

Medida de la eficiencia ambiental en la industria cerámica española^(*)

Francesc Herandez-Sancho¹

Ramon Sala-Garrido²

¹ Dep. Estructura Económica. Francesc-Hernandez@uv.es

² Dep. Matemáticas para la Economía y la Empresa. Ramon.Sala@uv.es
Universidad de Valencia

ABSTRACT

En el trabajo de Färe, Grosskopf y Hernández-Sancho (2004) se propone un índice de eficiencia medioambiental, para medir el grado en el que las empresas generan outputs deseables al mismo tiempo que reducen su outputs no deseables. Este indicador consiste en una ratio entre una medida para outputs deseables y otra para no deseables. Cada uno de ellos está basado en el uso de las funciones distancia. El índice de los outputs deseables mide el éxito de una empresa k en aumentar estos outputs utilizando el mismo número de inputs y generando el mismo nivel de outputs no deseables. Esta medida de eficiencia medioambiental se ha aplicado a la industria de los pavimentos cerámicos sobre una muestra de empresas a las que se ha aplicado un test de Kruskal-Wallis para determinar la utilidad de este indicador.

Palabras claves: *Números índice, medio ambiente, eficiencia ambiental, función distancia.*

JEL Classification: C61; D21; L68.

^(*) Los autores desean agradecer a Rolf Färe and Shawna Grosskopf (Oregon State University) sus acertados comentarios.

1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de los trabajos dedicados al estudio de los índices de productividad basados en funciones distancia cabe identificar dos enfoques diferenciados. El primero arranca en el trabajo de Caves, Christensen y Diewert (1982) (CCD en adelante) en el que se introduce de manera teórica los denominados índices Malmquist de productividad en input y en output. Estos índices se basan en la obtención de ratios con funciones distancia en input, por un lado, y en la construcción de ratios con funciones distancia en output, por otro. Aunque este planteamiento tuvo una amplia difusión en la literatura, la obtención empírica de los índices no pudo realizarse hasta que Färe, Grosskopf, Lindgren y Roos (1994) mostraron un método de cálculo a través de técnicas de programación lineal.

El segundo enfoque toma como referencia básica el trabajo de Diewert (1992) en el cual se define un índice de productividad como ratio entre índices Malmquist en output y en en input. Este nuevo índice se le conoce como Hicks-Moorsteen. Aunque esta aportación ha tenido un menor seguimiento en la literatura, ha sido adoptada en una serie de trabajos como Bjurek (1996) o Grifell-Tatjé y Lovell, (1999).

Resulta fácilmente constatable que el uso de índices Malmquist de productividad ha sido muy amplio en la literatura y una de sus principales ventajas es que permite descomponer el cambio de la productividad en sus elementos determinantes (Grifell-Tatjé y Lovell, 1995). A su vez, CCD (1982) sugiere su uso para realizar comparaciones entre observaciones de los niveles de output, inputs y productividad. En este sentido y, con referencia a las observaciones objeto de comparación afirman que podría tratarse, de hecho, de la misma empresa en dos momentos diferentes del tiempo o dos empresas diferentes en el mismo o distintos puntos temporales.

Sin embargo y, de manera general, el cálculo de índices de productividad se ha basado tradicionalmente en el supuesto implícito de que la totalidad de los *outputs* obtenidos en el proceso de producción podían ser vendidos en el mercado a pesar de que esta hipótesis se muestra inadecuada cuando cantidades significativas de *outputs* no deseables o residuos, acompañan la producción de los llamados bienes deseables o vendibles. Por ello, la evaluación del comportamiento de unidades productivas generadoras de estos *outputs* no deseables a través de índices tradicionales de

productividad podría conducir a resultados engañosos. De ahí, surge la necesidad de adaptar todas aquellas metodologías utilizadas en este campo de estudio con el fin de contemplar no sólo los bienes y servicios con valor de mercado, sino también los outputs no deseables generados en los procesos productivos.

Con este objetivo se han realizado también una serie de aportaciones en la literatura. Como punto de partida y, en lo que se refiere a las comparaciones multilaterales de productividad entre distintas unidades de producción, Pittman (1983) plantea una vía de adaptación de los índices clásicos propuestos por CCD (1982) con el fin de ser utilizados en un contexto en el que las empresas producen residuos contaminantes como parte de su *vector de outputs*. El procedimiento consiste en valorar los *outputs* no deseables de acuerdo con sus *precios sombra*, ante la inexistencia de unos precios de mercado. En cuanto a la metodología aplicada al cálculo de estos precios sombra cabe destacar especialmente el trabajo de Färe, Grosskopf, Lovell y Yaisawarng (1993) y, posteriormente, Coggins y Swinton (1996) y Reig, Picazo y Hernández (2001).

Junto a este tipo de planteamientos dirigidos a reformular el análisis convencional de la productividad mediante la asignación de *precios sombra* a los *outputs* no deseables, se han desarrollado otras aportaciones que hacen uso de la *función distancia* para modelizar la producción conjunta de *outputs* deseables y no deseables y calcular índices corregidos de productividad. Este último enfoque tiene la ventaja de que no resulta necesario disponer de información sobre precios de *outputs* e *inputs*, lo que evita la necesidad de calcular *precios sombra* para *outputs* tales como las emisiones contaminantes del medio ambiente que típicamente carecen de un mercado establecido. Partiendo de la llamada *función distancia direccional en output*¹ pueden construirse índices de medida de la productividad del tipo *Malmquist* (conocidos como *índices Malmquist-Luenberger*) considerando a la vez una reducción de *outputs* no deseables y una expansión de los deseables; así como descomponer la disminución de los *outputs* no deseables en dos efectos, el derivado de un cambio en la eficiencia y, el que es consecuencia de una variación en la tecnología. Entre las aplicaciones empíricas realizadas cabe citar las de Chung, Färe y Grosskopf (1997) con el fin de analizar los

¹ Este tipo de función difiere de la *función distancia en output* convencional en que ya no requiere que las cantidades de los distintos outputs cambien proporcionalmente, sino que admite la posibilidad de modificarlas en una dirección predeterminada. De ahí resulta la posibilidad de expandir el vector de outputs deseables a la vez que se contrae el vector que representa la producción de residuos contaminantes.

cambios de productividad acaecidos en la industria papelera de Suecia durante el periodo 1986-1990, y Ball, Färe, Grosskopf y Nehring (1998) para medir la productividad de la agricultura norteamericana cuando la producción comercializable se ve acompañada de efluentes contaminantes del agua.

En este contexto, Färe, Grosskopf y Hernández-Sancho (2004) (FGHS en adelante) siguiendo la tradición de los índices Hicks-Moorsteen y haciendo uso de técnicas *Data Envelopment Analysis (DEA)*, obtienen un índice representativo del comportamiento ambiental. Se pretende medir el grado en que una unidad productiva (empresa o incluso país) consigue maximizar la producción de output deseable reduciendo simultáneamente la generación de outputs no deseables. Se construye como ratio entre un índice cuantitativo relativo a los outputs deseables y otro que representa a los outputs no deseables. Ambos índices se obtienen a partir del uso de funciones distancia. Otros ejemplos de aplicaciones de la metodología DEA en el cálculo de indicadores de comportamiento ambiental se pueden encontrar en Zhou, Poh, y Ang (2008).

Dada la vigencia de este tipo de análisis en un entorno de creciente protagonismo del medio ambiente a todos los niveles, se aborda en este trabajo el uso de esta última metodología con el fin de analizar el comportamiento ambiental de un conjunto de empresas pertenecientes al sector cerámico español.

2. METODOLOGÍA

Suponemos un proceso de producción en el que a partir de un vector de inputs $x \in \mathfrak{R}_+^N$ se obtiene un vector de outputs deseables $y \in \mathfrak{R}_+^M$ y, otro de no deseables $b \in \mathfrak{R}_+^G$, mediante el uso de la tecnología T, de modo que,

$$T = \{(x, y, b); x \text{ puede producir } (y, b)\} \quad (1)$$

Esta tecnología T puede expresarse de manera equivalente desde el punto de vista tanto de los inputs como de los outputs, es decir,

$$(x, y, b) \in T \Leftrightarrow (y, b) \in P(x) \Leftrightarrow x \in L(y, b) \quad (2)$$

Además de las condiciones habitualmente utilizadas para caracterizar la tecnología tales como la posibilidad de inacción o eliminación fuerte en inputs y outputs deseables (Färe y Primont, 1995) se imponen otras dos propiedades especialmente importantes en este ámbito y que se especifican como:

a) $(y, b) \in P(x); 0 \leq \theta \leq 1 \Rightarrow (\theta y, \theta b) \in P(x)$, o eliminación débil en outputs, se refiere a la posibilidad de reducir proporcionalmente outputs deseables y no deseables o, en otras palabras, que no es factible la reducción solamente de outputs no deseables, manteniendo fijos los vectores de inputs y outputs deseables

b) $(y, b) \in P(x); b = 0 \Rightarrow y = 0$, es decir, se requiere que los outputs deseables y no deseables se produzcan conjuntamente en el sentido de que la producción de los primeros implica la generación de los segundos.

Una vez especificada la tecnología de referencia se pretende representar la producción conjunta de *outputs* deseables y no deseables haciendo uso de *funciones distancia* que permitan modelizar y estimar una serie de indicadores de comportamiento ambiental en forma de números índice.

Siguiendo a Shephard (1970) se define la función distancia en output como,

$$D_o(x, y, b) = \inf[\theta : (x, y/\theta, b) \in T] \quad (3)$$

donde, θ puede interpretarse como la mínima expansión proporcional de outputs deseables, para unos vectores dados de inputs, outputs no deseables y la propia tecnología de referencia.

Sobre la base de esta función distancia, FGHS (2004) construyen un índice relativo a outputs deseables siguiendo la idea general de Malmquist. Su expresión viene dada por:

$$Q_y(x^o, b^o, y^k, y^l) = D_y(x^o, y^k, b^o) / D_y(x^o, y^l, b^o) \quad (4)$$

donde x^o y b^o son dos vectores dados de inputs y de outputs no deseables, mientras que y^k y y^l son dos observaciones del vector de outputs deseables que se intenta comparar.

Este índice mide el grado en que una unidad productiva k es capaz de maximizar sus outputs deseables utilizando el mismo nivel de inputs y de outputs no deseables de otra unidad productiva de referencia. A su vez, puede demostrarse que este índice cumple una serie de propiedades definidas en Fisher (1922), en concreto: Homogeneidad, Reversibilidad temporal, Transitividad y Dimensionalidad.

De manera similar se construye un índice para los outputs no deseables. Partiendo de una función distancia cuya expresión es,

$$D_b(x, y, b) = \sup \{ \lambda : (x, y, b/\lambda) \in T \} \quad (5)$$

donde λ representa la máxima reducción proporcional de outputs no deseables, para unos vectores dados de inputs, outputs deseables y la propia referencia tecnológica. A partir de (5) se obtiene un índice para outputs no deseables cuya expresión es:

$$Q_b(x^o, y^o, b^k, b^l) = D_b(x^o, y^o, b^k) / D_b(x^o, y^o, b^l) \quad (6)$$

donde x^o y b^o son, como ya se ha especificado, dos vectores dados de inputs y de outputs no deseables, mientras que b^k y b^l son dos observaciones del vector de outputs no deseables que se pretende comparar. El índice obtenido mide el grado de contracción de los outputs no deseables que puede alcanzar la unidad productiva k manteniendo sus inputs y sus outputs deseables al mismo nivel que la unidad productiva o . Este indicador también satisface las cuatro propiedades mencionadas anteriormente y descritas en Fisher (1922).

Una vez obtenidos los dos índices y, siguiendo la tradición de los índices de productividad Hicks-Moorsteen, FGHS (2004) definen un índice de comportamiento ambiental (E) como,

$$E^{k,l}(x^o, y^o, b^o, y^k, y^l, b^k, b^l) = \frac{Q_y(x^o, b^o, y^k, y^l)}{Q_b(x^o, y^o, b^k, b^l)} \quad (7)$$

Los valores correspondientes a las funciones distancia que integran los índices anteriormente expuestos podrían calcularse como solución a sendos problemas de optimización. Con este fin se consideran $K = 1, 2, \dots, k, \dots, K$ productores cada uno de los cuales utiliza un vector $x^k = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_N^k)$ de *inputs* para llevar a cabo la producción de un vector de *outputs* deseables $y^k = (y_1^k, y_2^k, \dots, y_M^k)$ y un vector de *outputs* no deseables $b^k = (b_1^k, b_2^k, \dots, b_J^k)$. Además $X = (x^1, x^2, \dots, x^k, \dots, x^K)$ representa la matriz de *inputs*, $Y = (y^1, y^2, \dots, y^k, \dots, y^K)$ la matriz de *outputs* deseables y $B = (b^1, b^2, \dots, b^k, \dots, b^K)$ la correspondiente matriz de *outputs* no deseables, siendo z un vector de intensidad de variables. En todos los casos se asume, además, que $l = o$.

En primer lugar, para el caso del numerador del índice Q_y , se trata de resolver el siguiente problema de optimización para cada empresa k mediante programación lineal:

$$\begin{aligned} (D_y(x^o, y^{k'}, b^o))^1 &= \max \theta^* \\ s. \\ s.a.: \\ \sum_{k=1}^K z_k y_m^k &\geq \theta y_m^{k'}, \quad m = 1, \dots, M \\ \sum_{k=1}^K z_k b_j^k &= b_j^o, \quad j = 1, \dots, J \\ \sum_{k=1}^K z_k x_n^k &\leq x_n^o, \quad n = 1, \dots, N \\ z_k &\geq 0, \quad k = 1, \dots, K \end{aligned} \quad (8)$$

siendo θ^* la inversa de θ en la expresión 3.

Por lo que se refiere al denominador se puede obtener reemplazando $y^{k'}$ en la restricción relativa a los *outputs* deseables con el valor del *output* correspondiente a la empresa tomada como referencia, es decir, y^o .

En cuanto al índice relativo a los outputs no deseables Q_b , la obtención del numerador requiere la solución del siguiente programa:

$$\begin{aligned} (D_b(x^o, y^o, b^{k'}))^1 &= \min \lambda^* \\ \text{s.a.:} \\ \sum_{k=1}^K z_k y_m^k &\geq y_m^o, \quad m = 1, \dots, M \\ \sum_{k=1}^K z_k b_j^k &= \lambda b_j^{k'}, \quad j = 1, \dots, J \\ \sum_{k=1}^K z_k x_n^k &\leq x_n^o, \quad n = 1, \dots, N \\ z_k &\geq 0, \quad k = 1, \dots, K \end{aligned} \tag{9}$$

siendo λ^* la inversa de λ en la expresión 5.

A su vez, el denominador se obtiene mediante la sustitución de $b^{k'}$ en la restricción para los outputs no deseables por los valores observados para la empresa tomada como referencia b^o .

En FGHS (2004) la unidad ficticia tomada como referencia estaba constituida por los valores máximos de la muestra para los inputs junto con las cuantías mínimas para los outputs. En la metodología que aquí se desarrolla se ha considerado como referente aquella unidad cuyos inputs y outputs se han obtenido como media de la muestra.

3. MUESTRA Y VARIABLES

La muestra empleada en esta investigación se compone de 32 empresas fabricantes de productos cerámicos y ubicadas mayoritariamente en la provincia de Castellón. Ha sido obtenida a partir del *Inventario de Residuos Industriales* elaborado por la Generalitat Valenciana en 1995. Cada una de las empresas consideradas lleva a cabo un mismo proceso productivo, caracterizado por la presencia de un único *output* deseable, *productos cerámicos* (y_1) y el uso de los factores productivos *trabajo* (x_2), medido como el número de trabajadores empleados en la empresa, y *capital* (x_3), aproximado a partir del consumo de *kilovatios/hora*, y un vector agregado de materias primas que incluye, *arcilla*, *caolín*, *feldespato* y *calizas* (x_1). Además, en este proceso se generan

dos *outputs* no deseables: *lodos acuosos que contienen materiales cerámicos* (b_1) y *aceite usado* (b_2). Las variables empleadas están expresadas en términos físicos, a excepción de la producción final que se contempla en valor monetario. Los principales estadísticos descriptivos de estas variables se recogen en el *Cuadro I*.

CUADRO I
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

<i>Variable</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Media aritmética</i>
y_1	Productos cerámicos	Miles de euros	9315,26
b_1	Lodos acuosos que contienen materiales cerámicos	Toneladas	1887,65
b_2	Aceites usados	Toneladas	1,55
x_1	Arcilla, caolín, feldespato y calizas	Toneladas	60261,94
x_2	Trabajo	Número total de trabajadores	90,00
x_3	Capital	Miles Kilovatios/hora	3564,79

4. RESULTADOS

Los resultados derivados de la aplicación de la metodología anteriormente descrita a cada una de las empresas de la muestra figuran en el *Cuadro II*. El valor, en promedio, para el indicador de comportamiento ambiental (E) es de 2,7501, mientras que, también en media, el índice asociado al output deseable (Q_y) se cifra en 1,5499 y el correspondiente a los outputs no deseables (Q_b) es de 0,9582. El hecho de que el valor del indicador sea superior a 1 es indicativo de un buen comportamiento ambiental por parte de las empresas pertenecientes a la muestra. En concreto, según el primero de los índices, las unidades productivas analizadas podrían producir, en media, 1,55 veces su nivel de output deseable utilizando el mismo nivel de inputs y generando igual cuantía de outputs no deseables que la empresa tomada como referencia, es decir, aquella unidad ficticia cuyos inputs y outputs son los valores medios de la muestra. Por otro lado, el segundo índice podría interpretarse en el sentido de que las empresas de la muestra llegarían a generar, siempre en media, 0,96 veces su nivel de outputs no deseables si actuaran con la misma cuantía de inputs y de outputs deseables correspondiente a la empresa de referencia. De otro modo, se desprende que una

empresa con un índice Q_y superior a Q_b muestra un adecuado comportamiento ambiental, el cual será mejor cuanto mayor sea la diferencia entre ambos índices. Además, como ya se ha dicho, en virtud de la transitividad del indicador calculado, estas interpretaciones son independientes de la unidad productiva considerada como referencia.

TABLA I

EMPRESA	$Q_y(x^o, b^o, y^k, y^l)$	$Q_b(x^o, y^o, b^k, b^l)$	E
1	1,0000	1,0000	1,0000
2	1,5860	2,9282	0,5416
3	2,0275	0,1678	12,0842
4	0,4618	0,2222	2,0784
5	6,3530	0,7250	8,7628
6	1,5910	1,8144	0,8769
7	3,8870	4,2468	0,9153
8	2,7452	3,8398	0,7149
9	1,7758	0,2508	7,0819
10	0,0250	0,1263	0,1979
11	1,9567	4,0287	0,4857
12	0,0500	0,1263	0,3958
13	0,4329	0,5484	0,7893
14	0,0400	0,1263	0,3166
15	0,0900	0,1263	0,7124
16	3,0000	0,2693	11,1419
17	9,1089	1,1507	7,9160
18	0,4425	0,1263	3,5031
19	0,0270	0,1263	0,2137
20	0,6000	0,1263	4,7496
21	0,0850	0,1263	0,6729
22	0,9454	0,1878	5,0342
23	0,5133	0,2472	2,0763
24	0,2045	0,8008	0,2553
25	0,0800	0,1263	0,6333
26	0,8094	1,4937	0,5419
27	1,9567	0,9479	2,0642
28	1,0091	0,4679	2,1564
29	1,6139	0,4587	3,5188
30	0,7000	2,0828	0,3361
31	0,7377	0,9612	0,7675
32	3,7424	0,6843	5,4691
MEAN	1,5499	0,9582	2,7501

Una vez calculados los indicadores anteriormente expuestos se deriva la necesidad de analizar a qué podrían responder las diferencias existentes en cuanto al comportamiento

ambiental de las empresas de la muestra. Para ello se aborda un análisis de segunda etapa, en concreto, se utiliza el test de Kruskal-Wallis con el fin de identificar la existencia de diferencias significativas en los valores medios de una serie de variables, como *localización espacial* (variable *dummy* cuyo valor es 1 cuando la empresa pertenece al distrito cerámico de Castellón y 0 en el caso contrario), *inversión en tecnologías ambientales* (variable *dummy* cuyo valor es 1 cuando la empresa ha realizado inversiones en tecnologías ambientales y 0 en el caso contrario), *asociación a un Instituto Tecnológico* (variable ficticia que toma el valor 1 cuando la empresa está asociada a un Instituto Tecnológico y, 0 en el caso contrario) y, *gestión externa de los residuos* (variable ficticia cuyo valor es 1 cuando la empresa gestiona sus residuos mediante contratación externa y, 0 en caso contrario) (Tabla II).

TABLA II

	VARIABLES			
Estadísticos de contraste	Localización espacial	Inv. tecnología ambiental	Asoc. Instituto Tecnológico	Gestión externa residuos
Chi-cuadrado	1,461	14,708	4,820	0,957
gl	1	1	1	1
Sig. Asintot.	0,227	0,000	0,028	0,098

Según los resultados alcanzados en el test se deduce que la variable *inversión en tecnologías ambientales* es la que muestra una mayor relevancia a la hora de explicar el comportamiento ambiental de las empresas del sector cerámico. También resulta significativa la vinculación entre el índice obtenido y la *asociación a un Instituto Tecnológico*. En cambio es poco relevante el hecho de que las empresas lleven a cabo una *gestión externa de los residuos* (sólo significativa al 10 por ciento) siendo nula la influencia de la *localización espacial* en la determinación de la eficiencia ambiental.

Por tanto, podría deducirse que el proceso de reconversión y modernización de las instalaciones productivas llevado a cabo durante los últimos años por un buen número de empresas del sector cerámico español, además de permitir considerables avances en términos de productividad de los factores y ahorro de *inputs*, ha tenido también

repercusiones en materia ambiental debido sobre todo, a la inversión en tecnologías limpias y a la adopción de hábitos productivos menos agresivos con el medio ambiente.

5. CONCLUSIONES

El desarrollo de este índice de comportamiento ambiental se basa en la aplicación de las técnicas DEA al análisis de la eficiencia en las empresas generadoras de outputs no deseados en sus procesos productivos.

El uso de esta metodología en el ámbito de la industria cerámica española nos proporciona información sobre el comportamiento ambiental de estas empresas mediante el cálculo de índices de eficiencia individualizados. En su obtención se tiene en cuenta la presencia de outputs tanto deseables como no deseables. Si estos índices se relacionan con una serie de indicadores de localización, inversión en tecnologías limpias, la pertenencia a un Instituto Tecnológico o la gestión externa de los residuos, se muestra que existe una elevada vinculación entre el llamado buen comportamiento ambiental especialmente con la realización de inversiones ambientales y, en menor medida, con la pertenencia a un Instituto Tecnológico. Son estas empresas las que mayor esfuerzo están dedicando a la adopción de criterios de producción cada vez más sostenible.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALL, E., FÄRE, R. GROSSKOPF, S. Y NEHRING, R. (1998): "Productivity of the U:S: Agricultural Sector: The Case of Undesirable Outputs", Paper presented to 1998 Conference on Research in Income and Wealth, New Developments in Productivity Analysis, U.S.D.A. Washington.
- BJUREK, H. (1996): "The Malmquist Total Factor Productivity Index," *Scandinavian Journal of Economics* 98:2, 303-13.
- CAVES, D.W., CHRISTENSEN, L.R. Y DIEWERT, W.E. (1982): "Multilateral Comparisons of Output, Input, and Productivity Using Superlative Index Numbers", *Economic Journal* 92 (365), pp. 73-86.
- CHUNG, Y.H., FÄRE, R. Y GROSSKOPF, S. (1997). 'Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach', *Journal of Environmental Management*, 51, 3 (November), 229-240.

- COGGINS, J.S. Y SWINTON, J.R. (1996): "The Price of Pollution: A Dual Approach to Valuing SO₂ Allowances", *Journal of Environmental Economics and Management*, 30, pp. 58-72.
- DEWERT, W.E. (1992), Fisher Ideal Output, Input and Productivity indexes Revisited, *Journal of Productivity Analysis* 3:3, 211-248.
- FÄRE, R. Y PRIMONT, D. (1995), *Multi-Output Production and Duality: Theory and Applications*, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- FÄRE, R., S. GROSSKOPF, B. LINDGREN Y P. ROOS (1994): "Productivity Developments in Swedish Hospitals: A Malmquist Output Index Approach," en A.Charnes, W. W. Cooper, A. Y. Lewin and L. M. Seiford, eds., *Data Envelopment Analysis: Theory, Methodology and Applications*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- FÄRE, R., GROSSKOPF, S., LOVELL, C.A.K. Y YAISAWARNG, S. (1993): "Derivation of Shadow Prices for Undesirable Outputs: A Distance Function Approach", *The Review of Economics and Statistics*, 75, pp. 374-380.
- FÄRE, R., GROSSKOPF, S., HERNANDEZ-SANCHO, F. (2004): "Environmental performance: an index number approach", *Resource and Energy Economics*, 26, 343-352.
- FISHER, I. (1922). *The Making of Index Numbers*, Boston: Houghton Mifflin.
- GRIFELL-TATJÉ, E., Y C. A. K. LOVELL (1995): "A Note on the Malmquist Productivity Index," *Economics Letters* 47, 169-75.
- GRIFELL-TATJÉ, E., Y C. A. K. LOVELL (1999): "A Generalized Malmquist Productivity Index," *Top* 7:1 (June), 81-101.
- PITTMAN, R.W. (1983): "Multilateral Productivity Comparisons with Undesirable Outputs". *Economic Journal*, 93(372), pp. 883-891.
- REIG-MARTÍNEZ, E., PICAZO-TADEO, A. Y HERNÁNDEZ-SANCHO, F. (2001): "Shadow Prices and Distance Functions: An Analysis for Firms of the Spanish Ceramic Pavements Industry", *International Journal of Production Economics*, 69(3), pp. 277-285.
- SHEPHARD, R.W. (1970) *Theory of Cost and Production Functions*, Princeton:Princeton University Press.
- ZHOU, P; POH, K. L. Y ANG, B. W. (2008): 'Measuring environmental performance under different environmental DEA technologies', *Energy Economics*, 30, 1-14.

