

## PALABRAS CLAVE

Puertos  
Carga  
Terminales de contenedores  
Transporte marítimo  
Productividad  
Medición  
Modelos matemáticos  
México

# México: cambio en la productividad total de los principales puertos de contenedores

*Alejandro Guerrero C. y César Rivera T.*

**E**n la medición del desempeño portuario es común el uso de indicadores parciales de productividad, que se obtienen al relacionar un producto con un insumo. Sin embargo, cuando se desea conocer la productividad global del puerto resulta más útil emplear el concepto de productividad total, que consiste en integrar todos los insumos que intervienen en la obtención de la totalidad de los productos. Este factor ha sido medido por el índice de Malmquist, que señala el cambio ocurrido en el factor de productividad total (FPT). En este trabajo se utiliza ese índice para determinar el cambio en el FPT de los puertos de contenedores más importantes de México. De acuerdo con los resultados logrados, las ganancias de productividad de las terminales medianas como Progreso y Ensenada fueron mayores que las alcanzadas por puertos concentradores como Veracruz y Altamira, aun cuando la eficiencia en estas terminales es mayor.

Alejandro Guerrero C.  
Investigador, Instituto Mexicano  
del Transporte

✉ [aguerrero@imt.mx](mailto:aguerrero@imt.mx)

César Rivera T.  
Investigador titular, Instituto  
Mexicano del Transporte

✉ [crivera@imt.mx](mailto:crivera@imt.mx)

# I

## Introducción

Dentro de un puerto se realizan actividades de gran importancia para el comercio exterior. Por ello, medir el desempeño de esas actividades es la tarea fundamental de toda autoridad portuaria. En México, los rendimientos portuarios se cuantifican al relacionar las cantidades de un producto con un insumo, por ejemplo, tonelaje manejado por grúa o toneladas por hora/buque en puerto. A estos indicadores se los conoce como indicadores parciales de productividad.

El empleo de indicadores parciales resulta útil para comparar el desempeño entre actividades portuarias; sin embargo, no son prácticos cuando se desea conocer la productividad global del puerto. En este sentido, algunos investigadores han propuesto usar el concepto del factor de productividad total (FPT) en la industria portuaria.

El FPT se obtiene al relacionar la totalidad de los productos con la totalidad de los insumos empleados durante el proceso de producción. La aplicación de esta medida al sector portuario es reciente y la técnica más empleada ha sido el índice de Malmquist, que permite medir el cambio que se produjo en el FPT durante distintos períodos. Asimismo, este índice permite conocer los cambios en cada uno de los componentes de la productividad total: la eficiencia técnica, el cambio tecnológico y la eficiencia en la escala de producción.

Lo anterior hace posible detectar con mayor detalle las causas de las posibles ineficiencias.

Conocer el comportamiento que la productividad de un puerto ha mantenido durante los últimos años resultará crucial para adoptar las medidas que permitan corregir las ineficiencias detectadas y mejorará las fortalezas de un puerto. En consecuencia, el objetivo planteado en este trabajo es determinar el cambio en el factor de productividad total de los principales puertos de contenedores en México.

Para cumplir con ese objetivo, el artículo está integrado por seis secciones. En la Introducción se plantea brevemente el problema. En la sección II son presentadas las diferencias entre los conceptos de eficiencia y productividad, así como el desarrollo de la metodología con que se elaborará el modelo para obtener el FPT. En la sección III se describen los flujos de carga en puertos mexicanos y se presenta el tráfico de contenedores. Además de la muestra de puertos que se analizará, un aspecto decisivo para alcanzar resultados congruentes es la selección de productos e insumos que integrarán la muestra; esto es abordado en la sección IV. Los resultados obtenidos en el desarrollo del trabajo son presentados en la sección V. Finalmente, en la sección VI se presentan las conclusiones.

# II

## Definiciones de productividad y eficiencia

Cuando se procura cuantificar el desempeño de alguna industria, pública o privada, comúnmente se utilizan los conceptos de productividad y eficiencia técnica. Con mucha frecuencia, estos conceptos son tratados indistintamente de manera errónea. De acuerdo con González y Trujillo (2005), la confusión radica en el hecho de que una empresa mejora su desempeño cuanto más eficiente y productiva sea; sin embargo, si bien estos conceptos guardan una estrecha relación, no deben ser tratados análogamente.

La productividad se define como el cociente entre el volumen producido (productos) y los medios empleados para producirlo (insumos), mientras que la

eficiencia técnica se refiere a una comparación entre la producción observada y sus valores óptimos. Asimismo, mientras que la productividad mide el desempeño de un proceso de producción de forma integral, la eficiencia es un componente de la productividad.

Para aclarar mejor las diferencias entre productividad y eficiencia debemos referirnos al trabajo de Farrell (1957), considerado el precursor de las medidas modernas de la eficiencia. De acuerdo con Farrell, la eficiencia técnica nos indicará si los recursos y la tecnología disponibles están siendo aprovechados de manera adecuada.

Por tanto, para cuantificar la eficiencia técnica será necesario considerar alguno de los siguientes enfoques:

- Orientación al producto: en este enfoque se tendrá como objetivo primordial medir la eficiencia considerando la máxima producción alcanzable dada cierta cantidad de insumos.
- Orientación al insumo: la medida de la eficiencia debe estar en relación con la mínima combinación de insumos posible para una cantidad de producción.

De esta manera, la determinación de la eficiencia requiere de un marco comparativo al que se le denomina frontera de producción y que representa la máxima producción alcanzable con la tecnología disponible. Farrell sugirió que la frontera de producción se creara a partir de las eficiencias más altas observadas, empleando así el concepto de la evaluación comparativa (*benchmarking*).

Para comprender mejor lo expuesto anteriormente resulta útil considerar un proceso de producción en que solo se emplea un insumo para elaborar un producto. La relación entre la cantidad del producto y la cantidad del insumo puede interpretarse gráficamente, como se muestra en el gráfico 1, donde la curva O-F representa la frontera de producción. La eficiencia quedará definida al comparar la producción observada con respecto a esa frontera, es decir, que a las empresas que operen

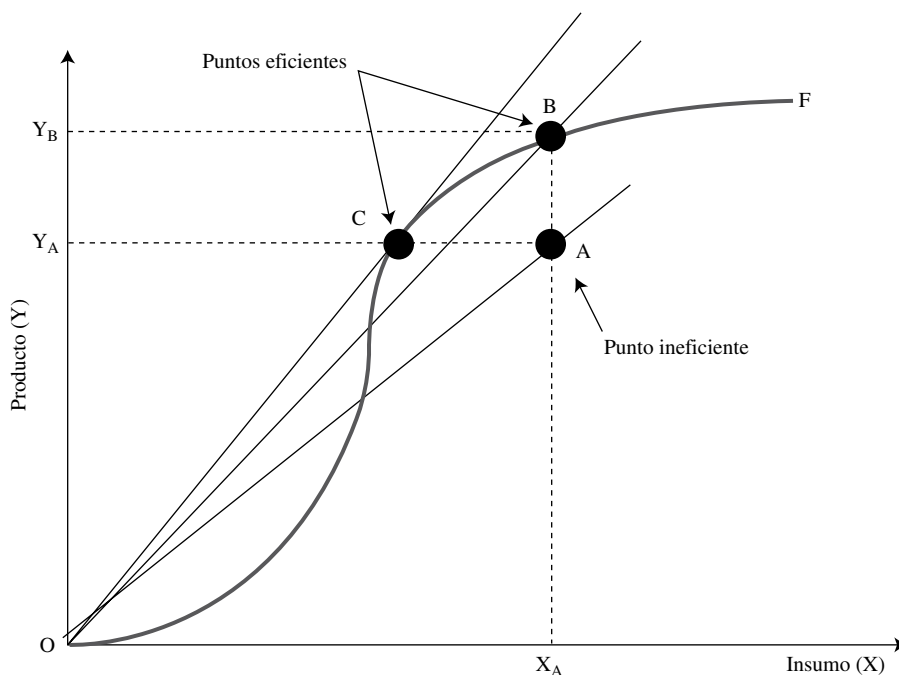
por sobre la frontera se las considerará técnicamente eficientes.

Por ejemplo, si una empresa opera en el punto A del gráfico 1 se puede deducir fácilmente que es ineficiente, pues podría incrementar su producción hasta el punto B empleando la misma cantidad de insumos, o bien producir lo mismo usando menos insumos (punto C). De acuerdo con la definición de productividad analizada anteriormente, esta quedaría representada por la pendiente de la recta que parte del origen y pasa por el punto en cuestión. De esta manera, se puede observar que las empresas eficientes son también más productivas, pues, como se aprecia en el gráfico 1, las pendientes de las rectas OB o OC (puntos eficientes) son mayores que las de la recta OA.

Asimismo, no solo con mejorar la eficiencia técnica se puede incrementar la productividad. Por ejemplo, la introducción de nuevas tecnologías en un puerto, al adquirir grúas de mayor capacidad y velocidad de operación, desplazará la frontera de producción originando con ello un aumento en la productividad. La representación gráfica de lo anterior se observa en el gráfico 2, donde la curva  $OF_1$  es la resultante del empleo de nuevas tecnologías y resalta que la productividad  $OD'$  es mayor que la OD.

GRÁFICO 1

### Fronteras de producción y eficiencia técnica



Fuente: Coelli, D. S. Prasada Rao y G. E. Battese, *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Boston, Kluwer Academic Publisher, 1998.

El último factor que incide en la productividad es la escala bajo la que se está produciendo. Si observamos los puntos A y B del gráfico 2, podemos apreciar que ambos son eficientes, sin embargo, la productividad en B es mayor que en A dado que su pendiente es mayor. Por tanto, si una empresa desea ser más productiva deberá ajustar su producción en el punto B.

En resumen, mejorar la eficiencia técnica, producir bajo una escala adecuada (eficiencia en la escala), así como introducir nuevas tecnologías (cambio tecnológico), tendrá un efecto positivo en la productividad de los puertos. A los tres factores anteriores se les conoce como componentes de la productividad, y son indispensables en la determinación del factor de productividad total (FPT) cuya obtención es el objetivo de este trabajo.

La metodología que se emplea para medir el cambio en el FPT es el índice de Malmquist, que será descrito más adelante. Cabe señalar que este índice se define utilizando funciones de distancia que permiten describir una tecnología multiinsumo y multiproducto sin la necesidad de especificar un objetivo de comportamiento, tal como la minimización de costos o la maximización de beneficios (Coelli, Prasada Rao y Battese, 1998).

En este trabajo se utiliza una función de distancia orientada al producto, que se caracteriza por ser una

tecnología cuyo fin es maximizar la producción de un vector de insumos. Es decir, para la autoridad portuaria resulta de mayor utilidad hacer más eficiente el uso de su infraestructura y equipo existente, maximizando la cantidad de TEU (equivalente en mercancías de un contenedor de 20 pies).

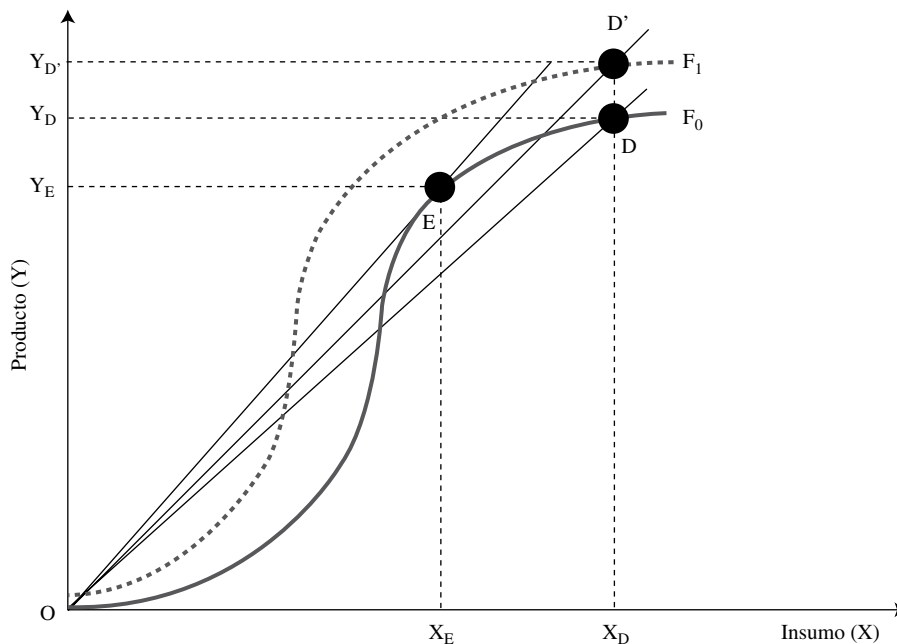
### Cambio en el factor de productividad total

Como señalan Estache, Tovar de la Fe y Trujillo (2004), a la productividad portuaria —más que a ningún otro tipo de productividad en el transporte— se la relaciona con indicadores parciales. Es decir, las autoridades portuarias miden generalmente su rendimiento relacionando el tonelaje manejado con el número de grúas o bien con los buques atendidos por unidad de tiempo. Estos indicadores son muy útiles para conocer la productividad de un área del puerto en particular, sin embargo, resultan poco prácticos para determinar su productividad global.

Dadas las limitantes de los indicadores parciales, los economistas se han concentrado principalmente en medidas de la productividad tal como la comparación de los cambios en los productos totales vinculados a los cambios en los insumos totales, surgiendo así el concepto del factor de productividad total (FPT), que se

GRÁFICO 2

Productividad, eficiencia técnica y escala de producción



Fuente: Coelli, D.S. Prasada Rao y G.E. Battese, *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Boston, Kluwer Academic Publisher, 1998.

define como el cociente entre alguna función que agrega las salidas y alguna función que agrega las entradas (González y Trujillo, 2005).

Matemáticamente, lo anterior equivale a aplicar las sumatorias correspondientes en el cociente de productividad, con lo que se obtiene la siguiente expresión:

$$FPT = \frac{\sum_{m=1}^M u'_m y_m}{\sum_{k=1}^K v'_k x_k} \quad (1)$$

donde FPT es el factor de productividad total para M productos que emplean K insumos, u' y v' son ponderadores, pues no todos los insumos o productos deben tener la misma importancia.

Por consiguiente, el cambio en la productividad total puede estimarse como la razón del cambio del FPT durante un período analizado. Para aclarar lo anterior se debe suponer nuevamente el ejemplo de una empresa que produce un producto empleando para ello un insumo. La expresión que nos permite conocer el cambio que existió en la productividad desde el período inicial (t) a un período final (t+1) es:

$$\frac{y_{t+1}/x_{t+1}}{y_t/x_t} \quad (2)$$

La expresión (2) tiene dos particularidades; la primera de ellas es la ya comentada, que solo puede emplearse en procesos productivos que involucren a un producto con un insumo. En la segunda se comparan únicamente las productividades observadas en dos períodos, asumiendo que la tecnología ha permanecido constante.

Para solucionar lo anterior, se ha recurrido al índice de Malmquist propuesto por Caves, Christensen y Diewert (1982). En este índice se emplean las funciones de distancia introducidas por Shephard (1953) para determinar la distancia que separa a las entidades comparadas de las más eficientes.

El índice de productividad de Malmquist fue representado por la siguiente función:

$$M_{oc}^t(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \frac{D_{oc}^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^t(x^t, y^t)} \quad (3)$$

donde  $M_{oc}^t(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1})$  se compara  $(x^{t+1}, y^{t+1})$  con  $(x^t, y^t)$ , obteniendo las distancias que las separan de la mejor marca posible, respecto de la tecnología en el período t, es decir,  $T_c^t$ . De esta manera, un valor mayor a uno en la expresión (3) indicaría que se incrementó el valor del FPT; lo contrario ocurre en valores menores que la unidad.

De manera análoga, se puede determinar la relación correspondiente considerando ahora como base la tecnología en el período t+1, es decir,  $T_c^{t+1}$ , obteniendo la expresión:

$$M_{oc}^{t+1}(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \frac{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^{t+1}(x^t, y^t)} \quad (4)$$

Así, en las expresiones (3) y (4) se considera que la tecnología permanece fija ya sea en el período t o en el t+1. Caves, Christensen y Diewert (1982) sostuvieron que los cambios en la tecnología pueden determinarse si se calcula la media geométrica de las expresiones anteriores, de esta manera se obtiene el índice de Malmquist:

$$M_{oc}(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \left[ \frac{D_{oc}^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^t(x^t, y^t)} \times \frac{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2} \quad (5)$$

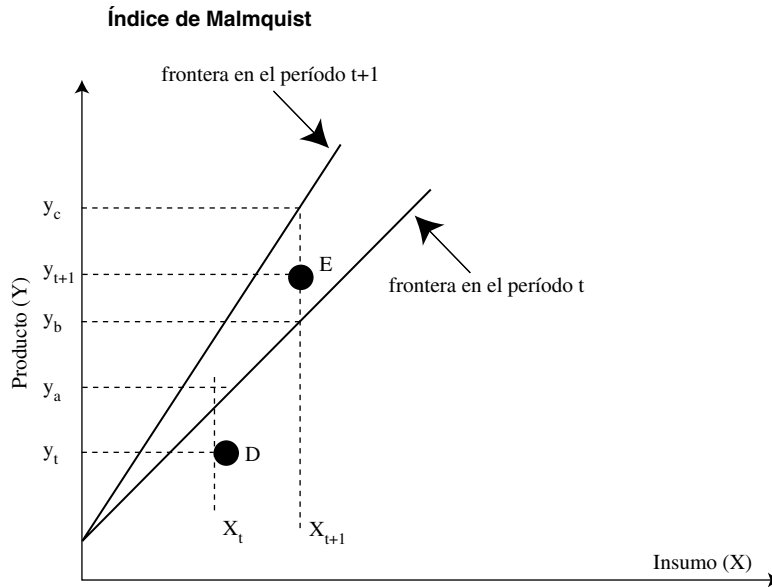
La representación gráfica del índice de Malmquist es posible si consideramos nuevamente el proceso de producción de un producto mediante el empleo de un insumo. En el gráfico 3 se muestran las "distancias" que deberán obtenerse para medir el cambio que existió entre la productividad desde el punto E (t+1) al D (t), considerando como fronteras las tecnologías de ambos períodos.

Por lo tanto, el cambio en la eficiencia técnica y el cambio tecnológico estarían determinados por las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} \text{Cambio en la eficiencia técnica} &= \frac{y_{t+1}/y_c}{y_t/y_a} \\ \text{Cambio tecnológico} &= \left[ \frac{y_{t+1}/y_b}{y_{t+1}/y_c} \times \frac{y_t/y_a}{y_t/y_b} \right]^{1/2} \end{aligned}$$

De este modo, de acuerdo con Coelli, D.S. Prasada Rao y G.E. Battese (1998), una manera equivalente de escribir la ecuación (5) es:

GRÁFICO 3



Fuente: Coelli, D.S. Prasada Rao y G.E. Battese, *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Boston, Kluwer Academic Publisher, 1998.

$$M_{oc}(x^t, y^t, x^{t+1}, y^{t+1}) = \frac{D_{oc}^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^t(x^t, y^t)} \quad (6)$$

$$\left[ \frac{D_{oc}^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_{oc}^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D_{oc}^t(x^t, y^t)}{D_{oc}^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{1/2}$$

En la ecuación (6), el cociente fuera de los corchetes representa el cambio en la eficiencia técnica, mientras que lo que se encuentra dentro de los corchetes es el cambio tecnológico.

Para estimar las cuatro medidas de distancia que se aprecian en la ecuación (5) se recurre tanto a métodos econométricos como a métodos de programación lineal. En el presente trabajo se empleó el método de análisis envolvente de datos (DEA, en inglés), basado en técnicas de programación lineal.

Para plantear los problemas de programación lineal, Fare y otros (1994) asumieron una escala de retorno constante, teniendo los siguientes problemas de programación lineal:

$$\left[ d_0^t(x_t, y_t) \right]^{-1} = \max_{\phi, \lambda} \phi, \quad (7)$$

sa  $-\phi y_{it} + Y_t \lambda \geq 0,$   
 $x_{it} - X_t \lambda \geq 0,$   
 $\lambda \geq 0$

$$\left[ d_0^{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1}) \right]^{-1} = \max_{\phi, \lambda} \phi, \quad (8)$$

sa  $-\phi y_{i,t+1} + Y_{t+1} \lambda \geq 0,$   
 $x_{i,t+1} - X_{t+1} \lambda \geq 0,$   
 $\lambda \geq 0$

$$\left[ d_0^t(x_{t+1}, y_{t+1}) \right]^{-1} = \max_{\phi, \lambda} \phi, \quad (9)$$

sa  $-\phi y_{i,t+1} + Y_t \lambda \geq 0,$   
 $x_{i,t+1} - X_t \lambda \geq 0,$   
 $\lambda \geq 0$

$$\left[ d_0^{t+1}(x_t, y_t) \right]^{-1} = \max_{\phi, \lambda} \phi, \quad (10)$$

sa  $-\phi y_{it} + Y_{t+1} \lambda \geq 0,$   
 $x_{it} - X_{t+1} \lambda \geq 0,$   
 $\lambda \geq 0$

Como señalan Coelli, D.S. Prasada Rao y G.E. Battese (1998), es posible descomponer el cambio de la eficiencia técnica en cambio en la eficiencia de la escala de producción y cambio en la eficiencia técnica “pura”. Para hacerlo deben considerarse dos problemas de programación lineal, repitiendo los problemas (7) y (8) y agregándoles la restricción de convexidad ( $\sum \lambda = 1$ ).

Las funciones de distancia así calculadas se basan en una caracterización de la tecnología de acuerdo con la mejor práctica técnica. Por la vía de medir su índice de Malmquist podremos descomponer los cambios en la productividad total en sus tres componentes, esto es, cambio en la eficiencia técnica pura, cambio en la eficiencia de escala y cambio tecnológico (Maudos, Pastor y Serrano, 1998).

Si bien existen numerosos trabajos cuyo objetivo es lograr la eficiencia técnica de los puertos empleando tanto técnicas econométricas como programación lineal, la aplicación del índice de Malmquist a la industria portuaria es reciente y los trabajos que abordan el tema son escasos.

Como se mencionó anteriormente, la eficiencia técnica es uno de los componentes de la productividad, y su determinación es necesaria pero no suficiente para medir el cambio en la productividad total. Una buena compilación de los trabajos que se proponen determinar la eficiencia técnica de los puertos se encuentra en González y Trujillo (2005). En el presente trabajo solo se hará referencia a los que emplearon el índice de Malmquist para medir el cambio en la productividad total.

Estache, Tovar de la Fe y Trujillo (2004) midieron el cambio del FPT de doce puertos mexicanos. El objetivo de ese trabajo era comprobar si la introducción de capital privado había traído mejoras en la productividad y eficiencia de los puertos mexicanos. En la selección tanto del período en que realizaron el análisis como de los insumos y productos que emplearon se tuvo en cuenta el objetivo ya mencionado, de ahí que consideraran que el período comprendido entre los

años 1996 y 1999 aportaría conclusiones acertadas, ya que en esos años comenzó la introducción de capital privado. El producto seleccionado fue el tonelaje manejado, mientras que para representar los insumos se empleó la longitud de muelles de que disponía la Administración Portuaria Integral (API), así como su número de trabajadores. Los resultados mostraron que en la gran mayoría de los puertos se presentaban ganancias en el FPT; solo Topolobambo y Tampico mostraron pérdidas en ese factor.

En un segundo trabajo, Liu, Liu y Cheng (2006) aplican el índice Malmquist y logran el cambio en el FPT de un buen número de terminales de contenedores en China. Este estudio es relevante, pues los puertos asiáticos, particularmente los chinos, han presentado crecimientos significativos en la presente década y han ido desplazando a los puertos norteamericanos y europeos en el tráfico de contenedores. De acuerdo con este trabajo, las terminales de contenedores que mayor movimiento presentaron obtuvieron ganancias en el FPT, lo contrario ocurrió en las terminales pequeñas.

Los resultados del índice de Malmquist han sido tema de discusión en diversos ámbitos, pues como señalan Coelli, Prasada Rao y Battese (1998), al asumir una escala de retornos constante se puede incurrir en errores al calcular el cambio en la escala de eficiencia, si consideramos que en la práctica es más común asumir una escala de retorno variable.

Asimismo, la aplicación de este índice al complejo sector portuario debe realizarse teniendo en cuenta diversas consideraciones porque, como lo mencionan Doerr y Sánchez (2006), resulta complicado cuantificar todas las actividades utilizando para ello un solo indicador.

### III

## El sistema portuario mexicano

Este sistema portuario está integrado por 114 puertos, de los cuales solo 26 registraron movimiento de altura, es decir, son puertos de comercio exterior que podemos clasificar en tres grupos:

**Puertos principales o concentradores.** Son aquellos que concentran la mayor parte del tráfico de altura; durante 2007, Veracruz, Altamira, Lázaro Cárdenas y Manzanillo movieron el 64,8% del total.

**Puertos secundarios.** Estos concentran menor cantidad de carga que los primeros, pero tienen una participación considerable y además poseen terminales

para manejar casi todo tipo de carga; a este grupo pertenecen Ensenada, Tampico, Coatzacoalcos y Progreso.

**Puertos concentradores de un solo tipo de carga.** Se trata de terminales especializadas para determinadas mercancías, como Isla de Cedros, Isla San Marcos, Punta Santa María y Punta Venado.

A partir de la apertura portuaria de 1993, los puertos principales han incrementado su participación apoyados en las ventajas competitivas que presentan. Cabe mencionar que antes de esa apertura el tráfico

estaba menos concentrado, sobre todo en los puertos del Pacífico, donde hacia finales de la década de 1980 puertos como Guaymas, Mazatlán y Salina Cruz equilibraban el manejo de contenedores, que hoy recae en los puertos de Manzanillo y Lázaro Cárdenas.

Como señala Martner (2002), en el Golfo de México la situación varía un poco, pues en sus puertos siempre ha existido una concentración en el manejo de carga; dada la importancia histórica de los puertos de Veracruz y Tampico estos siempre tuvieron preponderancia respecto de las otras terminales. El cambio apreciado producto de la apertura portuaria se dio con la incorporación del puerto de Altamira, que fue desplazando a Tampico como concentrador de carga, en especial en el manejo de contenedores.

En resumen, se constata que los cuatro principales puertos nacionales en manejo global de carga también lo son en manejo de carga en contenedores, es decir, Manzanillo y Lázaro Cárdenas en el litoral del Pacífico, y Veracruz y Altamira en el Golfo de México. Estos cuatro

puertos han logrado posicionarse en el mercado nacional debido a que, además de atender a los centros urbanos cercanos a ellos, atienden a regiones cuya cercanía no es tan importante dado que cuentan con una estructura de vinculación multirregional.

La concentración de estos puertos en el manejo de contenedores es histórica. Veracruz fue el líder nacional en movimientos de este tipo de carga hasta el año 2001. A partir de ese año, el comercio con Asia creció sustancialmente, provocando que el puerto de Manzanillo se convirtiera en el de mayor movimiento. Como ya se mencionó, Altamira fue desplazando a Tampico; en el año 2000, Altamira movilizó poco más de 3,5 veces el número de contenedores de Tampico, y en 2007 la diferencia alcanzó casi a 36 veces. En cuanto al puerto Lázaro Cárdenas, si bien el número de contenedores que movilizó en 2007 es menor que el de los otros tres puertos concentradores, su crecimiento desde 2003 es significativo. Los resultados del tráfico de contenedores se muestran en el cuadro 1.

CUADRO 1

**Puertos mexicanos: evolución de la carga en contenedores, 2000-2007**  
(En TEU<sup>a</sup>)

Puerto	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
<i>Pacífico</i>	477 658	505 668	704 800	773 861	928 204	1 098 447	1 564 173	1 830 387
Ensenada	26 822	26 016	53 142	46 332	39 202	75 101	123 711	120 324
San Carlos	362	—	—	—	—	—	—	—
Pichilingüe	362	—	—	—	—	—	—	28
Guaymas	498	—	33	2	—	—	25	4
Mazatlán	16 813	18 315	12 900	16 394	15 954	17 559	30 111	29 363
Manzanillo	426 717	458 472	638 507	708 417	829 603	872 386	1 249 630	1 409 614
Lázaro Cárdenas	752	—	134	1 646	43 445	132 479	160 696	270 240
Salina Cruz	5 332	2 865	84	1 070	—	922	—	734
Puerto Chiapas	—	—	—	—	—	—	—	80
<i>Golfo y el Caribe</i>	835 841	847 430	858 228	910 580	974 356	1 034 766	1 112 518	1 232 033
Altamira	182 545	206 864	225 937	256 417	297 017	324 601	342 656	407 657
Tampico	49 472	29 531	18 848	14 347	9 862	9 001	10 243	11 040
Tuxpán	104	341	276	58	1	15	24	8
Veracruz	540 014	543 327	548 422	571 867	591 736	620 858	674 872	729 717
Dos Bocas	—	—	—	64	150	265	46	80
Seybaplaya	—	—	—	—	—	12	98	5
Progreso	56 581	60 117	57 787	60 312	68 082	71 769	75 692	75 584
Puerto Morelos	7 125	7 250	6 958	7 515	7 508	8 245	8 887	7 942

Fuente: elaboración propia sobre la base de datos de la Coordinación General de Puertos y Marina Mercante de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

<sup>a</sup> Unidad equivalente en mercancías de un contenedor de 20 pies.



## IV

### Muestra de datos para el estudio

La medición de la productividad en un puerto resulta compleja dada la diversidad de actores e intereses que confluyen en él. Por ejemplo, en un puerto se brinda una gran variedad de servicios, como transferencia de carga de un modo de transporte a otro, servicios de consolidación y desconsolidación de la carga, atención a embarcaciones, entre otros. Los insumos y productos que se seleccionen dependerán del servicio que se desee analizar.

En el presente trabajo consideramos que la principal función del puerto es el intercambio de mercancías, por lo que el producto que se seleccionó fue la cantidad de contenedores que movilizó el puerto. Sobre la base de la consideración anterior, se seleccionaron los puertos en que la presencia de contenedores fue constante, estos fueron Ensenada, Mazatlán y Manzanillo en las costas del Pacífico, así como Altamira, Tampico, Veracruz y Progreso en el litoral del Golfo.

Cabe mencionar que se decidió no incluir al puerto de Lázaro Cárdenas dentro de la muestra, pues este representaba un valor atípico (*outlier*). Es decir, en el año inicial de la muestra (2000), el tráfico de TEU por este puerto era prácticamente nulo, mientras que en 2007 el tráfico de contenedores del puerto representó cerca del 9% del total. El extraordinario crecimiento que registró este puerto ocasiona una desviación de la muestra, por lo que no es recomendable su inclusión.

Por otra parte, para seleccionar los insumos es necesario tener en cuenta que estos deben representar a los tres insumos básicos que se emplean en la función de producción, es decir, tierra, trabajo y capital. Los datos de infraestructura del puerto representan muy bien a los insumos tierra y capital, que en el presente trabajo quedaron representados por la superficie de almacenamiento y la longitud de muelles, respectivamente. En cuanto al insumo trabajo, se consideró la posibilidad de incluir la cantidad de trabajadores del puerto; sin embargo, existen complicaciones para disponer de esa información, de manera que este insumo quedó representado por la cantidad de equipo que posee el puerto, porque de acuerdo con Herrera y Pang (2005) existe una estrecha relación entre el número de trabajadores y la cantidad de equipo que posee un puerto.

Los puertos tienen una gran variedad de equipo, pero el movimiento de contenedores es realizado básicamente por las grúas pórtico tanto de patio como de muelle, siendo estas las que se emplearon como insumos en el presente trabajo.

El análisis se efectuó para el período comprendido entre los años 2000 y 2007. Con ello se manejó una muestra de siete puertos para un período de ocho años, empleando cuatro insumos y un producto, por lo que consideramos que de acuerdo con la metodología empleada el panel de datos es aceptable para el objetivo de este trabajo.

## V

### Cambio en el factor de productividad total (FPT)

Como se ha comentado, el índice de Malmquist no solo permite obtener el cambio en el FPT, sino que también posibilita conocer el cambio de cada uno de los componentes de la productividad, es decir, eficiencia técnica, eficiencia en la escala de producción e introducción del cambio tecnológico. En el presente trabajo se empleó el programa “Análisis Envolvente de Datos” (*Data Envelopment Analysis Program*) (Coelli, 1996).

El cambio en el FPT mostró una mejoría en casi todos los puertos analizados, pues, con excepción de Veracruz y de Tampico, el resto de los puertos presentaron mejoras en el FPT. En el cuadro 2 se muestra el índice acumulado del cambio en el factor de productividad total. Para obtener este cuadro se considera como punto de partida al primer valor de productividad obtenido, y a partir de este se miden los cambios observados en la productividad en los períodos

subsecuentes, por lo que un valor menor a uno indica que la productividad disminuyó, y lo contrario ocurre con valores mayores que 1.

La interpretación de los resultados se presenta en el gráfico 4, donde se aprecia cómo el puerto de Progreso es el que tiene el valor más alto, seguido por los puertos de Ensenada y Manzanillo. Es necesario aclarar que los

valores que aparecen en el gráfico 4 no corresponden a una medida comparativa de las productividades observadas en cada puerto, sino a la variación acumulada que la productividad total mostró durante el período analizado. Por ello el valor inicial para todos los puertos es igual a uno, pues a partir de él son medidas las variaciones en la productividad total.

CUADRO 2

Índice acumulativo del cambio en el FPT<sup>a</sup> de los puertos

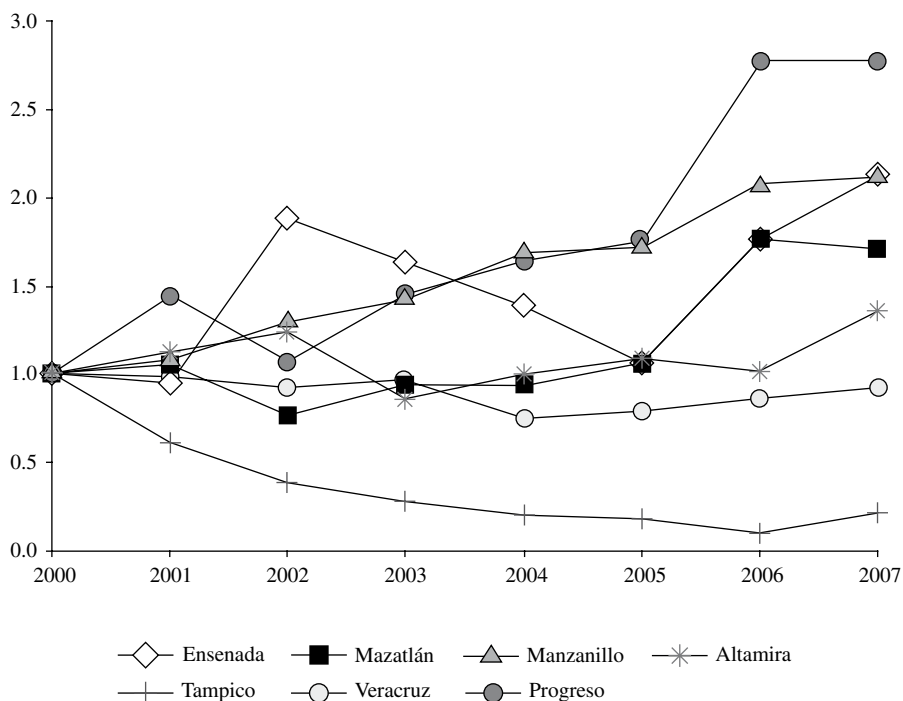
Año	Ensenada	Mazatlán	Manzanillo	Altamira	Tampico	Veracruz	Progreso
2000	1	1	1	1	1	1	1
2001	0,963	1,059	1,073	1,131	0,612	1,006	1,440
2002	1,887	0,765	1,297	1,235	0,387	0,921	1,073
2003	1,638	0,941	1,437	0,862	0,286	0,962	1,459
2004	1,389	0,941	1,685	1	0,204	0,754	1,653
2005	1,068	1,059	1,717	1,094	0,183	0,791	1,751
2006	1,766	1,765	2,070	1,010	0,102	0,860	2,771
2007	2,128	1,707	2,124	1,357	0,215	0,930	2,771

Fuente: elaboración propia.

<sup>a</sup> Factor de productividad total.

GRÁFICO 4

## Índice acumulativo del cambio en la productividad total



Fuente: elaboración propia.

La obtención del cambio de cada uno de los componentes de la productividad es importante, debido a que con ello se pueden establecer posibles causas que inciden en cambios no favorables de la productividad total.

Así, al analizar cada uno de los componentes de la productividad se obtuvo que el puerto de Manzanillo no presentó variaciones en la eficiencia técnica y su valor fue siempre de 1. Lo anterior se debió a que este puerto es el que presentó mayor eficiencia técnica durante el período analizado; por lo tanto, al ser siempre parte de la frontera de eficiencia no puede presentar mejoría en este factor.

Los puertos de Progreso y Ensenada registraron los mayores cambios en la eficiencia técnica. En el análisis de eficiencia, tanto Progreso como Ensenada obtuvieron un valor inicial bajo, cercano al 25% para ambos puertos, mientras que al final del período ese valor llegó al 65% y 59% para Progreso y Ensenada, respectivamente. El caso contrario ocurre en los puertos de Veracruz y Tampico, que al inicio de la muestra tenían altos índices de eficiencia técnica, mientras que en los últimos años este índice se retrajo, siendo mucho más significativo para el caso de Tampico. Los resultados de este componente de productividad se muestran en el cuadro 3.

El cambio en la escala de producción denota nuevamente que los puertos de Ensenada y Progreso son los que mayor impacto presentaron en ese componente. El puerto de Ensenada fue el que tuvo la mayor tasa de crecimiento de tráfico durante el período analizado, pasando de mover 26.822 TEU en el año 2000 a 120.324 en 2007. El hecho de que su escala de producción haya aumentado significa que el puerto se acerca más a una escala adecuada al final de la muestra.

Por su parte, el puerto de Progreso no presentó un incremento significativo en su tráfico de TEU, por consiguiente puede decirse que este puerto se encuentra produciendo a una escala adecuada, de modo que un incremento en los niveles de producción podría redundar en una disminución en el cambio del FPT.

Para el puerto de Veracruz se observa una disminución en el año 2004 tanto en su cambio en la escala de producción como en la eficiencia técnica. Lo anterior fue ocasionado por una merma en el crecimiento del tráfico del puerto, como asimismo porque en dicho año se adquirió equipo portuario. Posteriormente al año señalado, aun cuando los valores en las variaciones de ambos componentes van en aumento, el resultado final arroja una pérdida del valor en ambos componentes (véanse cuadros 4 y 5).

CUADRO 3

**Índice acumulativo del cambio en la eficiencia técnica pura**

Año	Ensenada	Mazatlán	Manzanillo	Altamira	Tampico	Veracruz	Progreso
2000	1	1	1	1	1	1	1
2001	<b>0,949</b>	1,053	1	1,125	<b>0,609</b>	1	1,395
2002	2,137	<b>0,843</b>	1	1,180	<b>0,415</b>	1	1,184
2003	1,797	1,065	1	<b>0,905</b>	<b>0,324</b>	1	1,588
2004	1,400	<b>0,979</b>	1	<b>0,965</b>	<b>0,212</b>	<b>0,713</b>	1,653
2005	1,089	1,114	1	1,068	<b>0,193</b>	<b>0,756</b>	1,771
2006	1,773	1,828	1	<b>0,971</b>	<b>0,106</b>	<b>0,809</b>	2,761
2007	2,211	1,645	1	1,180	<b>0,208</b>	<b>0,894</b>	2,468

Fuente: elaboración propia.

CUADRO 4

**Índice acumulativo del cambio en la eficiencia de la escala de producción**

Año	Ensenada	Mazatlán	Manzanillo	Altamira	Tampico	Veracruz	Progreso
2000	1	1	1	1	1	1	1
2001	<b>0,949</b>	1,053	1	1,074	<b>0,609</b>	1	1,361
2002	2,212	<b>0,843</b>	1	1,127	<b>0,415</b>	1	1,147
2003	1,980	1,065	1	1,026	<b>0,324</b>	1	1,667
2004	1,542	<b>0,979</b>	1	1,044	<b>0,212</b>	<b>0,983</b>	1,735
2005	1,374	1,114	1	1,057	<b>0,193</b>	<b>0,985</b>	1,855
2006	2,126	1,828	1	1,075	<b>0,106</b>	<b>0,985</b>	2,269
2007	2,523	1,645	1	1,127	<b>0,208</b>	<b>0,995</b>	2,171

Fuente: elaboración propia.

CUADRO 5

## Índice acumulativo del cambio tecnológico

Año	Ensenada	Mazatlán	Manzanillo	Altamira	Tampico	Veracruz	Progreso
2000	1	1	1	1	1	1	1
2001	1,015	1,006	1,073	1,006	1,006	1,006	1,033
2002	<b>0,883</b>	<b>0,906</b>	1,297	1,047	<b>0,934</b>	<b>0,921</b>	<b>0,906</b>
2003	<b>0,911</b>	<b>0,883</b>	1,437	<b>0,953</b>	<b>0,883</b>	<b>0,962</b>	<b>0,919</b>
2004	<b>0,992</b>	<b>0,961</b>	1,685	1,037	<b>0,961</b>	1,058	<b>0,999</b>
2005	<b>0,981</b>	<b>0,950</b>	1,717	1,025	<b>0,950</b>	1,047	<b>0,988</b>
2006	<b>0,995</b>	<b>0,964</b>	2,070	1,041	<b>0,965</b>	1,062	1,003
2007	<b>0,961</b>	1,036	2,124	1,152	1,034	1,040	1,123

Fuente: elaboración Propia.

De esta manera, el puerto de Veracruz, líder hasta el año 2002 en el movimiento nacional de contenedores, no solo perdió esta posición frente al puerto de Manzanillo, sino que ha cedido su participación en el movimiento del Golfo frente a Altamira, debido principalmente a las limitaciones físicas del puerto de Veracruz cuya falta de capacidad ha derivado en la pérdida de mercado frente a Altamira.

La reducción de TEU experimentada por el puerto de Veracruz es un ejemplo de que la obtención del FPT debe ser tomada bajo algunas consideraciones. Aun cuando la carencia de tráfico pueda obedecer a situaciones ajenas a la productividad del puerto, el modelo traduce la falta de tráfico como una ineficiencia, lo que redundará en una disminución de la productividad. Volviendo al ejemplo, existe una percepción generalizada de que el puerto de Veracruz es más eficiente y productivo que Altamira, de modo que si se desea analizar la

competitividad portuaria el modelo debe ser reforzado con la integración de factores extra, tales como niveles de servicio, interconexión con otros modos de transporte, diferenciación, entre otros.

Otra limitante de la metodología fue detectada por Tongzon y Heng (2005), quienes al analizar la productividad de terminales portuarias en Europa observaron que tanto Hamburgo como Rotterdam, al contrario de la percepción de los clientes, presentaron bajos índices de productividad. Al examinar las causas, estos autores observaron que en ambos puertos se habían realizado grandes inversiones en infraestructura; así, lo que para el modelo significó reducción de la productividad, era visto en sentido contrario por los clientes de los puertos.

En consecuencia, una línea de investigación pendiente consistiría en incorporar al modelo un análisis de los factores mencionados a fin de evitar conclusiones erróneas.

## VI Conclusiones

El índice de Malmquist es una herramienta que permite determinar el cambio en la productividad total y descomponerlo en cada uno de sus componentes. Este hecho es relevante para implementar políticas adecuadas de planeación estratégica.

La aplicación del índice de Malmquist a los puertos mexicanos evidenció que los puertos de Progreso y Ensenada —cuyo tráfico de contenedores no es tan significativo— son los que presentaron el mayor cambio en el factor de productividad total (FPT), dado que su mayor productividad les ha permitido competir ventajosamente con los grandes puertos concentradores, y sobrevivir a las desventajas competitivas que presentan.

De los puertos concentradores, Manzanillo es el que registró mayores cambios. Le siguieron Altamira y Veracruz (este último presentó pérdidas en el cambio del FPT); entre ambos puertos existe una férrea competencia por atraer los flujos de mercancías en las costas del Golfo, donde el puerto de Veracruz comienza a ceder terreno. Para Veracruz es importante atraer mayor cantidad de flujos de mercancía a fin de recuperar los niveles de productividad y eficiencia que mostró durante los años iniciales del análisis.

Es necesario mencionar que el cambio en el FPT obtenido deja afuera algunos aspectos importantes para la competitividad portuaria, como los niveles de servicio,

las posibilidades de adaptación a los mercados, y otros factores que sería relevante analizar para tener una visión más completa de la competitividad de los puertos.

Otro aspecto digno de atención es el hecho de que si bien esta herramienta es de gran utilidad para determinar la productividad, puede potenciar su desarrollo si se complementa con otras técnicas de planeación estratégica.

#### Bibliografía

- Aigner, D., C. Lovell y P. Schmidt (1977), "Formulation and estimation of stochastic frontier production function models", *Journal of Econometrics*, vol. 6, N° 1, Amsterdam, Elsevier.
- Caves, D., L. Christensen y W.E. Diewert (1982), "The economic theory of index numbers and the measurement of input, output and productivity", *Econometrica*, vol. 50, N° 6, Nueva York, Econometric Society.
- Charnes, A., W.W. Cooper y E. Rhodes (1978), "Measuring the efficiency of decision-making units", *European Journal of Operational Research*, vol. 2, N° 6, Amsterdam, Elsevier.
- Coelli, T. (1996), "A guide to DEAP version 2.1: a data envelopment analysis (computer) program", *CEPA Working Paper*, N° 96/8, Armidale, Department of Econometrics, University of New England.
- Coelli, T., D.S. Prasada Rao y G.E. Battese (1998), *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Boston, Kluwer Academic Publisher.
- Cooper, W.W., L.M. Seiford y K. Tone (2000), *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*, Boston, Kluwer Academic Publishers.
- Coto-Millán, P., J. Baños-Pino y A. Rodríguez-Álvarez (2000), "Economic efficiency in Spanish ports: some empirical evidence", *Maritime Policy and Management*, vol. 27, N° 2, Londres, Routledge.
- Cullinane, K. y otros (2004), "An application of DEA windows analysis to container port production efficiency", *Review of Network Economics*, vol. 3, N° 2, Canberra, Concept Economics.
- Doerr, O. y R. Sánchez (2006), "Indicadores de productividad para la industria portuaria: aplicación en América Latina y el Caribe", *serie Recursos naturales e infraestructura*, N° 112 (LC/L.2578-P), Santiago de Chile, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Publicación de las Naciones Unidas, N° de venta: S.06.II.G.108.
- Estache, A., M. González y L. Trujillo (2002), "Efficiency gains from port reform and the potential for yardstick competition: lessons from Mexico", *World Development*, vol. 30, N° 4, Amsterdam, Elsevier.
- Estache, A., B. Tovar de la Fe y L. Trujillo (2004), "Sources of efficiency gains in port reform: a DEA decomposition of a Malmquist TFP index for Mexico", *Utilities Policy*, vol. 12, N° 4, Amsterdam, Elsevier.
- Fare, R. y otros (1994), "Productivity growth, technical progress, and efficiency changes in industrialized countries", *American Economic Review*, vol. 84, N° 1, Nashville, Tennessee, American Economic Review.
- Farell, M.J. (1957), "The measurement of productive efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (General)*, vol. 120, N° 3, Londres, Royal Statistical Society.
- Fried, H.O., C.A. Lovell y S.S. Schmidt (2008), *The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Growth*, Oxford, Oxford University Press.
- González, M.M. (2004), "Eficiencia en la provisión de servicios de infraestructura portuaria: Una aplicación al tráfico de contenedores en España", Tesis doctoral, Las Palmas de Gran Canaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- González, M.M. y L. Trujillo (2005), "La medición de la eficiencia en el sistema portuario: revisión de la evidencia empírica", *Documento técnico*, N° 2005/06, Las Palmas de Gran Canaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- Herrera, S. y G. Pang (2005), "Efficiency of infrastructure: the case of container ports", Washington, D.C., Banco Mundial, borrador.
- Liu, B.L., W.L. Liu y C.P. Cheng (2006), *Efficiency Analysis of Container Terminals in China: an Application of DEA Approach*, Tianjin, Nankai University.
- Lovell, C.A.K. (1993), "Production frontier and productive efficiency", *The Measurement of Productive Efficiency. Techniques and Applications*, H. Fried, C.A.K. Lovell y S.S. Schmidt (comps.), Oxford, Oxford University Press.
- Marlow, P.B. y A.C. Paixão (2003), "Measuring lean ports performance", *International Journal of Transport Management*, vol. 1, N° 4, Amsterdam, Elsevier.
- Martner, C. (2002), "Puertos pivotes en México: límites y posibilidades", *Revista de la CEPAL*, N° 76 (LC/G.2175-P), Santiago de Chile.
- Maudos, J., J.M. Pastor y L. Serrano (1998), "Convergencia en las regiones españolas: cambio técnico, eficiencia y productividad", *Revista española de economía*, vol. 15, N° 2, Bilbao, Asociación Española de Economía.
- Poitras, G., J. Tongzon y H. Li (1996), "Measuring Port Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis", Singapur, Department of Economics and Statistics, National University of Singapore, inédito.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (2008), *Informe estadístico mensual. Movimiento de buques, carga y pasajeros enero a diciembre 2006-2007*, México, D.F., Coordinación General de Puertos y Marina Mercante.
- \_\_\_\_\_ (2007), *Manual estadístico del sector transporte, 2006*, México, D.F., Instituto Mexicano del Transporte.
- \_\_\_\_\_ (2001), *Los puertos mexicanos en cifras 1994-2000*, México, D.F., Coordinación General de Puertos y Marina Mercante.
- \_\_\_\_\_ (varios años), *Anuario estadístico del sector comunicaciones y transportes*, México, D.F., Coordinación General de Planeación.
- Shephard, R.W. (1953), *Cost and Production Functions*, Princeton, Princeton University Press.
- Tongzon, J. y W. Heng (2005), "Port privatization, efficiency and competitiveness: Some empirical evidence from container ports (terminals)", *Transportation Research Part A*, vol. 39, N° 5, Amsterdam, Elsevier.
- UNCTAD (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo) (1988), "Medición y evaluación del rendimiento y de la productividad de los puertos", *serie Monografías de la UNCTAD sobre gestión de puertos*, Nueva York.
- Van de Voorde, E. y otros (2002), *Port Competitiveness*, Ambers, Editions De Boeck.