embargo, un intento para mover de las mediciones parciales a las totales encuentra dificultades como escoger los *inputs* y *output* a ser considerados y los pesos a ser utilizados para obtener una relación de un único *output* hacia un único *input* que se reduce a un forma como la (8).

Otros problemas y limitaciones también son incurridos en tradicionales intentos para evaluar la productividad o eficiencia cuando múltiples *outputs* y múltiples *inputs* necesitan ser tomados en cuenta. El enfoque relativamente nuevo incorporado en DEA no requiere que el usuario prescriba pesos que sean adjuntados a cada *input* y *output*, como en los acostumbrados enfoques de número de índices, y tampoco requiere prescribir las formas funcionales que son necesarias en los enfoques de regresión estadística.

El DEA utiliza técnicas como la programación matemática que puede manejar grandes números de variables y relaciones (restricciones) y esto relaja los requerimientos que frecuentemente son encontrados cuando uno está limitado a escoger sólo unos pocos *inputs* y *outputs* porque las técnicas empleadas encontrarán, de otra forma, dificultades. Las condiciones relajantes sobre el número de candidatos a ser utilizados en calcular las mediciones de evaluación deseadas lo hacen más fácil para tratar con problemas complejos y para tratar con otras consideraciones que probablemente sean confrontadas en muchos contextos de política social y de gestión. Además, el conjunto extenso de teoría y metodología disponible de programación matemática puede ser ejercido para afectar los cálculos

porque mucho de lo que es necesario ya ha sido desarrollado y adaptado para su uso en muchas aplicaciones a priori de DEA (Cooper *et al.* 2000: 1-2).

## 2.7 Pesos fijos y variables

Para ejemplificar algunos autores utilizan un número limitado de *inputs* y *outputs*, así es posible ejemplificar, exponer y aclarar en forma gráfica cuestiones y aplicaciones. En la realidad es necesario tratar con múltiples *inputs* y múltiples *outputs*. El truco es desarrollar aproximaciones que hacen posible tratar con tales aplicaciones sin imponer una carga excesiva a los usuarios con análisis o cálculos excesivos y sin requerir grandes números de suposiciones.

El DEA utiliza pesos variables. En particular, los pesos son derivados directamente de los datos con el resultado de que las numerosas suposiciones *a priori* y los cálculos involucrados en las elecciones de los pesos fijos se eviten. Además, los pesos son seleccionados de una manera en que se asigna un mejor conjunto de pesos para cada DMU. El término “mejor” es utilizado de manera en que el resultado de la relación *input* a *output* para cada DMU sea maximizado en relación a todas las otras DMUs cuando esos pesos son asignados a los *inputs* y *outputs* para cada DMU. Similarmente, esto es obtenido bajo las siguientes condiciones: (1) todos los datos y pesos son positivos (o al menos no negativos), (2) la relación resultante debe caer entre cero y la unidad y (3) esos mismos pesos para la entidad objetivo (DMU) son aplicados a todas las entidades. Consecuentemente, la entidad a ser evaluada no puede escoger un mejor conjunto de pesos para su evaluación (relativa a otras entidades).

Las fuentes de ineficiencia, como puramente técnica y mezcla de ineficiencias son automáticamente identificadas por cada entidad por el DEA y sus cantidades estimadas. Además, el conjunto en mención utilizado como punto de referencia (*benchmark*) a esas ineficiencias también es identificado. Finalmente, esos resultados son obtenidos utilizando sólo un mínimo de suposiciones a priori.

Asimismo, para evitar una necesidad a priori para la elección de pesos, el DEA no requiere especificar la forma de relación entre *inputs* y *outputs* (Cooper *et al.* 2000: 12-13).

## 2.8 El modelo básico CCR (Charnes, Cooper y Rhodes)

Para permitir las aplicaciones de una extensa variedad de actividades, se utilizará el término DMU (descrito anteriormente) para referirnos a cualquier entidad (puerto/terminal) que sea evaluada en términos de sus habilidades para convertir *inputs* en *outputs*. Esas evaluaciones pueden involucrar agencias gubernamentales y organizaciones sin fines de lucro además de firmas de negocios (Cooper, *et al.* 2004: 8).

Los pesos óptimos podrían (y generalmente) variar de una DMU a otra. Por eso, los “pesos” en el DEA son derivados de los datos en lugar de ser fijos de antemano. A cada DMU se le asigna el mejor conjunto de pesos con valores que pueden variar de una DMU a otra (Cooper *et al.* 2000: 22).

Suponemos que existen  $n$  DMUs;  $DMU_1, DMU_2, \dots, DMU_n$ . Algunos ítems comunes de *inputs* y *outputs* para cada una de las  $j = 1, \dots, n$  DMUs son seleccionados como sigue:

1. Los datos numéricos están disponibles para cada *input* y *output*, con los datos que se suponen sean positivos para todas las DMUs.
2. Los ítems (*inputs*, *outputs* y la elección de las DMUs) deberían reflejar un interés analítico o de gestión en los componentes que entraran en las evaluaciones de eficiencia relativa de las DMUs.
3. En principio, las cantidades más pequeñas de *input* y las cantidades más grandes de *output* son preferibles, así los resultados de eficiencia deberían reflejar esos principios.

4. Las unidades de medición de los diferentes *inputs* y *outputs* no necesitan ser congruentes. Algunos pueden involucrar número de personas, o áreas de espacio de piso, dinero gastado, etc.

Suponemos que  $m$  *inputs* y  $s$  *outputs* son seleccionados con las propiedades arriba anotadas 1 y 2. Sean los datos de *input* y *output* para la DMU <sub>$j$</sub>  ( $x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}$ ) y ( $y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj}$ ), respectivamente. La matriz de datos *input*  $X$  y la matriz de datos *output*  $Y$  pueden ser arregladas como sigue:

(12)

(13)

Donde  $X$  es una matriz ( $m \times n$ ) y  $Y$  una matriz ( $s \times n$ ) (Cooper *et al.* 2000: 22-23).

Cada DMU consume varias cantidades de  $m$  diferentes *inputs* para producir  $s$  diferentes *outputs*. Específicamente, la DMU <sub>$j$</sub>  consume cantidades de *input*  $i$   $x_{ij}$  y produce cantidades de *output*  $r$   $y_{rj}$ . Suponemos que  $x_{ij} > 0$  y  $y_{rj} > 0$  y además suponemos que cada DMU tiene al menos un valor de *input* positivo y un valor de *output* positivo (Cooper, *et al.* 2004: 8).

Ahora regresamos a la “relación-forma” (*ratio-form*) del DEA. En esta forma, como se introdujo por Charnes, Cooper y Rhodes, la relación de *outputs* a *inputs* es utilizada para medir la eficiencia relativa de la DMU <sub>$j$</sub>  = DMU<sub>o</sub> que es evaluada en relación a los *ratios* de todas las  $j = 1, 2, \dots, n$  DMU <sub>$j$</sub> . Podemos interpretar la construcción como la reducción de la situación *output*-múltiple / *input*-múltiple (para cada DMU) hacia un único *output* virtual y un único *input* virtual. Para una DMU particular la relación único

output virtual entre único input virtual provee una medida de eficiencia que es una función de los multiplicadores. En el lenguaje de programación matemática, esta relación, la cual será maximizada, forma la función objetivo para una DMU particular a ser evaluada, así que simbólicamente

$$\max h_0(u, v) = \sum_r u_r y_{ro} / \sum_i v_i x_{io} \quad (9)$$

Donde se nota que las variables son las  $u_r$ 's y las  $v_i$ 's, y las  $y_{ro}$ 's y  $x_{io}$ 's son los valores de *output* e *input* observados, respectivamente, de DMU<sub>o</sub>, la DMU a ser evaluada (Cooper, *et al.* 2004: 8-9).

Un conjunto de restricciones normalizadas (una de cada DMU) refleja la condición de que la relación *output* virtual entre *input* virtual de cada DMU, incluyendo DMU<sub>j</sub> = DMU<sub>o</sub>, debe ser menor o igual a la unidad. El problema de programación matemática podría ser establecido como

$$\max h_0(u, v) = \sum_r u_r y_{ro} / \sum_i v_i x_{io}$$

Sujeto a:

$$\sum_r u_r y_{rj} / \sum_i v_i x_{ij} \leq 1 \quad \text{Para } j = 1, \dots, n,$$

$$u_r, v_i \geq 0 \quad \text{para todas las } i \text{ y } r. \quad (10)$$

Observación: un desarrollo completo más riguroso reemplazaría  $u_r, v_i \geq 0$  por

$$\frac{u_r}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}}, \frac{u_r}{\sum_{i=1}^m v_i x_{io}} \geq \varepsilon > 0 \quad (11)$$

Donde  $\varepsilon$  es un elemento no Arquímedeano más pequeño que cualquier número real. Esta condición garantiza que las soluciones serán positivas en esos valores. Lo cual

guía a la segunda etapa de la optimización de las holguras (*slacks*) (Cooper, *et al.* 2004: 9).

La forma de relación arriba mencionada produce un número infinito de soluciones si  $(u^*, v^*)$  es óptima, entonces  $(\alpha u^*, \alpha v^*)$  es también óptima para  $\alpha > 0$ . Sin embargo, la transformación desarrollada por Charnes y Cooper (1962) para la programación fraccional lineal selecciona una solución representativa y produce el problema equivalente de programación lineal en el cual el cambio de variables de  $(u, v)$  a  $(\mu, \nu)$  es un resultado de la transformación Charnes-Cooper, mencionados por Cooper, *et al.* (2004: 9),

$$\max z = \sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro}$$

Sujeto a:

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m \nu_i x_{ij} \leq 0$$

$$\sum_{i=1}^m \nu_i x_{io} = 1 \tag{12}$$

$$\mu_r, \nu_i \geq 0$$

Para el cual, el problema dual de PL (Programación Lineal) es

$$\theta^* = \min \theta$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j \leq \theta x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j \geq y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s;$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n. \tag{13}$$

Este último modelo (13), es en ocasiones referido como el “modelo de Farrell” porque es el único utilizado por él. En la parte económica de la literatura del DEA se dice que

se ajusta a la suposición de “disposición fuerte” porque ignora la presencia de holguras diferentes de cero. En la parte de investigación de operaciones de la literatura del DEA esto es señalado como “eficiencia débil”.

En virtud del teorema dual de programación lineal tenemos que  $z^* = \theta^*$ . Podemos resolver (13) para obtener un resultado de eficiencia. Porque podemos colocar  $\theta = 1$  y  $\lambda^*_k = 1$  (lambda) con  $\lambda^*_k = \lambda^*_o$  y todas las demás  $\lambda^*_j = 0$ , una solución para (13) siempre existe. Además, esta solución implica  $\theta^* \leq 1$ . La solución óptima,  $\theta^*$ , produce un resultado de eficiencia para una DMU en particular. El proceso es repetido para cada DMU<sub>j</sub>. Las DMUs para las cuales  $\theta^* < 1$  son ineficientes, mientras las DMUs para las cuales  $\theta^* = 1$  son puntos fronterizos (Cooper, *et al.* 2004: 9-10).

Algunos puntos fronterizos pueden ser “débilmente eficientes” porque tenemos holguras diferentes de cero. Esto puede parecer preocupante porque la alternativa óptima podría tener holguras diferentes de cero en algunas soluciones, pero en otros no. Sin embargo, podemos evitar estar preocupados incluso en tales casos, invocando el siguiente programa lineal en el cual las holguras toman sus valores máximos.

$$\max \sum_{j=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = \theta^* x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s;$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad \forall i, j, r \tag{14}$$

Donde notamos que las opciones de  $s_i^-$  y  $s_r^+$  no afectan el óptimo  $\theta^*$  que está determinado del modelo (13). Estos adelantos ahora nos llevan a las siguientes definiciones acerca de la eficiencia relativa:

**DEA eficiente:** el desempeño de la DMU<sub>o</sub> es totalmente eficiente (100%) sí y solo si  $\theta^* = 1$  y todas las holguras  $s_i^- = s_r^+ = 0$ .

**DEA débilmente eficiente:** el desempeño de la DMU<sub>o</sub> es débilmente eficiente sí y solo si  $\theta^* = 1$  y  $s_i^- \neq 0$  y/o  $s_r^+ \neq 0$  para algún  $i$  y  $r$  en alguna alternativa óptima (Cooper, *et al.* 2004: 10-11).

Cabe señalar que el desarrollo de las cantidades anteriores sirve para resolver el siguiente problema en dos pasos:

$$\min \theta - \varepsilon \left( \sum_{j=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = \theta x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s;$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad \forall i, j, r \quad (15)$$

Donde  $s_i^-$  y  $s_r^+$  son variables de holgura utilizadas para convertir las desigualdades en (13) a ecuaciones equivalentes. Aquí  $\varepsilon > 0$  es también un elemento no Arquimedeano menor a cualquier número real positivo. Esto es equivalente a resolver (13) en dos etapas primero minimizando  $\theta$ , luego arreglando  $\theta = \theta^*$  como en (10), donde las holguras son maximizadas sin alterar el valor previamente determinado de  $\theta = \theta^*$ . Formalmente, esto es equivalente a otorgar la “prioridad preferente” a la determinación de  $\theta^*$  en (12).

Alternativamente, uno podría haber comenzado con el lado *output* y haber considerado en lugar de la relación de *input* virtual la relación de *output* virtual. Esto reorientaría el objetivo de maximizar a minimizar, como en (10), para obtener:

$$\text{Min} \sum_i v_i x_{io} / \sum_r u_r y_{ro}$$

Sujeto a:

$$\sum_i v_i x_{ij} / \sum_r u_r y_{rj} \geq 1 \text{ Para } j = 1, \dots, n,$$

$$u_r, v_i \geq \varepsilon > 0 \text{ para todas las } i \text{ y } r. \quad (16)$$

De nuevo, la transformación Charnes-Cooper (1962) para la fraccional de programación lineal produce el modelo (17) (modelo multiplicador), con el problema dual asociado (18) (modelo envolvente), como se muestra a continuación:

$$\min q = \sum_{i=1}^m v_i x_{io}$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s \mu_r y_{rj} \geq 0$$

$$\sum_{r=1}^s \mu_r y_{ro} = 1 \quad (17)$$

$$\mu_r, v_i \geq \varepsilon, \forall r, i$$

$$\max \phi + \varepsilon \left( \sum_{j=1}^m s_j^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = \phi y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s;$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (18)$$

Aquí estamos utilizando el modelo con un objetivo orientado a *output* en contraste con la orientación *input* en (15). Sin embargo, como antes, el modelo (18) es calculado en un proceso de dos etapas. Primero, calculamos  $\phi^*$  ignorando las

holguras. Luego optimizamos las holguras arreglando  $\phi^*$  en el siguiente problema de programación lineal,

$$\max \sum_{j=1}^m s_j^- + \sum_{r=1}^s s_r^+$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = \phi^* y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s;$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (19)$$

Luego, modificamos la definición previa de la eficiencia DEA orientada a *input* a la siguiente versión de orientado a *output* (Cooper, *et al.* 2004: 11-13).

La DMU<sub>o</sub> es eficiente si y solo si  $\phi^* = 1$  y  $s_i^- = s_r^+ = 0$  para todas las  $i$  y  $r$ . La DMU<sub>o</sub> es débilmente eficiente si  $\phi^* = 1$  y  $s_i^- \neq 0$  y/o  $s_r^+ \neq 0$  para alguna  $i$  y  $r$  en alguna alternativa óptima.

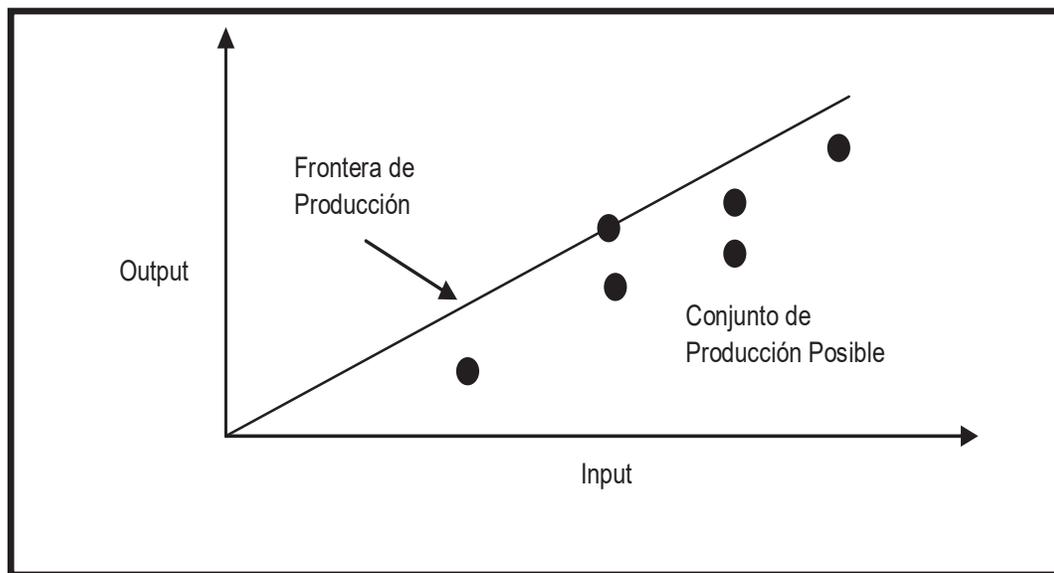
Entonces, el modelo envolvente CCR orientado a *output* (18) es el utilizado para realizar la medición de la eficiencia de las terminales portuarias de contenedores.

## 2.9 El modelo BCC (Banker, Charnes y Cooper)

Anteriormente discutimos el modelo CCR, que es construido sobre la suposición de rendimientos a escala constantes de actividades como se describe por la frontera de producción en el caso de un único *input* y un único *output* mostrado en la figura 4. Generalmente, se asume que el conjunto de producción posible tiene la siguiente propiedad: Sí  $(x, y)$  es un punto factible, entonces  $(tx, ty)$  para cualquier número positivo  $t$  también es factible. Esta suposición puede ser modificada para permitir conjuntos de producción posibles con diferentes postulados. De hecho, desde el

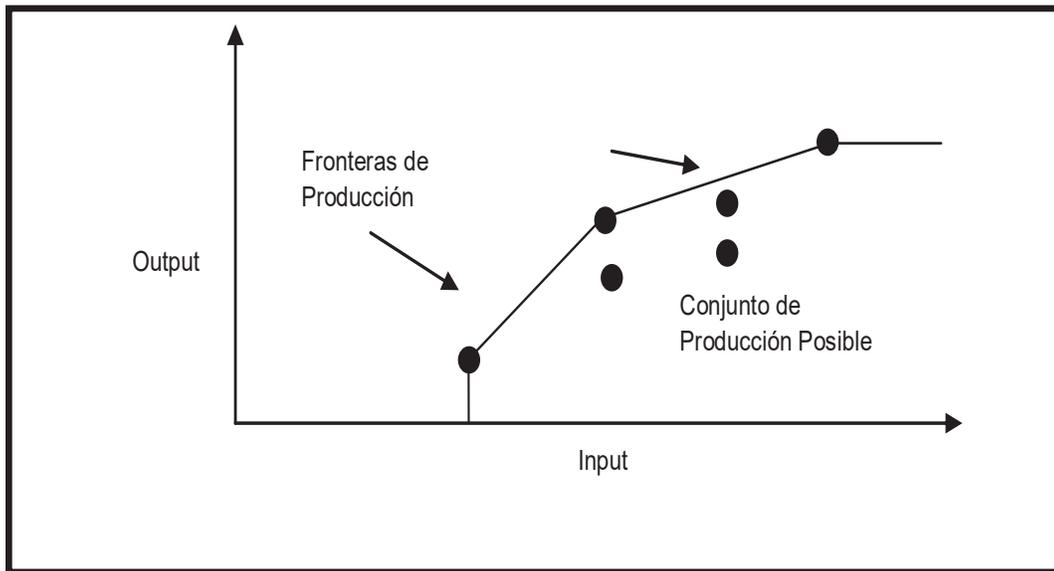
principio de los estudios DEA, varias extensiones del modelo CCR han sido propuestas, entre las cuales el modelo BCC (Banker, Charnes y Cooper) es representativo. El modelo BCC tiene sus fronteras de producción en el núcleo convexo de las DMU's existentes. Las fronteras tienen características cóncavas y lineales, mostradas en la figura 5, que guían a las caracterizaciones de los rendimientos a escala variables con (a) rendimientos a escala crecientes ocurriendo en la primera línea sólida de segmento seguida por (b) rendimientos a escala decrecientes en el segundo segmento y (c) rendimientos a escala constantes ocurriendo en el punto en donde la transición del primero al segundo segmento es realizada.

Figura 4. Frontera de producción del modelo CCR



Fuente: Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (2004).

Figura 5. Fronteras de producción del modelo BCC



Fuente: Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (2004).

Los modelos BCC y CCR se diferencian sólo en que el primero incluye la condición de convexidad  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ ,  $\lambda_j \geq 0$ ,  $\forall j$  en sus restricciones. Por eso, como podría esperarse, comparten propiedades en común y muestran diferencias (Cooper, et al., 2000: 87-91).

Se presenta a continuación el modelo BCC. Supóngase, que se tienen  $n$  DMUs donde cada  $DMU_j$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ , produce los mismos outputs en diferentes cantidades,  $y_{rj}$  ( $r = 1, 2, 3, \dots, s$ ), utilizando los mismos  $m$  inputs,  $x_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ), también en diferentes cantidades. La eficiencia de una  $DMU_o$  específica puede ser evaluada con el modelo BCC del DEA en “forma envolvente” y orientada a *output* como sigue:

$$\max \phi + \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = \phi y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s;$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad \forall i, r, j \quad (20)$$

Donde  $\varepsilon > 0$  es un elemento no Arquimedeano definido menor que cualquier número real positivo.

## 2.10 Orientación del modelo

Siguiendo a Charnes, Cooper y Rhodes (1981), la eficiencia puede ser caracterizada con relación a dos orientaciones (o direcciones) básicas, pudiendo hacer referencias a modelos:

1. **Input orientados:** buscan, dado el nivel de *outputs*, la máxima reducción proporcional en el vector de *inputs* mientras permanece en la frontera de posibilidades de producción.
2. **Output orientados:** buscan, dado el nivel de *inputs*, el máximo incremento proporcional de los *outputs* permaneciendo dentro de la frontera de posibilidades de producción.

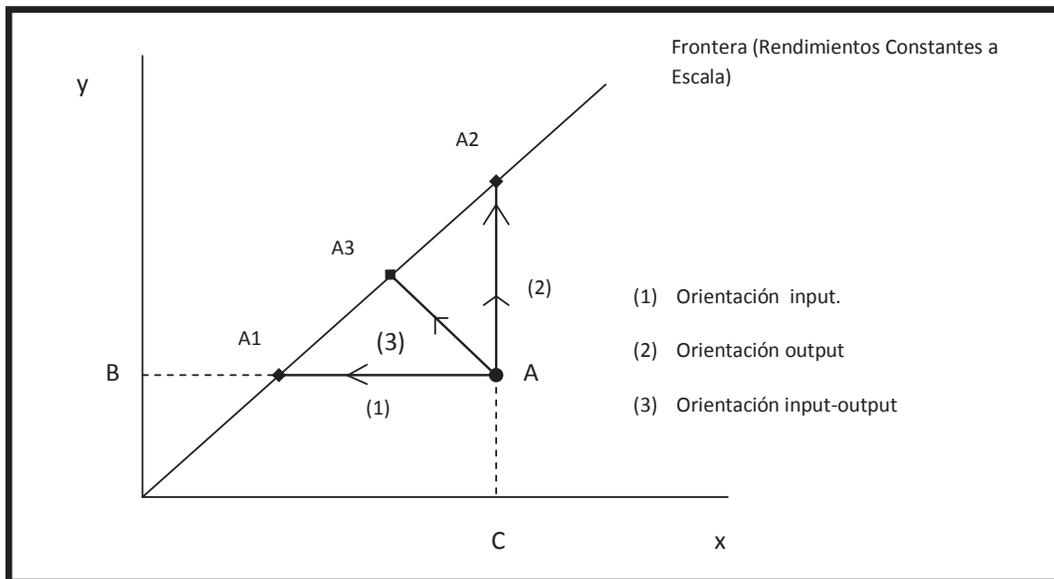
Teniendo en cuenta las orientaciones definidas, una DMU será considerada eficiente sí, y solo sí, no es posible incrementar las cantidades de *output* manteniendo fijas las cantidades de *inputs* utilizadas ni es posible disminuir las cantidades de *inputs* empleadas sin alterar las cantidades de *outputs* obtenidas (Coll y Blasco, 2006: 20-22).

En la figura 6 se ha representado, bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala, el caso de un único *input* y un único *output*, y en ella puede verse cómo la DMU A es ineficiente técnicamente, se sitúa por debajo de la frontera.

Desde el punto de vista de un modelo *input* orientado, la DMU A podría reducir la cantidad de *input*  $x$  (los *inputs* son controlables) y seguir produciendo la misma cantidad de *output*  $y$ , es decir, la DMU A debería tomar como referencia la mejor práctica de la DMU  $A_1$ . La eficiencia (técnica) de la DMU considerada vendría dada por:

$$ET_A = BA_1 / BA \quad (21)$$

Figura 6. Orientaciones en DEA



Fuente: Coll, V. y Blasco, O. M. (2006)

De igual forma, al considerar la evaluación de la eficiencia a través de modelos *output* orientados (los *outputs* son controlables), la DMU A sería calificada como ineficiente. Esta DMU podría, consumiendo la misma cantidad de *input*, producir una mayor cantidad de *output*. En este caso, la eficiencia de la DMU A vendría dada por el cociente:

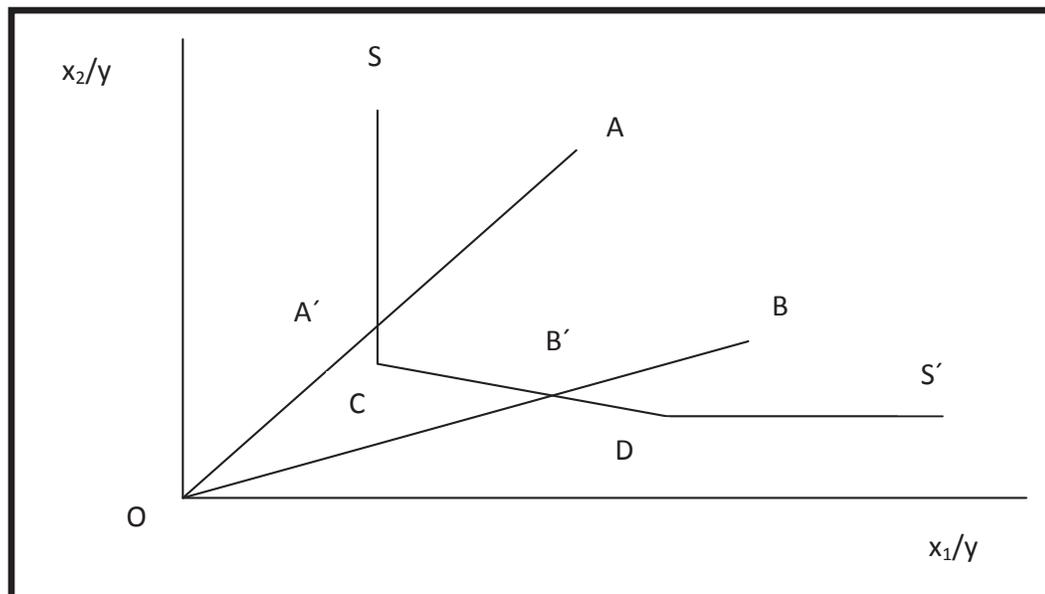
$$ET_A = CA / CA_2 \quad (22)$$

Bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala, las medidas de eficiencia técnica *input* y *output* orientadas coinciden (Coll y Blasco, 2006: 20-22).

## 2.11 Análisis slacks (holguras) de las variables

El análisis *slacks* de las variables en los modelos DEA, proporciona la dirección en la cual habrán de mejorarse niveles de eficiencia de las llamadas unidades de toma de decisión DMUs. Es así, que un valor *output slack* representa el nivel adicional de *outputs* necesarios para convertir una DMU ineficiente en una DMU eficiente. Asimismo, un valor *input slack* representa las reducciones necesarias de los correspondientes *inputs* para convertir un DMU en eficiente (Lo, *et al.* 2001), mencionado por Navarro (2005: 53).

Figura 7. Análisis slacks de las variables



Fuente: Navarro, J.C.L., (2005)

El problema del análisis *slacks* queda ilustrado en la figura anterior, donde se presentan combinaciones de *inputs* para dos empresas eficientes C y D que se encuentran sobre la frontera y para dos empresas ineficientes A y B. en términos de Farrell la eficiencia técnica de las empresas A y B se encuentra dada por  $OA'/OA$  y

OB' / OB, respectivamente. Sin embargo, es cuestionable si el punto A' es un punto eficiente, ya que podría reducirse el monto del *input*  $x_2$  usado (por el monto CA') y aún producir el mismo *output*. Esto es conocido como *input slack* en la literatura<sup>10</sup> (Coelli, *et al.* 2002), citado por Navarro (2005: 54).

## 2.12 Ventajas y desventajas de la utilización de los modelos DEA

Al igual que todos los métodos dirigidos a medir la eficiencia, los modelos DEA presentan ventajas y limitaciones. Sin embargo, en este caso las limitantes que se identifican, son propias de las que experimentan tanto las técnicas econométricas como las de programación lineal paramétrica. Mientras que las ventajas de los modelos DEA superan muchas de las limitaciones que se tienen a través de la instrumentación de los números índices o de las propias técnicas econométricas, como es el caso de considerar múltiples *inputs* y *outputs* o la propia normalización de las variables (Navarro, 2005: 54).

### *Ventajas*

Dentro de las ventajas que tienen los modelos de frontera en su instrumentación se pueden mencionar los siguientes (Mercado, 1997; Fuentes, 2003) citados por Navarro (2005):

- Es la técnica que mayor información produce a partir de los datos de entrada y salida. Aporta información útil para la gestión (grupos de comparación, seguimiento de objetivos).
- Los requerimientos de información son mínimos, tanto en las entradas como en las salidas.

---

<sup>10</sup> Algunos autores usan el término exceso de *input*.

- La posibilidad de utilizar múltiples productos e insumos, al mismo tiempo que permite la introducción de insumos discrecionales y variables de entorno y la generalización del modelo para incorporar la opinión de expertos.
- La posibilidad de no cometer errores de especificación.
- Los modelos DEA emplean una medición radial que permite tener una interpretación directa del efecto que tiene la eliminación de la ineficiencia técnica sobre costos e ingresos, respectivamente<sup>11</sup>.
- Es conceptualmente fácil de entender y su estructura matemática no requiere fundamentos más allá de la programación lineal.
- Puede ayudar a construir la información que requiere la técnica de Cobb-Douglas o la translogarítmica, proporcionando a éstas los datos puntuales de la frontera eficiente y acercar así el ajuste de una función de producción a su concepto teórico: proveer de la máxima salida potencial que una empresa o conjunto de empresas es capaz de producir con un insumo dado.
- Los modelos DEA tienen la ventaja adicional de que brindan la versión dual del problema.
- Permite asumir rendimientos variables a escala y medir la eficiencia de escala, lo cual no es posible con los métodos paramétricos.

### *Desventajas*

Como desventajas en la utilización de los modelos DEA se pueden citar los siguientes (Navarro, 2005):

- El carácter determinístico de la medición.
- El número de empresas catalogadas como eficientes es sensible al número de insumos y/o productos empleados en la estimación. Complicación de obtener un análisis de sensibilidad del modelo.
- Extensión del análisis de indicadores.

---

<sup>11</sup> La medición radial implica, desde el espacio de los insumos, la reducción equiproporcional de los insumos dado el nivel del producto. Desde el espacio de los productos, significa el crecimiento equiproporcional de los productos dado el nivel de insumos.

- Alta influencia en la frontera de pertenencia a los grupos de comparación.

En el siguiente capítulo se analizará la evolución que ha tenido tanto la economía de puertos como la aplicación de los modelos DEA para medir la eficiencia de las terminales portuarias de contenedores. Además, también se hace una revisión de la evidencia empírica contemplando los estudios que algunos expertos en la materia han realizado. De esta revisión se desprenden las variables que serán utilizadas en esta investigación para realizar las mediciones de eficiencia de los puertos de contenedores.

# **Capítulo 3. LOS MODELOS DEA EN LA EFICIENCIA DE LAS TERMINALES DE CONTENEDORES: EVIDENCIA EMPÍRICA**

El estudio y las investigaciones que involucran a los puertos es amplia y variada, existen estudios que se han realizado en torno al impacto económico que tienen los puertos hacia sus localidades, regiones y hasta la nación entera. Sin embargo, dichas investigaciones han ido evolucionando con el paso del tiempo, lo que ha representado un desarrollo en estudios del sector portuario que va desde las terminales petroleras hasta las terminales de contenedores. El crecimiento del comercio marítimo ha permitido que continuamente dichas terminales vayan creciendo y desarrollándose hasta convertirse, de alguna manera, en parte fundamental de un puerto marítimo, y esto a su vez ha desencadenado diversas investigaciones en donde se ven involucradas dichas terminales. El uso eficiente de las terminales de contenedores permite elevar la competitividad del puerto y así contribuir a la competitividad del país. Un análisis de los trabajos que se han realizado acerca de mediciones de eficiencia se aborda con la finalidad de tener una visión general.

## **3.1 Evolución de la economía de puertos**

Los estudios que analizan los puertos desde una perspectiva económica datan de los años sesenta. El interés inicial de los investigadores se centra en aspectos como análisis sobre las tarifas de las instalaciones, capacidad y políticas de inversión (Goss, 1967: 250 y Heggie, 1974: 4). El papel que juegan las infraestructuras portuarias en la actividad económica pronto genera otra corriente de investigación. Son los estudios de impacto económico, en los que los servicios portuarios se valoran en términos de cantidad de empleo creado o de reducción de costos (Waters, 1977; Chang 1978-a), citados por González y Trujillo (2006: 1).

En las décadas siguientes González y Trujillo (2006: 1) sostienen que surgen los primeros manuales sobre economía portuaria citando como ejemplo a Peston y Rees (1971); Bennathan y Walters (1979) y Jansson y Shnneron (1982). Al mismo tiempo que la literatura en materia de puertos aborda nuevos aspectos de la industria como la productividad y sus factores determinantes, como ejemplo se pueden mencionar a Suykens (1982); De Monie (1987); Tongzon (1993 y 1995-b); Talley (1994); Sachish (1996); Robinson y Everett (1997) y Fourgeaud (2000). Otros investigadores como Bobrovitch (1982); Shneerson (1981 y 1983) y Goodman (1984), comentan que las inversiones y la planificación continúan siendo objeto de análisis que tratan de determinar el tamaño óptimo de las infraestructuras, utilizando teoría de líneas de espera y programación dinámica.

La literatura sobre eficiencia en la industria portuaria es relativamente nueva (las primeras investigaciones aparecen a mediados de los años 90) y modesta, sobre todo si se compara con los estudios realizados en otros servicios públicos (electricidad, banca, sanidad, agricultura, etc.), incluido el sector del transporte, donde son numerosas las publicaciones relativas al sector ferroviario y al aéreo.

Sin embargo, en los últimos años se asiste a un avance importante de los trabajos que analizan la eficiencia y la productividad del sector portuario debido, entre otros factores, a que los puertos se configuran como un interesante caso de estudio. Los procesos de innovación tecnológica acaecidos en las industrias marítima y portuaria, y los cambios en la organización y gestión de los puertos, han condicionado una modificación en la naturaleza de las operaciones, propiciando una mayor especialización de los factores. Estos hechos han tenido un gran impacto en la productividad y en la eficiencia de las operaciones portuarias (González y Trujillo, 2006: 2-3).

Los estudios sobre la eficiencia y la productividad de los puertos pueden clasificarse en tres grupos principales. El primero está formado por trabajos que emplean indicadores parciales de productividad del sistema portuario. Los estudios que

utilizan un enfoque ingenieril y los que emplean la simulación y la teoría de líneas de espera constituyen el segundo grupo. El tercero, mucho más reciente, comprende estimaciones de fronteras tecnológicas, de las que se derivan los índices de eficiencia de las empresas portuarias. Con independencia del enfoque seguido, una característica común es el interés por desarrollar una herramienta que permita orientar la toma de decisiones, tanto desde el punto de vista empresarial como de política económica (González y Trujillo, 2006: 3).

A mediados de la década de los 90 la literatura sobre eficiencia, que ya se había aplicado a numerosas industrias, se introduce en el sector portuario. La diversidad de enfoques aplicados refleja una escasez de consenso en la determinación del método que mejor define la compleja realidad de este sector (González y Trujillo, 2006: 3).

En el ámbito portuario tan sólo algunos autores, comenzando por Estache, González y Trujillo (2002: 545-560), realizan una breve descripción de los estudios previos, cuyo único objetivo es contextualizar un trabajo empírico.

## **3.2 Análisis del sector portuario**

Los puertos no son organizaciones en las que se ofrezca un único servicio. Por el contrario, en ellos se desarrollan múltiples actividades, interviniendo en su prestación una gran variedad de agentes (autoridades portuarias, remolcadores, consignatarios, etc.).

Además, las actividades y servicios portuarios difieren entre sí en aspectos tales como la naturaleza de las operaciones que realizan (provisión de infraestructura, atraque, manipulación de mercancía, administrativas, auxiliares y atención al pasajero), los objetivos que persiguen, el grado de competencia en que se desarrollan o el nivel de regulación al que están sometidos (González y Trujillo, 2006: 13-14).

Todas las consideraciones anteriores dificultan el estudio de los puertos como una entidad homogénea. Por ello, no es aconsejable estudiar el puerto como un todo, siendo preferible centrar el análisis en una actividad concreta (Nombela y Trujillo, 1999), en un tipo de carga específico y en un número de puertos limitado (Tongzon, 1995-a, 1995-b, 2001), mencionados por González y Trujillo (2006: 14). Así pues, al menos cuando se trata de estimar funciones de producción o costos, conviene analizar una actividad determinada.

En algunos de los trabajos revisados no se aclara con precisión la actividad cuya eficiencia se analiza, lo que introduce cierto grado de confusión, ya que si bien en algunos casos se afirma que se está estudiando la eficiencia del sistema portuario, los datos empleados parecen indicar que en realidad se está evaluando la eficiencia de los servicios de prestación de infraestructura por parte de las autoridades portuarias. Es decir, en ocasiones se usa el concepto de puerto como sinónimo de autoridad portuaria. Sin embargo, esta última tan sólo es un agente más de los muchos que operan en los puertos (González y Trujillo, 2006: 14).

Por ejemplo, Tongzon (2001: 1-16) trata de medir la eficiencia de los servicios portuarios en sentido amplio, incluyendo la manipulación de mercancía, aunque como no dispone de datos sobre los trabajadores implicados en esta operación, utiliza como aproximación los trabajadores de las autoridades portuarias, que no participan en el manejo de la carga. El objeto de análisis de Martín (2002) es la actividad global de un puerto y, sin embargo, la unidad de análisis es la autoridad portuaria. Al mismo tiempo, para medir el factor trabajo incorpora tanto los trabajadores de la autoridad portuaria (unidad de análisis) como los estibadores (trabajadores que realizan la manipulación de la carga) que, a su vez, prestan sus servicios a dos agentes diferentes: empresas estibadoras (efectúan la carga y descarga) y sociedades estatales de estiba y desestiba (proporcionan trabajadores a las empresas estibadoras).

Otros trabajos que son muy claros en la determinación de la actividad analizada son los de Notteboom *et al.* (2000), y Cullinane y Song (2003: 1-18): terminales portuarias de contenedores. Aunque inicialmente el interés de Cullinane *et al.* (2004: 184-206) estaba dirigido al estudio de las terminales portuarias de contenedores individualmente consideradas, finalmente analizaron el conjunto de terminales en cada puerto, ya que los datos utilizados estaban definidos como la agregación de *inputs* y *outputs* de las terminales individuales dentro de cada puerto.

González y Trujillo (2006: 15) sostienen que Díaz (2003) analiza el sector de la estiba en su conjunto. En esta actividad operan agentes suministradores de mano de obra (sociedades estatales de estiba y desestiba, empresas estibadores y empresas de trabajo temporal) y agentes que proporcionan los equipos de capital (autoridades portuarias y empresas propietarias de las grúas).

### **3.3 Eficiencia y desempeño portuario**

Bichou y Gray (2004: 48) sostienen que la UNCTAD (1999) sugiere dos categorías de indicadores de desempeño portuario: indicadores de desempeño macro cuantificando los impactos portuarios sobre la actividad económica y los indicadores de desempeño micro evaluando relaciones de medición de *input/output* de las operaciones portuarias.

Existen muchas maneras de medir la eficiencia o productividad portuaria, aunque se reducen a tres grandes categorías: indicadores físicos, indicadores de productividad del factor e indicadores económicos y financieros (Trujillo y Nombela, 1999) mencionados por Bichou y Gray (2004: 48-49). Los indicadores físicos generalmente hacen referencia a mediciones de tiempo y están principalmente interesados con el buque (por ejemplo, tiempo de viaje del buque, tiempo de espera del buque, tasa de ocupación en muelle, tiempo de trabajo en muelle).

Algunas veces, la coordinación con los modos terrestres de transporte son medidos, por ejemplo tiempo de carga o el tiempo transcurrido entre la descarga de un buque hasta que abandona el puerto. Los indicadores de productividad del factor también tienden a enfocarse sobre el lado marítimo del puerto, por ejemplo para medir capital y mano de obra requerida para cargar o descargar bienes de un buque. De manera similar, los indicadores económicos y financieros están usualmente relacionados al acceso marítimo; por ejemplo, operar el gasto o ingreso total o excedente relacionado con el tonelaje bruto registrado o el tonelaje neto registrado, o cargos por TEUs. Los impactos portuarios en la economía son a veces medidos para valorar los impactos económicos y sociales de un puerto con su respectivo interior.

Los modelos de frontera han valorado la eficiencia portuaria dentro de un único país (Liu, 1998) y a través de diferentes países (Song *et al*, 2001), referenciados por Bichou y Gray (2004: 49). Los modelos recientes proponen o utilizan el DEA para evaluar la eficiencia portuaria (Roll, 1993: 153-161 y Valentine, 2001: 1-16). Cullinane *et al* (2002: 743-762), sugieren que la medida de un puerto o una terminal está positivamente correlacionada con su eficiencia, mientras Coto-Millán *et al* (2000: 169-174), encontraron que los grandes puertos son más probables a ser económicamente ineficientes. Tales resultados conflictivos aparentemente sugieren que la generalización es difícil y que la organización estructural compleja de los puertos es un obstáculo para conducir una válida comparación y medición del desempeño portuario Bichou y Gray (2004: 49).

Algunos enfoques ven a los puertos como organizaciones de negocios con la medición del desempeño basado en los beneficios. Por ejemplo Léonard (1990), citado por Bichou y Gray (2004: 49-50), quien analiza y compara el desempeño portuario desde una perspectiva de valor agregado. El “valor agregado” es definido como la diferencia entre ingresos portuarios y costos portuarios, y varía de acuerdo al embarque y al tipo de carga. Un índice de ajuste con coeficientes para cada tipo de embarque/carga es producido. A pesar de su originalidad, el modelo de Léonard limita la actividad portuaria a las operaciones de muelle (por ejemplo, servicios de

embarque y manejo de carga) descuidando otras actividades portuarias. También asume que todos los puertos toman la misma fijación de precios y estrategia de mercadotecnia basadas en una estimación universal del valor de tipo de carga/embarque.

Para apoyar el desarrollo económico orientado al comercio, las autoridades portuarias han estado incrementando bajo presión mejorar la eficiencia portuaria asegurando que los servicios portuarios son proveídos internacionalmente en una base competitiva. Los puertos forman un vínculo vital en la cadena de comercio total y, consecuentemente, la eficiencia portuaria contribuye de manera importante en la competitividad internacional de una nación Tongzon (1989) citado por Poitras *et al.*, (1996: 2). Ellos mismos comentan que la UNCTAD (1987) enfatizó la necesidad de mejorar y medir la eficiencia portuaria y concluyó que los estudios disponibles sobre productividad portuaria han sido totalmente insatisfactorios. El informe de la UNCTAD continúa diciendo que cualquier esfuerzo para analizar la eficiencia portuaria es excelente debido al gran número de parámetros involucrados, además de la escasez de datos confiables y actualizados. En ocasiones, la incapacidad de diferenciar factores relevantes que contribuyen a la eficiencia portuaria ha resultado en recopilación innecesaria de cantidades significantes de datos que después fueron encontrados como de uso limitado, así pues resultó en una pérdida de recursos administrativos (Tongzon, 1995-b: 245).

### **3.4 La eficiencia y los puertos/terminales de contenedores**

El análisis de eficiencia de los puertos o terminales de contenedores tiene una importante implicación tanto para el gobierno como para los operadores del puerto/terminal. Basado en la medición de la eficiencia, el gobierno es capaz de la colocación de los recursos en la costa y ofrecer fondos para mejorar la competencia total. Los operadores del puerto/terminal quieren evaluar (*benchmark*) y comparar sus propios puertos/terminales contra otros para asegurar la competitividad (Liu *et al.*, 2007: 5).

Aunque se reconoce extensamente la importancia del potencial de los puertos, un método de medición del desempeño aceptado para evaluar tales centros aún no ha sido desarrollado (Bichou y Gray, 2004: 51).

Un puerto es un punto de reunión en el cual múltiples organizaciones e instituciones interactúan en varios niveles y por eso es complejo. Los problemas siempre surgen cuando uno intenta aplicar un instrumento de análisis único para un rango de puertos y terminales. Con la acelerada tendencia de la contenerización hoy en día, las terminales de contenedores se han convertido en la representación de un puerto moderno. Debido a la gran diferencia en el proceso de operación de tráfico de diversos bienes, la estandarización de contenedores ha sido reducida. Por lo tanto, en años recientes, esto es un significativo progreso para medir la eficiencia técnica y productividad entre varias terminales de contenedores.

En particular, los métodos de frontera que se construyeron sobre las técnicas de programación matemática han sido desarrollados con aplicaciones a través de un extenso rango de sectores, incluyendo los servicios de tránsito. Un trabajo reciente de De Borger, Kerstens y Costa (2002) mencionados por Liu *et al.* (2007: 3-4) afirman que los modelos frontera han encontrado su camino en el sector del transporte, y los estudios sobre la eficiencia y productividad de casi todos los modos de transporte están apareciendo. En esta veta, el *Data Envelopment Analysis* (DEA) es uno de los enfoques más importantes para medir la eficiencia.

La eficiencia de una terminal de contenedores es un indicador esencial de la competencia portuaria para el gobierno y los administradores de operaciones, cómo medir la eficiencia y productividad llega a ser un problema clave en la investigación relacionada a los puertos. Por la complejidad y características múltiples de la actividad portuaria, utilizar un único índice o método para evaluar la eficiencia total y productividad es casi imposible. Por lo tanto, tradicionalmente los enfoques empleados por la bibliografía usualmente constan de un conjunto de indicadores

comparables. La evaluación del desempeño portuario está principalmente basada en indicadores múltiples (Liu *et al.* 2007: 4-5).

En la era de la contenerización, la actividad de la producción portuaria ha llegado a ser más análoga que antes. La competencia no sólo existe entre puertos, sino en intra-puertos. Bajo esta estructura de mercado transformado, DEA y el método de fronteras de producción estocástica han sido ocasionalmente utilizados para analizar la producción de la terminal. De ese modo un método de evaluación total de su desempeño es alcanzable (Cullinane *et al.*, 2005: 73-92).

### **3.5 Evolución en la investigación de la eficiencia en puertos/terminales de contenedores**

En las dos décadas pasadas, el DEA se ha convertido en un método popular para evaluar las eficiencias relativas de las unidades de toma de decisiones dentro de un conjunto relativamente homogéneo.

Roll y Hayuth (1993) referenciados por Liu *et al.* (2007: 5), es probablemente el primer documento que discute la aplicación del DEA en el sector portuario. Utiliza un ejemplo hipotético de 20 puertos para generar resultados simulados. Martínez-Budria *et al.* (1999: 237-253) utilizan un modelo DEA-BCC para analizar 26 puertos españoles definiéndolos como puertos de “alta complejidad”, “media complejidad” y “baja complejidad”. Viene a concluir que los puertos con “alta complejidad” parecieron ser más eficientes. En años recientes, la investigación sobre las tendencias de los puertos se enfoca más en los puertos de contenedores por sus características homogéneas.

Tongzon (2001: 113-128) argumenta que restringir el alcance del análisis a un número limitado de puertos y a un tipo específico de carga es necesario por la multiplicidad de puertos y cargas manejadas. Utiliza los modelos DEA-CCR y DEA-Aditivo para analizar la eficiencia de 4 puertos de contenedores australianos y otros

12 internacionales para el año de 1996. Después de esto, pocos artículos se han enfocado sobre los puertos de contenedores. Valentine y Gray (2001) estudian 31 puertos de contenedores del top 100 mundial en 1998. Cullinane *et al.* (2005) analizan 25 puertos de contenedores del top 30 mundial de 1992 a 1999. De la bibliografía, se encuentra que las investigaciones más recientes tienden a intercambiar las DMUs (*Decision Making Units*) o Unidades de Toma de Decisión en terminales de contenedores desde que las terminales de contenedores individuales dentro de los puertos son más adecuadas para compararse una a una que el total de puertos de contenedores (Wang *et al.*, 2002) citados por Liu *et al.* (2005: 5-6).

La teoría de la eficiencia se remonta a Farrell (1957: 252-290), quien identificó dos tipos de eficiencia, eficiencia técnica y eficiencia asignativa. Para medir la eficiencia, es prerequisite estimar la frontera de producción no observada con los enfoques paramétricos o no paramétricos. El enfoque paramétrico está basado en una forma de función específica y métodos paramétricos. El enfoque no paramétrico está construido directamente de la muestra de datos utilizando el método de programación lineal o no lineal.

El modelo DEA es un enfoque poderoso para la evaluación de todo el desempeño portuario y compara la eficiencia de diferentes puertos con la misma función de producción. Las tendencias recientes en comercio internacional han llevado hacia el incremento de la importancia de la transportación de contenedores. Esto es en gran medida por las numerosas ventajas económicas y técnicas que se tienen sobre los métodos de transporte tradicionales (Wang *et al.*, 2002: 2).

Posicionándose en la interface del transporte entre mar y tierra, los puertos de contenedores juegan un rol como pivotes en el proceso de transportación de contenedores. Los puertos modernos necesitan una cantidad significativa de inversión para desarrollar y mantener su infraestructura y superestructura. Los puertos de contenedores modernos sufren bajo presiones internas y externas. Por un lado, necesitan exhibir la competencia administrativa en el perseguimiento de una

estrategia adecuada y en la asignación de recursos escasos. Por el otro lado, muchos puertos de contenedores ya no pueden disfrutar de la libertad producida por un monopolio sobre el manejo de cargas dentro de su *hinterland* (interior) (Wang *et al*, 2002: 1-2).

### **3.6 DEA y desempeño de los puertos/terminales de contenedores**

El Análisis Envolvente de Datos (DEA) es uno de los enfoques más importantes para medir la eficiencia. Desde su llegada en 1978, este método ha sido extensamente utilizado para analizar la eficiencia relativa, y ha cubierto una extensa área de aplicaciones y extensiones teóricas. También se han producido varias aplicaciones de DEA a la industria portuaria (Wang *et al*, 2002: 1-2).

Comparado con las mediciones de desempeño portuario tradicional, las funciones DEA inherentes lo hacen posible para capturar el desempeño total de una terminal de contenedores y comparar la eficiencia de diferentes terminales de contenedores. Los resultados del DEA pueden proveer un *benchmark* para operadores y propietarios de terminales, así los operadores ineficientes pueden aprender exactamente donde caen sus deficiencias y cómo, por lo tanto, podrían mejorar su producción. Además, los resultados derivados de un DEA pueden tener demasiadas implicaciones políticas y gerenciales.

Cuando el DEA es aplicado, es necesario tener precaución en la elección de la DMU. Es sólo razonable comparar diferentes unidades con las funciones de producción similar. En otras palabras, sería una pérdida de tiempo comparar un puerto de contenedores con una terminal petrolera.

Sólo la eficiencia o ineficiencia técnica de terminales puede ser normalmente medida por DEA, más que cualquier eficiencia o ineficiencia asignativa. Esto es por los diferentes sistemas de precios y políticas portuarias. Este argumento es altamente

apoyado por el hecho de que la mayoría de los estudios previos se enfocan en la eficiencia técnica más que en la asignativa (Wang *et al.*, 2002: 3-10).

Las variables *input* y *output* las cuales son diferentes han sido seleccionadas por diversos autores para construir sus modelos DEA. La elección de las variables *input* y *output* son de gran significancia para la aplicación del DEA porque “la identificación de los *inputs* y los *outputs* en la valoración de las DMUs son tan complicadas como cruciales” (Thanassoulis, 2001: 1-277). Combinar la teoría de la producción tradicional bajo el marco teórico de la microeconomía y las características de la producción portuaria, se argumenta que dada la condición de que los datos están siempre disponibles (lo que en realidad no es cierto), las variables que contienen información sobre recursos humanos (como cuántos estibadores y personal administrativo, etc), recursos naturales y recursos hechos por el hombre (como área de la terminal, número de grúas, número de muelles para contenedores, número de remolcadores, etc) deberían ser construidos en los modelos DEA como variables *input*. Las variables *output* deberían incluir variables de flujo de carga (como cantidad de carga utilizada por los contenedores), la calidad del servicio al cliente (como el tiempo de retraso de un buque al puerto, etc). Sin embargo, como se puede esperar, la elección de las variables de *input* y *output* también son influenciadas, en un sentido práctico, por la disponibilidad de datos (Wang *et al.*, 2002: 15-16).

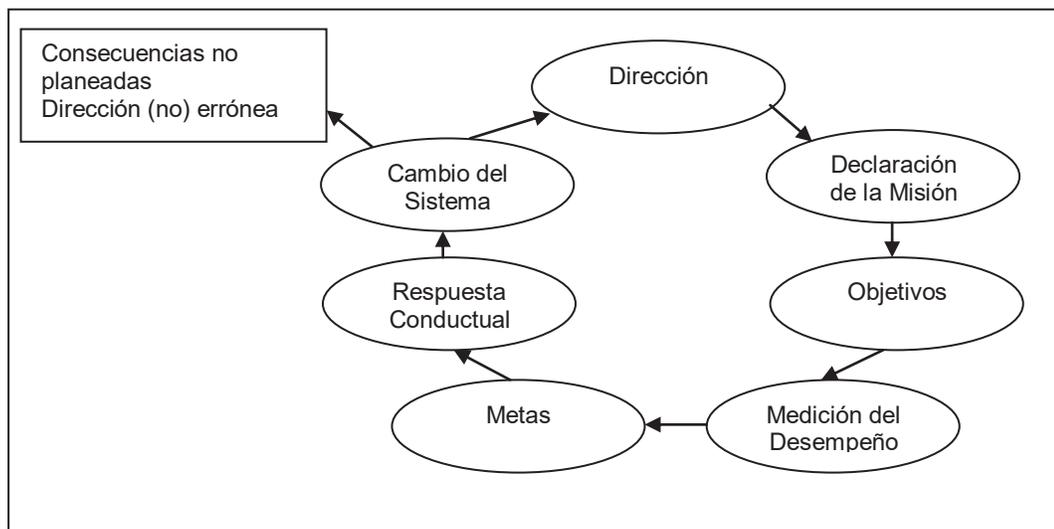
Talley (1994), citado por Wang *et al* (2003: 700), va más allá intentando construir un indicador de desempeño único para evaluar la eficiencia de un puerto. Esto reduce la desventaja de los indicadores múltiples. Comparado con las operaciones portuarias tradicionales, la contenerización ha mejorado de manera importante el desempeño de la producción portuaria por dos razones. Para obtener economías de escala y de alcance, compañías de líneas navieras y puertos de contenedores están, respectivamente, dispuestos a desplegar los sistemas de manejo eficiente de contenedores y buques de contenedores. Al hacerlo, la productividad portuaria ha sido altamente mejorada. Por el otro lado, muchos puertos de contenedores ya no disfrutaban la libertad producida por un monopolio sobre el manejo de carga desde su

*Hinterland*; no sólo están preocupados si ellos pueden simplemente manejar físicamente carga, sino también si pueden competir por esa carga. (Cullinane *et al.*, 2004: 185).

### 3.7 Medición de la eficiencia portuaria de contenedores

La medición del desempeño juega un papel importante en el desarrollo de una compañía (o cualquier otra forma de unidad de toma de decisiones organizacional, DMU). Dayson (2000), citado por Cullinane *et al.* (2004: 185-186) afirma que la medición del desempeño juega un papel esencial en la evaluación de la producción porque puede definir no sólo el estado actual del sistema sino también de su futuro, como se muestra en la figura 8. La medición del desempeño ayuda a mover al sistema en la dirección deseada través del efecto ejercido por las respuestas de comportamiento hacia esas mediciones del desempeño que existen dentro del sistema.

Figura 8. Mediciones de desempeño y de desarrollo organizacional.



Fuente: Cullinane, K., Song, D. W., Ji, P., Wang, T-F. (2004)

En años recientes, DEA ha sido utilizado para analizar la producción portuaria. Comparado con los enfoques tradicionales, DEA tiene la ventaja de que el análisis puede ser dado para múltiples *inputs* y *outputs*. Esto concuerda con las

características de la producción portuaria, para eso existe, por lo tanto, la capacidad de proveer una evaluación total del desempeño portuario Cullinane *et al.* (2004: 186).

### 3.8 Mediciones portuarias de input y de output

Varios estudios han comparado puertos utilizando los criterios seleccionados de eficiencia y desempeño. En el análisis DEA, ser eficiente involucra combinar *inputs* disponibles para alcanzar el más alto nivel de *outputs* comparando las DMUs. Los puertos son DMUs relevantes. Utilizar DEA para medir eficiencia requiere *inputs* y *outputs* portuarios a ser precisamente especificados. En contraste a las técnicas econométricas convencionales, una característica importante del DEA es que más de una medida *output* puede ser especificada. Un número de mediciones diferentes de *output* portuario están disponibles, dependiendo de qué características de operación portuaria están siendo evaluadas (Poitras *et al.*, 1996: 3).

Las variables *input* y *output* para medir la eficiencia de puertos o terminales de contenedores tiende a exhibir una clase de diversidad en la literatura, debido a la escasez de un criterio uniforme de evaluación del desempeño. Chang (1978: 300) sugiere que los *inputs* de un puerto deberían de incluir el valor monetario real de los activos netos de un puerto, el número de trabajadores por año y el número promedio de empleados por mes cada año. Dowd y Leschine (1990: 110) argumentan que la productividad de una terminal de contenedores depende del uso eficiente de tierra, mano de obra y equipo. En años recientes, sin embargo, muchos estudios sobre terminales de contenedores tienden a presentar una clase de uniformidad. Mientras Wang (2004), mencionado por Liu *et al.* (2007: 11) dice que las variables *input* y *output* deberían reflejar el objetivo y el proceso de producción de una terminal de contenedores tan precisa como sea posible.

Mientras que de pasar el proceso de producción de la terminal de contenedores, la actividad de la terminal es utilizar el trabajo y el equipo para alcanzar las misiones de carga y descarga de contenedores. En este proceso, las grúas pórtico de muelle,

basándose en la transferencia de contenedores entre la orilla y el buque, es el equipo más importante en decidir la eficiencia de un puerto (Tongzon, 1995: 248). Antes de que los contenedores sean cargados o después de que son descargados, para manejarlos efectivamente, las carretillas pórtico son otro equipo esencial. Durante este proceso, el factor “tierra” puede estar aproximado como la longitud total de muelle de las terminales. Otros factores *input*, como horas de trabajo en muelle, posición geográfica, tiempo de espera en muelle y otros equipos, no son incluidos desde la consideración de la disponibilidad de datos y el evitar los problemas de multicolinealidad.

En cuanto al *input* mano de obra, la variable no está directamente incorporada por las siguientes consideraciones: a) analizando los componentes de costo, la mayoría de los costos son atribuidos a los activos capitales, como establecimiento fijo y tecnología de información, el salario de los trabajadores es muy fraccional. b) en la práctica moderna, mucha operación durante el manejo de los contenedores se externaliza a otras compañías como las de logística de tercera parte. Por lo tanto, los datos estadísticos son usualmente incorrectos. c) en el área de la contenerización, muchas operaciones de las obras están estandarizadas, las diferencias de eficiencia causadas por la mano de obra no son muy significantes (Liu *et al.* 2007: 11-12).

Como es apuntado por Notteboom *et al* (2000), citado por Liu *et al.* (2007: 12), que una relación cercana y estable existe entre el número de grúas pórtico y el número de trabajadores portuarios en una terminal de contenedores, el *input* mano de obra podría ser derivado por una función de las instalaciones de la terminal.

En cuanto al lado de los *outputs*, se seleccionará la cantidad de TEUs utilizados como el índice de *output* de acuerdo con el tratamiento convencional, está variable es la más importante y el indicador más aceptado para comparar los puertos y terminales y también el contenedor es la unidad básica de manejo operacional. Otra consideración es que la cantidad de TEUs utilizados es el indicador más apropiado y

analíticamente más manejable de la efectividad de la producción de un puerto (Cullinane *et al.*, 2005), mencionados por Liu *et al.* (2007: 12).

### **3.9 Principales resultados sobre el uso de los modelos DEA en las terminales portuarias**

Es importante resaltar los resultados que algunos autores han obtenido en la aplicación del DEA para medir el grado de eficiencia de las terminales portuarias de contenedores.

Antes de observar los resultados generados en las investigaciones es preciso hacer notar que la eficiencia es un concepto relativo: la eficiencia de una empresa se mide en relación a la frontera que, a su vez, es definida por el conjunto de empresas. Esto significa que cualquier cambio en el conjunto de empresas analizadas, como la inclusión o exclusión de un puerto, hará variar los índices de eficiencia calculados. De este modo, una empresa que en un entorno nacional se muestra altamente eficiencia, podría serlo menos si se le considera en un marco internacional.

Poitras *et al.* (1996: 10-13) utilizan los modelos DEA CCR y Aditivo<sup>12</sup>. Los resultados del modelo CCR identifican puertos más ineficientes que el modelo Aditivo. Los dos puertos más ineficientes identificados con el modelo Aditivo, Fremantle y Manila, también son identificados como más ineficientes por el modelo CCR. Los otros dos puertos identificados como ineficientes utilizando el modelo Aditivo, Jakarta y Montreal, mejoraron su rango con el CCR, porque algunos puertos como Baltimore, Le Havre y Wellington tuvieron valores de eficiencia relativa más bajos. La primera característica de los cuatro puertos juzgados como ineficientes con ambos modelos DEA, es el tamaño; esos cuatro puertos están entre los más pequeños en términos del número de contenedores manejados. 10 de los 23 puertos encontrados como eficientes utilizando el CCR, el grupo de los puertos más eficientes, no tienen

---

<sup>12</sup> El modelo DEA Aditivo se caracteriza por el uso de rendimientos variables a escala, que es más flexible y, normalmente, requerirá un gran número de DMUs (puertos) para definir la frontera de eficiencia.

ninguna característica visible. Los grandes puertos como Singapur y Hong Kong, y los pequeños puertos como Brisbane y Bombay, son incluidos en el grupo. Cuando se encuentran puertos ineficientes utilizando el CCR, grandes puertos como Rotterdam y Zeebrugge no exhiben grandes desviaciones de la frontera eficiente.

Los niveles de los *inputs* en Fremantle fueron severamente consistentes con los niveles de eficiencia, pero el *output*, ambos en términos del número de contenedores manejados por muelle-hora y el movimiento de contenedores, podrían haber sido significativamente más altos. Presumiblemente, esto indica que el puerto, cuando carga y descarga buques, es eficiente, pero existe una cantidad insuficiente de tráfico arribando al puerto, resultando en una capacidad ocupada. Jakarta provee diferente información, todos los *inputs* son ineficientes excepto el número de grúas pórtico. La frecuencia de las escalas de buques depende de los tipos de buques que utilizan el puerto. La diferencia importante entre lo observado y el nivel de eficiencia indica que los tipos de buques que son utilizados en Jakarta descargan pocos contenedores.

Tongzon (2001: 116) confirma que el tamaño y tipo de puerto no son factores determinantes del grado de eficiencia portuaria (dentro de los puertos más eficientes hay tanto puertos *hubs* como *feeders*)<sup>13</sup>.

Cullinane, Song y Gray (2002: 759-760) encuentran evidencia de que el paso de un sistema de propiedad pública a privada mejora la eficiencia económica de las terminales, lo que justifica ciertos programas desarrollados en los puertos asiáticos que tratan de captar inversiones privadas.

Wang *et al.* (2003: 706-710) utilizan los modelos DEA-CCR, DEA-BCC y FDH<sup>14</sup> para medir la eficiencia. 9 de las 57 terminales son identificadas como eficientes con el modelo DEA-CCR orientado a *input*, comparado con 23 y 37 terminales eficientes

---

<sup>13</sup> Puerto Hub: Puerto central o núcleo.

Puerto Feeder: Puerto alimentador.

<sup>14</sup> FDH: *Free Disposal Hull* (Núcleo de Libre Disposición)

con los modelos DEA-BCC orientado a *input* y FDH, respectivamente. Un modelo DEA con rendimientos constantes a escala provee información de eficiencia técnica pura y eficiencia de escala, mientras un modelo DEA con rendimientos variables a escala identifica únicamente eficiencia técnica pura.

La eficiencia de las diferentes terminales de contenedores dentro del mismo puerto y la eficiencia del puerto como un todo (acumulado) puede ser demasiado similar (como el caso de Busan, Corea y Manila, Filipinas) o demasiado diferente (como el caso de Rotterdam, Holanda y Antwerp, Bélgica). La primera puede ser explicada por el hecho de que las diferentes terminales dentro del mismo puerto podrían aprender de la mejor práctica de sus competidores intra-puerto, especialmente cuando ellos tienen condiciones de operación similar. La segunda puede ser contada por diferentes situaciones de las terminales dentro del mismo puerto.

Una de las funciones fundamentales de ambas metodologías, DEA y FDH, es el diagnóstico. Esto constituye una forma de investigar y experimentar, y facilitar el aprendizaje (Epstein y Henderson, 1989). Tomando la terminal portuaria de Hong Kong (Modern Terminal Limited, MTL), como un ejemplo para analizar, se puede ver que esta terminal podría mejorar la eficiencia de su producción bajo las suposiciones implícitas en los diferentes modelos de medición de desempeño. Bajo la suposición de los rendimientos constantes a escala (DEA-CCR) y los rendimientos variables a escala (DEA-BCC) un escenario podría ser que la longitud del muelle de esta terminal debería ser reducida a 900 m y 1167 m, respectivamente. Sobre las bases de los resultados del modelo FDH esta terminal necesita hacer nada para mejorar su eficiencia porque ya es eficiente. Un análisis similar también puede ser hecho para la variable del área de la terminal y las demás variables consideradas como *inputs*.

Cullinane, Song, Ji y Wang (2004: 191-204) utilizan los modelos DEA-CCR y DEA-BCC para medir la eficiencia de los puertos de contenedores. La eficiencia de una terminal de contenedores difiere significativamente con el tiempo. Tomando el

ejemplo de Hong Kong, su eficiencia varía de 72.45 en el año 1992 a 100 durante 19927 y hasta 1999.

Algunos puertos mundiales renovados como Rotterdam, Hamburgo y Antwerp se han encontrado como ineficientes en producción. Esto contrasta con la relativamente alta eficiencia asociada con puertos de contenedores de escala más pequeña como Keelung y Colombo. Una investigación más a fondo revela que la infraestructura y el equipamiento se han mantenido relativamente estables en el último grupo de puertos, mientras Rotterdam, Hamburgo y Antwerp han invertido activamente en una o ambas para incrementar y mejorar su capacidad de manejo de contenedores. La ineficiencia relativa de los últimos es probablemente causada por la sobrecapacidad en el corto plazo, al intentar mantener, alcanzar e incrementar su competitividad, más que por cualquier falta de gestión.

Wang (2005: 15-21) en su trabajo acerca de la eficiencia de los puertos de contenedores en Europa, utilizando el DEA con un análisis de cruce seccional, encuentra que la eficiencia promedio de las terminales de contenedores localizadas en diferentes regiones de Europa difiere unas de otras en relación al tamaño (puertos pequeños o grandes), y revela que la eficiencia promedio en los puertos de las Islas Británicas es más alto que aquellos ubicados en otras regiones, mientras que los localizados en los países de Escandinavia y Europa del Este tienen el promedio de eficiencia más bajo. Este resultado debería ser visto con gran precaución, teniendo en cuenta que algunas terminales de contenedores no fueron incluidas en la muestra debido a la indisponibilidad de los datos y que éstas probablemente ejerzan una influencia positiva o negativa en los estimados de la eficiencia de aquellos que permanecieron en la muestra. Sin embargo, este acontecimiento es interesante en que tal diferencia podría indicar que los factores más complicados ejerzan una influencia significativa sobre la eficiencia de los puertos de las regiones. Tales influencias podrían ser: el nivel de desarrollo económico general, la competencia comparativa de administración, estilo/cultura organizacional, accesibilidad hacia/para

las líneas de comercio mayores o simplemente el nivel de competencia o la proximidad geográfica entre puertos dentro de una región en particular.

Tongzon y Heng (2005: 419) también muestran relación positiva entre la eficiencia técnica y la privatización en la industria portuaria y entre aquella y el tamaño de las terminales portuarias. Afirman que la autoridad portuaria únicamente debe mantener funciones de regulación y favorecer la introducción de inversión privada en las operaciones portuarias.

En términos generales, se puede afirmar que las terminales y autoridades portuarias han mejorado su rendimiento, ya que la mayoría de los trabajos encuentran evidencia de aumento de la eficiencia, de la productividad o de introducción de progreso tecnológico. Otro resultado genérico es que las actividades más analizadas son la prestación de servicios de infraestructura, desarrollada por las autoridades portuarias, y las operaciones de carga y descarga, que efectúan las terminales portuarias (González y Trujillo, 2006: 27).

El análisis de eficiencia que realizan Liu, Liu y Cheng (2007: 13-16) aplicando el DEA explora la eficiencia técnica total (OTE, por sus siglas en inglés), eficiencia pura técnica (PTE, por sus siglas en inglés) y la eficiencia a escala (SE, por sus siglas en inglés)<sup>15</sup>, utilizando los modelos CCR (Charnes, Cooper y Rhodes) y BCC (Banker, Charnes y Cooper), y evaluando 47 terminales de contenedores para los años de 2003 y 2004.

En 2003, el resultado promedio OTE es 0.452, sugiriendo que una proporción considerable de los *inputs* es desechada en la industria de las terminales de China. Mientras que los resultados de la PTE y SE son 0.705 y 0.672, respectivamente. Ello indica que la utilización de sus recursos existentes y la expansión en la escala de producción necesitan ser mejoradas. En 2004, el valor promedio alcanzado es de

---

<sup>15</sup> OTE: *Overall Technical Efficiency*.  
PTE: *Pure technical Efficiency*.  
SE: *Scale Efficiency*.

0.591, indicando que el uso ineficiente de inputs es reducido; y los valores de la PTE y SE han incrementado a 0.743 y 0.791, respectivamente. Esto es debido al mejoramiento en la práctica administrativa de la industria total, además del rápido incremento en la demanda del mercado.

La mayoría de las terminales eficientes son de los puertos más grandes como Shanghai y Shenzhen, indicando que los puertos grandes podrían tener un efecto positivo en la eficiencia técnica de sus terminales por la cercanía con el mercado de las navieras. No solo el resultado muestra los rendimientos crecientes a escala presentados en las terminales chinas sino que el efecto de la economía a escala parece estar cayendo gradualmente. Por lo tanto, la eficiencia será mayor si las construcciones a gran escala de las terminales se aceleran en el futuro.

Después de aplicar el modelo CCR orientado a *output* y el modelo BCC a los *inputs* y *outputs* seleccionados, So, Kim, Cho, Kim (2007: 494-500) muestran los resultados del análisis de eficiencia a los 19 puertos de contenedores. Para mejorar, prácticamente, la eficiencia de los puertos de contenedores, incrementar los *outputs* podría ser más apropiado que disminuir los inputs dados. Los índices de eficiencia de los puertos de Shanghai, Shenzhen, Xiamen, Hongkong y Kaohsiung son iguales a 1 en el modelo CCR, y los otros tres puertos de contenedores de Ningbo, Tianjin y Keelung son iguales a 1 en el modelo BCC, pero son ineficientes en el modelo CCR. Por otro lado, los puertos de contenedores que tienen índices menores o diferentes de 1 son ineficientes en las operaciones comparadas con los anteriores puertos en la frontera eficiente. Los puertos de contenedores ineficientes tienen un grupo de puertos como conjunto de referencia para realizar un *benchmarking*.

Los resultados de la comparación entre los puertos de contenedores muestran que la eficiencia de los mismos en China y Taiwan es relativamente más alta que otros, por ejemplo, los puertos de Japón son menos eficientes. El índice de eficiencia del puerto de Busan en Corea está por encima del promedio y el puerto de Gwangyang está por

debajo del promedio, indicando que los dos puertos de contenedores muestran diferencias significantes incluso en el mismo país.

Por lo tanto, necesitamos resolver las causas de la ineficiencia y cómo mejorar la eficiencia de los puertos anteriores. El valor de la eficiencia del puerto de Busan es de 0.830, que es menor al valor 0.995 de la escala de eficiencia. Así que, podría ser verdad que la ineficiencia puede ser causada por la eficiencia pura técnica más que por la eficiencia de escala. Consecuentemente, el puerto de Busan necesita tomar el *benchmarking* del conjunto de referencia como Shanghai (0.391), Shenzhen (0.274), entre otros, para mejorar su eficiencia So *et al* (2007: 494-500).

Ahora bien, para evaluar los valores objetivo para los *inputs* y *outputs* que hacen a Busan un puerto eficiente, se necesita proyectar los valores actuales para *inputs* y *outputs* en la frontera eficiente y expresarlos como la combinación positiva de DMUs en el conjunto de referencia. El puerto de Busan debería disminuir en 9.39% los equipos en patio y aumentar en 20.43% la cantidad de contenedores utilizados (movidos) para ser eficiente.

Por otro lado, el puerto de Gwangyang tiene el valor de eficiencia de 0.411 y tiene a Xiamen (0.643) y Tianjin (0.357) como conjunto de referencia. Además, para que este puerto sea eficiente, debería ser capaz de manejar 3,208,236 TEU incrementando en un 143.04% su cantidad de contenedores utilizados (movidos). La principal razón por la cual el puerto de Gwangyang tiene una cantidad de contenedores movidos baja es porque al parecer aún existe una escasez de tecnología y *know-how*. Esto es por el retraso del desarrollo del complejo industrial y una escasez de políticas gubernamentales. Por lo tanto, parece que este puerto necesita más tiempo para obtener su poder competitivo internacional acumulando *know-how* y tecnología So *et al* (2007: 494-500).

Estos hallazgos son particularmente informativos para los hacedores de política y las personas que toman decisiones corporativas. Por ejemplo, estos acontecimientos

proveen apoyo teórico para la tendencia incremental hacia la construcción de puertos de contenedores a gran escala (mega puertos) que están progresando mundialmente. Los comerciales, políticos y las personas que toman decisiones necesitarán estudiar cuidadosamente su conjunto particular de circunstancias y su situación general.

### **3.10 Definición de variables y orientaciones de los modelos DEA**

Las variables *input* y *output* deberían reflejar los objetivos y procesos actuales de la producción portuaria de contenedores tan precisamente como sea posible. Los objetivos de un puerto son una consideración crucial para definir las variables para medir la eficiencia. Por ejemplo, si el objetivo de un puerto es maximizar sus beneficios, entonces el empleo o cualquier información sobre la mano de obra deberían ser contados como una variable *input*. Sin embargo, si el objetivo de un puerto es incrementar el empleo, entonces la información sobre la mano de obra debería ser contada como una variable *output* (Cullinane *et al.* 2004: 189).

Como las líneas navieras son los clientes más importantes de un puerto de contenedores, la transferencia de carga a través de un muelle entre el buque y la orilla, fundamentalmente decide la eficiencia de un puerto, y es vital para su posición competitiva. En este proceso de producción (la operación de transferencia en el muelle), la pieza más importante del equipo es la grúa de pórtico. Como un área de almacenaje, el patio de contenedores actúa como un amortiguador entre el mar y el transporte terrestre o transbordo. La medida de un buque es frecuentemente miles de veces la medida de los vehículos terrestres que llevan la carga hacia y desde un puerto. Como tal, el uso de un espacio para almacenaje es inevitable. Las piezas principales del equipo utilizadas dentro de un patio de contenedores son las grúas pórtico en patio y las carretillas pórtico. Dowd y Leschine (1990: 109) argumentan que la producción de una terminal de contenedores depende del uso eficiente de la mano de obra, tierra y equipo. Dadas las características de la producción portuaria

de contenedores, la longitud total de muelles y el área de la terminal son las *proxies* más adecuadas para el factor *input* “tierra” y el número de grúas pórtico en muelle, el número de grúas pórtico en patio y el número de carretillas pórtico son las *proxies* más adecuadas para el factor *input* “equipo”. Las mediciones de esas variables deberían ser incorporadas en los modelos como variables *input*.

Por otro lado, la cantidad movida de contenedores es incuestionablemente el indicador más importante y aceptado como *output* de un puerto o terminal. Casi todos los estudios previos la tratan como una variable *output*, porque relaciona estrechamente las instalaciones necesarias relacionadas a la carga y servicios y es la base principal sobre la cual los puertos de contenedores son comparados, especialmente en la valoración de su medida relativa, magnitud de inversión o niveles de actividad (Cullinane, *et al.*, 2004: 190).

Las definiciones científicas de las variables *input* y *output* son cruciales para la aplicación del DEA. Esto es porque especificar variables erróneas o mal definidas para recolección y análisis inevitablemente guiará al surgimiento de conclusiones erróneas. Las variables *input* y *output* deberían reflejar los actuales objetivos y procesos de producción de un puerto de contenedores lo más preciso posible. El desempeño observado de un puerto puede estar estrechamente relacionado a su objetivo. Por ejemplo, un puerto es más probable que utilice lo más novedoso, equipo caro para mejorar su productividad si su objetivo es simplemente maximizar la cantidad de carga utilizada. Del otro lado, un puerto puede estar dispuesto a utilizar el equipo más barato si su objetivo es simplemente maximizar sus beneficios.

Los objetivos de un puerto, por lo tanto, son cruciales para la definición de las variables para medir la eficiencia. Por ejemplo, si el objetivo de un puerto es maximizar sus beneficios, entonces el empleo o cualquier otra información acerca de la mano de obra deberían ser contados como una variable *input*. Sin embargo, si el objetivo de un puerto es incrementar el empleo, éste debería ser contado como una variable *output*.

Por esto, el principal objetivo de un puerto se supone que sea la minimización del uso de *input(s)* y la maximización de *output(s)*. Por la extrema dificultad de obtener datos confidenciales que con frecuencia son inconsistentes entre las entidades corporativas, naciones, etc.

Ya que la variable *output* de una terminal de contenedores es preocupante, la cantidad de contenedores movidos es incuestionablemente la más importante y el indicador más aceptado de un puerto o terminal de contenedores. Casi todos los estudios previos la tratan como una variable *output*, porque se relaciona estrechamente con la necesidad de las instalaciones y servicios relacionados con la carga y es la base principal para que los puertos de contenedores sean comparados, especialmente en la valoración de su tamaño relativo, magnitud en la inversión o los niveles de actividad. Con mayor importancia, también forma las bases para la generación de ingresos de un puerto o terminal de contenedores. Otra consideración final, extremadamente pragmática, es que la cantidad de contenedores movidos es el indicador más apropiado y manejable para la producción portuaria.

Del otro lado, una terminal de contenedores depende crucialmente del eficiente uso de la mano de obra, tierra y equipo. La longitud total de muelle, el número de grúas pórtico, el número de grúas en patio y el número de carretillas pórtico han sido consideradas para ser los factores más adecuados a ser incorporados en los modelos como variables *input*. Otras variables *input* que se pueden influir en la eficiencia son: ocupación del muelle, accesibilidad al muelle, proximidad a las rutas de comercio, horas de operación de las grúas, diferentes velocidades de manejo de las grúas en patio y de barco a tierra, antigüedad del equipo y su mantenimiento, el capital invertido en una terminal y asociado al equipo, intercambio promedio de contenedores por buque y la profundidad en el muelle. Sin embargo, el problema práctico de obtener datos de cada una de esas variables es probablemente insuperable (Wang, 2005: 10-13).

Los modelos DEA pueden ser distinguidos de acuerdo a si son orientados a *input* u orientados a *output*. La primera está estrechamente relacionada a los problemas gerenciales y operacionales, mientras que el segundo está más relacionado a la planeación y estrategias. Ambas orientaciones tienen su utilidad en el contexto de la industria portuaria. En la medida en que se trate de modelos orientados a *input*, la industria portuaria está asociada normalmente con instalaciones de larga vida y un horizonte de planeación a largo plazo y una vez que el puerto es construido, su output es aproximadamente fijo dentro de algún rango. Un puerto normalmente es capaz de predecir aproximadamente su cantidad de carga utilizada de contenedores para el siguiente año al menos. Esto es porque un puerto de contenedores tiene una base de clientes estable de líneas navieras. En el corto plazo, las terminales de contenedores deberían incluso ser capaces de predecir los inminentes cambios dramáticos. Una terminal de contenedores también puede intentar predecir su cantidad de carga utilizada de contenedores futura estudiando los datos históricos o los desarrollos económicos regionales. En este caso, cómo utilizar eficientemente los *inputs* es la clave para ahorrar costos en la producción portuaria.

Por otro lado, con la rápida expansión de los negocios globales y el comercio internacional, muchos puertos de contenedores deben revisar con frecuencia su capacidad para asegurar que pueden proveer con satisfacción servicios a los usuarios del puerto y mantener su límite competitivo. Algunas veces, la necesidad para construir una nueva terminal o incrementar la capacidad es inevitable. Sin embargo, antes de que un puerto implemente tal plan, es de gran importancia para ellos saber si ha utilizado totalmente sus instalaciones existentes y que el *output* ha sido maximizado dado el *input*. Desde este punto de vista, el modelo orientado *output* provee un *benchmark* para la industria de contenedores. (Cullinane *et al.*, 2004: 191). La literatura anteriormente revisada sobre medidas de eficiencia aplicadas al sector portuario está dando la oportunidad de profundizar en el conocimiento de esta industria.

Los puertos son organizaciones complejas, donde se dan cita operadores que se desarrollan actividades de diversa naturaleza, tienen objetivos diferentes y están sujetos a competencia y regulación dispares. Por ello, no es conveniente analizar el puerto globalmente, sino que es preferible centrar el estudio en una actividad concreta, que debe estar claramente especificada (González y Trujillo, 2006: 28).

Después de esta revisión teórica se realiza un resumen en donde se exponen los autores y el tipo de indicadores tanto *inputs* como *outputs* que manejan cada uno de ellos. Esto nos permite observar más claramente cuáles indicadores se han utilizado con mayor frecuencia para medir la eficiencia portuaria de contenedores y que son elegidos de acuerdo al criterio anterior. *Ver tablas 1 y 2.*

Cuadro 1. Resumen de indicadores input empleados según frecuencia para medir la eficiencia portuaria

Indicadores																				
Input																				
Autor	Longitud del Muelle	Superficie de la Terminal	Número Total de Guías	Número Total de Trabajadores	Capital	Uniformidad de Carga	Número de Muelles por Contenedor	Tiempo de Retraso**	Escalas del Buque	Número de TEU*** en Guía/Muelle/Hora	Mezcla de Contenedores de 20' y 40'	TEU/Muelle/H	Cargos**** Portuarios	Manejo de Carga	Longitud Total de Guías	Cargas por Escala/Buque	Productividad de la Red de Muelles	Horas de Trabajo	Número de Carretillos Póntico	
Sala y Meddal (2004)	X	X	X	X																
Roll y Hayuth (1993)			X	X	X															
Tongzon (2001)		X	X	X			X	X												
Valentine y Gray (2001)	X																			
Poitras et al. (1996)								X	X	X	X	X	X							
Park y De (2004)	X									X				X						
Park (2005)			X	X											X	X	X			
Song y Sin (2005)	X	X	X															X		
So, Kim, Cho & Kim (2007)	X	X	X																	
Cullinane, Song, Ji y Wang (2004)	X	X	X																	X
Wang (2005)	X	X	X																	
Wang, Cullinane y Song (2003)	X	X	X																	X
Liu, Liu y Cheng (2007)	X		X																	
UNCTAD (1976)				X				X	X	X	X	X	X							X
<b>FRECUENCIA TOTAL</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>

\* Un tipo de grúa utilizada en el manejo de contenedores; la cual es motorizada, montada sobre neumáticos.

\*\* Diferencia entre el tiempo en que el barco está en el muelle y el tiempo en que las cuacillas realizan el trabajo de estibar.

\*\*\*Twenty-foot Equivalent Unit, que se refiere a la medida estándar más común para un contenedor de 20 pies de largo.

\*\*\*\* Promedio de los Cargos (\$) Portuarios por contenedor que el gobierno establece.

Fuente: Elaboración propia realizada en base a los datos obtenidos de los artículos de los autores arriba señalados.

Cuadro 2. Resumen de indicadores output empleados según frecuencia para la medir la eficiencia portuaria

Indicadores													
Output											Capacidad por Terminal		
Autor	Número de Contenedores de 20' llenos, cargados y descargados	Número de Contenedores de 20' vacíos, cargados y descargados	Número de Contenedores de 40' llenos, cargados y descargados	Número de Contenedores de 20' vacíos, cargados y descargados	Número de Contenedores de 40' vacíos, cargados y descargados	Cantidad de Contenedores Utilizados	Nivel de Servicio	Satisfacción del Usuario	Escalas de Buque	Tasa de Trabajo en Barco	Cantidad Total de Toneladas	Ingresos (\$)	
Sala y Medal (2004)	X	X	X	X	X								
Roll y Hayuth (1993)						X	X	X	X				
Tongzon (2001)						X				X			
Valentine y Gray (2001)						X					X		
Poitras et al. (1996)	X	X	X	X	X	X							
Park y De (2004)						X		X	X			X	
Park (2005)						X							X
Song y Sin (2005)						X							
So, Kim, Cho & Kim (2007)						X							
Cullinane, Song, Ji y Wang (2004)						X							
Wang (2005)						X							
Wang, Cullinane y Song (2003)						X							
Liu, Liu y Cheng (2007)						X							
UNCTAD (1976)							X	X		X	X	X	
<b>FRECUENCIA TOTAL</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

Fuente: Elaboración propia realizada en base a los datos obtenidos de los artículos de los autores arriba señalados.

Las tablas anteriores muestran un resumen acerca de las variables *input* y *output* que algunos autores consideran deben ser tomadas en cuenta para medir la eficiencia de las terminales portuarias de contenedores. Aunque varios de ellos utilizan las mismas variables, también podemos observar que existen diversas variables más que pueden ser utilizadas con la misma finalidad, obtener el grado de eficiencia de las terminales de contenedores.

Como ya se mencionó, en este trabajo, como *inputs* se han seleccionado los siguientes: la longitud del muelle de una terminal de contenedores dicta el tamaño de los buques que la terminal puede acomodar y consecuentemente influye en el volumen de contenedores que pueden ser manejados en la terminal. El área de la terminal es considerado un *input* que puede agregar capacidad y flexibilidad a los flujos de tráfico de contenedores, almacenaje, mantenimiento y reparación de los mismos, son cruciales para mejorar la eficiencia de la terminal de contenedores. Dado que un número mayor de grúas pórtico pueden expandir la capacidad de carga de una terminal de contenedores, éstas pueden ser un recurso clave para incrementar la cantidad de contenedores (carga) en la terminal.

Del lado del *output*, el desempeño total de las terminales de contenedores puede ser medido por la cantidad de carga que representa el volumen total de contenedores (en TEUs) cargados y descargados en cada terminal (Min y Park, 2005: 263-264).

Como se puede observar, Roll y Hayuth (1993: 155) consideran como *inputs* el número total de trabajadores, el capital y la uniformidad de carga; por otro lado, la cantidad de contenedores movidos, el nivel de servicio, la satisfacción del usuario y las escalas de los buques son los *outputs* que se deben considerar.

Poitras *et al.* (1996: 9) sugieren como *inputs* el tiempo de retraso, las escalas de los buques, el número de TEUs en grúa-muelle/hora, la mezcla de contenedores de 20' y 40', los TEUs por muelle/hora y los cargos portuarios. Del otro lado, los *outputs*

sugeridos son: el número de contenedores de 20' y 40' (pies) llenos/vacíos, cargados y descargados y la cantidad de contenedores movidos.

Por su parte, Tongzon (2001: 109) menciona que la superficie de la terminal, el número total de grúas, el número total de trabajadores, el número de muelles por contenedor y el tiempo de retraso al momento de realizar la estiba deben ser consideradas como *inputs*. Como *outputs* considera sólo dos: la cantidad de contenedores movidos y la tasa de trabajo en buque.

Valentine y Gray (2001: 5) comentan que un solo *input* como la longitud del muelle y un solo *output* que es la cantidad de contenedores movidos, son suficientes para medir la eficiencia de las terminales portuaria de contenedores.

Por otro lado, Wang, Cullinane y Song (2003: 705) y Cullinane, Song, Ji y Wang (2004: 191) sugieren el uso de los siguientes *inputs*: longitud de muelle, superficie de la terminal, el número total de grúas y el número de carretillas pórtico. Como único *output* es considerado la cantidad de contenedores movidos.

Sala y Medal (2004: 4) consideran que la longitud de muelle, la superficie de la terminal, el número total de grúas y el número total de trabajadores dentro de la terminal deben considerarse como los *inputs* más importantes y como *outputs* es bueno considerar el número de contenedores de 20' y 40' (pies) llenos/vacíos, cargados y descargados.

Park y De (2004: 57) sostienen que la longitud del muelle, el número de TEUs en grúa-muelle/hora y el manejo de carga deben ser usados como *inputs* y como *outputs* la cantidad de contenedores movidos, la satisfacción del usuario, las escalas de los buques y los ingresos.

Por su parte, Park (2005: 84) intenta medir la eficiencia de las terminales utilizando como *inputs* el número total de grúas, el número total de trabajadores, la longitud

total de grúas, cargas por escala realizada por el buque y la productividad de la red de muelles. Y como único *output* considera la cantidad de contenedores movidos.

Song y Sin (2005: 200) utilizan cuatro *inputs*: longitud del muelle, superficie de la terminal, número total de grúas y horas de trabajo. Mientras que como *output* manejan la cantidad de contenedores movidos.

So, Kim, Cho y Kim (2007: 494) y Wang (2005: 26) consideran que la longitud del muelle, superficie de la terminal y el número total de grúas deben ser usados como *inputs* y la cantidad de contenedores movidos es el único *output*.

Por último, Liu, Liu y Cheng (2007: 10) comentan que los *inputs* a considerar para medir la eficiencia de las terminales portuarias de contenedores son: longitud del muelle y el número total de grúas y como *output* la cantidad de contenedores movidos.

A lo largo de este capítulo se ha venido discutiendo acerca del uso de los modelos DEA para la llevar a cabo la medición de las terminales portuarias de contenedores. De manera similar, se han revisado algunos resultados y conclusiones a las que han llegado los principales investigadores expertos en estos temas. En el siguiente apartado se plasmarán los aspectos metodológicos de esta investigación.

# Capítulo 4. LOS MODELOS CCR Y BCC CON ORIENTACIÓN *OUTPUT*: EL CASO DEL PUERTO DE LÁZARO CÁRDENAS EN LA CUENCA DEL PACÍFICO

Es de suma importancia identificar los instrumentos que serán de utilidad para llevar a cabo esta investigación. En este capítulo se inicia haciendo una breve reseña acerca del tipo de investigación, posteriormente se plasma el modelo de rendimientos constantes a escala (CCR) y el modelo con rendimientos variables a escala (BCC), ambos que servirán para realizar las mediciones de eficiencia; más adelante se exponen las variables a utilizar con sus respectivos indicadores y las fuentes de donde se obtuvieron los datos de dichos indicadores; en seguida se exhibe el universo de estudio, siendo el puerto de Lázaro Cárdenas el objeto o sujeto principal de análisis de esta investigación en el periodo de 2003 a 2008, años en los que dicho puerto comienza a incrementar sus actividades comerciales, específicamente en materia de tráfico de contenedores; y finalmente, se hace mención de la nomenclatura a utilizar con un pequeño ejemplo.

## 4.1 Tipo de Investigación

Es importante señalar que por “método científico” se entiende como la suma de los principios teóricos, de las reglas de la conducta y de las operaciones mentales y manuales que usaron en el pasado y siguen utilizando los hombres de la ciencia para generar nuevos conocimientos científicos. Los principales esquemas propuestos sobre este método a través de la historia pueden clasificarse en la siguientes cuatro categorías (Pérez, 2003: 253-254):

- 1) Método *inductivo-deductivo*.
- 2) Método *a priori-deductivo*.
- 3) Método *hipotético-deductivo*.

#### 4) *No hay tal método.*

El método *hipotético-deductivo* postula que el investigador se asoma a la naturaleza bien provisto de ideas acerca de lo que espera encontrar, portando un esquema preliminar de la realidad. Es decir, la ciencia se inicia con problemas, que son el resultado de las discrepancias entre las expectativas del científico y lo que se encuentra en la realidad (Pérez, 2003: 259).

El método a utilizar en esta investigación es el *hipotético-deductivo*, debido a que se induce una hipótesis general y un conjunto de hipótesis específicas a partir de la revisión de los datos empíricos y de la teoría, para después generar inferencias lógico-deductivas que nos lleven a concluir respecto a la hipótesis y que puedan ser comprobables (Bernal, 2000: 57).

La hipótesis central de esta investigación es: “La eficiencia de la terminal de contenedores del puerto de Lázaro Cárdenas está por debajo del promedio en relación a las terminales de los puertos de la Cuenca del Pacífico y los factores que la explicaron en el periodo de 2003 a 2008 fueron la longitud del muelle, la superficie de la terminal, el número total de grúas pórtico y la cantidad de contenedores movidos anualmente”. Mediante el uso de los modelos CCR y BCC se demostrará si dichos factores o variables tuvieron incidencia positiva en la eficiencia de las terminales de contenedores.

## **4.2 Modelos CCR y BCC**

En el segundo capítulo se mencionaron los modelos a utilizar y las orientaciones que existen para cada uno de ellos. Cabe destacar que las orientaciones para estos modelos son dos hacia input y hacia output. La primera se caracteriza por ser generalmente dirigida a la minimización de los insumos, mientras que la segunda se orienta a la maximización de los productos. También, con anterioridad se analizaron las estructuras matemáticas de los dos modelos a emplear, desde su concepción y hasta las diversas transformaciones que han sufrido ambos modelos.

La estructura matemática del modelo CCR es la siguiente:

$$\max \phi + \varepsilon \left( \sum_{j=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = \phi y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s;$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

La estructura matemática del modelo BCC es la siguiente:

$$\max \phi + \varepsilon \left( \sum_{j=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = x_{io} \quad i = 1, 2, \dots, m;$$

$$\sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = \phi y_{ro} \quad r = 1, 2, \dots, s;$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \quad \forall i, r, j$$

Ambos modelos son con orientación hacia *output*, por lo que se puede observar en la función objetivo que se trata de maximizar el *output*, que para este caso particular, se trata de maximizar el movimiento anual de contenedores a partir del aprovechamiento correcto de cada uno de los *inputs*. De manera similar, los dos modelos son parecidos y sólo tienen una diferencia que es la introducción de la

restricción de convexidad  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$  en el modelo BCC. Coll y Blasco (2006: 100)

comentan que la restricción de convexidad asegura que la unidad combinada es de tamaño similar a las demás unidades y no se trata de una extrapolación de otra unidad combinada que opera en una escala de diferente tamaño.

### **4.3 Variables e indicadores para medir la eficiencia de las terminales de contenedores**

Las variables independientes *input* a utilizar en esta investigación son:

**LM**= Longitud de muelle

**ST**= Superficie de la terminal

**GP**= Número total de grúas pórtico

La variable independiente *output* es:

**TEU**= Movimiento anual de contenedores

La variable dependiente es:

**E**= Eficiencia

Por lo tanto,

Eficiencia =  $f(\text{longitud de muelle, superficie de la terminal, número total de grúas pórtico, movimiento anual de contenedores})$ , ó

**$E = f(\text{LM, ST, GP, TEU})$ .**

Los indicadores para cada una de las variables son:

**Longitud de muelle.** Es la suma de la longitud de todos los muelles destinados para la cargas y descarga de buques con carga contenerizada de cada puerto. La unidad medida es en metros.

**Superficie de la terminal.** Es la suma de todas las superficies de las terminales en donde se maneje carga contenerizada. La unidad de medida es en hectáreas.

**Número total de grúas pórtico.** Es la suma de las grúas pórtico ubicadas en el muelle y las grúas pórtico localizadas en los patios de maniobra. La unidad de medida es una cantidad numérica.

**Movimiento anual de contenedores.** Es la cantidad total de contenedores (llenos y vacíos) manejados en cada año en todo el puerto. La unidad de medida es una cantidad numérica.

**Eficiencia.** Es una cantidad en número decimal o porcentaje que, para este caso, está en función de las variables anteriores. La unidad de medida es una cantidad numérica.

La información de los datos de las variables *input* y *output* se obtienen del *Containerisation International Yearbook*, publicado cada año. Para el caso de los cálculos de Eficiencia con los modelos DEA, será utilizado el programa de *software* llamado DEEOS, disponible en internet.

Para realizar dicha investigación se tuvo la oportunidad de asistir a la *United States Merchant Marine Academy* (USMMA) y a la *State University of New York Maritime College* (SUNY), ambas ubicadas en la ciudad de Nueva York en los Estados Unidos de América. Ahí se encontró el *Containerisation International Yearbook*, en sus ediciones de 2004 a 2009.

## 4.4 Universo y objeto de estudio

Se tomarán 33 terminales/puertos de contenedores para llevar a cabo la investigación y la aplicación de la técnica DEA para medir la eficiencia de cada una de las mismas. Metodológicamente el número de DMUs debe ser al menos dos veces el número total de *inputs* y *outputs* considerados (Lo, *et al.* 2001), citado en Navarro (2005: 70). En este trabajo tenemos 3 *inputs* y 1 *output*, la suma de éstos nos da como resultado 4, entonces siguiendo la metodología sería el doble de 4 que es igual a 8. Por lo tanto, como se mencionó, 33 terminales/puertos (DMU) serán utilizadas, cumpliendo cabalmente con lo estipulado por la metodología.

## 4.5 Nomenclatura en los modelos DEA

A continuación se puede observar la nomenclatura y terminología que se maneja para poder llevar a cabo la aplicación del modelo DEA-CCR con orientación a *output* y medir la eficiencia de las terminales portuarias de contenedores participantes en esta investigación.

$DMU_j$  = Terminal portuaria de contenedores  $j$ .

$y$  = TEU = Cantidad de Contenedores Movidos anualmente.

$x_1$  = LM = Longitud de Muelle.

$x_2$  = ST = Superficie de la Terminal/Puerto.

$x_3$  = GP = Número Total de Grúas Pórtico.

$u_r$  = El peso dado al *input*  $r$  (valor buscado para cada uno de los *inputs*, LM, ST y GP)

$v_i$  = El peso dado al *output*  $i$  (valor buscado para el *output* TEU).<sup>16</sup>.

Para ejemplificar y no hacer cada una de las terminales participantes en este análisis, dado que sería tedioso y repetitivo, se toma entonces como patrón la terminal de contenedores del puerto de Lázaro Cárdenas y de Los Ángeles:

---

<sup>16</sup> Los valores encontrados de  $u$  y  $v$  serán el conjunto de soluciones óptimas para los cuales la DMU es eficiente.

$DMU_1$  = Terminal de contenedores del puerto de Lázaro Cárdenas (LCT).

$DMU_2$  = Terminal de contenedores del Puerto de Los Ángeles (LAT).

$y_1$  = TEUs movidos anualmente por la LCT.

$y_2$  = TEUs movidos anualmente por la LAT.

$x_{11}$  = Longitud de muelle de la LCT.

$x_{12}$  = Longitud de muelle de la LAT.

$x_{21}$  = Superficie de la terminal de la LCT.

$x_{22}$  = Superficie de la terminal de la LAT.

$x_{31}$  = Número total de grúas pórtico de la LCT.

$x_{32}$  = Número total de grúas pórtico de la LAT.

$u_1$  = Valor buscado para la Longitud de Muelle de LCT y LAT.

$u_2$  = Valor buscado para la Superficie de la Terminal de LCT y LAT.

$u_3$  = Valor buscado para el Número total de Grúas Pórtico de LCT y LAT.

$v_1$  = Valor buscado para los TEUs movidos por LCT y LAT.

Es importante resaltar que esta misma terminología y nomenclatura será utilizada para cada una de las terminales portuarias en comparación, obviamente cambiando el nombre o abreviación de los puertos.

Se ha optado por emplear un modelo de frontera no paramétrico determinístico (DEA) dado que éste no requiere una especificación de la forma funcional. El modelo utilizado es orientado a *output*, ya que se busca preferentemente la maximización de los *outputs* a partir de los *inputs* disponibles.

En el siguiente capítulo se plasman los resultados obtenidos al haber aplicado los modelos CCR y BCC con la finalidad de medir la eficiencia de las terminales portuarias de contenedores. Se realiza un análisis durante el periodo de 2003 a 2008 de la eficiencia de cada terminal de contenedores y la dinámica comercial presentada en cada uno de esos años.

# Capítulo 5. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA EFICIENCIA EN LAS TERMINALES DE CONTENEDORES EN EL PERIODO 2003-2008

En este capítulo se establecen el nivel o grado de eficiencia de los 33 puertos que integran este análisis, utilizando los modelos DEA-CCR y DEA-BCC. Esto permite conocer la eficiencia de los puertos participantes en el periodo de 2003 a 2008, así como su evolución por cada año. Además, también se puede observar la dinámica comercial que por año se han presentado en las diferentes regiones que componen la Cuenca del Pacífico (América del Norte, América Latina y Asia), haciendo especial énfasis en México.

Uno de las funciones fundamentales de ambos modelos es el diagnóstico. Ello constituye una forma de investigación y experimentación, y facilita el aprendizaje (Epstein y Henderson, 1989), mencionado por Wang *et al.* 2003.

La Cuenca del Pacífico es quizá la región mundial que ha sufrido las mayores transformaciones en el siglo XX y XXI. Actualmente constituye una de las regiones líderes y más dinámicas del nuevo orden industrial, comercial y tecnológico internacional, así como la oportunidad para el resto de los países miembros como lo es México, de alcanzar un desarrollo económico competitivo, estable y a largo plazo.

Nuestra nación, consciente de los beneficios que le proporciona su estratégica ubicación geográfica, así como las características comunes que comparte con el resto de los Estados que conforman Latinoamérica, se ha preocupado por definir su rol como miembro de la región, no sólo en el ámbito multilateral mediante el fortalecimiento de su política exterior, sino también en lo que respecta al aspecto interno (Aguilar, 2006: 162-163).

Si bien es cierto que México requiere avanzar aun más, dentro del vasto espacio de cooperación que le representa ser miembro de la Cuenca del Pacífico, también resulta verdad que, nuestro país ha diversificado su cooperación dentro del ámbito, preocupándose por perfeccionar su papel como economía de la región (Aguilar, 2006: 163).

El puerto de Lázaro Cárdenas se ha caracterizado por ser un puerto industrial debido a su cercanía con la zona acerera más importante del país en los últimos 5 años se ha invertido en canales navegables y profundidad del puerto. El puerto forma parte del proyecto Bandera del gobierno federal, el cual tiene como objetivo insertar a los puertos mexicanos en la cadena de suministros de mercancías con origen en Asia y destino final los estados de la costa este de Estados Unidos a través de la activación de tránsitos internacionales (Polanco, 2008: 5).

De lo anterior se observa que la dinámica comercial entre México y la Cuenca del Pacífico se viene acentuando con mayor fuerza desde inicios de este siglo y la participación del puerto de Lázaro Cárdenas en dicha Cuenca ha cobrado gran importancia desde el año 2003. Es por ello que así se desprende el periodo seleccionado para esta investigación.

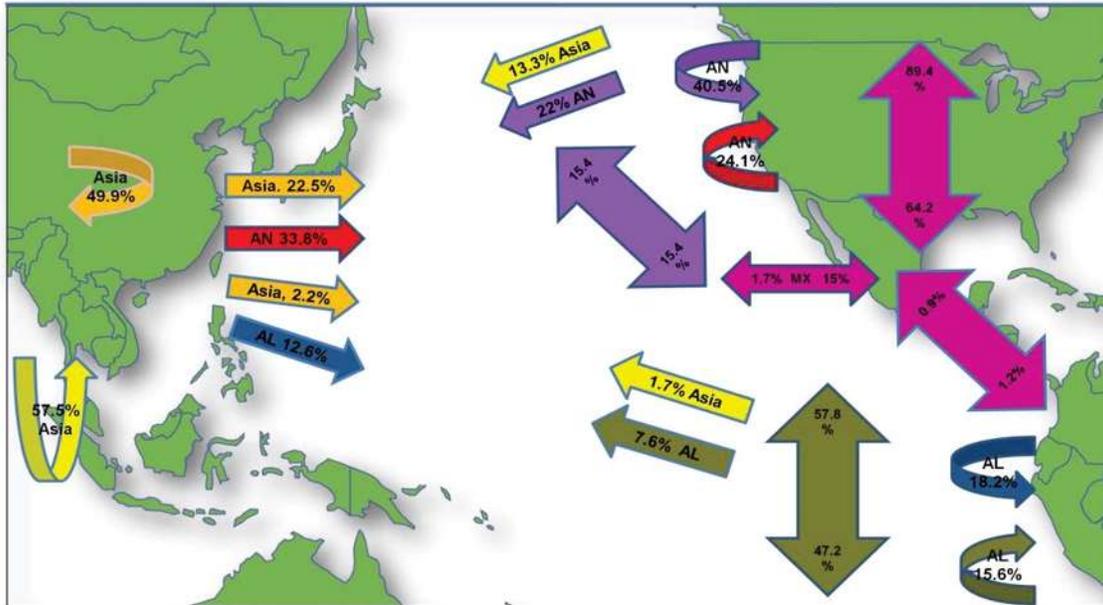
## **5.1 Eficiencia portuaria en 2003**

A lo largo de 2003, el crecimiento del comercio se fortaleció, impulsado principalmente por la expansión de la demanda en los Estados Unidos y en Asia. La producción del sector manufacturero y del sector de las industrias extractivas se incrementó y continuó siendo el fuerte crecimiento de la producción agropecuaria. El comercio de mercancías volvió a aumentar con mayor rapidez que la producción.

La recuperación de la economía mundial registrada durante 2003 queda puesta de manifiesto por los indicadores anuales del comercio y de la producción. La producción y las exportaciones mundiales de mercancías registraron el mayor

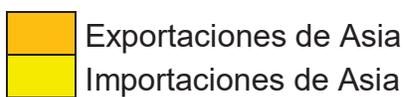
crecimiento anual de los últimos tres años. Para este mismo año, la expansión del comercio superó a la expansión de la producción en los sectores agropecuario y manufacturero (OMC, 2004: 1-17). Ver figura 9.

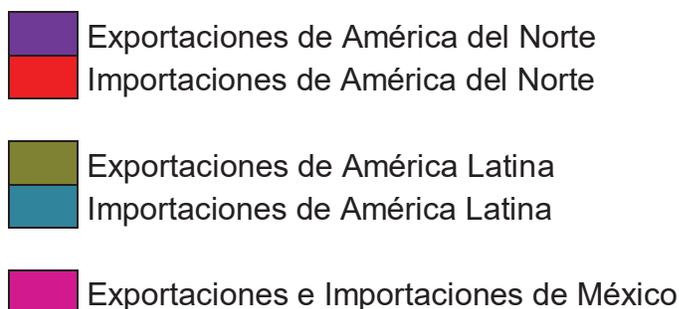
Figura 9. Dinámica comercial por regiones 2003



Fuente: Elaboración propia con datos de la OMC 2004 y Secretaría de Economía 2010.

A continuación se muestran los colores que representan a las exportaciones e importaciones de cada una de las regiones plasmadas en la figura anterior (estos mismos colores se utilizarán en todas las gráficas que reflejan la dinámica comercial por regiones y por año). Cabe señalar que las flechas con doble sentido (morada, verde-oro y rosa), el número de la punta inferior de la flecha indica las exportaciones de una región a otra y el número de la punta superior de la flecha refleja las importaciones. De manera semejante sucede con la flecha en doble sentido horizontal, en donde la punta izquierda de la flecha se refiere a las exportaciones de la zona y la otra punta de la flecha son las importaciones de la región.





La expansión de las importaciones de América del Norte continuó siendo mayor que el crecimiento real de sus exportaciones, la cuales crecieron tan sólo un 2%, es decir, menos de la mitad de la tasa correspondiente al comercio mundial. Sin embargo, las importaciones aumentaron en un 5%, a un ritmo más rápido que el del comercio mundial. En 2003, las importaciones que más aumentaron fueron las de combustibles y productos químicos. Sin embargo, las mayores diferencias entre el crecimiento de la exportación y de la importación se registraron con respecto al hierro, el acero y las prendas de vestir. El comercio entre la región norteamericana fue de un 40.5%, el 15.4% se realizó entre América del Norte y Latinoamérica y las actividades comerciales con Asia representaron un 22%. En relación a las exportaciones el 40.5% tuvieron como destino las naciones de la misma zona, el 15.4% fueron enviadas a Latinoamérica y el 22% se fueron a Asia (OMC, 2004: 45-53).

En relación a América Latina, las exportaciones continuaron superando a las importaciones. La recuperación del comercio de mercancías de la región se vio obstaculizada por el lento crecimiento de las exportaciones hacia América del Norte, su mercado principal, y por el hecho de que algunos países de la región no aprovecharon las oportunidades de ofrecía la mayor demanda mundial de productos básicos, sobre todo de combustibles. En 2003, las exportaciones de menas, minerales, hierro, acero, combustibles y alimentos aumentaron. Las actividades comerciales de esta región con América del Norte significaron un 57.8%, el 15.6% del comercio se llevo a cabo entre los países pertenecientes a la misma región latinoamericana y con respecto a Asia representaron un 7.6%. Con respecto a las exportaciones de esta región a Norteamérica representaron un 57.8%, las

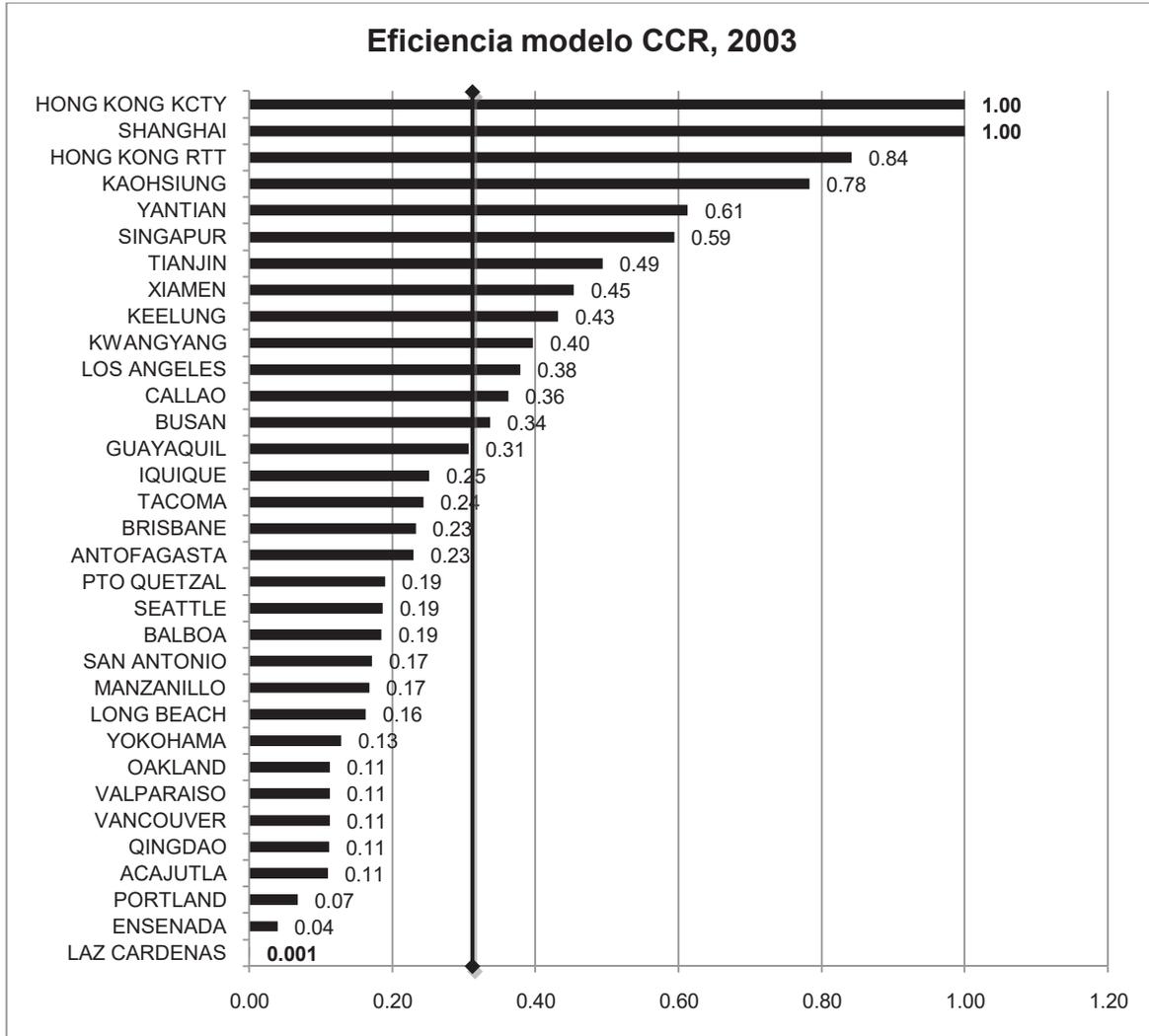
exportaciones a los países pertenecientes a la misma constituyeron un 15.6% y un 7.6% tuvieron como destino la región Asia (OMC, 2004: 53-61).

El fortalecimiento de la actividad económica en Asia fue acompañado por una aceleración del crecimiento del comercio. En 2003, la expansión real del comercio de mercancías en Asia duplicó holgadamente la tasa de aumento del comercio mundial. Las exportaciones de Asia a América del Norte, su principal mercado, aumentaron en un 7.5%. Las manufacturas son los productos de exportación asiáticas más importantes. La principal contribución a la aceleración del crecimiento de dichas exportaciones en 2003 la hicieron la maquinaria y equipo de transporte distinto a los productos de la industria automotriz. El comercio entre esta zona y Norteamérica significaron un 22.5%, mientras que con América Latina representaron un 2.2% y el comercio entre las naciones asiáticas figuraron en un 49.9%. El 22.5% de las exportaciones asiáticas tuvieron como destino Norteamérica, mientras que un 2.2% se enviaron a América Latina y las exportaciones dirigidas a los países de la misma zona representaron un 49.9% (OMC, 2004: 85-97).

### *5.1.1 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo CCR*

En este año el puerto de Lázaro Cárdenas comienza a elevar sus actividades en materia de mercancía contenerizada. A continuación se pueden observar los niveles de eficiencia utilizando el modelo CCR. Dicho modelo presenta una situación hipotética en la cual se asume que los rendimientos a escala son constantes. Por lo tanto, los resultados bajo este supuesto se muestran en la gráfica 1. Los puertos están ordenados de mayor a menor nivel e identificando qué puertos están por debajo y por encima del promedio de eficiencia.

Gráfica 1. Niveles de eficiencia modelo CCR para el año 2003



Fuente: Elaboración propia con los datos del software DEAOS.

Para el año de 2003, los puertos que aparecieron como 100% eficientes fueron Hong Kong KCTY y Shanghai. Otros puertos se encontraron por arriba del promedio (0.3278), como se puede observar en la gráfica anterior. Únicamente 13 puertos superaron el promedio, teniendo valores entre 0.34 y hasta 1. Los puertos americanos que destacaron fueron Los Ángeles con 0.38 y Callao con 0.36; el resto fueron puertos pertenecientes a Asia.

Los 20 puertos restantes estuvieron por debajo de la media, encontrándose los puertos mexicanos de Manzanillo, Ensenada y Lázaro Cárdenas con valores de 0.17, 0.04 y 0.001, respectivamente.

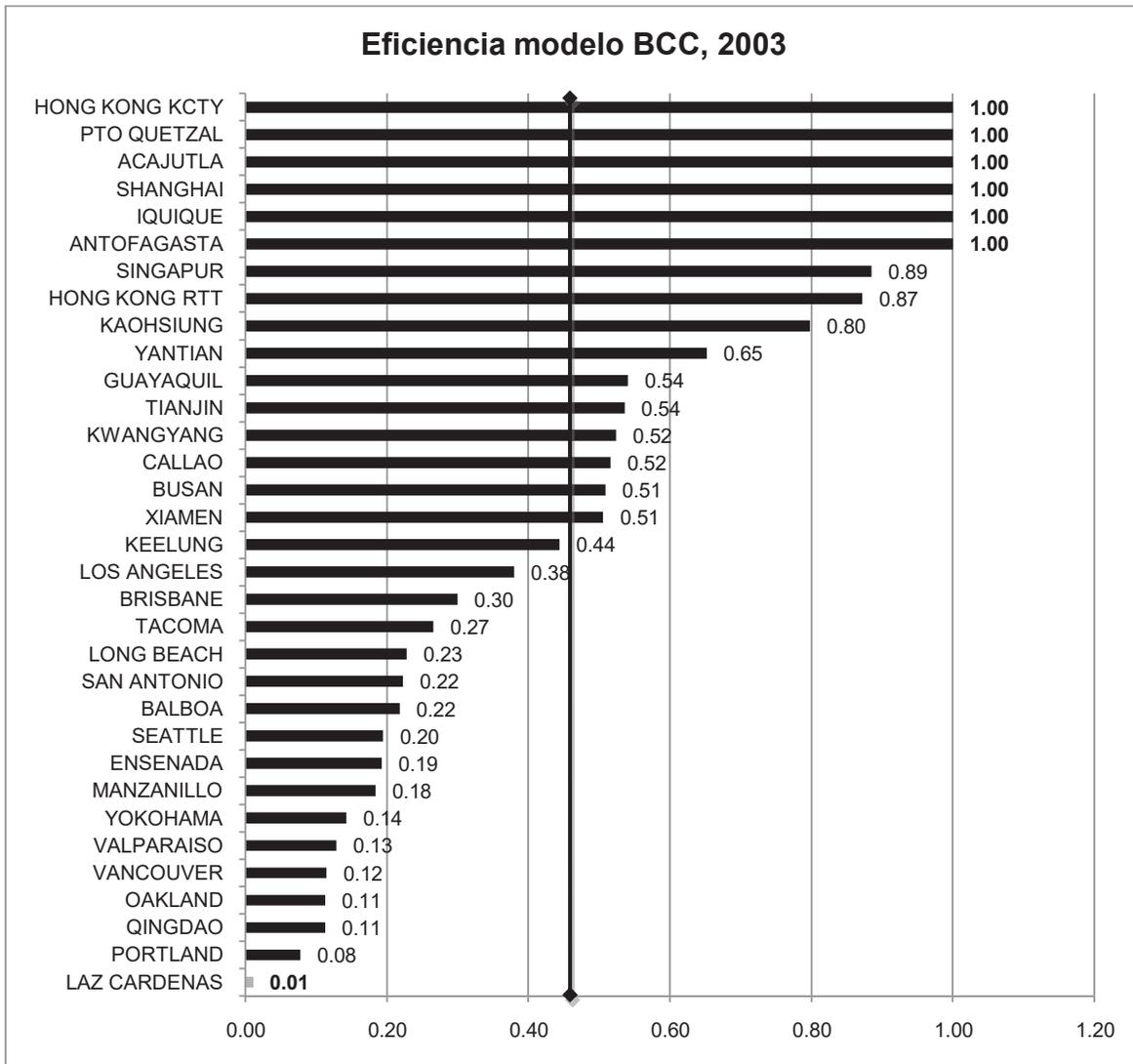
Si hacemos una ligera división contemplando por un lado a los puertos de América y por otro lado a los puertos de Asia, vemos que estos últimos se hallaron en su mayoría por encima de la media, mientras que la mayoría de los puertos americanos estuvieron por debajo de la misma. Esto nos lleva a pensar que los puertos asiáticos invirtieron más capital en materia de infraestructura que los puertos americanos.

Para el caso particular del puerto de Lázaro Cárdenas (LC), podemos observar que fue el puerto más ineficiente con un nivel menor al 1%. Los puertos de Hong Kong KCTY y Shanghai fueron los puertos de referencia para LC, con valores de  $\lambda$  de 0.071 y 0.021, respectivamente. Ya que el puerto de Shanghai es el que tuvo el valor de  $\lambda$  mayor, entonces se consideró como el puerto de referencia más adecuado para LC. Las sugerencias de este modelo fueron que LC tuvo problemas de ocio con el *input* relacionado a la superficie de su terminal casi 8 ha mal aprovechadas y en relación al *output* movimiento anual de contenedores debió de haberlo incrementado en más de 90 veces con respecto al valor de ese año.

### *5.1.2 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo BCC*

El modelo BCC trabaja bajo el supuesto de rendimientos a escala variables. De esta manera, en la gráfica 2 se pueden ver los resultados obtenidos.

Gráfica 2. Niveles de eficiencia modelo BCC para el año 2003



Fuente: Elaboración propia con los datos del software DEAOS.

Con este modelo el número de puertos 100% eficientes aumentaron, quedando los mismos puertos anteriores y ahora se sumaron los puertos de Acajutla, Quetzal, Iquique y Antofagasta. Casi la mitad de los puertos, 16, pasaron por encima del nivel medio (0.4749). Al igual que el modelo anterior, los puertos de América del Norte volvieron a estar por debajo de la media con niveles de eficiencia muy bajos. Los puertos mexicanos mejoraron sólo un poco Ensenada con 0.19, Manzanillo 0.18 y Lázaro Cárdenas con 0.01. Del otro lado del mundo, en Asia los puertos que

sobrepasaron el nivel medio de eficiencia disminuyeron y sólo 9 de ellos lo superaron, los cuales fueron Xiamen y Busan con 0.51, Kwangyang 0.52, Tianjin 0.54, Yantian 0.65, Kaohsiung 0.80, Hong Kong RTT 0.87, Singapur 0.89 y los puertos de Hong Kong KCTY y Shanghai con eficiencia 1. El puerto de Brisbane volvió a ser ineficiente con un valor de 0.30.

Los resultados arrojados por el modelo DEA-BCC indicaron que los puertos de referencia para LC fueron Acajutla ( $\lambda = 0.992$ ) y Shanghai ( $\lambda = 0.008$ ), ahora el puerto de referencia más apropiado para LC fue Acajutla, teniendo el valor de lambda más alto. Ahora bien, el modelo reveló que el puerto de LC tuvo casi 13 hectáreas de ocio o sin utilizar en la superficie de su terminal, de igual manera tuvo 3 grúas ociosas y además, también debió de haber incrementado el manejo de contenedores en una cantidad similar que el modelo anterior.

En México, para este año, el 89.42% de sus exportaciones se dirigieron a Norteamérica, su mayor socio comercial, el 1.18% se fue a Latinoamérica y el 1.71% tuvieron como destino Asia. Por otro lado, el 64.19% de sus importaciones tuvieron como origen América del Norte, el 0.83% vinieron de América Latina y 14.95% de Asia (Secretaría de Economía, 2010).

La dinámica comercial de México para el año 2003 se dio principalmente con Norteamérica en donde se tuvo el mayor porcentaje tanto de exportaciones como de importaciones (Secretaría de Economía, 2010). Quizá por ello la eficiencia de los puertos mexicanos, y especialmente Lázaro Cárdenas, haya sido tan baja. Para enviar y recibir mercancías de América del Norte los transportes comúnmente utilizados son el carretero y ferroviario.

Los principales productos exportados hacia Norteamérica fueron algunos aceites crudos y autopartes; hacia América Latina se enviaron combustóleo, autopartes y algunos dispositivos para telecomunicaciones y a los países asiáticos se fueron productos agrícolas, minerales y metales, principalmente. Del lado de las importaciones, de América del Norte llegó gasolina, gas natural y trigo,

principalmente, de Latinoamérica vino aceite en bruto y algodón y de Asia se importó aparatos electrónicos y dispositivos de telecomunicaciones (Secretaría de Economía, 2010).

En relación al comercio de marítimo, para este año un 26.74% de las exportaciones se fueron por esta vía a Norteamérica, un 17.40% a Latinoamérica y casi un 10% a la región asiática. Con respecto a las importaciones marítimas el 5.60% vinieron de América del Norte, un 19% llegaron de América Latina y el 42.73% tuvieron como origen Asia (UNCTAD, 2008: 137).

Según la Asociación Mexicana de Agentes Navieros A. C. (AMANAC), para el año 2003 solamente existían tres líneas navieras en Lázaro Cárdenas que eran Maersk, CP Ships y APL. Es probable que esto refleje de cierta manera los bajos niveles de eficiencia, ya que son pocas las líneas navieras establecidas en este año en dicho puerto y se minimiza el movimiento de contenedores.

## **5.2 Eficiencia portuaria en 2004**

El año de 2004 fue un periodo de intenso crecimiento económico en casi todas las principales regiones, lo que proporcionó una sólida base para la vigorosa expansión del comercio mundial. Asimismo, la tasa de aumento del comercio siguió siendo mayor que el de la producción. Un examen de la evolución por sectores revela que esa diferencia entre el comercio y la producción fue especialmente marcada en la industria manufacturera y sólo afectó marginalmente a los productos agrícolas.

El valor de las importaciones de combustibles y otros productos de las industrias extractivas, aumentó más rápidamente que el de las exportaciones. En lo que se refiere a muchos productos básicos, China se ha convertido es el principal importador y también es el primer proveedor del mundo de muchos artículos manufacturados. En 2004, el aumento de los precios de los productos básicos tuvo fuertes repercusiones en el comercio por regiones. Así lo puso de manifiesto el



un 56%, el 5.4% tuvieron como destino América Latina y el 18.8% se fueron a Asia (OMC, 2005:47-56).

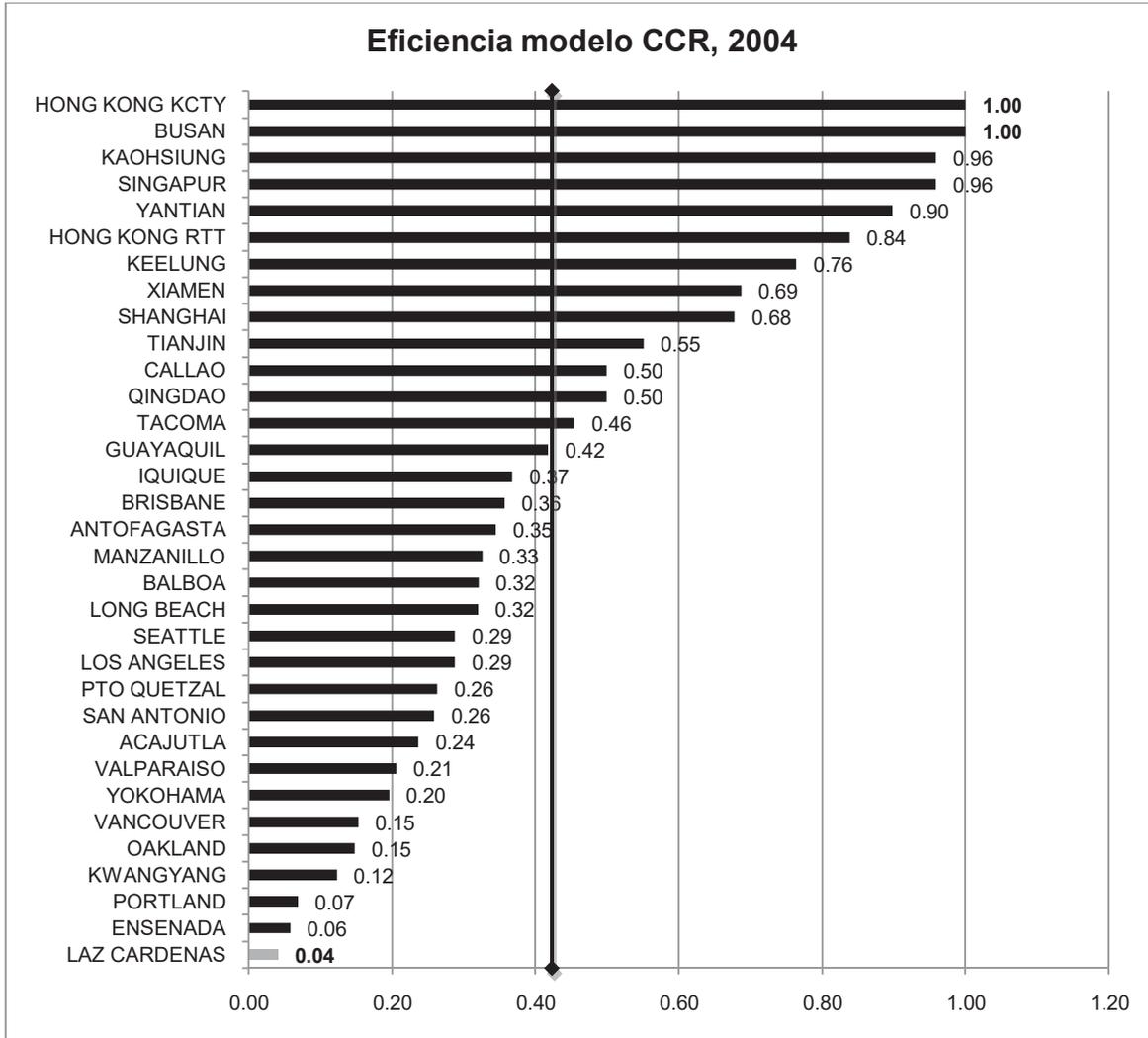
En América Latina el comercio de mercancías creció bruscamente como resultado de una combinación de precios más altos y mayores variaciones de volumen. Continuaron aumentando en forma pronunciada las exportaciones a Asia, mientras que los envíos destinados a Norteamérica, principal mercado de exportación de la región, aumentaron en un 27%. El crecimiento más dinámico de las exportaciones ocurrió en Chile y Perú. La fragilidad de las exportaciones de mercancías de varios países de la región puede atribuirse en parte a la estructura de esas exportaciones, que en general depende en gran medida de los productos agrícolas. El 33.7% de la exportaciones latinoamericanas tuvieron como destino América del Norte, el 23.1% se realizó entre las naciones de la misma zona y el 14.2% se enviaron a la región asiática (OMC, 2005: 56-65).

Las exportaciones e importaciones comerciales de Asia se recuperaron y aumentador alrededor de un 25% en 2004. Las exportaciones asiáticas de productos agrícolas aumentaron en un 18% y representaron un 6% de las exportaciones de mercancías de la región. Los envíos de combustibles y productos de las industrias extractivas aumentaron una tercera parte y las exportaciones de manufacturas, una cuarta parte. China consolidó aun más su posición como mercado de la región para el comercio de Asia y las exportaciones de los demás países asiáticos a China en 2004 aumentaron un 30%. El 22.3% de las exportaciones tuvieron como destino Norteamérica, el 1.6% se enviaron a Latinoamérica y el 50.3% fueron enviadas a los países pertenecientes a las misma región (OMC, 2005: 91-104).

### *5.2.1 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo CCR*

En la siguiente gráfica se plasman los resultados de los niveles de eficiencia que el modelo CCR arroja para el año 2004. Asumiendo que los rendimientos a escala son constantes.

Gráfica 3. Niveles de eficiencia modelo CCR para el año 2004



Fuente: Elaboración propia con los datos del software DEAOS.

Con el modelo CCR en el año de 2004, el puerto de Hong Kong (KCTY) y el puerto de Busan fueron los más eficientes con un 100% y el primero fue el único de referencia para todos los demás puertos analizados. Seguidos de los puertos de Kaohsiung y Singapur con 0.96 y Yantian 0.90. Siendo los más representativos. Con excepción del puerto de Tacoma (0.46), todos los demás puertos de América del Norte estuvieron por debajo del nivel medio de eficiencia (0.4415). Únicamente el puerto de Manzanillo pasó a un mejor sitio en comparación al año anterior con un valor de 0.33. Ensenada tuvo un valor de 0.06 y Lázaro Cárdenas 0.04. En Centroamérica todos los puertos nuevamente quedaron por debajo del promedio al

igual que el año anterior. En América del Sur sólo el puerto de Callao tuvo un valor de eficiencia (0.50) por encima de la media, parecido al año anterior. En el continente asiático sólo dos puertos no superaron el nivel promedio de eficiencia, Yokohama con 0.20 y Kwangyang con 0.12. El puerto de Brisbane continuo con un nivel bajo de eficiencia (0.36).

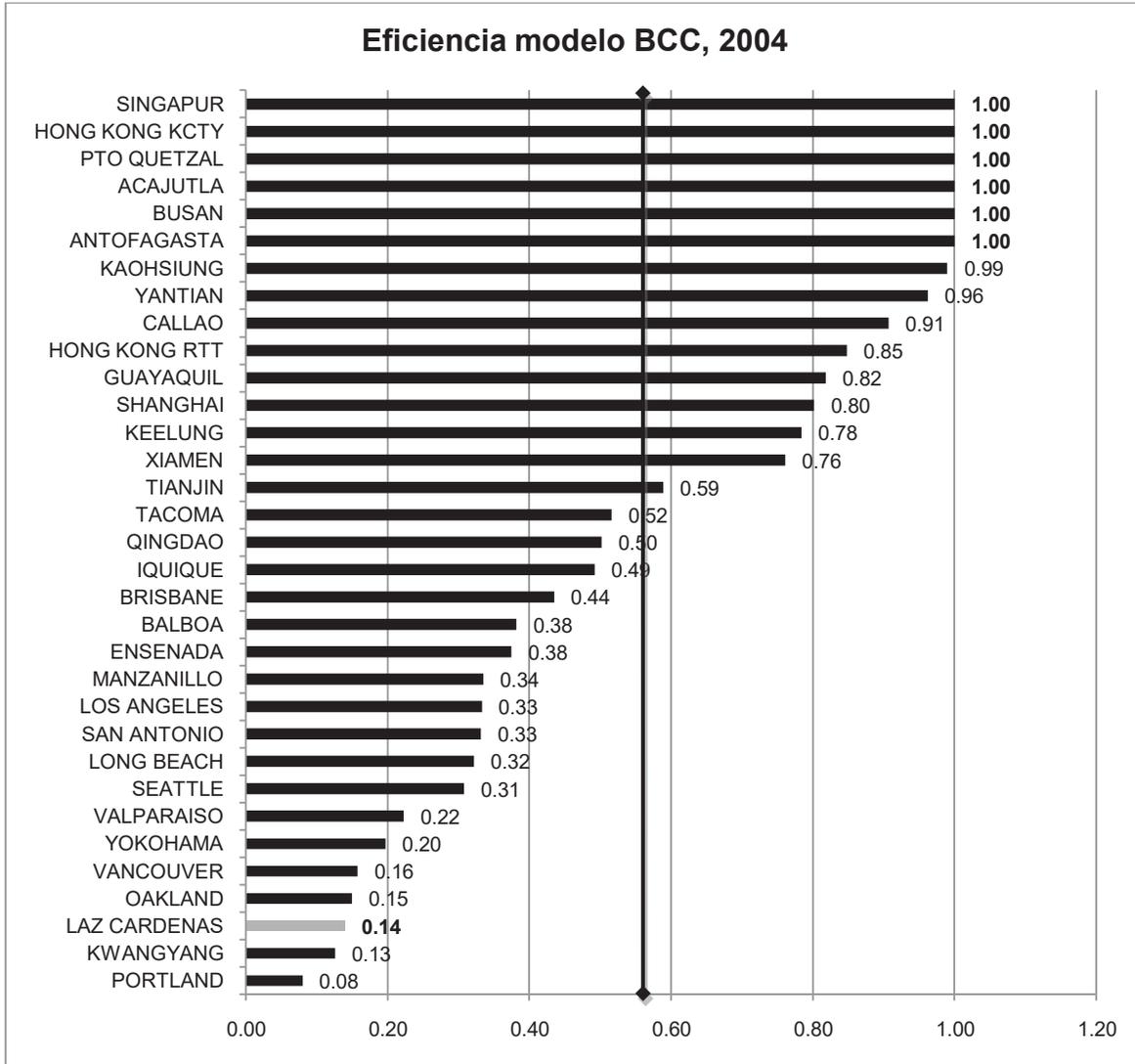
Al igual que el año anterior con el mismo modelo, los puertos asiáticos se encontraron en su mayoría con niveles de eficiencia por encima del promedio (0.4415) y los puertos americanos se quedaron por debajo del mismo.

Para el caso concreto de LC, se observó que su nivel de eficiencia aumentó en relación al año anterior, llegando a 0.0410, sin embargo continúa siendo un nivel muy bajo de eficiencia y por lo tanto, sigue siendo el puerto más ineficiente para ese año. Se notó un gran avance para LC en las sugerencias de dicho modelo, ahora se disminuyó la cantidad de hectáreas en ocio de la superficie de su terminal, solamente 1.3 ha, pero el movimiento de contenedores debió haber aumentado hasta 2347%, para alcanzar el 100% de eficiencia de los puertos líderes.

### *5.2.2 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo BCC*

La gráfica 4 muestra los niveles de eficiencia presentados ese año en los puertos de la Cuenca del Pacífico, utilizando el modelo BCC.

Gráfica 4. Niveles de eficiencia modelo BCC para el año 2004



Fuente: Elaboración propia con los datos del software DEAOS.

Con este modelo los puertos que fueron eficientes al 100% son: Singapur, Hong Kong KCTY, Quetzal, Acajutla, Busan y Antofagasta. Nuevamente al igual que el año anterior, los puertos de América del Norte tuvieron valores muy bajos de eficiencia, por debajo del promedio (0.5717). Para América del Sur el comportamiento fue un tanto similar al año 2003, con la única diferencia de que Iquique ya no apareció como eficiente y tuvo un valor (0.49) por debajo de la media. Para la zona de Asia, casi todos sus puertos tuvieron buenos niveles de eficiencia. Brisbane con un valor de

0.44 se queda de la misma manera que las ocasiones anteriores por debajo del promedio.

15 puertos fueron los que superaron el promedio, los 17 restantes estuvieron por debajo del mismo. En este rubro de ubicaron los puertos mexicanos llegando Ensenada a un valor de 0.38, Manzanillo con 0.34 y Lázaro Cárdenas con 0.14.

Con el valor de eficiencia que tuvo LC, se ubicó sólo por arriba de los puertos de Kwangyang (0.13) y Portland (0.08). El modelo BCC sostuvo que los puertos de referencia para LC fueron Acajutla (0.981) y Busan (0.019), de nueva cuenta el puerto de Acajutla es la referencia adecuada para LC. Los consejos de este modelo indicaron que el puerto de LC nuevamente tuvo problemas de ocio en la superficie de su terminal (un total de 8 ha), una grúa con tiempo muerto y debió incrementar el movimiento de contenedores en casi 8 veces con respecto a lo manejado en ese año.

México tuvo una actuación muy similar al año anterior, ya que su mayor actividad comercial la tuvo con Norteamérica con 89.26% de exportaciones (autopartes y aceites) y 59.02% de importaciones (gasolina y gas natural). El 1.18% de sus exportaciones (autopartes y productos químicos) se fueron a Latinoamérica mientras que el 1.08% de sus importaciones (cobre y algodón) vinieron de esa región. Con respecto al comercio con los países asiáticos se observa que el 1.65% fueron exportaciones (productos agrícolas y metales) y el 18.46% representaron importaciones (Secretaría de Economía, 2010).

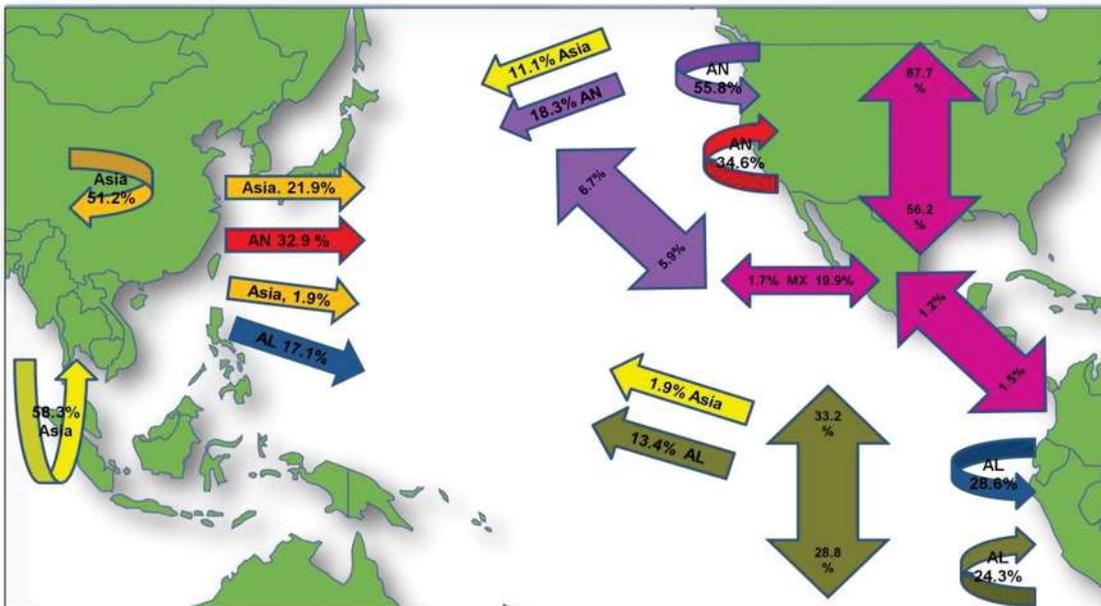
En relación al comercio de marítimo, para este año un 32.80% de las exportaciones se fueron por esta vía a Norteamérica, un 22.68% a Latinoamérica y el 11.40% a la región asiática. Con respecto a las importaciones marítimas el 7.25% llegaron de América del Norte, el 26.36% vinieron de América Latina y el 44.12% tuvieron como origen la región asiática (UNCTAD, 2008: 137).

Para 2004, según la AMANAC, nuevamente sólo tres líneas navieras prestaban sus servicios en Lázaro Cárdenas siendo Maersk, CP Ships y APL. De manera similar al año anterior, probablemente esto reflejó los bajos niveles de eficiencia, al tener un bajo movimiento de contenedores.

### 5.3 Eficiencia portuaria en 2005

En 2005 el comercio mundial se desaceleró debido principalmente al debilitamiento de la actividad económica en Europa, los Estados Unidos y varios mercados emergentes (Corea del Sur, Taiwán y Brasil, por ejemplo). Las exportaciones aumentaron un 6% más que la producción mundial. La producción manufacturera siguió creciendo más que la de los sectores de la minería y la agricultura. La desaceleración del crecimiento real del comercio de mercancías puede atribuirse en gran medida a la moderación en los envíos de productos manufacturados, que es con mucho el mayor componente del comercio mundial de mercancías (OMC, 2006: 1-16). Ver figura 11.

Figura 11. Dinámica comercial por regiones 2005



Fuente: Elaboración propia con datos de la OMC 2006 y Secretaría de Economía 2010.

Las importaciones de mercancías de América del Norte continuaron aumentando más que sus exportaciones. Las exportaciones de Norteamérica a América Latina experimentaron un notable aumento de menos del 10% en relación a las exportaciones de la región. Las exportaciones destinadas a Asia fueron las que menos crecieron ya que el volumen de envíos a China (21%) se vio contrarrestado por una cierta debilidad de los destinados a Japón y otras economías asiáticas en desarrollo. Las exportaciones de productos manufacturados, combustibles y productos de la minería aumentaron casi un 28%. Sin embargo, el crecimiento de las exportaciones de productos agrícolas continuó siendo muy inferior al comercio agrícola mundial. Las exportaciones realizadas entre los países norteamericanos representaron un 55.8%, el 5.9% fueron enviadas a América Latina y el 18.3% tuvieron como destino Asia (OMC, 2006: 44-53).

El crecimiento económico se fortaleció en el conjunto de América Latina en 2005. El mercado de destino de las exportaciones latinoamericanas más importante fue América del Norte. Las exportaciones de combustibles y productos de las industrias extractivas crecieron el 37%. Las exportaciones agrícolas aumentaron el 16%. Los productos químicos, de la industria del automóvil, el acero y el hierro fueron los principales grupos de productos en los que la tasa de crecimiento de las exportaciones superó el 25%. El 33.2% de las exportaciones latinoamericanas se enviaron a América del Norte, un 24.3% se realizaron entre los países de la misma región y el 13.4% tuvieron como destino Asia (OMC, 2006: 53-62).

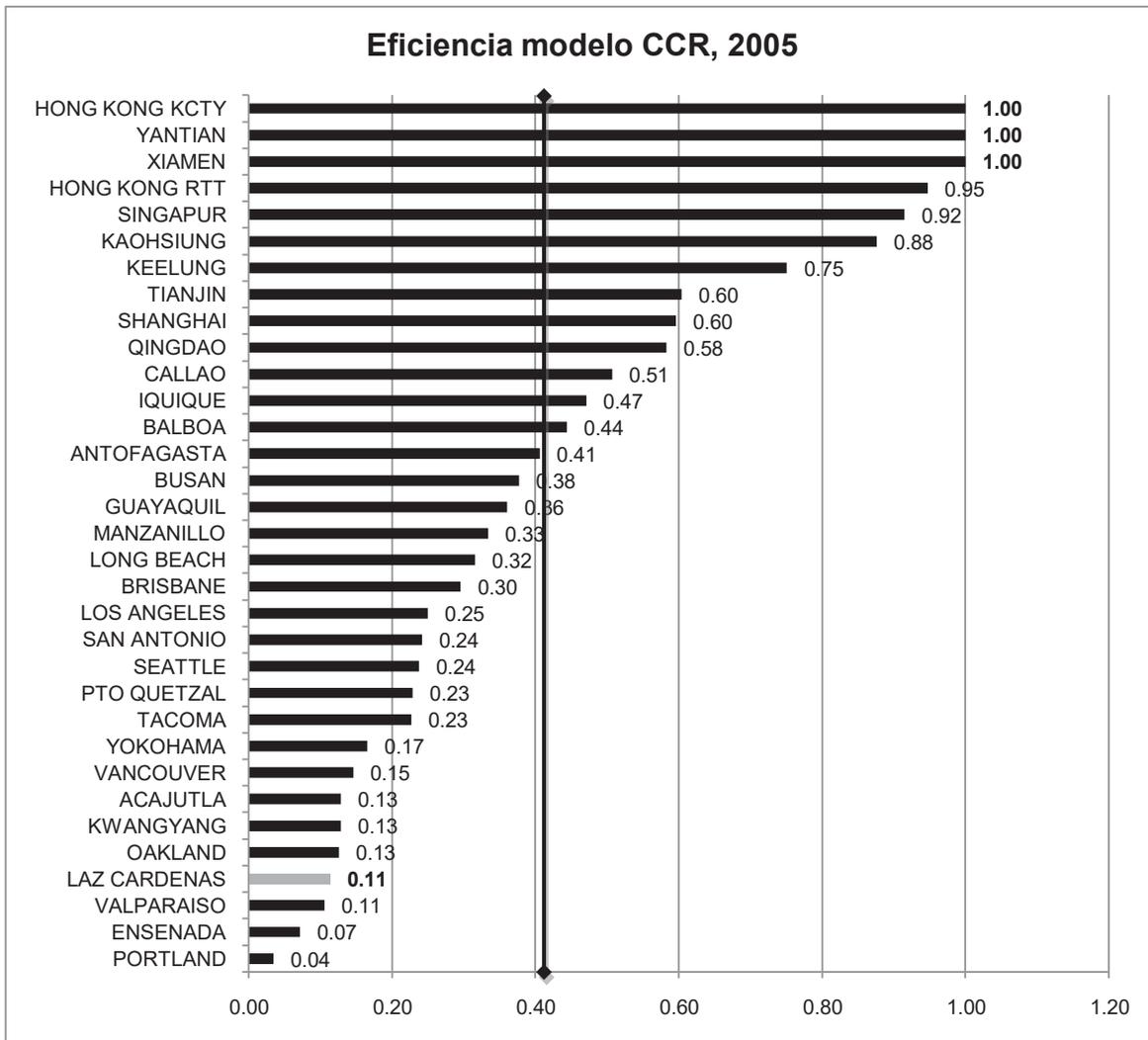
El crecimiento económico continuó siendo muy intenso en Asia en 2005, pero hubo diferencias importantes entre los países desarrollados y en desarrollo. América del Norte y Europa Occidental reciben en conjunto alrededor del 40% de las exportaciones de mercancías de Asia y las exportaciones a estos destinos crecieron algo menos que el comercio entre regiones asiáticas. Las exportaciones a América Latina fueron particularmente cuantiosas. Las exportaciones de productos manufacturados crecieron el 14% en este mismo año, mucho menos que el año anterior, pero todavía más que el promedio mundial. El 21.9% de las exportaciones

tuvieron como destino América del Norte, 1.9% fueron enviadas a Latinoamérica y el 51.2% se enviaron a las naciones de la misma región (OMC, 2006: 89-102).

### 5.3.1 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo CCR

A continuación se observan los resultados de los niveles de eficiencia del modelo utilizado. También se muestran los puertos que lograron en 2005 estar por encima de la media, de la misma manera cuáles estuvieron por debajo de la misma.

Gráfica 5. Niveles de eficiencia modelo CCR para el año 2005



Fuente: Elaboración propia con los datos del software DEAOS.

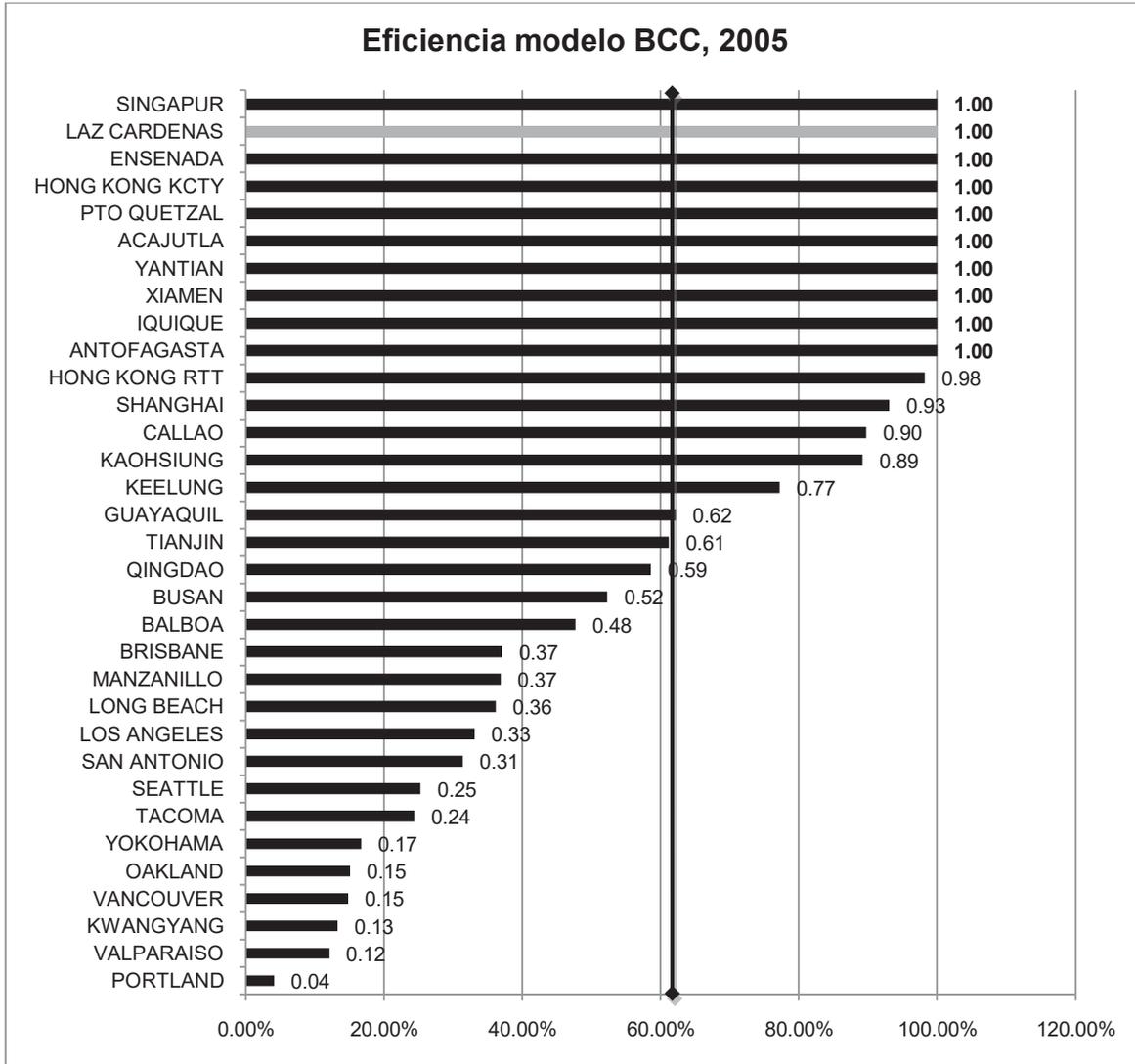
La gráfica 3 muestra que en el año 2005 con el modelo CCR fueron pocos puertos los que superaron el promedio de eficiencia (0.4240), por lo tanto sólo pocos se consideraron relativamente eficientes; resaltando los puertos de Hong Kong KCTY, Yantian y Xiamen con una eficiencia de 100%. América del Norte vuelve a presentar a todos sus puertos por debajo de la media de eficiencia, Centroamérica de igual manera, con excepción del puerto de Balboa (0.44) y América del Sur con excepción de Iquique (0.47) y Callao (0.51), todos los demás presentaron niveles muy bajos de eficiencia. Asia presentó a casi todos los puertos con niveles de eficiencia aceptables y por encima del promedio. Brisbane (0.30) continuó por debajo de la media. De los puertos de México, Manzanillo fue el único que elevó su nivel de eficiencia llegando a 0.33, mientras que Lázaro Cárdenas tuvo un valor de 0.11 y Ensenada cayó hasta 0.07.

Según el modelo CCR, LC se posicionó por encima de los puertos de Valparaíso (0.11), Portland (0.04) y Ensenada, quedando Portland como el más ineficiente. Dicho modelo, indicó que LC vuelve a ser ineficiente con un valor por debajo del promedio. En esta ocasión, los puertos de referencia para LC fueron Xiamen y Yantian, con valores de lambda de 0.199 y 0.067, respectivamente. Por lo tanto, el valor más alto de lambda fue del puerto de Xiamen. Dicho modelo muestra que LC tuvo un ocio de una (1) hectárea en la superficie de su terminal y debió haber elevado su movimiento de contenedores en poco menos de 9 veces en relación al valor movido en ese año.

### *5.3.2 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo BCC*

En la siguiente gráfica se puede observar los resultados de los niveles de eficiencia que el modelo BCC arrojó para 2005, para cada uno de los puertos pertenecientes a este estudio.

Gráfica 6. Niveles de eficiencia modelo BCC para el año 2005



Fuente: Elaboración propia con los datos del software DEAOS.

Como era de esperarse, con el modelo BCC aumentaron los puertos con un nivel de eficiencia del 100%, ellos son Singapur, Ensenada, Hong Kong KCTY, Quetzal, Acajutla, Yantian, Xiamen, Iquique, Antofagasta y Lázaro Cárdenas. Para esta ocasión 16 puertos estuvieron por encima del valor de la media 0.6151 y los puertos de América del Norte, Centroamérica y América del Sur incrementaron sus niveles de eficiencia, quedando varios de ellos como 100% eficientes. Casi un tercio del total de puertos analizados tuvieron una eficiencia de 100%. De los puertos mexicanos Manzanillo (0.37) quedó fuera de los más eficientes. Asia no se queda atrás y de

nueva cuenta presenta a varios de sus puertos en la línea de los más eficientes. Para este año casi hubo una paridad entre los puertos asiáticos contra los americanos. Brisbane (0.37) va poco a poco tratando de alcanzar al menos el valor promedio de eficiencia y Portland (0.04) es el puerto menos eficiente.

Como se observó, el modelo BCC revela que el puerto de LC es uno de los más eficientes, teniendo un valor de 100%. Por lo tanto, no existen mejoras para ninguna de las variables. Cabe destacar que LC sirve como referencia para el puerto de San Antonio.

Las exportaciones mexicanas hacia América del Norte representaron un 87.66% incluyendo (manufacturas y productos agrícolas), un 1.46% a América Latina (combustóleo y tractores) y el 1.67% se fueron a Asia (productos agrícolas y minerales). En cuanto a las importaciones, el 56.22% vinieron de Norteamérica (manufacturas y gasolina), el 1.20% de Latinoamérica (aceite en bruto y algodón) y un 19.92% llegaron de los países asiáticos (circuitos electrónicos y autopartes) (Secretaría de Economía, 2010).

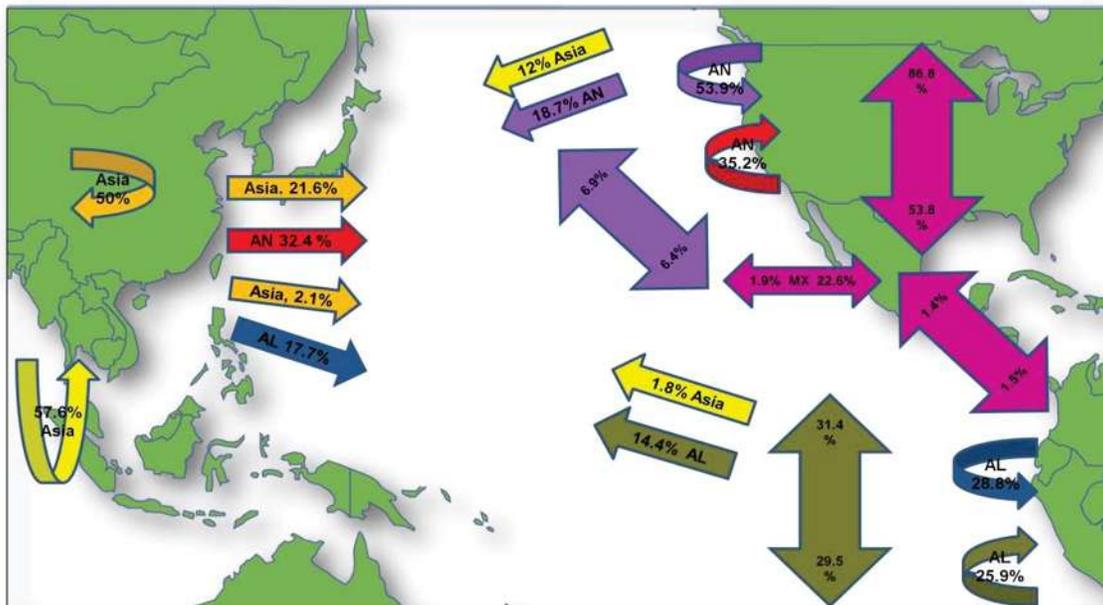
De todas las exportaciones de México el 27.44% se fueron vía marítima a Norteamérica, el 25.79% se enviaron a América Latina usando esta misma vía y un 15.81% tuvieron como destino Asia. El 6.80% de las importaciones llegaron de América del Norte, el 22.61% vinieron de Latinoamérica y un 46.43% se importó de los países asiáticos (UNCTAD, 2008: 137).

Según la AMANAC, las líneas navieras Maersk, CP Ships y APL continuaron siendo las únicas que operaron en el puerto de Lázaro Cárdenas. Manifestando nuevamente un movimiento de contenedores bajo y probablemente, un bajo nivel de eficiencia.

## 5.4 Eficiencia portuaria en 2006

En 2006 el volumen del comercio mundial de mercancías creció en un 8%, mientras que en el producto interior bruto mundial se observó un aumento del 3.5%. el volumen de las exportaciones de mercancías se sustentó en un sólida demanda, aunque con una evolución diferente según la región. Las manufacturas fueron de nuevo el grupo de productos más dinámico al aumentar en un 10% en 2006. El comercio de productos agrícolas registró un crecimiento real del 6%. La lista de los principales exportadores parece estar dominada por las grandes economías. En 2006, por ejemplo, el 80% de los exportadores, constituido por las economías más pequeños, realizó sólo el 10% del comercio mundial (OMC, 2007: 1-7). Ver figura 12.

Figura 12. Dinámica comercial por regiones 2006



Fuente: Elaboración propia con datos de la OMC 2007 y Secretaría de Economía 2010.

Las exportaciones de América del Norte y Asia crecieron más rápidamente que sus importaciones. El comercio entre la región de América del Norte representó un 53.9%, con América Latina un 6.4% y el comercio con Asia fue de 18.7%. Por otro lado, un 38.4% de las exportaciones de Norteamérica tuvieron como destino la

misma región, el 28.4% fueron a Latinoamérica y un 11.1% fue a Asia (OMC, 2007: 8-16).

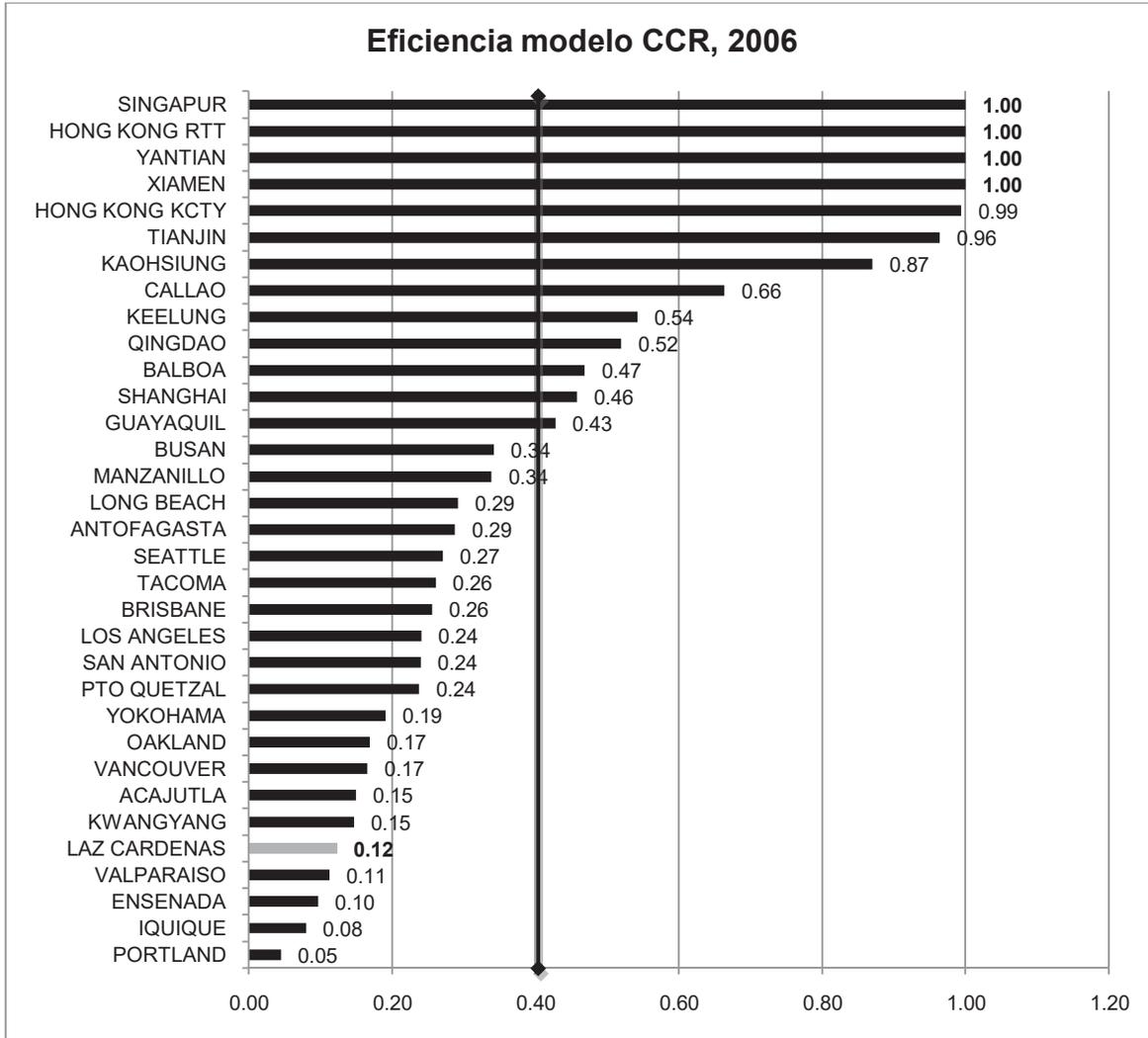
América Latina es la región en que la parte del comercio total correspondiente a las exportaciones agrícolas es mayor, el crecimiento de las importaciones superó ampliamente al de las exportaciones. El comercio de América Latina con Norteamérica fue de un 31.4%, el 25.9% se realizó dentro de la misma región y el 14.4% con Asia. Con respecto a las exportaciones el 5.7% de estas tuvieron como destino América del Norte, 29.5% de las mismas se llevaron a cabo dentro de la misma región y un 2.2% se enviaron a Asia (OMC, 2007: 8-16).

Las exportaciones de Asia crecieron en un 13%, mientras que sus importaciones aumentaron en un 9%. Asia es la región en la que es mayor la parte correspondiente de las manufacturas de las exportaciones totales, al corresponder más del 80% de las exportaciones de la región a ese grupo de productos. El comercio de mercancías que Asia realizó con América del Norte representó un 21.6%, el 2.1% con Latinoamérica y dentro de la misma región el comercio fue de un 50%. En relación a las exportaciones Asia envió a América del Norte un 30.1%, mientras que para América Latina fueron enviadas el 18.4% y dentro de la región asiática las exportaciones representaron un 57.7% (OMC, 2007: 8-16).

#### *5.4.1 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo CCR*

La gráfica 7 da a conocer los niveles de eficiencia para este año con el modelo CCR. De la misma manera que en los años anteriores se puede observar a los puertos más eficientes que se encuentran por encima del promedio y los más ineficientes por debajo del mismo.

Gráfica 7. Niveles de eficiencia modelo CCR para el año 2006



Fuente: Elaboración propia con los datos del software DEAOS.

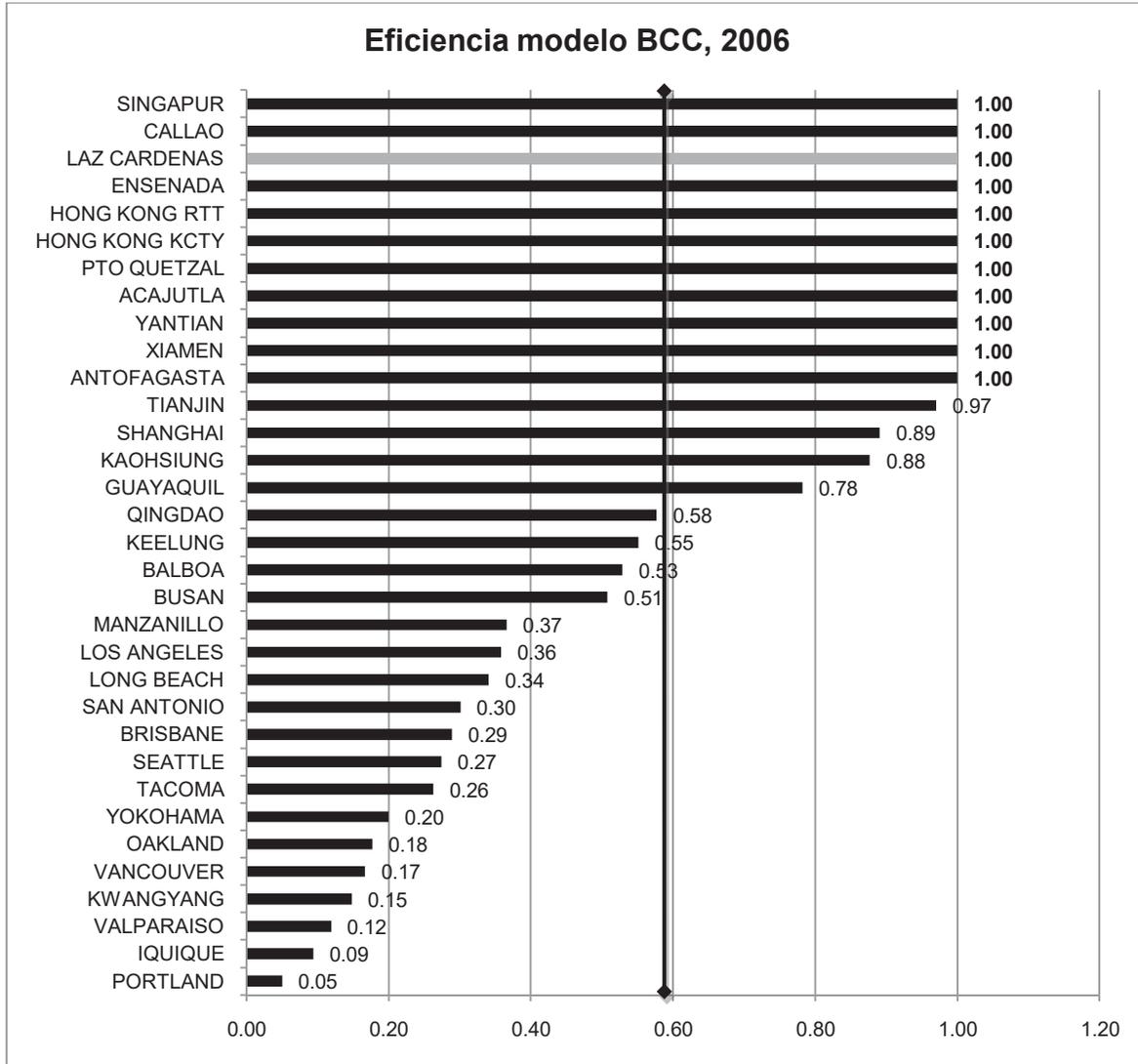
Para 2006, los puertos con eficiencia del 100% fueron Singapur, Hong Kong RTT, Yantian y Xiamen. Los puertos de Hong Kong KCTY y Tianjin con una eficiencia de 0.9940 y 0.9640, respectivamente, estuvieron muy cerca de ser del grupo de los privilegiados. Para América del Norte no hubo puerto alguno que superara el nivel promedio de 0.4230. De la región de Centroamérica sólo lo logró el puerto de Balboa (0.47) y para América del Sur lo fue el puerto del Callao (0.66). De los puertos asiáticos, la mayoría de nueva cuenta logró posicionarse por encima de la media. En resumen, sólo 13 puertos superaron el valor promedio de eficiencia. Brisbane (0.26) continuó medido en la misma dinámica, sin superar el nivel medio.

Al igual que el año pasado, el modelo CCR de 2006 mostró que LC fue uno de los puertos más ineficientes con respecto a la media, con un valor de 0.1230, esta ocasión superando a los puertos de Valparaíso (0.11), Ensenada (0.10), Iquique (0.08) y Portland (0.05), siendo este último el más ineficiente de nueva cuenta. Los puertos de referencia fueron nuevamente Xiamen ( $\lambda = 0.158$ ) y Yantian ( $\lambda = 0.079$ ), siendo el primero el puerto de principal referencia para LC. El modelo indicó que la dificultad de dicho puerto de nueva cuenta cayó en las mismas variables. La superficie de su terminal continúa teniendo tiempos muertos, ahora son 1.2 ha de ocio. Debió de haber incrementado su movimiento anual de contenedores en más de 8 veces para alcanzar los máximos niveles de eficiencia portuaria entre los países en estudio.

#### *5.4.2 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo BCC*

La gráfica 8 muestra los resultados obtenidos por el modelo BCC en el año 2006 para cada puerto. Se puede observar los puertos que fueron eficientes, los que están por encima del promedio y los que son ineficientes y que no lograron alcanzar el valor medio.

Gráfica 8. Niveles de eficiencia modelo BCC para el año 2006



Fuente: Elaboración propia con los datos del software DEAOS.

Nuevamente el modelo BCC mostró para el año 2006, un aumento en el número de puertos con eficiencia del 100%, los cuales fueron: Singapur, Callao, Ensenada, Hong Kong RTT, Hong Kong KCTY, Quetzal, Acajutla, Yantian, Xiamen, Antofagasta y Lázaro Cárdenas. Casi la mitad de los puertos que conforman el análisis estuvieron por encima del valor de la media (0.6010). En términos generales, América aportó 6 puertos de los más eficientes, mientras que Asia lo hizo con 5. Brisbane (0.29) se mantuvo casi con el mismo nivel de eficiencia y sin poder pasar el promedio. Similarmente, el puerto de Portland (0.05) se quedó en la última posición, como el

más ineficiente. De los puertos mexicanos nuevamente Manzanillo (0.37) quedó fuera de los más eficientes.

El modelo indicó que nuevamente el puerto de LC aparece como 100% eficiente, es decir, uno de los más eficientes para ese año en comparación con los demás puertos que el estudio contempla.

El 86.82% de las exportaciones mexicanas se fueron a América del Norte (aceites crudos y televisores), 1.53% a Latinoamérica (televisores, tractores y dispositivos de telecomunicación) y el 1.89% se enviaron a Asia (minerales, unidades de control y pieles artificiales). Con respecto a las importaciones, 53.77% de las mismas llegaron de Norteamérica (gasolina y maíz amarillo), el 1.36% vinieron de América Latina (cobre, acero y hierro) y el 22.63% de las naciones de Asia (televisores, prendas de vestir y semiconductores) (Secretaría de Economía, 2010).

El comercio marítimo mexicano se dio de la siguiente manera: en relación a las exportaciones el 24.94% se fue a América del Norte, el 26.78% tuvo como destino América Latina y un 16.58% se envió a Asia. Mientras que un 6.45% de las importaciones llegaron de Norteamérica, el 21.57% vinieron de Latinoamérica y un 49.22% tuvieron origen en Asia (UNCTAD, 2008: 137).

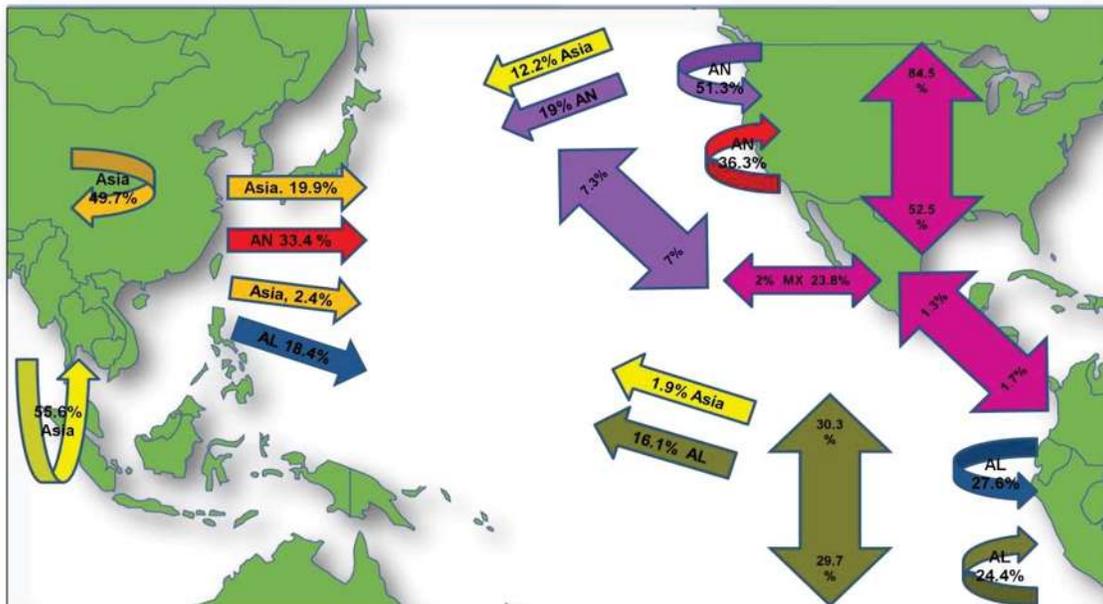
Según la Asociación Mexicana de Agentes Navieros A. C. (AMANAC), para 2006 se agregó una línea naviera más que fue Happag-Lloyd llegando a un total de 4 líneas navieras en el puerto de Lázaro Cárdenas, es posible que esto de alguna manera ayudo a incrementar los niveles de eficiencia.

## **5.5 Eficiencia portuaria en 2007**

El comercio se desaceleró en 2007 por el debilitamiento de la demanda de las economías desarrolladas. El crecimiento de las exportaciones mundiales de mercancías retrocedió a un 6% en términos reales. las exportaciones de productos

manufacturados crecieron en un 7.5% en volumen en 2007, conservando su primer puesto por delante de los productos agropecuarios, los combustibles y los productos de la industrias extractivas que registraron un crecimiento del 5% y 3%, respectivamente. Se han registrado diferencias relativamente importantes en el crecimiento del comercio dentro de las regiones: América del Norte y Asia reflejan un crecimiento relativo equilibrado entre el comercio con sus propias regiones y éstas con otras regiones distintas. Por su parte, Latinoamérica ha registrado un crecimiento más elevado de las exportaciones entre la propia región que con las demás regiones diferentes (OMC, 2008: 1-9). Ver figura 13.

Figura 13. Dinámica comercial por regiones 2007



Fuente: Elaboración propia con datos de la OMC 2008 y Secretaría de Economía 2010.

Las exportaciones de Norteamérica de productos manufacturados aumentaron un 4.5% para 2007. Las exportaciones de América del Norte, tercer proveedor en importancia a nivel mundial, crecieron en un 17%. El comercio de esta región con sus países miembros representó un 51.3%, con América Latina un 7% y con Asia un 19%. El 37% de las exportaciones se realizaron dentro de la misma región, el 29%

fueron enviadas a Latinoamérica y el 10.7% tuvieron como destino a Asia (OMC, 2008: 10-18).

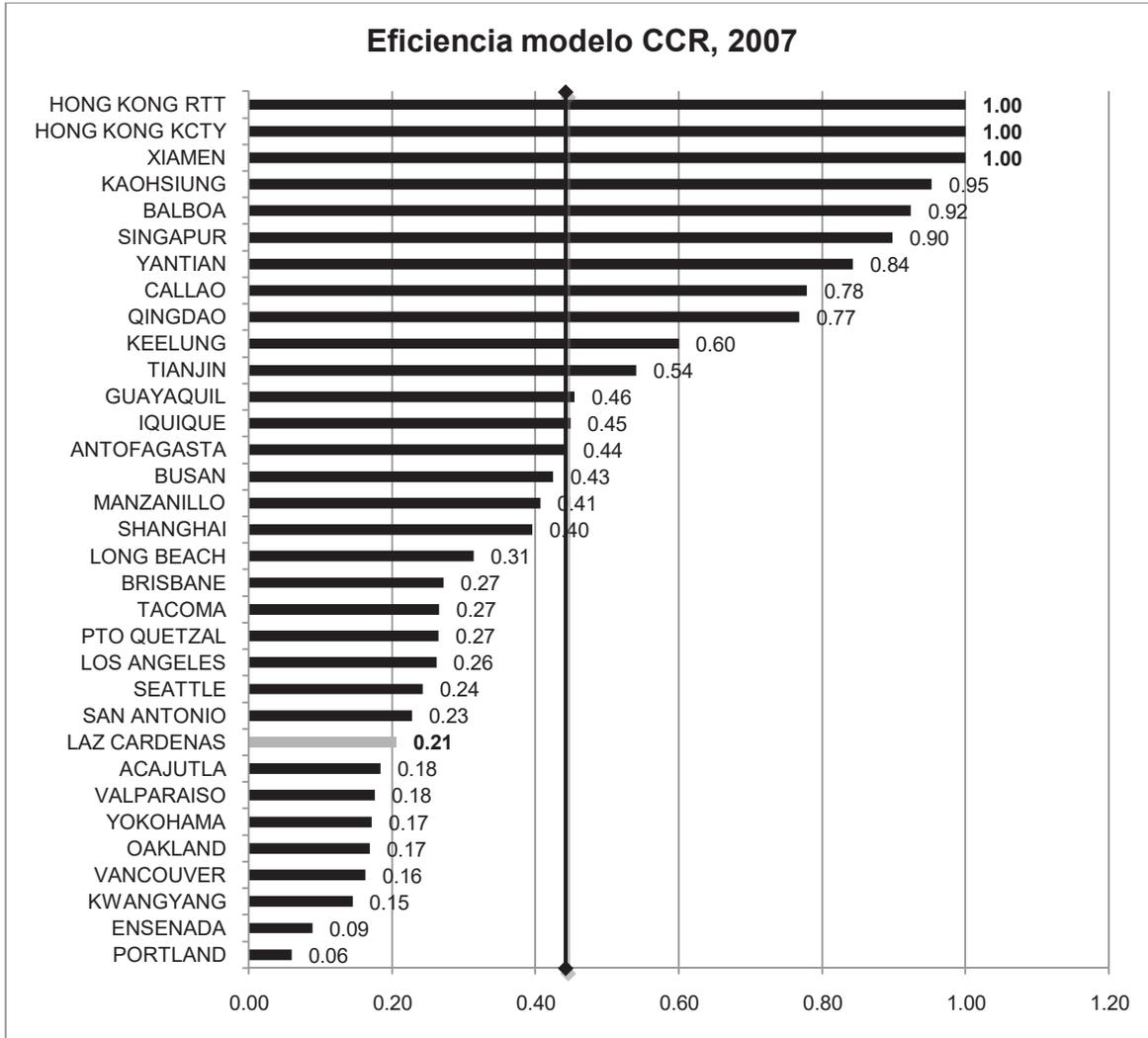
América Latina registró su tasa de crecimiento más elevada desde el año 2000 con un 23.4%. El 30.3% del comercio de mercancías esta región se realizó con América del Norte, mientras que un 24.4% se llevó a cabo dentro de la misma región y el 16.1% del comercio se llevó a cabo con los países asiáticos. Con respecto a sus exportaciones el 6% se enviaron a Norteamérica, un 27.1% se realizaron entre los países de la misma región y sólo el 2.4% tuvieron como destino a Asia (OMC, 2008: 10-18).

Las exportaciones asiáticas de productos manufacturados aumentaron un 13.5% en 2007, pero las de Norteamérica lo hicieron en un 4.5%. Asia, segundo proveedor en importancia dentro del mundo, incrementó sus exportaciones de productos agropecuarios en un 20%. Asia llevó a cabo su comercio en un 19.9% con América del Norte, un 2.4% con Latinoamérica y el 49.7% se realizó con las naciones pertenecientes a esta región. El 30.1% de las exportaciones se enviaron a Norteamérica, el 20.5% fueron enviadas a América Latina y el 57.4% de las mismas tuvieron como destino países de la misma región (OMC, 2008: 10-18).

### *5.5.1 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo CCR*

Para este año, en la gráfica subsecuente, se revela la eficiencia que cada puerto tiene, identificando cuáles son eficientes y cuáles ineficientes.

Gráfica 9. Niveles de eficiencia modelo CCR para el año 2007



Fuente: Elaboración propia con los datos del software DEAOS.

Hong Kong RTT y KCTY y Xiamen fueron los puertos que el modelo CCR en 2007 arrojó como 100% eficientes. El promedio de eficiencia para dicho año fue de 0.4574, sólo una tercera parte de los puertos analizados estuvo por encima de dicho nivel. Del lado de América únicamente los puertos de Callao (0.78) y Balboa (0.92) superaron ese nivel. Por el lado de Asia fueron casi todos a excepción de Yokohama (0.17), Busan (0.43), Shanghai (0.40) y Kwangyang (0.15).

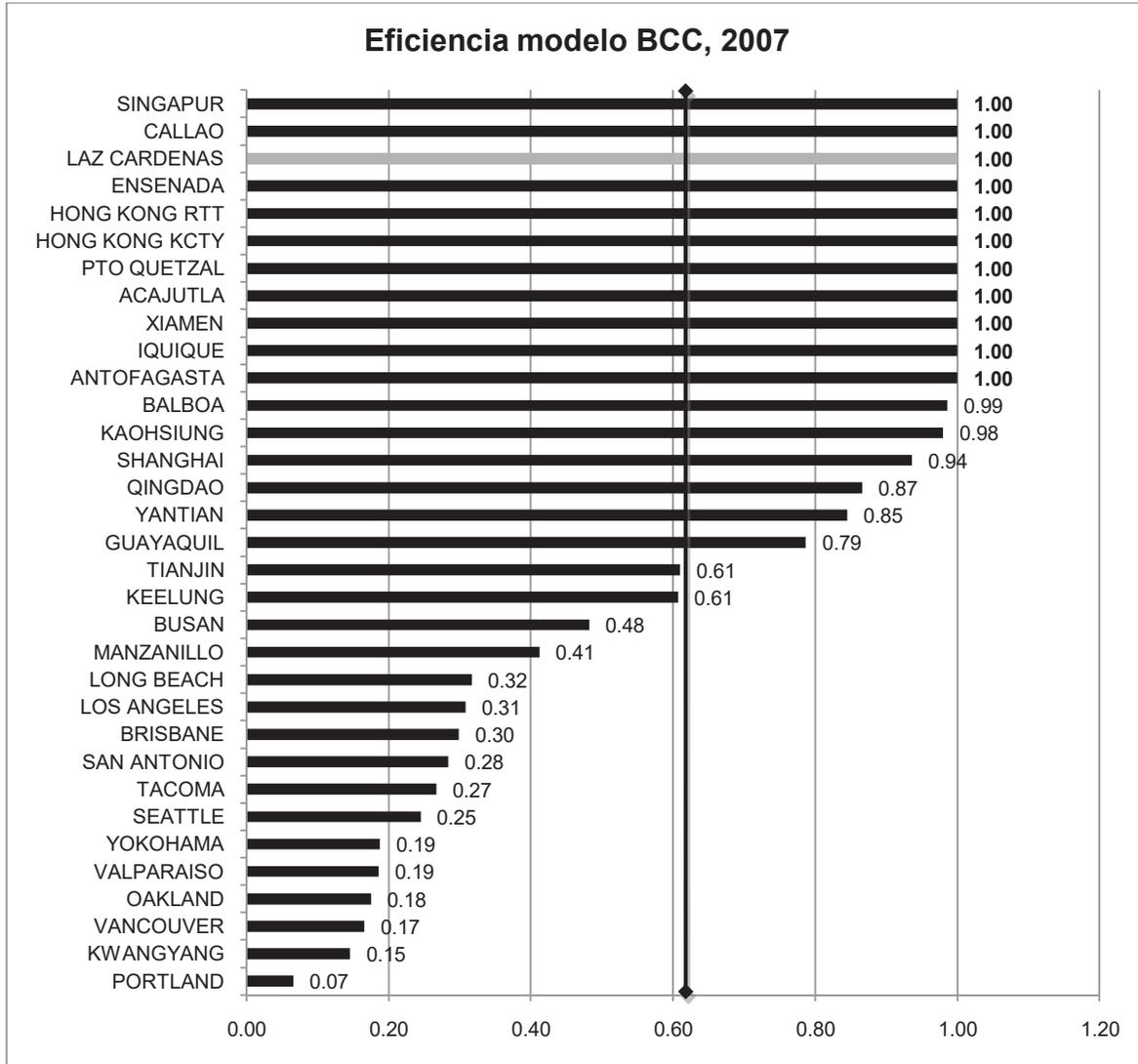
Los puertos mexicanos estuvieron por debajo del valor promedio, Manzanillo con 0.41, Lázaro Cárdenas 0.21 y Ensenada 0.09.

Para 2007, LC se colocó por encima de varios puertos como Valaparaíso (0.18), Kwangyang (0.15), Acajutla (0.18), Yokohama (0.17), Vancouver (0.16) Ensenada (0.09), Oakland (0.17) y Portland (0.06), y nuevamente este último siendo el más ineficiente. Dicho modelo CCR reveló que LC es ineficiente con respecto al promedio, 0.4574. Xiamen fue por tercera vez consecutiva el puerto de mayor referencia de LC. CCR hizo hincapié en la superficie de su terminal que siguió siendo ociosa ahora con poco más de 4 ha, cayendo drásticamente en comparación con los años anteriores de 2005 y 2006; y el movimiento de contenedores continuó siendo muy bajo (486%) en relación a lo que se debería de haber movido , según el modelo.

### *5.5.2 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo BCC*

Los niveles de eficiencia que se presentaron con el modelo BCC en el año 2007, así como los puertos eficientes e ineficientes son mostrados en la siguiente gráfica.

Gráfica 10. Niveles de eficiencia modelo BCC para el año 2007



Fuente: Elaboración propia con los datos del software DEAOS.

Para 2007 el modelo BCC indicó que los puertos 100% eficientes fueron Singapur, Callao, Ensenada, Hong Kong RTT, Hong Kong KCTY, Quetzal, Acajutla, Xiamen, Iquique, Antofagasta y Lázaro Cárdenas. Más de la mitad de los puertos superaron el valor promedio de eficiencia de 0.6412 y un tercio de los mismos fueron los más eficientes. Esto es, América tuvo 9 puertos y Asia 8. Por lo tanto, está ocasión los puertos de América superaron a los de Asia. El puerto de Portland (0.07) continuó siendo el más ineficiente y Brisbane (0.30) con el mismo comportamiento, quedándose muy por debajo del nivel promedio de eficiencia. Nuevamente el puerto

mexicano de Manzanillo (0.41) quedó fuera de los eficientes y no superó el valor medio. El puerto de LC se mostró como 100% eficiente para ese año. Cumpliendo 3 años consecutivos como puerto eficiente.

La actividad comercial de México se observa que el 84.51% de sus exportaciones se enviaron a Norteamérica (televisores y autopartes), 1.73% tuvo como destino Latinoamérica (televisores, dispositivos de radiofrecuencia y tablones) y un 2% se despacho a los países asiáticos. En cuanto a sus importaciones, el 52.45% vinieron de América del Norte (gasolina, maíz amarillo y gas natural), un 1.32% llegó de América Latina (motores automotrices, metales y productos siderúrgicos) y el 23.78% tuvo como origen las naciones de Asia (Secretaría Economía, 2010).

El 23.33% de las exportaciones marítimas mexicanas se fueron a América del Norte, el 27.87% se enviaron a América Latina y un 16.68% se hicieron llegar a Asia. Con respecto a las importaciones un 6.11% fueron norteamericanas, 21.16% latinoamericanas y un 51.09% asiáticas.

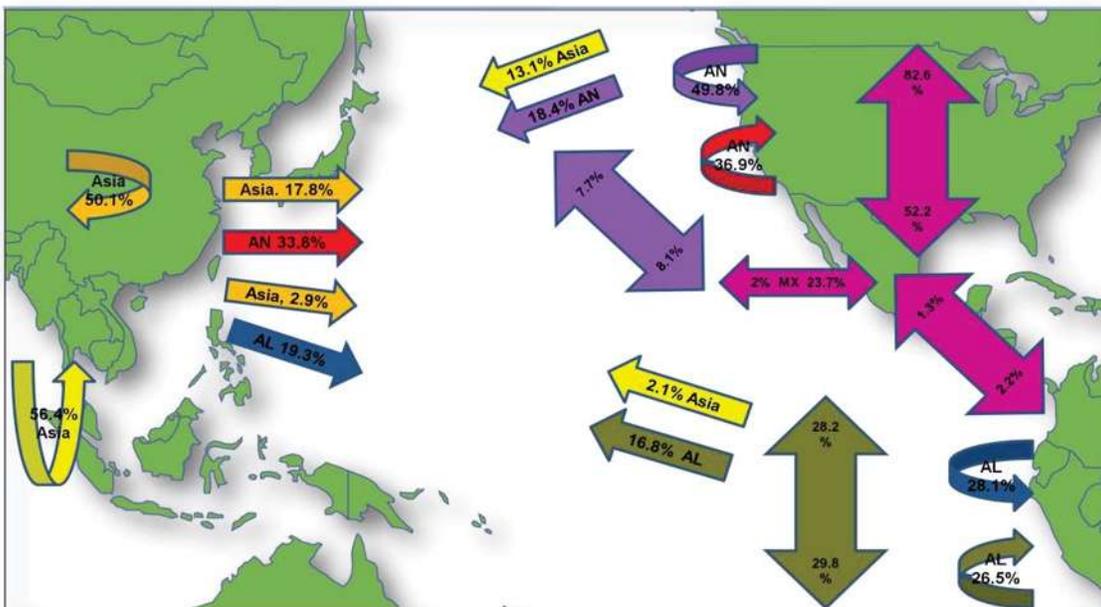
Para 2007, la AMANAC comentó que en este año llegaron tres navieras más, sumando siete junto con las anteriores y éstas fueron COSCO, Evergreen y CSAV. Con estas siete líneas navieras prestando sus servicios en Lázaro Cárdenas el movimiento de contenedores es aun mayor y además, la utilización de la superficie de la terminal se aprovecha de mejor manera, probablemente esto haya ayudado a mejorar el nivel de eficiencia de dicho puerto.

## **5.6 Eficiencia portuaria en 2008**

El comercio mundial de mercancías continuó aumentando rápidamente durante el 2008. La tasa del comercio total de mercancías mostró un crecimiento del 15%, tasa que sólo es ligeramente inferior a la de 2007 (16%), pero todavía superior al promedio del 12% registrado en 2000. El aumento sostenido del valor de las exportaciones se debió sobre todo a la fuerte subida de precios de los productos

básicos en los mercados internacionales, en particular los combustibles y otros minerales. Las exportaciones de combustibles y productos de las industrias extractivas se beneficiaron de esta tendencia internacional y aumentaron a razón de una tasa media anual del 28%. El crecimiento medio anual de las exportaciones de otras mercancías fue menos espectacular a pesar de los buenos resultados de 2008 debidos a un mayor aumento de las exportaciones de productos alimenticios (OMC, 2009: 1-8). Ver figura 14.

Figura 14. Dinámica comercial por regiones 2008



Fuente: Elaboración propia con datos de la OMC 2009 y Secretaría de Economía 2010.

Las exportaciones de América del Norte cayeron un 7%. El comercio dentro de esta región representó un 49.8%, mientras que con Latinoamérica fue de 8.1% y el 18.4% del comercio de Norteamérica se llevó a cabo con Asia. En relación a las exportaciones dentro de la zona norteamericana significó un 37.5%, el 28.3% fueron enviadas a América Latina y un 9.6% se destinaron a Asia (OMC, 2009: 8-16).

El comercio entre América Latina y Norteamérica significó un 28.2%, mientras que el comercio de Latinoamérica con las naciones pertenecientes a esta misma región representó un 26.5% y las actividades comerciales con Asia fueron de un 16.8%.

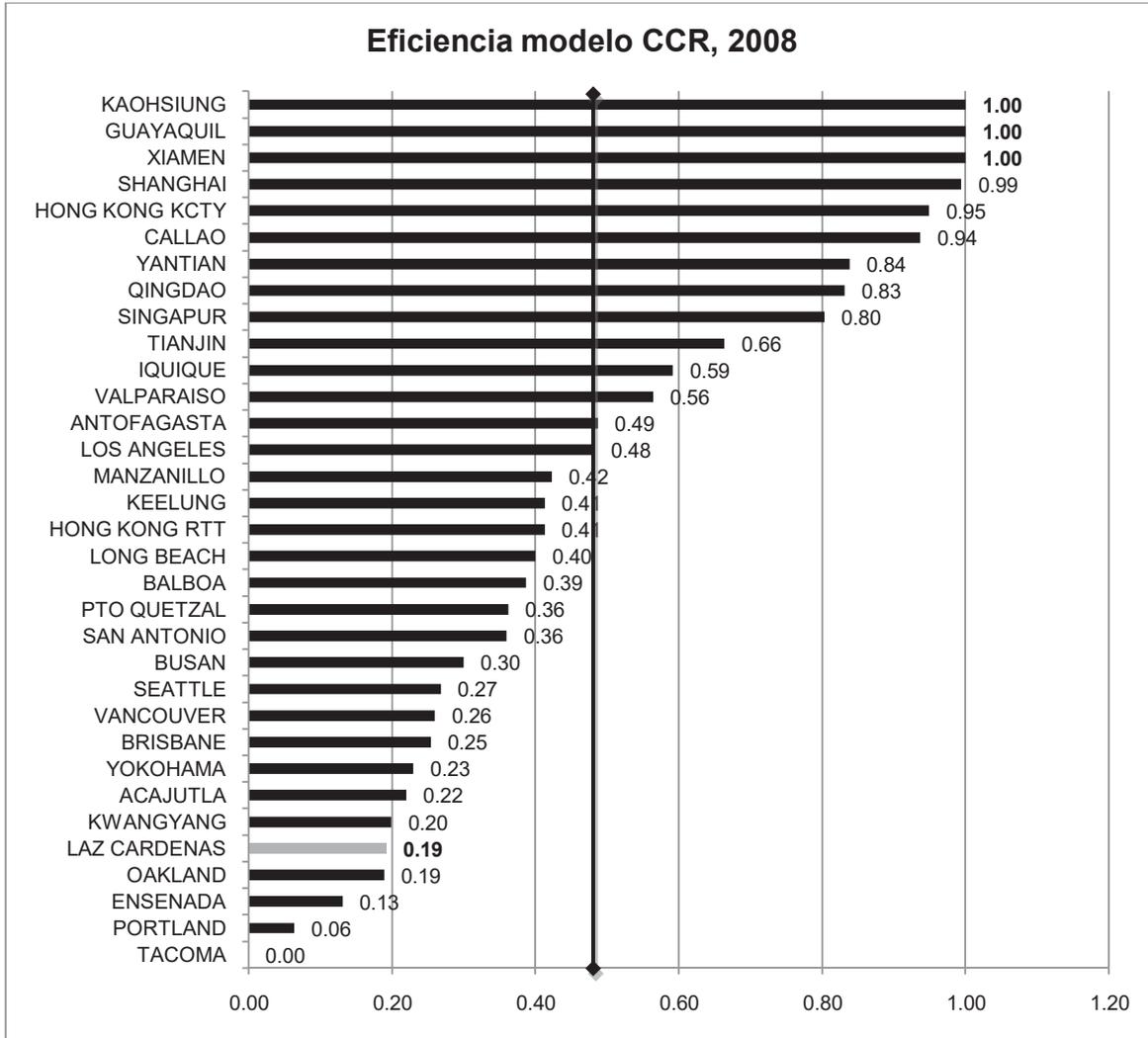
Con respecto a las exportaciones de América Latina a la región norteamericana se enviaron un 6.2%, el 27.2% de las exportaciones fueron destinadas a los países de la misma región latinoamericana y el 2.6% de las mismas tuvieron como destino Asia (OMC, 2009: 8-16).

Las exportaciones de Asia disminuyeron un 5%. Los flujos comerciales de los nuevos países industrializados de Asia han registrado una mayor recuperación que lo de los países desarrollados, lo que permite pensar que gran parte del comercio de los primeros podría deberse al comercio entre las naciones de la misma región. El comercio entre la zona asiática y América del Norte representó un 17.8%, un 2.9% entre Asia y Latinoamérica y el comercio entre las naciones pertenecientes a la región de Asia significó un 50.1%. Las exportaciones de esta región a Norteamérica constituyeron un 28.6%, el 21.9% tuvieron como destino América Latina y las exportaciones entre los países de la región fue de 55.9% (OMC, 2009: 8-16).

### *5.6.1 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo CCR*

Último año de análisis en el cual el modelo CCR expone los niveles de eficiencia que cada puerto tiene y que es plasmado en la siguiente gráfica.

Gráfica 11. Niveles de eficiencia modelo CCR para el año 2008



Fuente: Elaboración propia con los datos del software DEAOS.

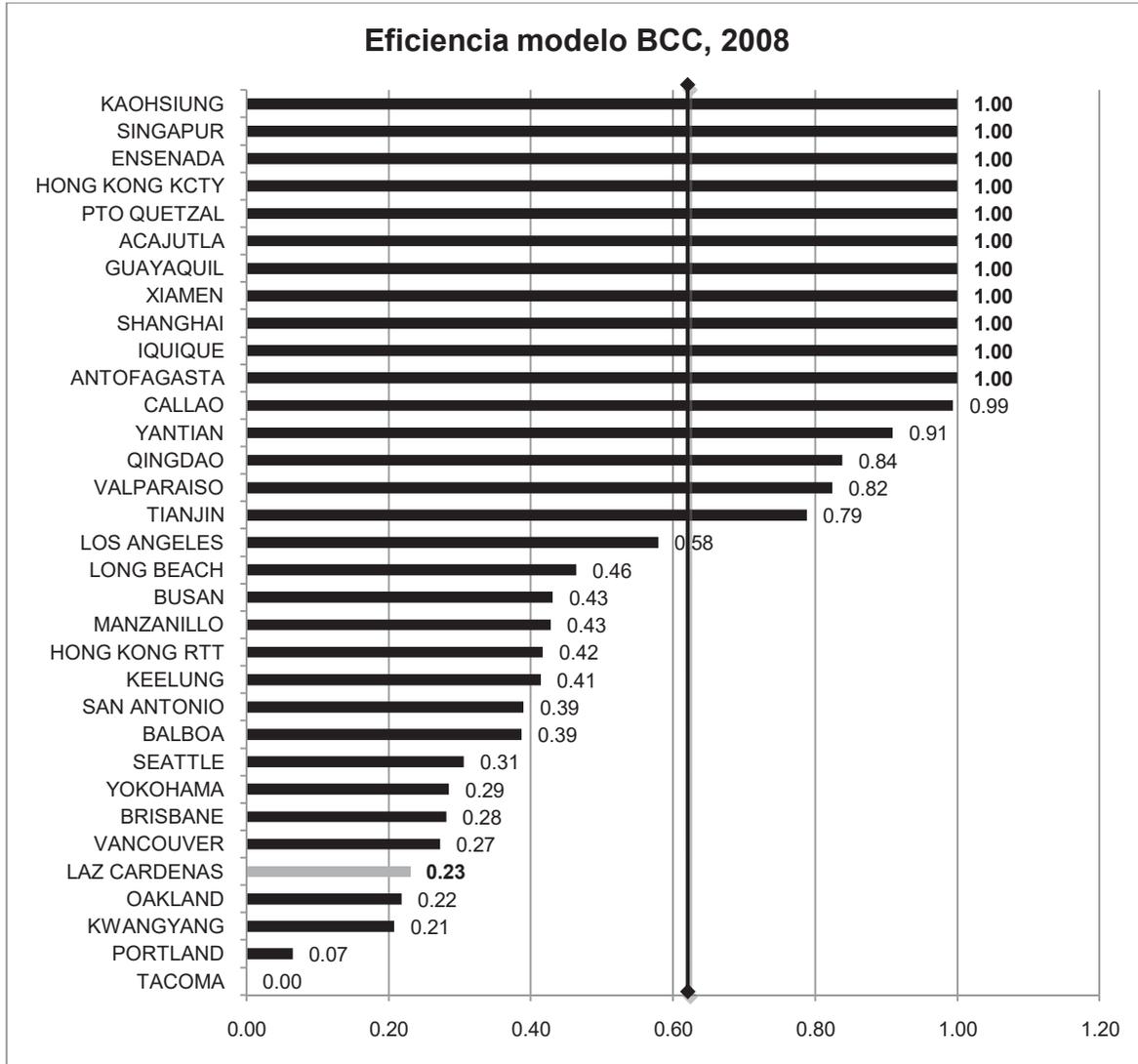
El modelo reveló que los puertos con un nivel de eficiencia del 100% fueron Kaohsiung, Guayaquil y Xiamen. Un poco más de la tercera parte de los puertos superaron el nivel promedio de 0.4911, en su mayoría fueron los puertos pertenecientes a la región asiática. En esta ocasión, el puerto de Tacoma aparece como el más ineficiente, desplazando al puerto de Portland (0.06) quien se queda como el segundo puerto más ineficiente. Ninguno de los puertos mexicanos superó el valor promedio, Manzanillo tuvo 0.42, Lázaro Cárdenas 0.19 y Ensenada 0.13.

El modelo también indicó un nivel de eficiencia muy bajo para LC de 0.1920, con respecto al promedio. Xiamen fue el puerto de referencia para LC. Nuevamente, se notificó que la superficie de su terminal y el movimiento de contenedores tuvieron dificultades. La superficie de su terminal tuvo casi 30 ha mal aprovechadas y el movimiento de contenedores debió ser un poco más de 5 veces en relación a lo movido en ese año.

### *5.6.2 Eficiencia de las terminales de contenedores modelo BCC*

Se presentan los niveles de eficiencia y los puertos eficientes, los que alcanzaron a pasar el nivel promedio y los que son ineficientes.

Gráfica 12. Niveles de eficiencia modelo BCC para el año 2008



Fuente: Elaboración propia con los datos del software DEAOS.

Con el modelo BCC, en el año 2008 una tercera parte de los puertos analizados fueron 100% eficientes. Así, se señalaron los siguientes: Kaohsiung, Singapur, Ensenada, Hong Kong KCTY, Quetzal, Acajutla, Guayaquil, Xiamen, Shanghai, Qingdao, Iquique y Antofagasta. 16 de los 33 puertos analizados, superaron el nivel medio de 0.6281 y prácticamente la mitad de ellos fueron americanos. Los puertos de Tacoma (0) y Portland (0.07) continuaron con niveles de eficiencia muy bajos, siendo el primero y segundo lugar en relación a los más ineficientes, respectivamente. Cabe destacar, que con el paso del tiempo, los puertos americanos

han estado alcanzando mejores niveles de eficiencia y posicionándose a la par con los puertos asiáticos.

En el último año de análisis, 2008, el modelo BCC indicó que LC cayó de manera drástica en su nivel de eficiencia, con un valor de 0.2300 por debajo de la media. Ese año apareció en el plano de los puertos de referencia Ensenada, un puerto que de cierta manera representa, hasta hoy en día, una competencia directa nacional para LC. Para ese año, el puerto de LC incrementó su longitud de muelle, la superficie de su terminal y sus grúas pórtico al abrir su nueva terminal de contenedores, por lo que, el modelo reveló que LC de forma reiterada tiene problemas con la superficie de su terminal ahora son 27 ha de ocio. El movimiento de contenedores también sigue teniendo problemas, el cual tuvo que haberse incrementado en un 434%, con respecto a lo que se debió haber movido ese año.

El 82.59% de las exportaciones de México se enviaron a América del Norte (aceites crudos, televisores y autopartes), un 2.20% se fue a Latinoamérica (dispositivos de telecomunicación, televisores, tractores y equipos de radiofrecuencia) y el 1.98% tuvo como destino Asia (metales, minerales, unidades de control y productos agrícolas). Con respecto a las importaciones mexicanas se observó que el 52.26% de ellas vinieron de Norteamérica (gasolina, maíz amarillo y aparatos de telecomunicaciones), el 1.26% llegaron de América Latina (cobre, motores automotrices y productos siderúrgicos) y 23.73% se originaron en Asia (televisores, semiconductores, circuitos modulares y equipo de computo) (Secretaría de Economía, 2010).

Con respecto a las exportaciones mediante la vía marítima el 22.22% tuvieron como destino América del Norte, el 29.60% se fueron a Latinoamérica y el 17.90% se enviaron a los países de la región de Asia. El 7.12% de las importaciones marítimas vinieron de Norteamérica, el 20.68% llegaron de América Latina y el 52.02% tuvieron como origen las naciones de Asia (UNCTAD, 2008: 137).

Según la AMANAC, para 2008 CP Ships abandonó el puerto y llegaron dos líneas navieras más CNNI y Hamburg-Süd. Es probable que el nivel de eficiencia haya disminuido debido a la salida de CP Ships y a la incorporación paulatina de CNNI y Hamburg-Süd.

Los resultados mostrados y analizados dan la pauta para que en el siguiente apartado se manifiesten las conclusiones finales de esta investigación y algunas recomendaciones.

## **5.7 Proyección de eficiencia portuaria para 2009 y 2010**

Es importante señalar las proyecciones o pronósticos para los años de 2009 y 2010 en materia de eficiencia de las terminales portuarias de contenedores que pertenecen a la Cuenca del Pacífico. Sin duda, la dinámica comercial en esta zona o región continuará creciendo con el paso del tiempo y, específicamente, el comercio marítimo lo hará de la misma manera. Esto debido a la gran cantidad de países que pertenecen a este bloque y también, es interesante destacar, el crecimiento de la economía de las naciones asiáticas, las cuales han intensificado sus actividades comerciales con las regiones de América del Norte y Latinoamérica, sin dejar de lado el comercio interregional (comercio entre países de la misma región).

### *5.7.1 Proyección con el modelo CCR para 2009 y 2010*

En el cuadro 3 se sintetizan los valores estimados de eficiencia portuaria para los años de 2009 y 2010 con el modelo DEA-CCR. Cabe recordar que este modelo considera rendimientos a escala constantes, lo que representa resultados de manera hipotética.

Cuadro 3. Valores estimados de eficiencia para 2009 y 2010 con el modelo CCR

DEA-CCR Eficiencia									
Puerto	País	Años						Valores Estimados	
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
BRISBANE	AUSTRALIA	0.2330	0.3570	0.2960	0.2560	0.2720	0.2540	0.2953	0.3030
VANCOUVER	CANADÁ	0.1130	0.1530	0.1460	0.1660	0.1630	0.2600	0.1373	0.1550
ANTOFAGASTA	CHILE	0.2300	0.3450	0.4060	0.2880	0.4430	0.4870	0.3270	0.3463
IQUIQUE	CHILE	0.2520	0.3680	<b>0.4710</b>	0.0800	0.4490	<b>0.5920</b>	0.3637	0.3063
SAN ANTONIO	CHILE	0.1720	0.2590	0.2420	0.2400	0.2280	0.3600	0.2243	0.2470
VALPARAISO	CHILE	0.1130	0.2060	0.1060	0.1130	0.1760	<b>0.5640</b>	0.1417	0.1417
QINGDAO	CHINA	0.1120	<b>0.4990</b>	<b>0.5830</b>	<b>0.5200</b>	<b>0.7680</b>	<b>0.8310</b>	<b>0.3980</b>	<b>0.5340</b>
SHANGHAI	CHINA	<b>1.0000</b>	<b>0.6780</b>	<b>0.5960</b>	<b>0.4580</b>	0.3960	<b>0.9940</b>	<b>0.7580</b>	<b>0.5773</b>
XIAMEN	CHINA	<b>0.4540</b>	<b>0.6870</b>	<b>1.0000</b>	<b>1.0000</b>	<b>1.0000</b>	<b>1.0000</b>	<b>0.7137</b>	<b>0.8957</b>
TIANJIN	CHINA	<b>0.4940</b>	<b>0.5510</b>	<b>0.6040</b>	<b>0.9640</b>	<b>0.5410</b>	<b>0.6640</b>	<b>0.5497</b>	<b>0.7063</b>
YANTIAN	CHINA	<b>0.6130</b>	<b>0.8980</b>	<b>1.0000</b>	<b>1.0000</b>	<b>0.8430</b>	<b>0.8380</b>	<b>0.8370</b>	<b>0.9660</b>
BUSAN	COREA	<b>0.3370</b>	<b>1.0000</b>	0.3770	0.3420	0.4250	0.3000	<b>0.5713</b>	<b>0.5730</b>
KWANGYANG	COREA	<b>0.3970</b>	0.1230	0.1290	0.1470	0.1450	0.1990	0.2163	0.1330
GUAYAQUIL	ECUADOR	0.3070	0.4180	0.3610	<b>0.4280</b>	0.4550	<b>1.0000</b>	0.3620	0.4023
ACAJUTLA	EL SALVADOR	0.1100	0.2370	0.1290	0.1500	0.1840	0.2200	0.1587	0.1720
PTO QUETZAL	GUATEMALA	0.1900	0.2630	0.2290	0.2380	0.2650	0.3620	0.2273	0.2433
HONG KONG KCTY	HONG KONG	<b>1.0000</b>	<b>1.0000</b>	<b>1.0000</b>	<b>0.9940</b>	<b>1.0000</b>	<b>0.9490</b>	<b>1.0000</b>	<b>0.9980</b>
HONG KONG RTT	HONG KONG	<b>0.8420</b>	<b>0.8380</b>	<b>0.9470</b>	<b>1.0000</b>	<b>1.0000</b>	0.4130	<b>0.8757</b>	<b>0.9283</b>
YOKOHAMA	JAPÓN	0.1290	0.1960	0.1660	0.1910	0.1720	0.2300	0.1637	0.1843
ENSENADA	MÉXICO	0.0400	0.0580	0.0720	0.0970	0.0890	0.1310	0.0567	0.0757
LAZ CARDENAS	MÉXICO	0.0010	0.0410	0.1140	0.1230	0.2060	0.1920	0.0520	0.0927
MANZANILLO	MÉXICO	0.1680	0.3260	0.3340	0.3390	0.4070	0.4230	0.2760	0.3330
BALBOA	PANAMÁ	0.1850	0.3210	<b>0.4440</b>	<b>0.4690</b>	<b>0.9240</b>	0.3870	0.3167	0.4113
CALLAO	PERÚ	<b>0.3620</b>	<b>0.4990</b>	<b>0.5070</b>	<b>0.6640</b>	<b>0.7790</b>	<b>0.9370</b>	<b>0.4560</b>	<b>0.5567</b>
SINGAPUR	SINGAPUR	<b>0.5940</b>	<b>0.9590</b>	<b>0.9150</b>	<b>1.0000</b>	<b>0.8980</b>	<b>0.8030</b>	<b>0.8227</b>	<b>0.9580</b>
KAOHSIUNG	TAIWAN	<b>0.7830</b>	<b>0.9590</b>	<b>0.8760</b>	<b>0.8700</b>	<b>0.9530</b>	<b>1.0000</b>	<b>0.8727</b>	<b>0.9017</b>
KEELUNG	TAIWAN	<b>0.4320</b>	<b>0.7640</b>	<b>0.7510</b>	<b>0.5420</b>	<b>0.6000</b>	0.4130	<b>0.6490</b>	<b>0.6857</b>
LONG BEACH	USA	0.1630	0.3200	0.3160	0.2920	0.3140	0.4000	0.2663	0.3093
LOS ANGELES	USA	<b>0.3790</b>	0.2880	0.2500	0.2410	0.2620	0.4820	0.3057	0.2597
OAKLAND	USA	0.1130	0.1480	0.1260	0.1690	0.1690	0.1890	0.1290	0.1477
SEATTLE	USA	0.1870	0.2880	0.2380	0.2710	0.2430	0.2680	0.2377	0.2657
TACOMA	USA	0.2440	<b>0.4550</b>	0.2270	0.2610	0.2660	0.0000	0.3087	0.3143
PORTLAND	USA	0.0680	0.0690	0.0350	0.0450	0.0600	0.0640	0.0573	0.0497
	Promedio	<b>0.3278</b>	<b>0.4415</b>	<b>0.4240</b>	<b>0.4230</b>	<b>0.4574</b>	<b>0.4911</b>	<b>0.3978</b>	<b>0.4295</b>

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar es de esperarse que para 2009 los niveles de eficiencia con el modelo CCR sean bajos en todos los puertos. Nuevamente los puertos americanos aparecen como ineficientes y, en su mayoría, por debajo del promedio; mientras que los puertos asiáticos continúan presentado niveles de eficiencia altos con respecto a la media. Para ese año se espera que el puerto de Hong Kong KCTY sea el único que obtenga una eficiencia del 100%, mientras que el puerto de Lázaro Cárdenas disminuya su eficiencia a 0.0520 con respecto a 2008.

Para los puertos mexicanos, en términos generales lo niveles de eficiencia disminuirán con respecto al año anterior.

En 2010 se estima que el comportamiento sea similar a 2009, es decir, los puertos asiáticos seguirán tendiendo altos niveles de eficiencia, mientras que los puertos americanos tendrán bajos niveles. Los puertos que se espera sean más eficientes son Hong Kong KCTY (0.9980) y Yantian (0.9660). Lázaro Cárdenas podría tener una eficiencia de 0.0927 continuando con un nivel muy bajo, mientras que para los puertos mexicanos se estima que se comporten con bajos niveles de eficiencia.

### *5.7.2 Proyección con el modelo BCC para 2009 y 2010*

El cuadro 4 muestra los valores esperados de eficiencia portuaria para los años de 2009 y 2010 con el modelo DEA-BCC. Es importante señalar que este modelo contempla rendimientos a escala variables y a diferencia del modelo CCR, los resultados estimados son valores más cercanos a lo real.

Cuadro 4. Valores estimados de eficiencia para 2009 y 2010 con el modelo BCC

DEA-BCC Eficiencia									
Puerto	País	Años						Valores Estimados	
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
BRISBANE	AUSTRALIA	0.3000	0.4350	0.3710	0.2890	0.2990	0.2810	0.3687	0.3650
VANCOUVER	CANADÁ	0.1150	0.1580	0.1480	0.1670	0.1660	0.2720	0.1403	0.1577
ANTOFAGASTA	CHILE	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
IQUIQUE	CHILE	1.0000	0.4920	1.0000	0.0940	1.0000	1.0000	0.8307	0.5287
SAN ANTONIO	CHILE	0.2230	0.3320	0.3140	0.3010	0.2840	0.3900	0.2897	0.3157
VALPARAISO	CHILE	0.1290	0.2230	0.1210	0.1190	0.1860	0.8240	0.1577	0.1543
QINGDAO	CHINA	0.1130	0.5020	0.5860	0.5770	0.8660	0.8380	0.4003	0.5550
SHANGHAI	CHINA	1.0000	0.8020	0.9310	0.8910	0.9360	1.0000	0.9110	0.8747
XIAMEN	CHINA	0.5060	0.7610	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.7557	0.9203
TIANJIN	CHINA	0.5360	0.5890	0.6120	0.9700	0.6100	0.7880	0.5790	0.7237
YANTIAN	CHINA	0.6520	0.9620	1.0000	1.0000	0.8450	0.9090	0.8713	0.9873
BUSAN	COREA	0.5090	1.0000	0.5230	0.5080	0.4820	0.4310	0.6773	0.6770
KWANGYANG	COREA	0.5240	0.1260	0.1330	0.1480	0.1460	0.2080	0.2610	0.1357
GUAYAQUIL	ECUADOR	0.5410	0.8180	0.6220	0.7820	0.7870	1.0000	0.6603	0.7407
ACAJUTLA	EL SALVADOR	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
PTO QUETZAL	GUATEMALA	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
HONG KONG KCTY	HONG KONG	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
HONG KONG RTT	HONG KONG	0.8720	0.8480	0.9820	1.0000	1.0000	0.4170	0.9007	0.9433
YOKOHAMA	JAPÓN	0.1430	0.1970	0.1670	0.2000	0.1880	0.2850	0.1690	0.1880
ENSENADA	MÉXICO	0.1930	0.3750	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.5227	0.7917
LAZ CARDENAS	MÉXICO	0.0110	0.1400	1.0000	1.0000	1.0000	0.2300	0.3837	0.7133
MANZANILLO	MÉXICO	0.1840	0.3350	0.3690	0.3660	0.4120	0.4280	0.2960	0.3567
BALBOA	PANAMÁ	0.2180	0.3820	0.4770	0.5290	0.9860	0.3870	0.3590	0.4627
CALLAO	PERÚ	0.5160	0.9070	0.8970	1.0000	1.0000	0.9940	0.7733	0.9347
SINGAPUR	SINGAPUR	0.8850	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9617	1.0000
KAOHSIUNG	TAIWAN	0.7980	0.9900	0.8920	0.8770	0.9800	1.0000	0.8933	0.9197
KEELUNG	TAIWAN	0.4440	0.7840	0.7720	0.5510	0.6070	0.4140	0.6667	0.7023
LONG BEACH	USA	0.2280	0.3220	0.3620	0.3410	0.3170	0.4640	0.3040	0.3417
LOS ANGELES	USA	0.3800	0.3330	0.3310	0.3580	0.3080	0.5790	0.3480	0.3407
OAKLAND	USA	0.1130	0.1500	0.1510	0.1770	0.1750	0.2180	0.1380	0.1593
SEATTLE	USA	0.1950	0.3080	0.2530	0.2740	0.2450	0.3060	0.2520	0.2783
TACOMA	USA	0.2660	0.5160	0.2440	0.2630	0.2670	0.0000	0.3420	0.3410
PORTLAND	USA	0.0780	0.0800	0.0410	0.0500	0.0660	0.0650	0.0663	0.0570
	Promedio	0.4749	0.5717	0.6151	0.6010	0.6412	0.6281	0.5539	0.5959

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro anterior revela los niveles de eficiencia esperados para los años 2009 y 2010 con el modelo BCC. En 2009 se espera una mayor participación de los puertos americanos teniendo valores de eficiencia altos. Como es de esperarse se estima que los puertos asiáticos continúen teniendo valores de eficiencia altos, superiores a la media. Además se estima que cuatro puertos sean 100% eficientes: Antofagasta, Acajutla, Quetzal y Hong Kong KCTY. Para el caso particular de Lázaro Cárdenas, se espera que su nivel de eficiencia sea de 0.3837 por debajo del promedio. Los otros dos puertos mexicanos, también tendrán bajos niveles de eficiencia por debajo de la media, Ensenada 0.5227 y Manzanillo 0.2960.

Para 2010 se estima que haya un puerto más que sea eficiente, el puerto de Singapur, sumándose a los cuatro puertos eficientes del año anterior. Los puertos americanos continuarán teniendo buenos niveles de eficiencia por arriba de la media y los puertos asiáticos se comportaran se la misma manera, con buenos niveles de eficiencia. Lázaro Cárdenas tendrá un nivel esperado de eficiencia de 0.7133, para este año según la AMANAC entra una nueva línea naviera CSCL, quien seguramente llegará a contribuir a aumentar el movimiento de contenedores. Para el caso de Ensenada y Manzanillo, los niveles de eficiencia serán 0.7917 (por arriba de la media) y 0.3567, respectivamente.

## Capítulo 6. CONCLUSIONES

El análisis realizado en este trabajo permitió identificar las variables que, desde el punto de vista infraestructural, influyen e impactan en la eficiencia de las terminales portuarias de contenedores. Aplicando la técnica DEA se realizó la medición de dicha eficiencia.

Los resultados indican que la eficiencia de la terminal de contenedores del puerto de Lázaro Cárdenas fue inferior al promedio en todos los años del análisis, utilizando el modelo CRR, mientras que con el modelo BCC para 2005, 2006 y 2007 el puerto fue eficiente, pero en los años 2003, 2004 y 2008, no logró superar el promedio.

En esta investigación se utilizaron diferentes tamaños de los puertos (medio, grande y mega puertos), el DEA permite realizar esta clase de comparaciones, ya que la finalidad es conocer la eficiencia la cual se refiere al correcto aprovechamiento de los recursos e insumos sin importar el tamaño de la unidad. Sin embargo, para este estudio el haber considerado una gran cantidad de puertos (terminales de contenedores) es una limitante, ya que podría haberse considerado más insumos (*inputs*) e incluso también más productos (*outputs*).

Los datos permiten tener un amplio panorama de la situación de cada puerto en materia de infraestructura. Además, se pueden identificar los cambios que cada puerto ha realizado en las variables consideradas para cada uno de los años del estudio. Los datos provienen de una fuente de carácter internacional (Containerisation International Yearbook), por lo que son de alta confiabilidad. El DEA permite combinar diferentes medidas de los datos, por lo tanto no es necesario homogeneizarlos a una sola medida.

Los puertos de referencia son los eficientes y estos son los que se utilizan como base para realizar el *benchmarking* del puerto de Lázaro Cárdenas. Estos permiten observar su infraestructura y a la vez identificar cuáles variables tendrán que sufrir

algún cambio con la finalidad de realizar el *benchmarking* adecuado que ayude a mejorar la eficiencia del puerto. Sin embargo, es probable que el puerto que va a realizar el *benchmarking* no posea el capital o *know-how* suficiente para alcanzar a lograr los cambios propuestos.

Las actividades comerciales presentadas por las regiones que pertenecen a la Cuenca del Pacífico en el periodo de 2003 a 2008 fueron muy dinámicas. Las principales importaciones y exportaciones de Norteamérica se llevaron a cabo entre sus mismas naciones, en segundo lugar estuvo Asia y en tercer lugar Latinoamérica. El principal socio comercial de América Latina fue América del Norte, mientras que en segundo lugar estuvo el comercio que realizó con los países de su misma región y en tercer lugar estuvo Asia. Con respecto a las exportaciones e importaciones de las naciones asiáticas, entre ellas se llevo a cabo la mayor actividad, en segundo lugar estuvo Norteamérica y en tercer lugar Latinoamérica.

El mayor socio comercial de México es la región de América del Norte, en segundo lugar esta Asia y Latinoamérica en tercer lugar. Como es sabido un poco más del 80% de las actividades comerciales mexicanas se llevan a cabo con los países vecinos del norte, quizá por esto la dinámica marítima comercial sea menor, ya que gran parte del comercio se realiza utilizando los sistemas ferroviario y carretero como vías principales para hacer llegar y traer mercancías a esta región. En contraparte, el comercio con Latinoamérica y Asia se realiza utilizando principalmente la vía marítima.

La dinámica comercial de México con otras regiones diferentes a Norteamérica es demasiado escasa y esto permite que la utilización de la vía marítima también sea insuficiente. Esto afecta negativamente al movimiento de contenedores y por consecuencia al nivel de eficiencia. Todas estas razones de alguna manera influyen para que los puertos mexicanos aun no se encuentren dentro del *ranking* de los 50 puertos más importantes del mundo.

Los modelos DEA son una fuerte herramienta que permite llevar a cabo la medición de la eficiencia de las DMU o unidades de toma de decisiones o también conocidas como unidades de producción. De manera similar, estos modelos proporcionan información relevante para que los individuos encargados de la toma de decisiones o hacedores de política analicen y puedan llevar a cabo un *benchmarking* que permita mejorar las condiciones de eficiencia en las unidades de producción. Asimismo, los modelos DEA surgen de una combinación de las ciencias económicas-administrativas y de la investigación de operaciones.

Se puede constatar que, las variables seleccionadas son factores que explicaron la eficiencia en las terminales portuarias de contenedores y además, permitieron conocer exactamente el nivel de eficiencia que tuvieron cada uno de los puertos analizados en el periodo contemplado. También, se comparó el nivel de eficiencia de la terminal de contenedores de Lázaro Cárdenas con otros puertos de la Cuenca del Pacífico y se conoció de qué manera y en qué magnitud las variables (factores) seleccionadas determinaron esos niveles de eficiencia.

De manera similar, en relación a las hipótesis establecidas, se asevera que la superficie de la terminal fue un factor con incidencia positiva en la determinación del grado de eficiencia al igual que el movimiento anual de contenedores. Con respecto al número total de grúas pórtico, también fue un factor que incidió positivamente en la determinación del grado de eficiencia, mientras que la longitud del muelle fue un factor que no tuvo alguna incidencia, al menos para este caso en particular, en la determinación del grado de eficiencia en dichas terminales.

En conclusión, las variables que incidieron positivamente para determinar la eficiencia en el periodo de 2003 a 2008 fueron el aprovechamiento de la superficie de la terminal, el número total de grúas pórtico y el movimiento anual de contenedores. Mientras que la longitud del muelle fue una variable que no tuvo incidencia alguna para establecer los niveles de eficiencia en este caso en particular.

Mediante el uso del modelo CCR, que hipotéticamente funciona con rendimientos a escala constantes, los puertos americanos no gozan de una buena eficiencia en el periodo de análisis, ya que en la mayoría de los años se posicionaron por debajo del promedio, teniendo niveles de eficiencia muy bajos. Por el otro lado, los puertos asiáticos presentaron en prácticamente todos los años buenos niveles de eficiencia, colocándose por encima de la media e incluso teniendo los niveles más altos.

Estos resultados posiblemente se explican debido a que los puertos asiáticos representan un rubro importante para sus países respectivos y por lo tanto, reciben fuertes cantidades de inversión (capital,  $K$ ), a diferencia de los puertos americanos que al parecer sólo algunos son considerados como un sector de importancia para sus naciones, recibiendo muy poca inversión. En el anexo de este documento se corrobora lo anterior. A partir del periodo de análisis, los puertos de Asia casi siempre tuvieron movimientos positivos en sus variables, es decir aumentaron su longitud de muelle o incrementaron su superficie o su número de grúas pórtico y esto en consecuencia ayudó a que elevaran su movimiento de contenedores anualmente y a continuar aumentando sus niveles de eficiencia. Del otro lado, sólo muy poco puertos registraron movimientos en sus variables, la mayoría no lo hizo y por ende sus niveles de eficiencia fueron bajos.

Los problemas que aquejaron al puerto de Lázaro Cárdenas fueron muy similares en todos los años del análisis, es decir la mayor dificultad se centró en el mal aprovechamiento, subutilización o tiempos muertos (ocio) que presentaron la superficie de su terminal de contenedores y en el bajo movimiento anual de contenedores. Indicando que para las instalaciones infraestructurales que el puerto en mención tuvo para esos años, debió de haber movido más carga contenerizada por año con respecto a la que movió realmente. Esto probablemente se deba a que existan en dicho puerto problemas de concentración de las líneas navieras que lo estén manejando y que no permitan el mejor aprovechamiento y crecimiento del mismo. Puede ser el caso de que algunas navieras no permitan la total apertura del

puerto hacia otras líneas navieras y por consecuencia se manejen y transporten la mayoría de las mercancías en sus contenedores.

Según la Asociación Mexicana de Agentes Navieros A. C. (AMANAC), en los años de 2003 a 2005 solamente existían tres líneas navieras en Lázaro Cárdenas que eran Maersk, CP Ships y APL. Para 2006 se agregó una naviera más que fue Happag-Lloyd llegando a un total de 4 líneas navieras. El siguiente año llegaron tres navieras más, sumando siete junto con las anteriores y éstas fueron COSCO, Evergreen y CSAV. Para 2008 CP Ships abandonó el puerto y llegaron dos líneas navieras más CNNI y Hamburg-Süd. Así que, es posible que debido a que en dicho puerto se haya permitido la entrada a muy pocas líneas navieras, se tenga un movimiento anual de contenedores muy pequeño y por consecuencia los niveles de eficiencia para esos años también hayan sido bajos.

En la mayoría de los años, algunos puertos asiáticos fueron considerados como los más apropiados para realizar el *benchmarking* del puerto de Lázaro Cárdenas. Siempre el *benchmarking* estuvo relacionado con el mejor aprovechamiento de la superficie de la terminal y con el incremento del movimiento de contenedores anual. El aprovechamiento de ambos factores impacta positivamente al nivel o grado de eficiencia del puerto. La entrada a dicho puerto de más actores principales en la dinámica comercial marítima como son las líneas navieras permitirá que el volumen de contenedores se incremente y que la superficie de la terminal de contenedores sea mejor aprovechada. De nada sirve, de alguna manera, tener una amplia superficie si la cantidad de contenedores a manejar es pequeña, obviamente demasiados espacios vacíos habrá.

Por otro lado, el modelo BCC presentó un panorama más alentador para los puertos a diferencia del modelo CCR. Este último proporcionó niveles de eficiencia muy bajos y esto se puede explicar debido a la carencia de la restricción de convexidad que el modelo BCC tiene. Dicha restricción permite que en el modelo BCC el conjunto de soluciones se haga más pequeño y por lo tanto caigan en la frontera de producción únicamente los eficientes. Del otro lado, en el modelo CCR al no tener esa restricción

el conjunto de soluciones es mucho más amplio quedando varios de ellos muy cerca de la frontera de producción y siendo considerados también como eficientes. Es importante recordar y señalar que el modelo BCC funciona bajo el esquema de rendimientos a escala variables, por lo cual también influye en las variaciones de los niveles de eficiencia, ya que el incremento o disminución de los *inputs* necesariamente generará variaciones no proporcionales al movimiento de los *outputs*.

El modelo BCC reveló resultados buenos para algunos puertos de América, ubicándolos en buena posición e inclusive siendo, algunos de ellos, puertos de referencia para realizar un *benchmarking*.

Con el modelo BCC se tuvo que en los años 2005, 2006 y 2007 el puerto de Lázaro Cárdenas se ubicará como un puerto eficiente, aprovechando de buena manera sus instalaciones. En 2008, el nivel de eficiencia de dicho puerto cayó drásticamente. En los años en que el puerto de Lázaro Cárdenas fue ineficiente, el modelo BCC reveló que los problemas se debieron al mal uso o aprovechamiento de la superficie de la terminal y al bajo movimiento de contenedores. Como se puede ver, estos problemas fueron muy similares a los que se identificaron con el modelo CCR.

El *benchmarking* para el puerto de Lázaro Cárdenas para los años donde fue ineficiente y con ambos modelos fue similar. El mal aprovechamiento de su superficie de la terminal y el bajo movimiento de contenedores fueron el común denominador. Los puertos de referencia que sirvieron para llevar a cabo el *benchmarking* fueron, en su mayoría, los pertenecientes a la región asiática.

Los puertos seleccionados para este análisis no sólo comercian entre sí, sino que son parecidos en las mercancías que comercializan. Efectivamente, existen puertos muy grandes y puertos medianos, pero precisamente una de las ventajas que ofrecen los modelos DEA es la comparación de unidades sin importar su tamaño, ya

que se trata de utilizar o aprovechar de la mejor manera los insumos (*inputs*) para obtener más productos (*outputs*).

Las proyecciones para los años 2009 y 2010 se realizaron de manera simple, utilizando los promedios móviles sobre los datos de eficiencia ya calculados. El comportamiento en los niveles de eficiencia para cada año posiblemente será bastante similar a 2008, con ambos modelos. El modelo CCR continuará proyectando niveles bajos de eficiencia debido a su supuesto de los rendimientos a escala constantes, mientras que el modelo BCC probablemente brindará mejores resultados. Asimismo, con el modelo CCR el puerto de Lázaro Cárdenas seguirá presentando niveles muy bajos de eficiencia. Con el modelo CCR, para 2009 se prevé que este puerto suba un poco su eficiencia (0.3837) en relación a 2008 (0.2300) sin alcanzar el valor promedio; mientras que para 2010 se estima que incremente su nivel de eficiencia a un valor de 0.7133, por encima del nivel medio.

## Capítulo 7. RECOMENDACIONES

En relación a las variables que afectaron a la eficiencia del puerto de Lázaro Cárdenas, el buen aprovechamiento de la superficie de la terminal permitirá que se tenga un flujo constante de contenedores llenos y vacíos, y evitar espacios muertos o sin utilizar. Para esta variable podría hacerse lo siguiente:

- No utilizar demasiada superficie como almacén.
- Dar más movilidad a los contenedores y realizar el mejor acomodo. Esto podría lograrse, por ejemplo, a través de una buena distribución de los espacios.
- Respetar las zonas establecidas dentro de la superficie.

Para el máximo aprovechamiento de las grúas pórtico de muelle y de patio podría realizarse lo siguiente:

- Planear y programar con tiempo los movimientos de trabajo de cada grúa, principalmente las grúas pórtico de muelle.
- Aprovechar la capacidad máxima de carga de cada una de las grúas con la finalidad de mover con mayor rapidez los contenedores al momento de las cargas y descargas de los buques, y al momento del acomodo en el patio de maniobras.
- Realizar constantemente simulaciones con el propósito de que los operadores de las grúas mejoren sus habilidades en el manejo de las mismas y mejorar su uso.
- El mantenimiento preventivo a las grúas es vital, ya que permite evitar alguna falla en el equipo y funcionar correctamente sin retrasos.

Para lograr incrementar el movimiento de contenedores se podría:

- Dar la oportunidad de que se instalen más líneas navieras.

- Promocionar la utilización del puerto como plataforma logística para las exportaciones e importaciones de diversas empresas del estado de Michoacán y sus alrededores, probablemente ofreciendo servicios y tarifas accesibles.
- Atraer mayor inversión extranjera y nacional para que se instalen más empresas y utilicen el puerto para llevar a cabo sus actividades comerciales.

Las investigaciones relacionadas con la medición de la eficiencia portuaria utilizando modelos DEA y, en general, usando otros modelos no son muy comunes en los países del continente americano. En contraparte, este tipo de investigaciones y análisis (mediciones) se llevan cabo con mayor frecuencia en diversos países de Europa, por ejemplo en los puertos de España, Bélgica, Holanda, Reino Unido, entre otros. También en naciones asiáticas se realizan estas mediciones como en China, Hong Kong, Singapur, Taiwán, Corea, etc. En estos dos continentes se centran los estudios más representativos acerca de esta temática.

Cabe destacar que del lado americano Chile es un país que se ha preocupado por llevar a cabo este tipo de estudios. Con respecto a México existe la impresión de que los puertos marítimos no representan una alta importancia para el gobierno, razón por la cual dichos puertos se encuentran con bajos niveles de eficiencia y en una posición muy baja dentro del *ranking* mundial en cuestiones relacionadas con el movimiento de contenedores.

Debido a lo anterior es de suma importancia que se lleven a cabo más estudios en donde se involucren a los puertos marítimos con la finalidad de detectar y solucionar problemas de todo tipo. Para este caso, los relacionados con la eficiencia de sus terminales de contenedores.

El presente trabajo de investigación tomó como fundamento el uso de factores infraestructurales, es decir, intensivos en capital ( $K$ ). Los puertos marítimos son unidades que deben ser estudiadas dividiéndolos en partes con la finalidad de

facilitar su análisis y comprensión. Así pues, es más sencillo identificar los problemas y tomar las mejores decisiones para resolverlos. Sería conveniente que para futuras investigaciones se tomen en cuenta otros factores, incluyendo los relacionados con la mano de obra y otros posibles factores incidentes en la eficiencia portuaria.

La apertura comercial del puerto de Lázaro Cárdenas debe ser total para permitir que diversas líneas navieras vengan a instalarse y a realizar negocios. Esto permitiría que el puerto en mención incremente su movimiento de contenedores y aproveche de la mejor manera posible su superficie terminal, ayudando así a mejorar su nivel de eficiencia.

La diversificación de las actividades comerciales de México permitirá que haya más intercambio de bienes y que las actividades propias del sector marítimo aumenten, incrementando con ello el movimiento de contenedores e influyendo positivamente al grado de eficiencia. Si las actividades del comercio exterior de México fueran guiadas hacia otras regiones como Europa, Asia, Latinoamérica y África y se diera una gran importancia para llevarlas a cabo, seguramente en poco tiempo estaríamos viendo a los puertos mexicanos posicionarse en una mejor ubicación dentro del *ranking* mundial.

En particular, el puerto de Lázaro Cárdenas se puede convertir en una línea comercial en donde los michoacanos nada más vamos a ver pasar buena parte de la actividad comercial (que ya se está suscitando), cuando deberíamos aprovecharlo para el desarrollo de la regiones del estado, es decir articularlo con la producción agrícola, forestal y las vocaciones productivas que tiene Michoacán, y no sólo, dejar que se consolide como un enclave comercial en beneficio de los Estados Unidos y China.

El puerto de Lázaro Cárdenas se sigue subvalorando y requiere ser potencializado de manera acelerada para que pueda aprovechar la oportunidad que representa la sobresaturación del puerto de Manzanillo y algunos de los Estados Unidos. El proyecto de hacer crecer al puerto de Lázaro Cárdenas lleva alrededor de ocho

décadas, remontándose al tiempo de Lázaro Cárdenas del Río, quien lo identificó como un articulador del desarrollo integral del país.

El Programa Maestro de Desarrollo Puerto Lázaro Cárdenas 2006-2011 proyecta a dicho puerto como un puerto para desahogar la saturación que últimamente han tenido los puertos de Los Ángeles y Long Beach (EUA), inclusive menciona que existen otros puertos que compiten para ser unidades de desahogo como Vancouver (Canadá), Seattle y Tacoma (EUA), Manzanillo y Ensenada (México). Estoy de acuerdo en que el puerto de Lázaro Cárdenas cuenta con las condiciones tanto naturales como artificiales para llegar a ser un gran puerto, pero sería importante que no sólo llegue a ser un simple puerto de desahogo, sino también sea un puerto en que las actividades comerciales giren en torno a él. Dicho programa requiere más fortaleza en materia de inversiones tanto por cuenta del estado como de nuevas compañías que puedan potenciar la dinámica de movimiento de contenedores y no sólo hablar de tres o cuatro sino de diez o veinte compañías que generen mayor competitividad. Es importante señalar que la inversión extranjera no sea la única que consolide al puerto, sino que también tienen que ser inversiones nacionales importantes o a través de esquemas de participación múltiple para impulsar el desarrollo de dicho puerto y convertirlo en una línea primaria de comunicación a Asia, Australia y el norte de Estados Unidos y Canadá para que se inserte en la dinámica comercial que hoy día marca la pauta del planeta.

Una de las intenciones de esta investigación es que provoque en los lectores diversas inquietudes para llevar a cabo más estudios acerca de los puertos marítimos desde diferentes puntos de vista. No sólo medir la eficiencia de las terminales de contenedores sino también medir la eficiencia de otras partes sustanciales que componen los puertos como pueden ser: las aduanas, terminales industriales (petróleo, aceros, etc.), funciones administrativas, servicio al cliente, entre otros.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afriat, S. (1972). Efficiency Estimation of Production Functions. *International Economic Review* , 568-598.
- Aguilar, R. A. (2006). La Participación de México en la Cuenca del Pacífico. *JURE* , 155-174.
- Aigner, D. J., & Chu, S. F. (1968). On Estimating the Industry Production Function. *American Economic Review* , 226-239.
- Antofagasta, P. (2010). *Empresa Portuaria Antofagasta*. Retrieved 20 Marzo, 2010, from <http://web.puertoantofagasta.cl/>
- Arzubi, A., & Berbel, J. (2002). Determinacion de Índices de Eficiencia Mediante DEA en Explotaciones Lecheras de Buenos Aires. *Investigaciones Agrarias* , 103-123.
- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science* , 1078-1093.
- Banxia. (2009). *Banxia Software*. Retrieved Noviembre 29, 2009, from <http://www.banxia.com/frontier/glossary.html>
- Bemowski, K. (1991). The Benchmarking Bandwagon. *Quality Progress* .
- Bennathan, E., & Walters, A. A. (1979). *Port Pricing and Investment Policy for Developing Countries*. Oxford: Oxford University Press.
- Bernal, C. A. (2000). *Metodología de la Investigación para Administración y Economía*. México: Pearson Education Mexico.
- Bichou, K., & Gray, R. (2004). A Logistics and Supply Chain Management Approach to Port Performance Measurement. *Maritime Policy and Management* , 47-67.
- Bosch, E. A., Navarro, A. I., & Giovagnoli, P. I. (1999). Eficiencia Técnica y Asignativa en la Distribución de Energía Eléctrica: El Caso de EPE SF. *Asociación Argentina de Economía Política* , 1-24.

- Brobovitch, D. (1982). Decentralised Planning and Competition in a National Multi-Port System. *Journal of Transport Economics and Policy* , 31-42.
- CEPA. (2009). *Puerto de Acajutla*. Retrieved Marzo 10, 2010, from <http://www.puertoacajutla.gob.sv/>
- CGPMM-SCT. (2008). *Secretaría de Comunicaciones y Transportes*. Retrieved Enero 10, 2009, from Coordinacion General de Puertos y Marina Mercante: <http://e-mar.sct.gob.mx/fileadmin/PNDP2008/doc/pndp/pndp-sac.pdf>
- Chang, S. (1978-a). In Defense of Port Economic Impact Studies. *Transportation Journal* , 79-85.
- Chang, S. (1978). Production Function , Productiveness and Capacity Utilisation of the Port Mobile. *Maritime Policy and Management* , 297-305.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1981). Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through . *Management Science* , 668-697.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research* , 429-444.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1962). Programming with Linear Fractional Functionals. *Naval Research Logistics Quarterly* , 181-185.
- Coelli, T., Prasada, D., & Battese, G. (2006). *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. USA: Kluwer Academic Publishers.
- Coll, V., & Blasco, O. M. (2006). *Evaluación de la Eficiencia Mediante el Análisis Envolvente de Datos: Introducción a los Modelos Básicos*. Valencia: Universidad de Valencia-Eumed.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2000). *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (2004). *Data Envelopment Analysis: History, Models and Interpretations*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Coto-Millán, P., Baños-Pino, J., & Rodríguez-Álvarez, A. (2000). Economic Efficiency in Spanish Ports: Some Empirical Evidence. *Maritime Policy and Management* , 169-174.

- Cullinane, K., & Song, D. W. (2003). A Stochastic Frontier Model of the Productive Efficiency of Korean Container Terminals . *Applied Economics* , 251-267.
- Cullinane, K., Song, D. W., & Gray, R. (2002). A Stochastic Frontier Model of the Efficiency of Major Container Terminals in Asia: Assessing the Influence of Administrative and Ownership Structures. *Transportation Research* , 743-762.
- Cullinane, K., Song, D. W., & Wang, T. (2005). A Comparison of Mathematical Programming Approaches to Estimating Container Port Production Efficiency. *Journal of Productivity Analysis* , 73-92.
- Cullinane, K., Song, D. W., Ji, P., & Wang, T. (2004). An Application of DEA Windows Analysis to Container Port Production Efficiency. *Review of Network Economics* , 184-206.
- Dayson, R. G. (2000). Performance Measurement and Data Envelopment Analysis-Ranking are Ranks. *OR Insight* , 3-8.
- De Borger, B., Kerstens, K., & Costa, A. (2002). Public Transport Performance: What Does One Learn From Frontier Studies? *Transport Review* , 1-38.
- De Monie, G. (1987). *Measuring and Evaluating Port Performance and Productivity* . Geneva: UNCTAD.
- Debreu, G. (1951). The Coefficient of Resource Utilization. *Econometrica* , 14-22.
- Deshmukh, A. (2003). Indian Ports: The Current Scenario. *IDEAS* .
- Diaz, J. J. (2003). *Descomposición de la Productividad, la Eficiencia y el Cambio Técnico a través de la Función de Costes Cuadrática. Una Aplicación a la Operación de Estiba de España*. La Laguna: Tesis doctoral.
- Díaz-Bautista, A. (2008). Los Puertos en México y la Política Económica Portuaria Internacional . *Observatorio de la Economía Latinoamericana* .
- Doerr, O., & Sánchez, R. J. (2006). Indicadores de Productividad para la Industria Portuaria. Aplicable en América Latina y el Caribe. *División de Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL* , 1-76.
- Dowd, T. J., & Leschine, T. M. (1990). Container Terminal Productivity: A Perspective. *Maritime Policy and Management* , 107-112.

- e-Biometria. (2009). *Servicios y productos bioestadísticos de GSK*. Retrieved Noviembre 15, 2009, from <http://www.e-biometria.com/glosario/glosario.htm>
- Educarm. (2009). *Consejería de Educación, formación y empleo de la región de Murcia*. Retrieved Noviembre 30, 2009, from [http://www.educarm.es/templates/portal/images/ficheros/websDinamicas/227/secciones/735/contenidos/4240/glosario\\_terminos\\_maritimo\\_portuarios.pdf](http://www.educarm.es/templates/portal/images/ficheros/websDinamicas/227/secciones/735/contenidos/4240/glosario_terminos_maritimo_portuarios.pdf)
- Epstein, M. K., & Herderson, J. C. (1989). Data Envelopment Analysis for Managerial Control and Diagnosis. *Decision Sciences* , 209-223.
- Estache, A., González, M., & Trujillo, L. (2002). Efficiency Gains from Port Reform and the Potential for Yardstick Competition: Lessons from Mexico. *World Development* , 545-560.
- Farrell, M. J., & Fieldhouse, M. (1962). Estimating Efficient Productions Functions under Increasing Returns to Scale. *Jornal of the Statistical Society* , 252-267.
- Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society* , 252-290.
- Forsund, F. R., & Hjalmarsson, L. (1974). On the Measurement of the Productive Efficiency. *Swedish Journal of Economics* , 141-154.
- Forsund, F. R., & Sarafoglou, N. (2000). *On the Origins of Data Envelopment Analysis*. Oslo: University of Oslo.
- Forsund, F. R., Lovell, C., & Schmidt, P. (1980). A Survey of Frontier Production Functions and of their Relationship to Efficiency Measurement. *Journal of Econometrics* , 5-25.
- Fourgeaud, P. (2000). *Measuring Port Performance*. The World Bank.
- Fuentes, H. (2003). La Evaluación de la Actividad Docente: un Análisis a partir de la Técnica DEA. *Economía Mexicana Nueva Época* , vol XII.
- García, C. (2002). Análisis de Eficiencia Técnica y Asignativa a través de las Fronteras Estocásticas de Costes: Una Aplicación a los Hospitales del INSALUD. *Tesis Doctoral* , 1-217.
- Gonzalez Laxe, F. (2008). Nuevas Tendencias en el Transporte Marítimo. *Revista Galega de Economía* , 1-24.

- González Serrano, M. M. (2004). Eficiencia en la Provisión de Infraestructura Portuaria: Una Aplicación al Tráfico de Contenedores en España. *Tesis Doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria* , 1-178.
- González, M., & Trujillo, L. (2006). La Medición de la Eficiencia en el Sector Portuario: Revisión de la Evidencia Empírica. *City University of London* , 1-40.
- González-Páramo, J. (1995). Privatización y Eficiencia: ¿Es Irrelevante la Titularidad? *Economistas* , 32-43.
- Goodman, A. C. (1984). Port Planning and Financing for Bulk Cargo Ships: Theory and a North American Example. *Jornal of Economics and policy* , 237-252.
- Goss, R. (1967). Towards an Economic Appraisal of Port Investment. *Journal of Transport Economics and Policy* , 249-272.
- Heggie, I. (1974). Charging for Port Facilities. *Journal of Transport Economics and Policy* , 3-45.
- Hernández-Laos, E. (1981). Funciones de Producción y Eficiencia Técnica: una Apreciación Crítica. *Revista de Estadística y Geografía* .
- Hernández-Laos, E. (1985). *La Productividades y el Desarrollo Industrial en México*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Hong-Kong. (2010). *Census and Statistics Deparment*. Retrieved Marzo 19, 2010, from <http://www.censtatd.gov.hk/home/index.jsp>
- Infante, Z. T., & Navarro, J. C. (2006). *La Cuenca del Pacífico en la Dinámica Global*. Morelia: ININEE-UMSNH.
- Iquique, P. (2009). *Empresa Portuaria de Iquique*. Retrieved Marzo 20, 2010, from <http://www.epi.cl/>
- Jansson, J. O., & Shneerson, D. (1982). *Port Economics*. Massachusetts: The MIT Press.
- Khalid, N., Muda, A. F., & Zamil, A. S. (2004). *MIMA*. Retrieved Marzo 14, 2009, from Maritime Institute of Malaysia: <http://www.mima.gov.my/mima/htmls/papers/pdf/esoi/port-swot.pdf>
- Koopmans, T. C. (1951). *Activity Analysis of Production and Allocation*. New York: Wiley.

- Leibenstein, H. (1966). Allocative Efficiency vs. "X-Efficiency". *American Economic Review* .
- Léonard, P. (1990). *Les Indicateurs de la Politique Maritime*. Cae, France: Paradigme.
- Levine, D. M., Krehbiel, T. C., & Berenson, M. L. (2006). *Estadística para Administración*. México: Pearson Educación.
- Liu, B. L., Liu, W. L., & Cheng, C. P. (2007). Efficiency Analysis of Container Terminals in China: An Application DEA Approach. *Transportation Economics* , 1-24.
- Liu, Z., & Zhuang, J. (1998). Evaluating Partial Reforms in the Chinese State Industrial Sector: A Stochastic Frontier Cost function Approach. *Review of Applied Economics* , 9-35.
- Lloyds, M., & Fossey, J. (2004). *Containerisation International Yearbook* . London: Informa Finance.
- Lloyds, M., & Fossey, J. (2005). *Containerisation International Yearbook* . London: Informa Finance.
- Lloyds, M., & Fossey, J. (2006). *Containerisation International Yearbook* . London: Informa Finance.
- Lloyds, M., & Fossey, J. (2007). *Containerisation International Yearbook*. London: Informa Finance.
- Lloyds, M., & Fossey, J. (2008). *Containerisation International Yearbook*. London: Informa Finance.
- Lloyds, M., & Fossey, J. (2009). *Containerisation International Yearbook*. London: Informa Finance.
- Lo, F., Chien, C., & Lin, J. T. (2001). A DEA Study to Evaluate the Relative Efficiency and investigate the District Reorganization of the Taiwan Power Company. *IEEE Transactions on Power Systems* , 170-178.
- Londoño Sierra, L. J., & Giraldo Pérez, Y. E. (2009). Análisis Envolvente de Datos-DEA-: una Aplicación al Sector de Telecomunicaciones de Países de Medianos Ingresos. *Ecos de Economía* , 53-73.

- Martín, M. (2002). *El Sistema Portuario Español: Regulación, Entorno Competitivo y Resultados. Una Aplicación del Análisis Envolvente de Datos*. Tarragona: Universitat Rovira I Virgil.
- Martínez-Budria, E., Díaz-Armas, R., Navarro-Ibañez, M., & Ravelo-Mesa, T. (1999). A Study of Efficiency of Spanish Port Authorities Using Data Envelopment Analysis. *International Journal of Transport Economics* , 237-253.
- Martner, C., & Moreno, A. (2004). Reestructuración Portuaria e Integración Logística en los Puertos Mexicanos. *Instituto Mexicano del Transporte* , 1-16.
- Mejía, R., & Sandoval, S. A. (1998). *Tras las Vetas de la investigación Cualitativa: Perspectivas y Acercamientos desde la práctica*. México: ITESO.
- Mercado, E., Díaz, E. A., & Flores, M. (1997). *Productividad Base de la Competitividad*. México: Limusa.
- Miles, M. B., & Huberman, A. M. (1985). Drawing Valid Meaning from Qualitative Data: Toward a Shared Craft. *Educational Researcher* , 20-30.
- Min, H., & Park, D. I. (2005). Evaluating the Inter-temporal Efficiency Trends of International Container Terminals using Data Envelopment Analysis. *International Journal of Integrated Supply Management* , 258-277.
- Navarro, J. C. (2005). *La Eficiencia del Sector Eléctrico en México*. Morelia: ININEE-UMICH.
- Neuman, W. L. (2005). *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches*. Boston: Pearson Education.
- Nombela, G., & Trujillo, L. (1999). El Sector Portuario Español: Organización Actual y Perspectivas. *Papeles de Economía Española* , 71-85.
- Notteboom, T. E., Coeck, C., & Van der Broeck, J. (2000). Measuring and Explaining Relative Efficiency of Container Terminals by Means of Bayesian Stochastic Frontier Models. *International Journal of Maritime Economics* , 83-106.
- OMC. (2004). *Estadísticas del Comercio Internacional 2004*. Ginebra: OMC.
- OMC. (2005). *Estadísticas del Comercio Internacional 2005*. Ginebra: OMC.
- OMC. (2006). *Estadísticas del Comercio Internacional 2006*. Ginebra: OMC.

- OMC. (2007). *Estadísticas del Comercio Internacional 2007*. Ginebra: OMC.
- OMC. (2008). *Estadísticas del Comercio Internacional 2008*. Ginebra: OMC.
- OMC. (2009). *Estadísticas del Comercio Internacional 2009*. Ginebra: OMC.
- OMC. (2010). *Organización Mundial del Comercio*. Retrieved Mayo 8, 2010, from [http://www.wto.org/spanish/thewto\\_s/whatis\\_s/whatis\\_s.htm](http://www.wto.org/spanish/thewto_s/whatis_s/whatis_s.htm)
- Park, B. (2005). An Efficiency Analysis for the Korea Container Terminals by the DEA/Simulation Approach. *Korean Management Science Review* , 77-97.
- Park, R., & De, P. (2004). An Alternative Approach to Efficiency Measurement of Seaports. *Maritime Economics and Logistics* , 53-69.
- Pérez Tamayo, R. (2003). *¿Existe el Método Científico?* Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Pérez, A. (1995). Los Puerto mexicanos ante el Reto de la Modernización. *BANCOMEXT* .
- Peston, M. H., & Rees, R. (1971). *Port Costs and the Demand for Port Facilities*. London: National Ports Council.
- Pinzón, M. J. (2003). Medición de Eficiencia Técnica Relativa en Hospitales Públicos de Baja Complejidad mediante la Metodología Data Envelopment Analysis (DEA). *Tesis Magister-Pontificia Universidad Javeriana* , 1-100.
- Poitras, G., Tongzon, J., & Li, H. (1996). Measuring Port Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis. *Economics and Statistics Singapore* , 1-18.
- Polanco Gaytán, M. (2008). Servicios de Innovación en el Transporte Marítimo. *Seminario Anual de Investigación sobre la Cuenca del Pacífico 2008* , 1-5.
- Robinson, R., & Everett, S. (1997). *Productivity of Australian Container Terminals: Some Critical Issues* . Sidney: Monash University.
- Rodrigo, d. L. (2009). Seguridad Maritima en Buques Porta Contenedores. *Nautica UPC* , 1-26.
- Roll, Y., & Hayuth, Y. (1993). Port Performance Comparison Applying Data Envelopment Analysis (DEA). *Maritime policy and Management* , 153-161.

- Rúa Costa, C. (2006). Los Puertos en el Transporte Marítimo. *Enginyeria d'Organització i Logística Industrial* , 1-21.
- Sachish, A. (1996). Productivity Functions as a Managerial Tool in Israeli Ports. *Maritime Policy and Management* , 341-369.
- Sala, R., & Medal, A. (2004). Estudio de la Eficiencia Técnica y Económica de las Terminales de Contenedores. *ASEPUMA, Valencia* , 1-11.
- San Antonio, P. (2009). *Empresa Portuaria San Antonio*. Retrieved Febrero 26, 2010, from <http://www.sanantonioport.cc.cl/index1.html>
- Secretaria-de-Economía. (2010). *Secretaria de Economía*. Retrieved Abril 15, 2010, from <http://www.economia.gob.mx/>
- Serra de la Figuera, D. (2004). *Métodos Cuantitativos para la Toma de Decisiones* . España: Gestión 2000.
- Shephard, R. W. (1953). *Cost and Production Functions*. USA: Princeton University Press.
- Shnnerson, D. (1981). Investment in Port Systems: A Case of the Nigerian Ports. *Journal of Transport Economics and Policy* , 210-216.
- Shnnerson, D. (1983). Short Term Planning for a Port System. *Maritime Policy and Management* , 217-250.
- Singapore-Goverment. (2010, abril 21). *Maritime and Port Authority of Singapore*. Retrieved abril 23, 2010, from Singapore Goverment: <http://www.mpa.gov.sg/>
- SlideShare. (2009). *SlideShare Inc*. Retrieved julio 31, 2009, from <http://www.slideshare.net/shashix/expo-mexico-cuenca-del-pacifico-presentation>
- So, S., Kim, J., Cho, G., & Kim, D. (2007). Efficiency Analysis and Ranking of Major Container Ports in Northeast Asia: An Application of Data Envelopment Analysis. *International Review of Business Research Papers* , 486-503.
- Solow, R. A. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *Review of Economics and Statistics* , 312-320.

- Song, D. K., Cullinane, K., & Roe, M. S. (2001). *The Productive Efficiency of Container Terminals: An Application to Korea and the UK*. UK: Aldershot-Ashgate.
- Song, J. Y., & Sin, C. (2005). An Empirical Study on the Efficiency of Major Container Ports with DEA Models. *Journal of Korean Navigation and Port Research* , 195-201.
- Suykens, F. (1982). A Few Observations on Productivity in Seaports. *Maritime Policy and Management* , 17-40.
- Talley, W. K. (1994). Performance Indicators and Port Performance Evaluation. *The Logistics and Transportations Review* , 339-352.
- Thanassoulis, E. (2001). *Introduction to Theory and Application of Data Envelopment Analysis*. Norwell: Kluwer Academic Publishers.
- Tongzon, J. (1995-b). Determinants of Port Performance and Efficiency. *Transportation Research* , 245-252.
- Tongzon, J. (2001). efficiency Measurement of Selected Australian and other International Ports using Data Envelopment Analysis. *Transportation Research* , 107-128.
- Tongzon, J. (1995-a). Systematizing International Benchmarking for Ports. *Maritime Policy and Management* , 171-177.
- Tongzon, J. (1989). The Impact of Wharfage Costs on Victoria's Export-Oriented Industries. *Economic Papers* , 58-64.
- Tongzon, J. (1993). The Port of Melbourne Authority's Pricing Policy: its Efficiency and Distribution Implications. *Maritime Policy and Management* , 197-205.
- Transporte. (2009). *Empresas de Transporte en México*. Retrieved Noviembre 15, 2009, from <http://www.transporte.com.mx/INFOTRANSPORTISTAS/GLOSARIOMARITIMO.htm>
- Trillo, D. (2002). Análisis Económico y Eficiencia del Sector Público. *Eficiencia, Equidad y Control Democrático: Un Marco Triangular para el Análisis de Políticas* (pp. 2-18). Lisboa: Universidad Rey Juan Carlos.

- Trujillo, L., & Nombela, G. (1999). Privatisation and Regulation of the Seaport Industry. *Policy research Working Paper* .
- UNCTAD. (1987). *Measuring and Evaluating Port Performance and Productivity*. New York: UNCTAD Monographs on Port Management.
- UNCTAD. (1976). *Port Performance Indicators*. New York: UNCTAD.
- UNCTAD. (2008). *Review of Maritime Transport 2008*. Geneva: UNCTAD.
- UNCTAD. (1999). *Technical Note: The Fourth Generation Port*. Geneva: UNCTAD Ports Newsletter.
- UNCTAD. (2002). *UNCTAD*. Retrieved Noviembre 17, 2009, from <http://www.unctad.org/Templates/StartPage.asp?intlItemID=2068&lang=3>
- Valentine, V. F., & Gray, R. (2001). The Measurement of Port Efficiency using Data Envelopment Analysis. *Transport Research* , 1-16.
- Valparaíso, P. (2009). *Empresa Portuaria de Valparaíso*. Retrieved Marzo 20, 2010, from [www.portvalparaiso.cl](http://www.portvalparaiso.cl)
- Varian, H. (1998). *Microeconomía Intermedia*. España: Antoni Bosch.
- Wang, T. F. (2004). Analysis of Container Port Industry using Efficiency Measurement: a Comparison of China with its International Counterparts. *PhD Thesis* .
- Wang, T. F. (2005). The Efficiency of European Container Ports: A Cross-Sectional Data Envelopment Analysis. *Centre for International Shipping and Logistics* , 1-31.
- Wang, T. F., Cullinane, K., & Song, D. W. (2003). Container Port Production Efficiency: A Comparative Study of DEA and FDH Approach. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* , 698-713.
- Wang, T. F., Song, D. W., & Cullinane, K. (2002). The Applicability of Data Envelopment Analysis to Efficiency Measurement of Container Ports . *Proceedings of the International Association of Maritime Economist Conference* (pp. 1-22). Panamá: IAME.
- Waters, R. C. (1977). Port Economic Impact Studies: Practice and Assessment. *Transportation Journal* , 14-18.

- World Port-Source. (2009). *World Port Source*. Retrieved Febrero 25, 2010, from <http://www.worldportsource.com/>
- Yarad, A. J. (1990). Un Nuevo Esquema de Regulación de Monopolios Naturales. *Estudios Públicos* 37 , 165-226.

# **ANEXO 1. Cuadros con datos *input* y *output* de los puertos de contenedores de la Cuenca del Pacífico 2003-2008**

Cuadro 5. Datos *input* y *output* de los puertos de contenedores de la Cuenca del Pacífico 2003

DMU	Inputs (X)			Output (Y)	
	País	LM	ST	GP	TEU
BRISBANE	AUSTRALIA	1,610.00	48.50	9.00	639,570.00
VANCOUVER	CANADÁ	3,803.00	158.33	46.00	1,539,058.00
ANTOFAGASTA	CHILE	1,230.00	1.50	14.00	47,266.00
IQUIQUE	CHILE	3,143.00	5.38	2.00	135,267.00
SAN ANTONIO	CHILE	1,155.00	37.14	10.00	524,376.00
VALPARAISO	CHILE	2,611.00	23.54	14.00	319,368.00
QINGDAO	CHINA	3,367.00	113.60	48.00	1,332,746.00
SHANGHAI	CHINA	2,281.00	82.50	64.00	11,280,000.00
XIAMEN	CHINA	1,110.00	71.50	27.00	2,331,000.00
TIANJIN	CHINA	2,450.00	100.44	20.00	3,015,000.00
YANTIAN	CHINA	2,350.00	118.00	30.00	5,258,106.00
BUSAN	COREA	11,040.00	301.33	120.00	10,407,809.00
KWANGYANG	COREA	700.00	42.00	14.00	1,184,842.00
GUAYAQUIL	ECUADOR	1,515.00	23.50	5.00	468,599.00
ACAJUTLA	EL SALVADOR	270.00	4.90	3.00	65,576.00
PUERTO QUETZAL	GUATEMALA	400.00	47.80	3.00	174,108.00
HONG KONG KCTY	HONG KONG	5,754.00	217.00	67.00	20,449,000.00
HONG KONG RTT	HONG KONG	3,000.00	65.00	30.00	5,919,000.00
YOKOHAMA	JAPÓN	5,440.00	173.36	88.00	2,504,627.00
ENSENADA	MÉXICO	300.00	14.42	4.00	44,836.00
LÁZ CÁRDENAS	MÉXICO	286.00	18.50	6.00	1,646.00
MANZANILLO	MÉXICO	2,205.00	30.80	24.00	709,209.00
BALBOA	PANAMÁ	891.00	18.10	19.00	457,134.00
CALLAO	PERÚ	4,000.00	26.45	5.00	553,138.00
SINGAPUR	SINGAPUR	6,165.00	339.00	473.00	18,100,000.00
KAOHSIUNG	TAIWAN	5,122.00	142.14	37.00	8,840,000.00
KEELUNG	TAIWAN	3,192.00	33.90	22.00	2,000,707.00
LONG BEACH	USA	7,606.00	396.16	106.00	4,658,124.00
LOS ANGELES	USA	7,388.00	326.38	62.00	7,178,940.00
OAKLAND	USA	7,134.00	323.80	56.00	1,923,104.00
SEATTLE	USA	4,055.00	203.68	26.00	1,486,382.00
TACOMA	USA	1,982.00	162.00	24.00	1,738,068.00
PORTLAND	USA	1,616.00	62.83	16.00	333,618.00

Fuente: *Containerisation International Yearbook* (2004).**LM** = Longitud del muelle.**ST**= Superficie de la terminal.**GP**= Número total de grúas pórtico.**TEU**= Movimiento anual de contenedores.

Cuadro 6. Datos *input* y *output* de los puertos de contenedores de la Cuenca del Pacífico 2004

DMU	País	Inputs (X)			Output (Y)
		LM	ST	GP	TEU
BRISBANE	AUSTRALIA	1,000.00	24.77	9.00	706,242.00
VANCOUVER	CANADÁ	3,409.00	158.33	52.00	1,664,900.00
ANTOFAGASTA	CHILE	1,230.00	1.50	10.00	41,399.00
IQUIQUE	CHILE	3,143.00	5.38	10.00	158,357.00
SAN ANTONIO	CHILE	1,155.00	48.26	10.00	639,762.00
VALPARAISO	CHILE	2,611.00	23.54	14.00	388,353.00
QINGDAO	CHINA	5,100.00	113.60	120.00	4,532,769.00
SHANGHAI	CHINA	5,096.00	401.00	204.00	14,557,200.00
XIAMEN	CHINA	1,110.00	71.50	27.00	2,871,700.00
TIANJIN	CHINA	2,450.00	100.44	28.00	3,814,000.00
YANTIAN	CHINA	2,350.00	118.00	30.00	6,259,515.00
BUSAN	COREA	1,104.00	301.36	105.00	11,430,000.00
KWANGYANG	COREA	3,700.00	137.35	47.00	1,320,000.00
GUAYAQUIL	ECUADOR	1,515.00	23.50	5.00	516,557.00
ACAJUTLA	EL SALVADOR	270.00	4.90	3.00	92,857.00
PUERTO QUETZAL	GUATEMALA	400.00	47.80	3.00	195,056.00
HONG KONG KCTY	HONG KONG	7,694.00	275.00	89.00	21,984,000.00
HONG KONG RTT	HONG KONG	3,000.00	65.00	30.00	4,355,000.00
YOKOHAMA	JAPÓN	5,830.00	173.36	83.00	2,717,630.00
ENSENADA	MÉXICO	300.00	14.42	3.00	43,349.00
LÁZ CÁRDENAS	MÉXICO	286.00	18.50	6.00	43,445.00
MANZANILLO	MÉXICO	2,205.00	31.85	20.00	830,777.00
BALBOA	PANAMÁ	891.00	18.10	19.00	465,091.00
CALLAO	PERÚ	4,000.00	44.10	5.00	616,850.00
SINGAPUR	SINGAPUR	6,165.00	342.34	449.00	20,600,000.00
KAOHSIUNG	TAIWAN	6,711.00	142.14	41.00	9,710,000.00
KEELUNG	TAIWAN	3,072.00	33.90	25.00	2,070,192.00
LONG BEACH	USA	6,186.00	460.00	76.00	5,779,852.00
LOS ANGELES	USA	9,002.00	616.12	103.00	7,321,440.00
OAKLAND	USA	7,134.00	323.80	56.00	2,047,504.00
SEATTLE	USA	4,055.00	203.68	25.00	1,775,858.00
TACOMA	USA	1,494.00	108.50	16.00	1,797,560.00
PORTLAND	USA	1,616.00	62.83	16.00	274,609.00

Fuente: *Containerisation International Yearbook* (2005).

Cuadro 7. Datos *input* y *output* de los puertos de contenedores de la Cuenca del Pacífico 2005

DMU	País	Inputs (X)			Output (Y)
		LM	ST	GP	TEU
BRISBANE	AUSTRALIA	1,427.00	31.50	15.00	766,275.00
VANCOUVER	CANADÁ	4,019.00	158.33	46.00	1,767,379.00
ANTOFAGASTA	CHILE	1,230.00	1.50	17.00	50,028.00
IQUIQUE	CHILE	3,143.00	5.38	10.00	208,303.00
SAN ANTONIO	CHILE	1,155.00	48.26	10.00	773,048.00
VALPARAISO	CHILE	2,993.00	54.00	11.00	377,275.00
QINGDAO	CHINA	5,100.00	113.60	120.00	5,443,086.00
SHANGHAI	CHINA	5,892.00	434.29	259.00	18,084,000.00
XIAMEN	CHINA	640.00	48.00	23.00	3,342,300.00
TIANJIN	CHINA	2,450.00	100.44	39.00	4,801,000.00
YANTIAN	CHINA	2,350.00	118.00	21.00	7,355,459.00
BUSAN	COREA	12,090.00	382.36	129.00	11,843,151.00
KWANGYANG	COREA	3,700.00	137.50	47.00	1,441,261.00
GUAYAQUIL	ECUADOR	1,515.00	23.50	5.00	567,808.00
ACAJUTLA	EL SALVADOR	958.00	10.50	3.00	103,483.00
PUERTO QUETZAL	GUATEMALA	400.00	47.80	3.00	240,513.00
HONG KONG KCTY	HONG KONG	7,694.00	275.00	90.00	22,602,000.00
HONG KONG RTT	HONG KONG	3,000.00	65.00	30.00	5,061,000.00
YOKOHAMA	JAPÓN	5,830.00	210.63	82.00	2,873,276.00
ENSENADA	MÉXICO	300.00	14.42	8.00	79,003.00
LÁZ CÁRDENAS	MÉXICO	286.00	18.50	6.00	132,479.00
MANZANILLO	MÉXICO	2,205.00	31.80	20.00	873,976.00
BALBOA	PANAMÁ	1,511.00	18.20	30.00	663,762.00
CALLAO	PERÚ	4,000.00	44.11	5.00	887,035.00
SINGAPUR	SINGAPUR	6,565.00	339.00	471.00	23,192,200.00
KAOHSIUNG	TAIWAN	6,711.00	142.14	40.00	9,471,056.00
KEELUNG	TAIWAN	3,192.00	33.90	25.00	2,091,458.00
LONG BEACH	USA	6,186.00	483.58	79.00	6,709,818.00
LOS ANGELES	USA	9,002.00	616.12	103.00	7,484,624.00
OAKLAND	USA	6,403.00	275.20	56.00	2,273,990.00
SEATTLE	USA	4,055.00	203.68	25.00	2,087,929.00
TACOMA	USA	3,403.00	242.30	26.00	2,066,446.00
PORTLAND	USA	1,616.00	62.83	16.00	160,479.00

Fuente: *Containerisation International Yearbook* (2006).

Cuadro 8. Datos *input* y *output* de los puertos de contenedores de la Cuenca del Pacífico 2006

DMU	País	Inputs (X)			Output (Y)
		LM	ST	GP	TEU
BRISBANE	AUSTRALIA	2,124.00	80.61	13.00	940,758.00
VANCOUVER	CANADÁ	4,019.00	158.33	53.00	2,207,730.00
ANTOFAGASTA	CHILE	1,230.00	1.50	17.00	49,966.00
IQUIQUE	CHILE	3,143.00	53.80	10.00	226,397.00
SAN ANTONIO	CHILE	1,155.00	48.26	10.00	676,300.00
VALPARAISO	CHILE	2,993.00	54.00	21.00	614,841.00
QINGDAO	CHINA	5,100.00	113.60	122.00	6,770,003.00
SHANGHAI	CHINA	7,542.00	616.99	343.00	21,710,000.00
XIAMEN	CHINA	640.00	48.00	23.00	4,018,700.00
TIANJIN	CHINA	2,450.00	100.44	39.00	5,950,000.00
YANTIAN	CHINA	2,350.00	118.00	30.00	8,470,919.00
BUSAN	COREA	12,610.00	392.24	133.00	12,030,000.00
KWANGYANG	COREA	3,700.00	137.30	48.00	1,755,813.00
GUAYAQUIL	ECUADOR	1,515.00	23.50	5.00	603,693.00
ACAJUTLA	EL SALVADOR	958.00	10.50	3.00	123,329.00
PUERTO QUETZAL	GUATEMALA	400.00	47.80	4.00	268,709.00
HONG KONG KCTY	HONG KONG	7,694.00	275.00	90.00	23,539,000.00
HONG KONG RTT	HONG KONG	3,000.00	65.00	30.00	7,528,000.00
YOKOHAMA	JAPÓN	4,950.00	191.13	71.00	3,199,882.00
ENSENADA	MÉXICO	300.00	14.42	7.00	127,941.00
LÁZ CÁRDENAS	MÉXICO	286.00	18.50	6.00	160,696.00
MANZANILLO	MÉXICO	2,205.00	31.80	20.00	1,249,630.00
BALBOA	PANAMÁ	1,511.00	18.20	36.00	988,583.00
CALLAO	PERÚ	4,000.00	44.10	5.00	938,119.00
SINGAPUR	SINGAPUR	6,565.00	259.00	473.00	24,792,400.00
KAOHSIUNG	TAIWAN	6,714.00	142.14	41.00	9,774,670.00
KEELUNG	TAIWAN	3,192.00	33.90	25.00	2,128,816.00
LONG BEACH	USA	6,888.00	488.92	89.00	7,290,365.00
LOS ANGELES	USA	9,278.00	572.77	133.00	8,469,853.00
OAKLAND	USA	6,881.00	307.70	50.00	2,391,745.00
SEATTLE	USA	3,307.00	203.00	26.00	1,987,360.00
TACOMA	USA	2,884.00	196.00	28.00	2,067,186.00
PORTLAND	USA	1,616.00	62.83	17.00	214,484.00

Fuente: *Containerisation International Yearbook* (2007).

Cuadro 9. Datos *input* y *output* de los puertos de contenedores de la Cuenca del Pacífico 2007

DMU	País	Inputs (X)			Output (Y)
		LM	ST	GP	TEU
BRISBANE	AUSTRALIA	2,124.00	80.60	14.00	1,000,066.00
VANCOUVER	CANADÁ	4,019.00	158.33	60.00	2,307,289.00
ANTOFAGASTA	CHILE	1,230.00	1.50	17.00	72,365.00
IQUIQUE	CHILE	3,143.00	5.38	10.00	263,451.00
SAN ANTONIO	CHILE	1,155.00	48.26	11.00	650,697.00
VALPARAISO	CHILE	1,613.00	46.00	20.00	845,234.00
QINGDAO	CHINA	5,100.00	113.60	122.00	9,462,000.00
SHANGHAI	CHINA	9,142.00	857.48	497.00	26,150,000.00
XIAMEN	CHINA	640.00	48.00	23.00	4,627,000.00
TIANJIN	CHINA	3,472.00	129.24	86.00	7,103,000.00
YANTIAN	CHINA	3,996.00	118.00	44.00	9,368,696.00
BUSAN	COREA	7,473.00	419.83	139.00	13,270,000.00
KWANGYANG	COREA	3,700.00	137.30	48.00	1,706,291.00
GUAYAQUIL	ECUADOR	1,480.00	115.40	5.00	597,622.00
ACAJUTLA	EL SALVADOR	958.00	10.50	3.00	144,458.00
PUERTO QUETZAL	GUATEMALA	400.00	47.80	4.00	272,482.00
HONG KONG KCTY	HONG KONG	7,694.00	279.00	97.00	23,998,000.00
HONG KONG RTT	HONG KONG	3,000.00	65.00	27.00	7,085,000.00
YOKOHAMA	JAPÓN	5,680.00	209.53	86.00	3,428,112.00
ENSENADA	MÉXICO	300.00	14.42	7.00	127,271.00
LÁZ CÁRDENAS	MÉXICO	286.00	18.50	6.00	270,240.00
MANZANILLO	MÉXICO	2,205.00	31.80	24.00	1,409,614.00
BALBOA	PANAMÁ	1,511.00	18.20	30.00	1,833,778.00
CALLAO	PERÚ	4,000.00	44.10	5.00	1,022,246.00
SINGAPUR	SINGAPUR	6,565.00	436.00	143.00	27,932,000.00
KAOHSIUNG	TAIWAN	6,714.00	142.14	41.00	10,256,829.00
KEELUNG	TAIWAN	3,192.00	33.90	25.00	2,215,484.00
LONG BEACH	USA	7,902.00	488.92	93.00	7,312,465.00
LOS ANGELES	USA	9,278.00	647.73	133.00	8,335,039.00
OAKLAND	USA	6,869.00	307.70	54.00	2,387,911.00
SEATTLE	USA	3,423.00	203.00	31.00	1,973,504.00
TACOMA	USA	2,884.00	224.51	28.00	1,924,934.00
PORTLAND	USA	1,616.00	62.83	17.00	260,128.00

Fuente: *Containerisation International Yearbook* (2008).

Cuadro 10. Datos *input* y *output* de los puertos de contenedores de la Cuenca del Pacífico 2008

DMU	País	Inputs (X)			Output (Y)
		LM	ST	GP	TEU
BRISBANE	AUSTRALIA	2,114.00	80.60	15.00	952,678.00
VANCOUVER	CANADÁ	3,974.00	158.33	50.00	2,492,107.00
ANTOFAGASTA	CHILE	1,230.00	1.50	16.00	76,685.00
IQUIQUE	CHILE	2,528.00	5.38	4.00	334,326.00
SAN ANTONIO	CHILE	1,155.00	48.26	7.00	687,864.00
VALPARAISO	CHILE	985.00	16.00	16.00	946,847.00
QINGDAO	CHINA	3,400.00	225.00	144.00	8,715,098.00
SHANGHAI	CHINA	9,142.00	812.00	515.00	28,006,000.00
XIAMEN	CHINA	1,633.00	48.00	30.00	5,035,000.00
TIANJIN	CHINA	3,472.00	129.24	65.00	7,103,000.00
YANTIAN	CHINA	3,750.00	208.00	203.00	9,683,493.00
BUSAN	COREA	12,610.00	441.25	192.00	10,294,589.00
KWANGYANG	COREA	3,700.00	137.30	48.00	1,810,048.00
GUAYAQUIL	ECUADOR	555.00	21.60	3.00	874,955.00
ACAJUTLA	EL SALVADOR	958.00	10.50	3.00	156,323.00
PUERTO QUETZAL	GUATEMALA	400.00	47.80	4.00	305,414.00
HONG KONG KCTY	HONG KONG	7,804.00	279.00	97.00	17,726,000.00
HONG KONG RTT	HONG KONG	3,000.00	65.00	27.00	2,200,000.00
YOKOHAMA	JAPÓN	4,910.00	209.50	90.00	3,481,492.00
ENSENADA	MÉXICO	300.00	14.42	7.00	121,418.00
LÁZ CÁRDENAS	MÉXICO	886.00	56.40	17.00	524,791.00
MANZANILLO	MÉXICO	2,205.00	31.80	24.00	1,409,782.00
BALBOA	PANAMÁ	1,819.36	182.00	62.00	2,167,977.00
CALLAO	PERÚ	3,646.64	24.33	5.00	1,203,315.00
SINGAPUR	SINGAPUR	16,000.00	600.00	190.00	29,918,200.00
KAOHSIUNG	TAIWAN	6,897.00	142.00	41.00	9,676,554.00
KEELUNG	TAIWAN	3,516.00	49.50	29.00	2,055,258.00
LONG BEACH	USA	8,392.00	547.90	71.00	6,487,816.00
LOS ANGELES	USA	8,831.58	682.30	68.00	7,849,985.00
OAKLAND	USA	6,949.70	307.70	45.00	2,233,533.00
SEATTLE	USA	3,761.00	216.93	24.00	1,704,492.00
TACOMA	USA	2,884.00	224.50	30.00	1,861,358.00
PORTLAND	USA	1,616.00	62.83	20.00	245,459.00

Fuente: *Containerisation International Yearbook* (2009).