

ESTUDIO DE LA EFICIENCIA TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LAS TERMINALES DE CONTENEDORES

Ramón Sala y Amparo Medal

Departamento de Matemática Económica-Empresarial
y Departamento de Finanzas Empresariales
Universidad de Valencia

RESUMEN

El trabajo describe un método para calcular las tarifas óptimas de las terminales de contenedores. Este modelo analiza en primer lugar la eficiencia técnica con la que operan las terminales, y a partir de la fijación de un nivel de eficiencia establecido para todo el conjunto del sistema de terminales y conocidos los datos económicos más relevantes y asociados a los inputs técnicos, se determina una "trayectoria" de tarifas a aplicar para diferentes niveles de eficiencia considerados.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la fijación de las tarifas operativas de las diferentes terminales de contenedores es de especial interés, no sólo para las sociedades concesionarias de esta actividad sino también por las autoridades públicas encargadas de velar por la competitividad del sistema y los intereses de los clientes que intervienen en este proceso.

El trabajo que se presenta, expone el marco teórico en el que encuadrar la labor de la determinación de las tarifas óptimas. En concreto, se describe el modelo y procesos a seguir en el análisis ya que su aplicabilidad práctica real está sujeta a condiciones de confidencialidad de los datos suministrados por las diferentes terminales que han aceptado colaborar en este estudio.

2. ANÁLISIS DE EFICIENCIA TÉCNICA

El Análisis Envolvente de Datos o DEA, desarrollado inicialmente por Charnes, Cooper y Rhodes (1978), es un método extremal y no paramétrico para la estimación de fronteras de producción y evaluación de la eficiencia de una muestra de unidades de producción (DMUs en la terminología habitual). El DEA ha demostrado ser un método poderoso para el análisis de la eficiencia de series de unidades de producción en términos de inputs y outputs múltiples. En este tipo de análisis se calcula la eficiencia relativa para cada DMU comparando sus inputs y outputs respecto a todas las demás DMUs.

El DEA pertenece al grupo de los denominados métodos de frontera, en los cuales se evalúa la producción respecto a las funciones de producción, donde por función de producción se entiende el máximo nivel de output alcanzable con una cierta combinación de inputs, o bien, el mínimo nivel de inputs necesario en la producción de un cierto nivel de outputs.

En los modelos no paramétricos, el análisis de eficiencia no requiere ninguna hipótesis sobre la frontera de producción, siendo la eficiencia de una unidad definida con respecto a las unidades “observadas” con mejor comportamiento. Este análisis se detiene en la identificación del “mejor comportamiento” en lugar de en el “comportamiento medio”, como hace el análisis de regresión.

Para una discusión de las ventajas e inconvenientes del DEA puede verse Bonilla et al (2002).

El cálculo de las eficiencias técnicas mediante técnicas DEA requiere la comparación entre los datos de inputs y outputs de las diferentes terminales. El número de terminales a comparar debe ser lo más elevado posible con relación a los inputs y outputs a considerar, y en cualquier caso, mayor que la suma del número de inputs y outputs.

Dada la amplitud de actividades que desarrolla una terminal de contenedores en su labor, podríamos tomar como inputs representativos del proceso a más de 10 variables, y casi lo mismo podríamos alegar de los outputs. Sin embargo, el número de terminales especializadas en contenedores es reducido (7 u 8 en el ámbito nacional del Sistema Portuario Español). La consideración de ese número reducido de terminales (DMUs) con una cifra elevada de inputs y outputs, produciría que la práctica totalidad de la terminales pudieran ser consideradas como eficientes, al valorar en cada una de ellas aquellos elementos en que puedan tener una ventaja comparativa frente a sus competidoras.

Este es un problema que se detectó en los momentos iniciales de la aplicación de la metodología DEA, y por ello, se definió la regla de Cooper que establece la relación que debe existir entre DMUs e inputs y outputs. En concreto, según esta regla:

$$\mathbf{DMUs} \geq \alpha (\mathbf{input} + \mathbf{outputs})$$

Es decir, el número de DMUs debe ser α veces la suma del número de inputs y outputs. Por lo general, el valor α se establece en 3, aunque también serian admisible valores inferiores, como por ejemplo 2.

Esta última va a ser nuestra elección, y el número de terminales a considerar será el doble que la suma de inputs y outputs. Si nos quedáramos solamente con las terminales de referencia (7 u 8), el número de inputs debería ser 3 y el de outputs 1. Con ello se conseguiría un efecto similar al derivado de tener muchos inputs y muchos outputs, es decir, desvirtuar el análisis. Cabe, por tanto, buscar una solución intermedia.

Esa solución intermedia pasa por considerar un conjunto de terminales teóricas, lo que nos permitirá aumentar el número de inputs y outputs.

En el *Libro Blanco sobre la Competitividad de las Terminales del Sistema Portuaria Español: Análisis de las Terminales Marítimas de Contenedores*, editado en 2002 por Puertos del Estado (Ministerio de Fomento) se plantea un modelo de terminal

portuaria a partir de una serie de infraestructuras que permitan desarrollar esta actividad. En concreto, a partir de la modelización desarrollada en el Libro Blanco sobre la Competitividad, hemos podido obtener 10 modelos o terminales teóricas que componen, junto con las 7 u 8 terminales reales, un número adecuado para el desarrollo del análisis de la eficiencia técnica.

De las diferentes terminales se han extraído una serie de características técnicas y económicas que permitan realizar un análisis de eficiencia basado en las técnicas DEA. Concretamente, han sido seleccionados como inputs y outputs del modelo (9 en total) las siguientes características:

Inputs:

- Longitud del muelle
- Superficie de la Terminal
- Número total de Grúas
- Número total de Transtainers y otros medios mecánicos (de la Operativa Marítima y Terrestre).
- Número total de trabajadores (de la Operativa Marítima y Terrestre)

Outputs:

- 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 40' vacíos, cargados y descargados.

Una de las condiciones necesarias para que las terminales teóricas sean consideraran como unidades de referencia es que fueran eficientes, es decir, tuvieran eficiencia 1. Es posible que no todas las terminales sean de esta categoría, pero lo que si debe ocurrir es que lo sean casi todas.

Para el cálculo de las eficiencias de las terminales de referencia hemos empleado un modelo DEA con rendimientos variables a escala de forma que ello nos permita incorporar el factor de tamaño en el análisis del modelo. Es decir, el modelo a resolver es el siguiente:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max } \theta \\
 & \text{s.a:} \\
 & \sum_j \lambda_j x_{ji} \leq x_{0i} \\
 & \sum_j \lambda_j y_{jr} \geq \theta y_{0r} \\
 & \sum_j \lambda_j = 1 \\
 & \lambda_j \geq 0
 \end{aligned}$$

Se trata de un modelo DEA-VRS con orientación outputs, ya que este tipo de orientación permite analizar mejor el comportamiento de los outputs y las holguras en los inputs.

Los coeficientes x_{ji} representan la dotación de los diferentes inputs (i) en cada una de las terminales (r), mientras que y_{jr} representan los diferentes outputs (j) en cada una de las terminales (r). El subíndice 0 se aplica a la unidad que se va a analizar.

3. TOLERANCIAS EN LOS DATOS

Tal y como hemos comentado en la sección anterior, una de las principales desventajas de los modelos DEA, y en general los modelos de optimización, es el determinismo de los datos. Una forma de tratar de solventar este problema es aplicar tolerancias (entendidas como posibles holguras) a los valores de los inputs y outputs de cada una de las DMUs. Resolviendo el nuevo modelo DEA con tolerancias, llegaríamos a un intervalo de eficiencia (y no un nivel único de eficiencia como ocurría en el DEA original) para cada DMU.

La determinación de los valores de las tolerancias es uno de los puntos críticos del proceso, dada la subjetividad a la que está expuesto. Para ello, hemos optado por emplear un método estadístico-descriptivo para analizar los datos (basándonos en las series históricas de los inputs y outputs seleccionados y considerando los niveles máximos y mínimos alcanzados en el período analizado, por ejemplo, es posible llegar a determinar las holguras que han presentado estas variables) y así elegir un nivel de tolerancia adecuado.

En principio, podemos definir un nivel de tolerancia para cada uno de los inputs y outputs en cada una de las DMUs. Estos niveles de tolerancias los denotamos por:

- t_{ik} : nivel de tolerancia del input i para la k-esima DMU.

- w_{jk} : nivel de tolerancia del output j para la k-esima DMU.

Sustituyendo en el modelo DEA original los valores de los inputs y outputs iniciales por los valores modificados según el nivel de tolerancia estimado, cabe destacar dos posibles situaciones o casos:

a) Mejor Caso:

$$x'_{ik} = \begin{cases} (1-t_{ik})x_{ik}, & k = i \\ (1+t_{ik})x_{ik}, & k \neq i \end{cases} \quad [1]$$

$$y'_{jk} = \begin{cases} (1+w_{jk})y_{jk}, & k = j \\ (1-w_{jk})y_{jk}, & k \neq j \end{cases}$$

La mejor situación posible para una determinada terminal k sería aquella en la reduciendo los inputs de esta terminal y aumentando los inputs del resto de terminales (según el nivel de tolerancia t_{ik} asignado) podemos aumentar sus outputs mientras que los del resto de terminales se reducen (en el nivel de tolerancia w_{jk}).

b) Peor caso:

$$x'_{ik} = \begin{cases} (1+t_{ik})x_{ik}, & k = i \\ (1-t_{ik})x_{ik}, & k \neq i \end{cases} \quad [2]$$

$$y'_{jk} = \begin{cases} (1-w_{jk})y_{jk}, & k = j \\ (1+w_{jk})y_{jk}, & k \neq j \end{cases}$$

La peor situación posible para la terminal k sería justo la contraria: aumentando los inputs de esta terminal y reduciendo los inputs del resto de terminales (según el nivel de tolerancia t_{ik} asignado) conseguimos un descenso de sus outputs mientras que los del resto de terminales se incrementan (en el nivel de tolerancia w_{jk}).

Recogiendo el conjunto de los casos más favorables y desfavorables para cada una de las DMUs (terminales) obtenemos las matrices X' e Y' :

$$X' = [x'_{ik}] \in M_{(i,k)} \quad [3]$$

$$Y' = [y'_{jk}] \in M_{(j,k)}$$

La resolución del modelo DEA con estas nuevas matrices nos dará como resultado los valores del índice de eficiencia para el mejor y peor casos posibles.

El modelo anterior con tolerancias podría simplificarse suponiendo que las tolerancias son idénticas para todas las DMUs. Así se pueden definir:

- $t_i = t_{i1} = t_{i2} = \dots = t_{in}$, si la tolerancia de los inputs es la misma para todas las DMUs
- $w_j = w_{j1} = w_{j2} = \dots = w_{jn}$, si la tolerancia de los outputs es la misma para todas las DMUs

En este caso particular, las ecuaciones [1] y [2] quedarían redefinidas de la siguiente manera:

a) Mejor caso:

$$x'_{ik} = \begin{cases} (1-t_i)x_{ik}, & k = i \\ (1+t_i)x_{ik}, & k \neq i \end{cases} \quad [4]$$

$$y'_{jk} = \begin{cases} (1+w_j)y_{jk}, & k = j \\ (1-w_j)y_{jk}, & k \neq j \end{cases}$$

b) Peor caso:

$$x'_{ik} = \begin{cases} (1+t_i)x_{ik}, & k = i \\ (1-t_i)x_{ik}, & k \neq i \end{cases} \quad [5]$$

$$y'_{jk} = \begin{cases} (1-w_j)y_{jk}, & k = j \\ (1+w_j)y_{jk}, & k \neq j \end{cases}$$

4. EFICIENCIA ECONÓMICA Y DETERMINACIÓN DE LAS TARIFAS ÓPTIMAS

En el análisis de la eficiencia técnica hemos seleccionado el conjunto de inputs y outputs más representativos de la actividad de las terminales de contenedores. El siguiente paso es el desarrollo de un modelo que permita determinar la eficiencia económica de las citadas terminales.

A cada uno de los inputs y outputs seleccionados previamente, se les puede asociar un “coste” (si hablamos del precio de los inputs) o un “ingreso” (considerando el precio de los outputs), de forma que se pueda estimar la función de beneficios teórica de cada una de las terminales analizadas como la diferencia entre ambos.

Es decir, se trata de incluir en la relación de inputs y outputs utilizados anteriormente como relevantes y determinantes, el precio de los mismos. Por ejemplo, en el caso de las variables que hemos empleado, sería:

Ingresos:

- Contenedores: número de contenedores movidos por la tarifa aplicable a cada movimiento.

Gastos:

- Grúas: número de grúas y medios mecánicos por su dotación a la amortización y sus gastos de mantenimiento.
- Muelle: canon de actividad más la amortización del muelle.
- Superficie: canon de superficie más la amortización de los medios mecánicos y su mantenimiento.
- Personal: costes salariales directos e indirectos.

Una vez definidos los costes de los diferentes inputs y analizadas las tarifas "compuestas", es decir, incluida la parte correspondiente a los trabajos fuera del horario habitual (recargos), se trata de encontrar el importe de las tarifas (t_r , para los “r” outputs) que igualan los costes a los ingresos, una vez establecido el nivel de eficiencia predefinido (al que se denomina $\tilde{\theta}$).

Es decir, una vez fijado el valor de: $\tilde{\theta}_n = \tilde{\theta}_n^*$, se calcula el valor de las tarifas óptimas (t_r) que hace mínima la desviación (d) entre los ingresos y los costes de producción. El modelo en cuestión es el siguiente:

$$\begin{aligned} & \text{Min } d^- \\ & \text{s.a:} \\ & \sum_j c_j x_{ji} - t_r \tilde{\theta} y_{jr} - d^- = 0 \\ & \sum_j \lambda_j x_{ji} \leq x_{0i} \\ & \sum_j \lambda_j y_{jr} \geq \tilde{\theta} y_{0r} \\ & \sum_j \lambda_j = 1 \\ & \lambda_j \geq 0 \end{aligned} \quad [6]$$

Cabe señalar que los ingresos calculados el este modelo son "teóricos", ya que se trata de los movimientos de contenedores asociados al nivel de eficiencia y están en función de las tarifas que hemos obtenido como óptimas, no las reales. En cambio, los costes considerados en el mismo (precio de los inputs) son "reales".

Este problema se puede resolver de forma individual, es decir, terminal a terminal. También se puede resolver para las terminales existentes en un puerto, o se puede resolver de forma conjunta para todos los puertos.

5 CONCLUSIONES

El presente trabajo propone un modelo con suficiente interés tanto para las autoridades responsables de las concesiones administrativas como para los directores de las diferentes terminales, ya que cubre un doble objetivo. En primer lugar, determinar los niveles de eficiencia técnica con los que opera la terminal, y así poder analizar los puntos débiles o mejoras necesarias para incrementar sus niveles de eficiencia con relación a las restantes terminales.

El segundo objetivo a conseguir es determinar el rango posible variación de la eficiencia ante cambios en los inputs y/o outputs. Esto informa, asimismo, de las ventajas e inconvenientes de la operativa de la terminal.

El análisis conjunto de todas las terminales permite establecer un nivel global (o particular) de eficiencia como objetivo a conseguir por cada una de las terminales. Este objetivo o nivel de eficiencia "deseable" tiene que tener en consideración las limitaciones de infraestructuras con las que opera la terminal. Por el contrario, si los niveles de ineficiencia son imputables a la gestión de la terminal, es este hecho el que debe orientar sus actuaciones.

El modelo propuesto determina "trayectorias" de evolución de las tarifas a partir de la fijación del nivel de eficiencia "deseable". Estas tarifas óptimas, pueden calcularse de forma individual para cada una de las terminales (por separado), de forma global para todas las del sistema, o bien, cualquier otra combinación deseable.

Nuestra propuesta es el cálculo de tarifas homogéneas para terminales que operen para la misma autoridad portuaria, pero en coordinación con el resto de terminales del sistema para evitar que existan diferencias notables entre ellas. Es decir, se trata de fijar unas bandas para las tarifas a aplicar a cada terminal del sistema, introduciendo la particularidad de que éstas sean idénticas para las terminales que pertenezcan al mismo puerto.

Una vez fijadas las tarifas, las terminales deberán adecuarse a estos niveles orientando la gestión de forma que vayan reduciendo las diferencia en relación con las terminales eficientes, y así poder mejorar su rentabilidad económica.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BONILLA, M., CASASUS, T., MEDAL, A. y SALA, R. (2002): The traffic in the spanish ports: An efficient analysis. *International Journal of Economics Transport*. Vol. XXIX. N 2, 215-230
- BOSCA, J.E., MARTÍNEZ, A., LIERN, V. y SALA, R. (2002): Un modelo DEA para datos imprecisos tolerancias y análisis de incidencia. *Actas de las X Jornadas de ASEPUMA*.
- CHARNES, A., COOPER, W.W. and RHODES, E. (1978): Measuring the inefficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*. 2, 429-444.
- CHARNES, A., COOPER, W.W., LEWIN, A.Y. MOREY, R.C. y ROUSSEAU, J. (1985): Sensitivity and stability in DEA. *Annals of Operations Research*. 2, 139-156.
- CHARNES, A. y COOPER, W.W. (1990): Data Envelopment Analysis i H.E. Bradley (Eds). *Operational Research'90*. Pergamon Press. Oxford.
- COELLI, T. (1999): *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Kluwer. Boston.

- COOPER, W.W., SEIFORD, L.M. y TONE, K. (2000): *Data Envelopment Analysis*. Kluwer. Boston.
- COTO-MILLÁN, P., BAÑOS-PINO, J. y RODRIGUEZ-ÁLVAREZ A. (2000): Economic Efficiency in Spanish Ports: Some Empirical Evidence. *Maritime Policy and Management*. 27(2), 169-174.
- MARTÍNEZ-BUDRIA, E., DÍAZ-ARMAS, R., NAVARRO-IBAÑEZ, M. y RAVELO-MESA, T. (1999): A Study of the Efficiency of Spanish port Authorities using Data Envelopment analysis. *International Journal of Transport Economics*. XXVI, Nº 2, june.
- OLESEN, O.B. y PETERSEN, N.C. (1996): A presentation of GAMS for DEA. *Computers and Operations Research*. 23 - 4, 323-339
- ROBINSON, D. (1999), *Measurements of Port Productivity and Container Terminal Design: A Cargo Systems Report*, IIR Publications, London.
- ROLL, Y. y HAYUTH, Y. (1993) Port Performance Comparison Applying Data Envelopment Analysis (DEA), *Maritime Policy and Management*, Vol. 20, No. 2, pp. 153-161
- SALA et al. (1997): Un análisis de la eficiencia de los puertos españoles. *Actas de las VI Jornadas de ASEPUMA*. 407-415.
- SEIFORD, L. M. (1996): Data envelopment analysis: the evolution of the state of the art 1978-1985. *The Journal of Productivity Analysis*. 7,99-137.
- SONG, D-W, CULLINANE, K.P. B. y ROE, M. (2001), *The Productive Efficiency of Container Terminals, An Application to Korea and the UK*, Ashgate: Aldershot, England.
- TONGZON, J. (2001): Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis *Transportation Research Part A* 35, 113-128.
- VALENTINE, V. F. y GRAY, R. (2001), The Measurement of Port Efficiency Using Data Envelopment Analysis, *Proceedings of the 9th World Conference on Transport Research*, Seoul, South Korea, 22-27 July