

ANÁLISIS NO PARAMÉTRICO DE EFICIENCIA EN PRESENCIA DE *OUTPUTS* NO DESEABLES

Francesc Hernández, Andrés J. Picazo y Ernest Reig

WP-EC 97-09

Correspondencia a: Ernest Reig.
IVIE
C/. Guardia Civil, 22, Esc. 2, 1º. 46020 Valencia (SPAIN)
Tel.: 34 963 930 816 / Fax:34 963 930 856

Editor: Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas, S.A.
Primera Edición Septiembre 1997
ISBN: 84-482-1557-5
Depósito Legal: V-3364-1999

Los documentos de trabajo del IVIE ofrecen un avance de resultados de las investigaciones económicas en curso, con objeto de generar un proceso de discusión previa a su remisión a las revistas científicas.

-
- Deseamos agradecer los comentarios realizados por Antonio Alvarez Pinilla, así como el apoyo estadístico prestado por la Direcció General de Qualitat Ambiental de la Generalitat Valenciana.

ANÁLISIS NO PARAMÉTRICO DE EFICIENCIA EN PRESENCIA DE *OUTPUTS* NO DESEABLES.

Francesc Hernández, Andrés J. Picazo y Ernest Reig

RESUMEN

En este trabajo se utiliza una aproximación no paramétrica para evaluar la eficiencia relativa de una muestra de empresas productoras de artículos de madera y muebles, en presencia de outputs no deseables. Como principales resultados, se encuentra que la consideración de diferentes restricciones sobre la expansión de los outputs no deseables reduce de manera significativa los índices de ineficiencia obtenidos con el enfoque tradicional; asimismo, se obtiene el impacto de distintas hipótesis relativas a regulaciones ambientales sobre el comportamiento eficiente de las empresas de la muestra, calculando además la pérdida potencial de output en cada hipotético escenario.

PALABRAS CLAVE: outputs no deseables; regulaciones ambientales, eficiencia; programación matemática.

JEL Clasificación: C61, D21, L68.

ABSTRACT

In this work a non parametric approach is used in order to evaluate the relative efficiency of a sample of firms producers of wooden goods, in presence of non desirable outputs. As main results, we find that the consideration of several restrictions on the expansion of non desirable outputs reduces the inefficiency indexes obtained under the traditional approach; also, we get the impact of hypothetical environmental regulations on the efficient behaviour of the firms, calculating the potential output loss in each regulatory scenario.

KEYWORDS: non desirable outputs; environmental regulations, efficiency; mathematical programming.

JEL Classification: C61, D21, L68.

I. INTRODUCCIÓN

Resulta evidente afirmar que la adhesión de España a la Comunidad Europea ha tenido importantes efectos en materia ambiental dada la escasez y fragmentación de las regulaciones existentes hasta esa fecha en la economía española. Sin embargo, la dispersión de competencias tanto legislativas como administrativas, además de la necesidad de una mejor coordinación entre la Administración Central y las Autonómicas en las cuestiones ambientales parecen ser el principal motivo de los retrasos en la transposición de la normativa comunitaria.

En la actualidad, el conjunto de las Comunidades Autónomas españolas cuentan con legislación sobre gestión de residuos tóxicos y peligrosos aunque, salvo en el caso de Cataluña, ésta se refiere a aspectos fundamentalmente organizativos. Por tanto, nos encontramos con un marco jurídico en el que confluyen sobre todo normas comunitarias, nacionales y autonómicas. En este contexto de adaptación de normativas cabría destacar, para el caso de la Comunidad Valenciana, la *Ley 2/89* de la Generalitat Valenciana sobre Evaluación de Impacto Ambiental, el *Decreto 240/94* sobre Residuos Sanitarios y, la *Orden del 6/7/94* relativa a Residuos Tóxicos y Peligrosos. A su vez, es importante resaltar la existencia de un *Proyecto de Ley de Residuos* de la Comunidad Valenciana aprobado en marzo de 1995. Dicho proyecto, siempre en el marco de la legislación básica del Estado, tiene como antecedente más directo la *Ley 6/93* sobre Residuos en Cataluña.

Es un hecho constatable que la paulatina aplicación de regulaciones cada vez más estrictas en la protección del medio ambiente ha generado un notable interés en la literatura de cara a abordar sus, a priori, efectos negativos sobre la actividad productiva. Son muchas y, ciertamente dispersas, las aportaciones que tratan de analizar el impacto de estas regulaciones ambientales sobre el comportamiento tanto de empresas como de sectores e, incluso, países.

Tradicionalmente la puesta en marcha de programas antipolución ha sido utilizada como argumento para justificar hipotéticas caídas de productividad en el marco de los países industrializados. El planteamiento consistía en destacar que una notable cuantía de recursos que podían ser productivos, debían ser empleados para satisfacer la regulaciones cuyo objetivo no es cuantificable en términos de mercado. Sin embargo, algunas aportaciones relativamente recientes señalan que, por contra, las restricciones ambientales estimulan el crecimiento y la competitividad, [Porter, 1991, y Van der Linde, 1993, entre otros].

Por otro lado, resulta cierto afirmar que la mayoría de las aproximaciones metodológicas que evalúan el comportamiento de los productores en términos de

productividad o eficiencia contemplan los *outputs* obtenidos en el proceso de producción de una manera sesgada, considerando los llamados *outputs deseables* e ignorando los *outputs no deseables*. Los trabajos de Pittman (1983) pueden considerarse como pioneros en el tratamiento de los *outputs* no deseables en este tipo de análisis. Este autor adapta la metodología de Caves, Christensen y Diewert (1982) introduciendo los *outputs* no deseables en el cálculo de *índices de productividad*; para ello, dada la inexistencia de un mercado para tales *outputs*, calcula sus precios sombra. En esta línea de trabajo, Färe, Grosskopf, Lovell y Yaisawarng (1993) muestran cómo generar estos precios sombra mediante el uso de funciones distancia en *output*, procedimiento en el que destaca la reciente aportación de Coggins y Swinton (1996).

De forma paralela a esta corriente de investigación, que ya cuenta con un buen número de aplicaciones en el contexto de los análisis de productividad y sigue gozando de una notable vigencia, una serie de autores se plantearon adaptar la medida de *eficiencia técnica* de Farrell (1957) con el fin de permitir la presencia de *outputs* no deseables. En este sentido destacan los trabajos de Färe, Grosskopf y Pasurka (1986) y, fundamentalmente Färe, Grosskopf, Lovell y Pasurka (1989), entre otros. Aunque se trata de enfoques metodológicos diferentes a los anteriormente citados, su vínculo es estrecho, ya que la inversa de la función distancia utilizada para el cálculo de los precios sombra es equivalente a la medida de eficiencia de Farrell.

En términos comparativos, el *índice de productividad de Pittman* ofrece una medida simple de comportamiento para cada productor mientras que las llamadas *medidas de eficiencia hiperbólica* utilizadas por Färe, Grosskopf, Lovell y Pasurka pueden generar una gran variedad de medidas de comportamiento, dependiendo de los supuestos incorporados en su formulación. Ambos enfoques requieren distintos tipos de datos, de tal manera que el índice de productividad debido a Pittman utiliza precios sombra para los *outputs* no deseables frente a los valores en cantidades usados en el análisis de eficiencia. No obstante, en su aplicación empírica Färe, Grosskopf, Lovell y Pasurka utilizan la misma muestra de empresas papeleras analizada por Pittman a principio de los ochenta, obteniendo resultados muy similares.

Centrándonos en la segunda línea de análisis, orientada a la obtención de medidas de eficiencia, Färe, Grosskopf y Pasurka (1986) determinan el impacto de ciertas regulaciones ambientales sobre la eficiencia relativa de una muestra de 100 plantas productoras de electricidad. Utilizando técnicas de programación matemática construyen la llamada *mejor práctica* o *frontera tecnológica*, obteniendo una medida de eficiencia en *output* para cada observación. Comparando los índices de eficiencia obtenidos bajo supuestos alternativos sobre la tecnología, los autores calculan el impacto indirecto de los controles ambientales sobre la

eficiencia relativa en *output*. Ello les permite obtener el llamado *coste de oportunidad de las regulaciones* en términos de *output perdido* o no alcanzado.

En otro trabajo, Färe, Grosskopf y Pasurka (1989) estiman los cambios en la eficiencia relativa experimentados por un conjunto de empresas eléctricas americanas entre 1969 y 1975. Según los autores, dado que las 23 empresas estudiadas realizaron inversiones en tecnología antipolución durante este periodo, una hipotética caída en sus niveles de eficiencia relativa podría ser debida, al menos en parte, a la necesidad del cumplimiento de la normativa ambiental. Al igual que en su anterior estudio, calculan el coste de oportunidad asociado a la pérdida de eficiencia en términos del *output* potencial no obtenido, concluyendo que la medida de eficiencia técnica global se reduce, aunque no de manera significativa, como consecuencia de las restricciones ambientales sobre la actividad productiva de las empresas. Otros estudios realizados a lo largo de la década de los ochenta con metodologías diferentes también encuentran que la consideración de determinadas regulaciones ambientales afecta al cálculo de diferentes índices de productividad [Christiansen y Haveman, 1981; Portney, 1981; Gollop y Roberts, 1983; Pashigian, 1984, entre otros].

Otra aportación relevante en este campo de estudio son los trabajos de Bernstein, Feldman y Schinnar (1990), quienes estiman el efecto de las restricciones sobre la emisión de dióxido de azufre en la eficiencia productiva de una muestra de 76 plantas generadoras de energía eléctrica a partir de carbón en USA con datos de 1984. Sus resultados revelan que las regulaciones ambientales han afectado significativamente a los niveles de eficiencia alterando, a su vez, las economías de escala en la generación de energía eléctrica. En una segunda etapa de su trabajo, los autores intentan explicar las diferencias en los niveles de eficiencia de las empresas de su muestra a partir de una serie de variables explicativas, tales como el tamaño de planta, la edad, la calidad del combustible e, incluso, el ámbito geográfico. Otras aplicaciones destacables de esta metodología en el sector energético pueden encontrarse en Kopp y Smith (1981), y Baxter, Feldman, Schinnar y Wirtshafter (1984).

II. ASPECTOS METODOLÓGICOS

En línea con las aportaciones metodológicas antes mencionadas, especialmente Färe, Grosskopf, Lovell y Pasurka (1989), consideramos a un productor que utiliza un vector de *inputs* $x \in \mathfrak{R}_+^N$ para producir un vector de *outputs* $u \in \mathfrak{R}_+^M$; el proceso de transformación de *inputs* en *outputs* o tecnología de producción, puede representarse mediante la siguiente correspondencia:

$$\delta: \mathfrak{R}_+^N \rightarrow \delta(x) \subseteq \mathfrak{R}_+^M \quad (1)$$

donde, $\delta(x)$ representa el conjunto de posibilidades de producción asociado al vector de *inputs* x .

Además de cumplir los axiomas clásicos propuestos por Grosskopf (1986), la tecnología de referencia puede caracterizarse asumiendo los supuestos de eliminación fuerte o débil para los *outputs*. El vector de *outputs* cumplirá el axioma de *eliminación fuerte* si:

$$u^* \leq u \in \delta(x) \Rightarrow u^* \in \delta(x) \quad (2)$$

y el de *eliminación débil* si,

$$u \in \delta(x) \Rightarrow \theta u \in \delta(x) \quad \forall \quad 0 \leq \theta \leq 1 \quad (3)$$

Particionando el vector de *outputs* en deseables y no deseables, podemos escribir $u = (y, w)$, donde y es el subvector de *outputs* deseables y w el de no deseables. Así, tenemos $K = 1, 2, \dots, k, \dots, K$ productores, cada uno de los cuales utiliza un vector $x^k = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_N^k)_{(N \times 1)}$ de *inputs* para producir un vector de *outputs* $u^k = (y^k, w^k)$; donde $y^k = (y_1^k, y_2^k, \dots, y_G^k)_{(G \times 1)}$ y, $w^k = (w_1^k, w_2^k, \dots, w_H^k)_{(H \times 1)}$, cumpliéndose que $M = G + H$. Además $X = (x^1, x^2, \dots, x^k, \dots, x^K)_{(N \times K)}$ representa la matriz de *inputs*, y $U = (Y, W)_{(M \times K)}$ la matriz de *outputs*, siendo $Y = (y^1, y^2, \dots, y^k, \dots, y^K)_{(G \times K)}$ la submatriz de *outputs* deseables y $W = (w^1, w^2, \dots, w^k, \dots, w^K)_{(H \times K)}$ la correspondiente submatriz de *outputs* no deseables.

Asumiendo rendimientos constantes a escala y eliminación fuerte para el vector de *outputs* deseables, la referencia tecnológica que satisface el axioma de eliminación débil para los *outputs* no deseables puede expresarse como:

$$\delta^D(x) = [(y, w) / y \leq Yz, w = Wz, Xz \leq x, z \in \mathfrak{R}_+^K] \quad (4)$$

donde z es un vector de intensidad de las variables de dimensión $(K \times 1)$. Por su parte, la tecnología bajo el supuesto de eliminación fuerte en *outputs* no deseables queda representada por:

$$\delta^F(x) = [(y, w) / y \leq Yz, w \leq Wz, Xz \leq x, z \in \mathfrak{R}_+^K] \quad (5)$$

Caracterizada la tecnología de referencia, el problema se plantea en términos de *incrementar los outputs deseables reduciendo simultáneamente los no deseables, bajo las restricciones impuestas por el vector de inputs y la propia tecnología*. Con este propósito, Färe, Grosskopf, Lovell y Pasurka (1989) adaptan las medidas de eficiencia hiperbólica desarrolladas por Färe, Grosskopf y Lovell (1985) a la presencia de *outputs* no deseables. Para ello, construyen las llamadas *medidas de eficiencia hiperbólica en output* que, bajo el supuesto de eliminación débil en *outputs* no deseables y un vector fijo de *inputs*, se representan para cada productor como:

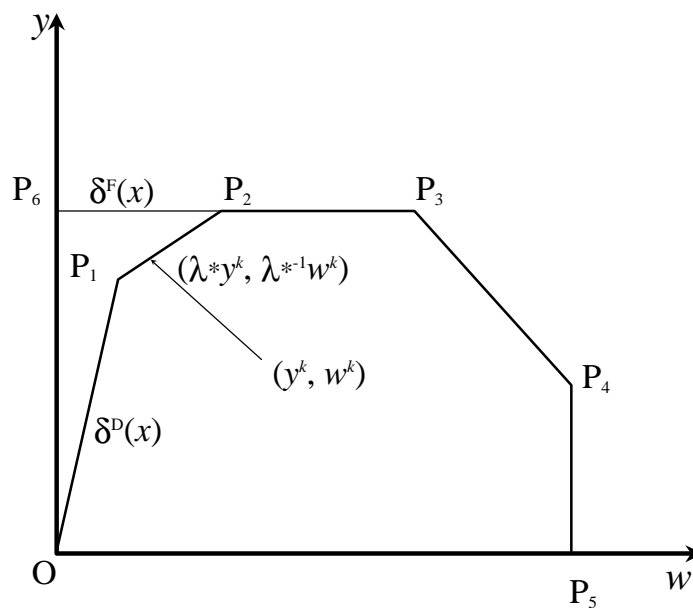
$$E_o^D(y^k, w^k, x^k) = \text{Max} [\lambda / (\lambda y^k, \lambda^{-1} w^k) \in \delta^D(x)] \quad (6)$$

El valor máximo del parámetro lambda [representado por λ^*] se obtiene a partir de la comparación de la combinación observada de *outputs*, (y^k, w^k) con su referente virtual situado sobre la frontera $(\lambda^* y^k, \lambda^{*-1} w^k)$ y mide la proporción en que la empresa evaluada podría incrementar todos sus *outputs* deseables a la vez que reduce proporcionalmente los no deseables. La solución para este ejercicio de maximización se obtiene resolviendo para cada productor el siguiente problema de programación matemática:

$$\begin{aligned} E_o^D(y^k, w^k, x^k) &= \text{Max } \lambda \\ &s.a. \\ \lambda y^k &\leq Yz \quad (i) \\ \lambda^{-1} w^k &= Wz \quad (ii) \\ Xz &\leq x^k \quad (iii) \\ z &\in \mathfrak{R}_+^K \quad (iv) \end{aligned} \quad (7)$$

El programa (7) puede adaptarse al supuesto de eliminación fuerte en *outputs* no deseables $[E_o^F(y^k, w^k, x^k)]$ mediante la transformación de la igualdad (ii) en términos de desigualdad, de forma que $(\lambda^{-1}w^k \leq Wz)$. Excluyendo la restricción (ii) en (7) obtenemos la medida tradicional de eficiencia en *output* $[E_o^T(y^k, x^k)]$. Como se aprecia en el Gráfico 1, el tramo OP_1P_2 constituye la frontera en que se sitúa el referente virtual de la empresa k , $(\lambda^* y^k, \lambda^{*-1} w^k)$, obtenido a partir de la resolución de (7). El tramo P_6P_2 representa la frontera de referencia cuando se adopta el supuesto de eliminación fuerte para los *outputs* no deseables. Se observa que el referente virtual podrá situarse en este último tramo de la frontera siempre que la exigencia de reducción de los *outputs* no deseables o residuos no impida maximizar el *output* deseable en una proporción similar a la alcanzable en la medida tradicional $[E_o^T(y^k, x^k)]$.

GRÁFICO 1



Alternativamente, se pueden plantear las llamadas *medidas hiperbólicas de eficiencia productiva* reemplazando el supuesto de *inputs* fijos, y permitiendo su minimización a la vez que se maximiza el *output* deseable y se minimiza el no deseable. Ahora, bajo el supuesto de eliminación débil para los *outputs* no deseables, la medida de eficiencia quedaría definida como:

$$E_p^D(y^k, w^k, x^k) = \text{Max} [\lambda / (\lambda y^k, \lambda^{-1} w^k) \in \mathcal{D}^D(\lambda^{-1} x^k)] \quad (8)$$

mientras que su cálculo pasa por la resolución para cada unidad productiva del siguiente problema de programación matemática:

$$\begin{aligned} E_p^D(y^k, w^k, x^k) &= \text{Max } \lambda \\ \text{s.a.} \\ \lambda y^k &\leq Yz \quad (i') \\ \lambda^{-1} w^k &= Wz \quad (ii') \\ Xz &\leq \lambda^{-1} x^k \quad (iii') \\ z &\in \mathfrak{R}_+^K \quad (iv') \end{aligned} \quad (9)$$

En este caso también resulta posible alterar la referencia tecnológica para los *outputs* no deseables incorporando el axioma de eliminación fuerte [$E_p^F(y^k, w^k, x^k)$]; ello implica la transformación de la igualdad (ii') en una desigualdad, tal que ($\lambda^{-1} w^k \leq Wz$). Si eliminamos la citada restricción obtenemos la medida convencional de eficiencia hiperbólica, representada por [$E_p^T(y^k, x^k)$].

El hecho de que el referente virtual en la frontera bajo el supuesto de eliminación débil en *outputs* no deseables represente valores de *output* deseable inferiores a los alcanzables suponiendo eliminación gratuita puede asociarse con la presencia de regulaciones en la generación de *outputs* no deseables, cuyo cumplimiento, dada la tecnología existente, obliga a situarse en niveles de producción por debajo de los que podrían ser obtenidos de no existir tales restricciones. De ahí, la consideración de supuestos alternativos sobre la tecnología de referencia permite abordar el impacto de las regulaciones ambientales y sus posibles efectos sobre los índices de eficiencia. Así, la existencia de regulaciones o controles ambientales sobre los productores se representa mediante el axioma de eliminación débil, mientras que la ausencia de estas normas queda incorporada por el axioma de eliminación fuerte. De este modo, de la comparación entre las medidas de eficiencia obtenidas bajo ambos supuestos pueden deducirse los efectos potenciales de la protección ambiental sobre las actividades productivas.

El cociente entre el índice de eficiencia obtenido bajo el supuesto de eliminación fuerte para los *outputs* no deseables y el calculado con el supuesto de eliminación débil para tales *outputs* ofrece una aproximación al posible impacto de las regulaciones medioambientales

sobre cada productor. Para las medidas orientadas en *output*, el efecto de estas restricciones vendrá determinado por:

$$RI_o^{F/D} = E_o^F / E_o^D \quad (10)$$

mientras que para las medidas de eficiencia productiva, los impactos ambientales son:

$$RI_p^{F/D} = E_p^F / E_p^D \quad (11)$$

Si la ratio para una empresa determinada es superior a uno, es posible interpretar que ésta se ha visto afectada negativamente por la regulación medioambiental, mientras que un cociente igual a uno implica la inexistencia de regulaciones, o bien, un efecto neutral de las mismas.

Cabe la posibilidad de cuantificar las pérdidas potenciales en *outputs* deseables debidas a la ausencia de eliminación fuerte para los *outputs* no deseables, o lo que es lo mismo, a la presencia de regulaciones ambientales. En el contexto de las medidas de eficiencia orientadas en *output*, para un productor k y un *output* deseable i , la cuantificación del *output* potencial perdido, vendría dada por:

$$[OL_i^k]_o^{F/D} = y_i^k (E_o^F - E_o^D) \quad (12)$$

mientras que para las medidas de eficiencia productiva, esta pérdida potencial queda expresada como:

$$[OL_i^k]_p^{F/D} = y_i^k (E_p^F - E_p^D) \quad (13)$$

En definitiva, las expresiones (12) y (13) miden un coste indirecto o de oportunidad en términos del *output* deseable debido a la protección ambiental.

Los índices de eficiencia propuestos en los párrafos precedentes pueden adaptarse al supuesto de que la regulación ambiental afecte a sólo una parte de los *outputs* no deseables; en este caso, la tecnología quedaría caracterizada por el axioma de eliminación débil para los *outputs* no deseables afectados por la regulación y por eliminación fuerte para los restantes. Particionando el vector w^k de forma que $w^k = (w_a^k, w_b^k)$, donde $w_a^k = (w_1^k, w_2^k, \dots, w_s^k)$ es el subvector de *outputs* no deseables que cumple el axioma de eliminación débil y

$w_b^k = (w_{S+1}^k, w_{S+2}^k, \dots, w_H^k)$ el de aquéllos bajo el supuesto de eliminación fuerte, para el enfoque de eficiencia en output, la nueva medida de eficiencia, $E_O^{Da}(y^k, w^k, x^k)$, surge de la sustitución en (8) de la restricción (ii) por las dos restricciones siguientes: $\lambda^{-1}w_a^k = Wz$ y, $\lambda^{-1}w_b^k \leq Wz$. Del mismo modo, la obtención de las nuevas medidas de eficiencia productiva [$E_P^{Da}(y^k, w^k, x^k)$] requiere la sustitución de la restricción (ii') en (10) por estas dos mismas restricciones, es decir, $\lambda^{-1}w_a^k = Wz$ y, $\lambda^{-1}w_b^k \leq Wz$.

Las expresiones para el impacto de las regulaciones y la pérdida potencial en output en el caso de las medidas hiperbólicas en *output* vienen dadas por:

$$RI_O^{F/Da} = E_O^F / E_O^{Da} \quad (14)$$

$$[OL_i^k]_O^{F/Da} = y_i^k (E_O^F - E_O^{Da}) \quad (15)$$

mientras que para las medidas de eficiencia productiva son:

$$RI_P^{F/Da} = E_P^F / E_P^{Da} \quad (16)$$

$$[OL_i^k]_P^{F/Da} = y_i^k (E_P^F - E_P^{Da}) \quad (17)$$

Expuesta la metodología de referencia, es importante tener presente sus limitaciones ya reconocidas en la literatura; por ejemplo, los propios Färe, Grosskopf, Lovell y Pasurka (1989), se refieren al hecho de que las técnicas de programación matemática utilizadas asignan un valor unitario a todos aquellos productores que constituyen la frontera de la *mejor práctica* sin posibilidad de diferenciar entre sus comportamientos específicos. Conscientes de estas restricciones, abordamos seguidamente una aplicación empírica a una muestra de empresas productoras de artículos de madera y muebles cuyo objetivo es la maximización del *output* bajo una serie de escenarios alternativos caracterizados por distintos supuestos en cuanto a la generación de residuos dentro del proceso productivo.

III. MUESTRA Y VARIABLES

La información estadística utilizada procede del *Inventario de Residuos Industriales de la Comunidad Valenciana* elaborado durante 1994 y 1995 bajo el patrocinio de la *Conselleria de Medi Ambient* de la *Generalitat Valenciana*. Los datos aportados en ese estudio han sido obtenidos mediante encuesta personal sobre una muestra aleatoria de empresas distribuidas en 10 subsectores industriales. La muestra utilizada en este trabajo está constituida por 42 empresas pertenecientes al sector *madera y mueble*. Cada una de estas empresas emplea el mismo proceso productivo, caracterizado por la presencia de un único *output* deseable, *artículos de madera y muebles* (y_1) y la utilización de los factores productivos *trabajo* (x_1), medido como el número de trabajadores de producción, y *capital* (x_2), aproximado a partir del consumo de energía medido en *kilovatios/hora*, y dos materias primas, *madera* (x_3) y *colorantes, barnices y colas* (x_4). En el proceso de producción se generan cuatro tipos de residuos u *outputs* no deseables: *virutas, recortes y desechos de la madera* (w_1), *residuos de colorantes, barnices y colas* (w_2), *aceites usados* (w_3) y, por último, *embalajes* (w_4). Los principales estadísticos descriptivos de las variables de la muestra aparecen recogidos en el *Cuadro 1*.

CUADRO 1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Variable	Descripción	Unidad de medida	Media aritmética	Desviación típica
y_1	Artículos de madera y muebles	Millones de pesetas	375,24	474,98
w_1	Virutas, recortes y desechos de madera	Toneladas	550,46	1670,20
w_2	Residuos de colorantes, barnices y colas	Toneladas	3,44	11,72
w_3	Aceites usados	Toneladas	0,20	0,65
w_4	Embalajes	Toneladas	0,94	4,63
x_1	Trabajadores de producción	Nº de trabajadores	29,48	24,20
x_2	Consumo de energía	Miles Kilovatios/hora	289,43	550,33
x_3	Madera	Toneladas	2516,31	5302,78
x_4	Colorantes, barnices y colas	Toneladas	20,58	40,69

Es importante destacar el hecho de poder contar con datos correspondientes a procesos productivos homogéneos dentro de la industria de la Madera y el Mueble así como, el poder utilizar en el análisis el número de trabajadores directamente empleados en el proceso de producción frente al caso habitual en el que sólo se dispone de los trabajadores totales de la empresa. Las limitaciones derivadas de la necesidad de considerar el *output* deseable en términos monetarios, dadas las evidentes dificultades que entraña el uso de unidades físicas en el ámbito de la producción industrial, se encuentran suficientemente justificadas en la literatura [Picazo, 1995].

IV. RESULTADOS

Medidas de eficiencia

Las *medidas de eficiencia hiperbólica en output* han sido calculadas resolviendo el programa (7) para cada empresa de la muestra bajo supuestos alternativos sobre la tecnología de referencia. El *Cuadro 2* recoge los resultados; el valor medio para el índice de eficiencia técnica tradicional, esto es, sin considerar los *outputs* no deseables, se sitúa en 2,2934, sugiriendo que, bajo el supuesto de *inputs* fijos e ignorando los *outputs* no deseables, los productores de la muestra podrían incrementar su *output* final aproximadamente en una media del 130 por ciento. El valor del índice ponderado por la producción de cada empresa se reduce hasta 1,7494, lo que indica que las mayores empresas son más eficientes que las de un tamaño inferior.

Asumiendo que los residuos generados en el proceso productivo constituyen un *output* no deseable, se han calculado diferentes medidas de eficiencia bajo distintos supuestos sobre la eliminación de los *outputs* no deseables. En el escenario más restrictivo, donde se asume que la reducción de residuos ocasiona costes en términos de la producción final de la empresa [supuesto de eliminación débil para los *outputs* no deseables], los resultados ofrecen una media para el índice de eficiencia de 1,0984 siendo 36 las empresas que se comportan eficientemente. Es importante destacar que en un contexto restrictivo en cuanto a las condiciones de producción se reducen las diferencias de comportamiento entre las empresas, asimismo disminuyen las posibilidades de comparación y, por tanto, aumentan las actuaciones *eficientes*. En un marco menos estricto consistente en suponer que un descenso en la generación de residuos no genera costes en términos del *output* deseable de la empresa [supuesto de

eliminación fuerte para todos los *outputs* no deseables] obtenemos que 14 de las 42 empresas operan eficientemente, siendo el índice medio de eficiencia de 2,1896.

CUADRO 2. MEDIDAS DE EFICIENCIA HIPERBÓLICA EN *OUTPUT*

Empresa	E_o^T	E_o^F	E_o^{Da}	E_o^D
1	1,4286	1,4212	1,0851	1,0000
2	2,9622	2,9213	2,8029	1,0000
3	5,3810	5,3527	4,2076	1,4449
4	2,8071	2,8071	1,5031	1,0000
5	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
6	3,4140	3,3902	1,4308	1,0000
7	1,0206	1,0000	1,0000	1,0000
8	1,2836	1,0000	1,0000	1,0000
9	1,9017	1,0000	1,0000	1,0000
10	3,3778	3,3778	1,6311	1,0000
11	1,1270	1,1270	1,0000	1,0000
12	1,6121	1,5859	1,0000	1,0000
13	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
14	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
15	1,4363	1,3793	1,3457	1,0000
16	6,5715	6,5715	3,9840	3,4921
17	3,2880	3,2880	2,2450	1,0001
18	1,9645	1,8645	1,0000	1,0000
19	2,0000	1,9927	1,4615	1,4615
20	1,9723	1,8654	1,0000	1,0000
21	2,5758	2,5758	1,1977	1,0000
22	3,1721	3,1721	1,7520	1,0000
23	1,6311	1,6311	1,0000	1,0000
24	5,3326	5,3326	2,2287	1,0000
25	1,7800	1,7659	1,1148	1,0000
26	2,4275	2,4275	2,3782	1,0008
27	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
28	3,0421	3,0421	2,3605	1,0000
29	5,3221	5,3221	2,1997	1,7339
30	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
31	1,8409	1,8263	1,8263	1,0000
32	2,3810	1,3809	1,0000	1,0000
33	2,4837	2,4837	1,6219	1,0000
34	1,3193	1,1620	1,1620	1,0000
35	1,0001	1,0000	1,0000	1,0000
36	4,2000	3,4625	1,0000	1,0000
37	3,4328	3,4328	1,1478	1,0000
38	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
39	1,8333	1,0000	1,0000	1,0000
40	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
41	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
42	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Media Aritmética	2,2934	2,1896	1,4687	1,0984
Media Ponderada	1,7494	1,6187	1,2381	1,0866

Tal y como se plantea en la metodología, hemos considerado una situación intermedia en la cual se adopta el supuesto más restrictivo de eliminación débil para los dos residuos más representativos, w_1 [virutas, recortes y desechos de la madera] y w_2 [residuos de colorantes, barnices y colas], quedando el resto bajo el supuesto más flexible de eliminación fuerte. Se trata de establecer restricciones tecnológicas diferentes dentro del conjunto de los *outputs* no deseables. En este caso la media de eficiencia se sitúa en 1,4687, con la mitad de las empresas actuando eficientemente. Nuevamente el cálculo de la media ponderada confirma un comportamiento más eficiente por parte de las empresas con mayor nivel de *output*.

Los resultados del análisis para los *índices de eficiencia productiva* que aparecen en el *Cuadro 3* muestran que la medida tradicional de eficiencia productiva [que persigue la maximización del *output* deseable a la vez que se minimiza el consumo de *inputs*] alcanza un valor medio de 1,4534, de donde cabe deducir que las empresas consideradas podrían aumentar su producción final en un 45 por ciento, por término medio, mediante el ajuste de todos sus *inputs* y sin tener en cuenta los residuos generados. Si tomamos como referencia la media ponderada, de nuevo, el nivel de ineficiencia se ve reducido debido al comportamiento más eficiente de las mayores empresas.

Incorporando los *outputs* no deseables en la construcción de las medidas hiperbólicas de eficiencia productiva, bajo el supuesto de eliminación débil para todos los residuos se observa un comportamiento ineficiente en sólo cuatro empresas, siendo el valor del índice de eficiencia igual a 1,0419. Si por contra suponemos eliminación gratuita o fuerte para el conjunto de los *outputs* no deseables, el índice de eficiencia alcanza un valor medio de 1,3688, siendo 17 las empresas consideradas plenamente eficientes. Finalmente, asumiendo eliminación débil sólo para los residuos w_1 y w_2 , se obtiene una media de eficiencia cifrada en 1,2302, con 21 empresas cuyo comportamiento puede considerarse como eficiente.

Impacto de las regulaciones ambientales

La comparación de los resultados obtenidos bajo los escenarios alternativos de eliminación fuerte y débil [*Cuadro 4*] permite obtener el *impacto de las regulaciones ambientales* sobre los índices de eficiencia. Para el caso de las medidas hiperbólicas en *output*, son 26 las empresas que se ven afectadas en su comportamiento eficiente por el cambio en la referencia tecnológica aplicada a dos de los *outputs* no deseables. Es decir, la presencia de restricciones en la generación de los residuos w_1 y w_2 repercute sobre un 61,4 por ciento de las empresas de la muestra. Si endurecemos las anteriores condiciones utilizando el supuesto de

CUADRO 3. MEDIDAS HIPERBÓLICAS DE EFICIENCIA PRODUCTIVA

Empresa	E_P^T	E_P^F	E_P^{Da}	E_P^D
1	1,1952	1,1852	1,0595	1,0000
2	1,7211	1,6658	1,6518	1,0000
3	2,3197	2,2438	2,1751	1,0000
4	1,6754	1,6343	1,2004	1,0000
5	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
6	1,8477	1,8026	1,2244	1,0000
7	1,0102	1,0000	1,0000	1,0000
8	1,1330	1,0000	1,0000	1,0000
9	1,3790	1,0000	1,0000	1,0000
10	1,8379	1,8363	1,7772	1,0000
11	1,0616	1,0616	1,0000	1,0000
12	1,2697	1,2532	1,0000	1,0000
13	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
14	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
15	1,1984	1,1622	1,1507	1,0000
16	2,5635	2,4980	2,2548	1,8530
17	1,8133	1,8133	1,6656	1,4098
18	1,4016	1,2989	1,0000	1,0000
19	1,4142	1,4084	1,3497	1,3338
20	1,4044	1,0000	1,0000	1,0000
21	1,6049	1,6049	1,0994	1,0000
22	1,7810	1,7810	1,4644	1,0000
23	1,2771	1,2771	1,0000	1,0000
24	2,3092	2,2747	1,7772	1,0000
25	1,3342	1,3170	1,1232	1,0000
26	1,5581	1,5458	1,5458	1,0000
27	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
28	1,7442	1,7359	1,7245	1,0000
29	2,3070	2,3070	1,6332	1,1624
30	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
31	1,3568	1,3395	1,3395	1,0000
32	1,5430	1,0000	1,0000	1,0000
33	1,5760	1,5760	1,2951	1,0000
34	1,1486	1,0498	1,0498	1,0000
35	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
36	2,0494	1,0000	1,0000	1,0000
37	1,8528	1,8173	1,1088	1,0000
38	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
39	1,3540	1,0000	1,0000	1,0000
40	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
41	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
42	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Media Aritmética	1,4534	1,3688	1,2302	1,0419
Media Ponderada	1,2862	1,1877	1,1362	1,0590

CUADRO 4. IMPACTO DE LAS REGULACIONES AMBIENTALES.

Empresa	Eficiencia en <i>output</i>		Eficiencia productiva	
	$RI_O^{F/Da}$	$RI_O^{F/D}$	$RI_P^{F/Da}$	$RI_P^{F/D}$
1	1,3098	1,4212	1,1187	1,1852
2	1,0422	2,9213	1,0085	1,6658
3	1,2722	3,7044	1,0316	2,2438
4	1,8675	2,8071	1,3614	1,6343
5	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
6	2,3694	3,3902	1,4723	1,8026
7	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
8	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
9	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
10	2,0709	3,3778	1,0332	1,8363
11	1,1270	1,1270	1,0616	1,0616
12	1,5859	1,5859	1,2532	1,2532
13	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
14	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
15	1,0249	1,3793	1,0100	1,1622
16	1,6494	1,8818	1,1078	1,3481
17	1,4646	3,2876	1,0887	1,2862
18	1,8645	1,8645	1,2989	1,2989
19	1,3634	1,3634	1,0435	1,0559
20	1,8654	1,8654	1,0000	1,0000
21	2,1507	2,5758	1,4598	1,6049
22	1,8106	3,1721	1,2162	1,7810
23	1,6311	1,6311	1,2771	1,2771
24	2,3927	5,3325	1,2799	2,2747
25	1,5841	1,7659	1,1726	1,3170
26	1,0207	2,4257	1,0000	1,5458
27	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
28	1,2888	3,0421	1,0066	1,7359
29	2,4195	3,0694	1,4126	1,9847
30	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
31	1,0000	1,8263	1,0000	1,3395
32	1,3809	1,3809	1,0000	1,0000
33	1,5313	2,4837	1,2168	1,5760
34	1,0000	1,1620	1,0000	1,0498
35	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
36	3,4625	3,4625	1,0000	1,0000
37	2,9907	3,4328	1,6389	1,8173
38	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
39	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
40	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
41	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
42	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Media Aritmética	1,4653	1,9700	1,1088	1,3128
Media Ponderada	1,2946	1,4881	1,0423	1,1234

eliminación débil para la totalidad de los *outputs* no deseables, el número de empresas afectadas pasa a ser de 28. Por otro lado, el impacto agregado de las regulaciones puede observarse a través de la variación en los niveles medios de eficiencia que pasan de 1,4687 cuando suponemos eliminación débil sólo para dos de los residuos a 1,0984 en el caso de incorporar este supuesto para todos los *outputs* no deseables.

En el caso de las medidas hiperbólicas de eficiencia productiva, 22 de las 42 empresas de la muestra ven alterado su índice de eficiencia por la adopción de un marco de restricciones parciales [eliminación débil para los residuos w_1 y w_2], mientras que las empresas afectadas son 25 en el caso de una regulación global [eliminación débil para todos los *outputs* no deseables].

Pérdidas de producción potencial.

Para abordar las consecuencias de la adopción de escenarios más o menos restrictivos en cuanto a la generación de *outputs* no deseables resulta más ilustrativo el cálculo de las *pérdidas de producción potencial* para cada empresa en cada uno de los ámbitos de regulación [Cuadro 5]. En el caso de las medidas de eficiencia en *output* y, tomando siempre como referencia el supuesto de inexistencia de regulaciones para el conjunto de los residuos [axioma de eliminación fuerte], la adopción de restricciones sólo para w_1 y w_2 [supuesto de eliminación débil para estos dos *outputs* no deseables] representaría una pérdida media en *output* potencial por empresa de 142,83 millones de pesetas, mientras que si consideramos estas limitaciones para la totalidad de los residuos la cifra se acerca a los 200 millones. Por otra parte, en el ámbito de las medidas de eficiencia productiva se obtiene que el impacto de las normativas regulatorias aplicadas sobre los residuos w_1 y w_2 en términos del valor de la producción potencial perdida alcanza los 19,34 millones de pesetas por empresa. Esta cifra se ve incrementada para el caso en que las restricciones afecten a la totalidad de los *outputs* no deseables situándose en 48,27 millones por empresa.

CUADRO 5. PÉRDIDA POTENCIAL DE OUTPUT.

Millones de pesetas por empresa.

	Eficiencia en <i>output</i>		Eficiencia productiva	
	$OL_O^{F/D}$	$OL_O^{F/Da}$	$OL_P^{F/D}$	$OL_P^{F/Da}$
Pérdida de <i>output</i>	199,67	142,83	48,27	19,34

Finalmente, hemos contrastado la forma de la distribución de las pérdidas potenciales en *output* para aquellas empresas afectadas por la regulación; a partir de los valores del estadístico *Chi-cuadrado* derivados del test de Bowman y Shelton, en ningún caso puede rechazarse la hipótesis de normalidad de tales distribuciones.

V. CONCLUSIONES.

En este trabajo se utiliza una aproximación no paramétrica para evaluar la eficiencia relativa de una muestra de empresas productoras de artículos de madera y muebles, en presencia de *outputs* no deseables. Se asume que el objetivo de las empresas es la maximización de los llamados *outputs* deseables, si bien, la consideración de regulaciones acerca de la generación de residuos en sus procesos de producción puede restringir la consecución de este objetivo. Mediante el establecimiento de distintos supuestos sobre la tecnología de referencia se pretende determinar el impacto sobre los índices tradicionales de eficiencia de diferentes regulaciones sobre los *outputs* no deseables. Para ello, se calculan una serie de índices de eficiencia bajo dos escenarios alternativos: en el primero se plantea un análisis desde el punto de vista del *output*, con un criterio de maximización de los *outputs* deseables y minimización de los no deseables, para un vector fijo de *inputs*; en el segundo se obtienen las llamadas medidas de eficiencia productiva, maximizando los *outputs* deseables, a la vez que se minimizan los no deseables y el vector de *inputs*.

Como principales resultados destacan los siguientes: (i) encontramos que la consideración de diferentes restricciones que representan regulaciones medioambientales sobre la expansión de los *outputs* no deseables reduce de manera significativa los índices de ineficiencia obtenidos con el enfoque tradicional; (ii) asimismo, las pérdidas de producción potencial derivadas de la comparación entre los distintos escenarios de regulación sobre los residuos, son significativas, alcanzando mayores valores cuanto más intensa resulta la regulación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baxter, L.W., Feldman, S.L., Schinnar, A.P. y Wirtshafter, R. (1984): “An Efficiency Analysis of Household Energy Use”, *Energy Economics* 8 (2), pp. 62-73.
- Bernstein, M.A., Feldman, S.L. y Schinnar, A.P. (1990): “ Impact of Pollution Controls on the Productivity of Coal-fired Power Plants”, *Energy Economics*, January, pp. 11- 17.
- 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.
- Charnes, A., Cooper, W. y Rhodes, E. (1978): “Measuring the Effects of Decision Making Units”, *European Journal of Operational Research* 17, pp. 429-444.
- Christiansen, G.B. y Haveman, R.H. (1981): “The Contribution of Environmental Regulations to the Slowdown in Economic Growth”, *Journal of Environmental Economics and Management* 8, pp. 381-390.
- 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.
- Färe, R., Grosskopf, S. y Lovell, C.A.K. (1985): *The Measurement of Efficiency of Production*, Boston: Kluwer-Nijhoff Publishing.
- Färe, R., Grosskopf, S. y Pasurka, C. (1986): “Effects on Relative Efficiency in Electric Power Generation due to Environmental Controls”, *Resources and Energy* 8, pp. 167-184.
- Färe, R., Grosskopf, S. y Pasurka, C. (1989): “The Effect of Environmental Regulations on the Efficiency of Electric Utilities: 1969 versus 1975”, *Applied Economics* 21 (2), pp. 225-235.
- Färe, R., Grosskopf, S., Lovell, C.A.K. y Pasurka, C. (1989): “Multilateral Productivity Comparisons when some *Outputs* are Undesirable: A Nonparametric Approach”, *The Review of Economics and Statistics* 71, pp. 90-98.
- 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.

- Farrell, M.J. (1957): "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of the Royal Statistical Society*, Serie A, 120, pp. 253-281.
- Gollop, F. y Roberts, M.J. (1983): "Environmental Regulations and Productivity Growth: The Case of Fossil-fueled Electric Power Generation", *Journal of Political Economy* 91 (4), pp. 654-674.
- Grosskopf, S. (1986): "The Role of the Reference Technology in Measuring Productive Efficiency", *The Economic Journal*, 96, pp. 499-513.
- Kopp, R. y Smith, V.K. (1981): "Productivity Measurement an Environmental Regulation: An Engineering-Econometric Analysis", en Cowing y Stevenson (eds.): *Productivity Measurement in Regulated Industries*, Academic Press, New York.
- Pashigian, B.P. (1984): "The Effect of Environmental Regulation on Optimal Plant Size and Factor Shares", *Journal of Law and Economics* 27, pp. 1-28.
- Picazo, A.J. (1995) : "La Eficiencia en los Seguros", *Revista de Economía Aplicada*, 5 (vol. III), pp. 197-215.
- Pittman, R.W. (1983): "Multilateral Productivity Comparisons with Undesirable *Outputs*", *Economic Journal* 93 (372), pp. 883-891.
- Porter, M.E. (1991) : "America's Green Strategy", *Scientific American*, Abril.
- Portney, P.R. (1981): "The Macroeconomic Impacts of Federal Environmental Regulations", en Peskin, H.M., Portney, P.R. y Kneese, A.V. (eds.): *Environmental Regulation and the U.S. Economy*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Van der Linde, C. (1993) : "The Microeconomic Implications of Environmental Regulation : A Preliminary Framework", en *Environmental Policies and Industrial Competitiveness*. Organization of Economic Cooperation and Development (OECD). Paris.