

Documento de trabajo

E2004/78

**Variables de entorno en el
análisis de eficiencia
Un método de tres etapas
con variables categóricas.**

**Rafaela Dios-Palomares
José Miguel Martínez Paz
Federico Martínez-Carrasco Pleite**



Centro de Estudios Andaluces
CONSEJERÍA DE LA PRESIDENCIA

VARIABLES DE ENTORNO EN EL ANÁLISIS DE EFICIENCIA. UN MÉTODO DE TRES ETAPAS CON VARIABLES CATEGÓRICAS.

Rafaela Dios-Palomares^{1,3}

José Miguel Martínez Paz^{2,3}

Federico Martínez-Carrasco Pleite^{2,3}

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza una revisión de los métodos que tienen en consideración variables de entorno para la análisis de eficiencia mediante métodos frontera. Se propone además un nuevo método de tres etapas que supone una continuación del propuesto por Charnes, Cooper y Rhodes (1981), siendo apropiado para el análisis de eficiencia incluyendo variables de entorno de carácter categórico. El nuevo método no solo permite el estudio del efecto de la variable de entorno, sino que separa este efecto de la eficiencia de cada empresa del sector.

De la aplicación de dicho método al análisis de eficiencia de la Industria Conservera de la Región de Murcia se deduce que el efecto debido a la pertenencia al Centro Tecnológico queda corregido en la última etapa, y que esta corrección es superior para las empresas que no pertenecen al mismo. La eficiencia del sector resulta ser de solo el 60%, lo que supone la posibilidad de emprender medidas para conseguir un ahorro en capital y empleo de alrededor del 40%.

Palabras clave: Eficiencia, Variables ambientales, Variables entorno, DEA

ABSTRACT

This paper summarises the principal methodologies for the treatment of environmental factors in DEA and propose a new technique for incorporating categorical environmental effects. Our method involves a three-stage analysis, and consists in adding a third stage to the two-stage Charnes, Cooper y Rhodes (1981) method. In this latest stage, either input or output are adjusted to account for the impact of the environmental effects and DEA is used to re-evaluate producer performance.

An application to the vegetal conserve industry of the Region of Murcia is provided to illustrate the power of the three-stage methodology. The study shows that the firm environmental condition of belonging to the Technological Centre exercises an influence over the behaviour of each firm. The results also show an average efficiency score of 60 % and we observe that firms belonging to this Centre suffered lower changes in the efficiency score than the others, when the three-stage method is applied in comparison with the analysis performed without the environmental factor.

Key words: Efficiency, Environmental factors, DDEA.

JEL classification: C15

¹ Departamento Estadística. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Montes. Universidad de Córdoba. Avda. Menéndez Pidal s/n, 14080 Córdoba (Spain), Tfn. 34 957218479, rdios@uco.es

² Departamento de Economía Aplicada. Facultad de Economía y Empresa. Universidad de Murcia. Campus de Espinardo - 30100 Murcia (Spain) Tel: 34 96836931, jmpaz@um.es

³ Grupo de Eficiencia y Productividad EFIUCO, Universidad de Córdoba, España
<http://www.uco.es/grupos/efiuco/>

1.- INTRODUCCIÓN

El análisis de eficiencia en producción es aplicado con mucha frecuencia en trabajos de investigación económica, tanto en el ámbito de la eficiencia técnica a través de función frontera de producción, como de la eficiencia asignativa y económica tomando como base la frontera de costes o la de beneficios. Las dos metodologías más empleadas en la actualidad en la estimación de la eficiencia mediante función frontera son, la programación matemática mediante Análisis Envolvente de Datos o DEA (Seiford y Thrall, 1990) y la que se denomina frontera econométrica (Battese, 1992). Ambos métodos permiten estimar el nivel de eficiencia medio de la muestra así como el índice de eficiencia de cada empresa. Un buen tratado sobre los aspectos más relevantes de esta materia se encuentra en el trabajo coordinado por Álvarez (2001), así como en los realizados por Coelli *et. al.* (1999) o Kumbhakar y Lovell (2000).

Recientemente se vienen desarrollando métodos de estimación de eficiencia que tienen en cuenta la presencia de factores externos al proceso de producción, los llamados *Factores de ambiente o entorno*¹, y que son incontrolables por parte de los responsables de las unidades de gestión de las muestras estudiadas. Estos factores responden al hecho de que existen circunstancias particulares para las distintas submuestras, lo que provoca que la frontera no sea común a todas las unidades. La realización de un análisis sin tener esto en cuenta daría lugar a que empresas que no llegan a la frontera por imperativos de su entorno fueran calificadas como ineficientes.

La idea central de los métodos de análisis con variables de entorno es que la eficiencia que se deriva de la resolución de la frontera incluyendo únicamente las variables propias de la producción, es decir inputs y outputs, contiene solapados dos efectos distintos que se deben, uno a la eficiencia de la empresa dentro de su entorno (frontera) y otro a la diferencia en productividad debida a dicho entorno en comparación con los demás. Si además tenemos en cuenta que el Análisis Envolvente de Datos no tiene capacidad para separar el efecto del error aleatorio, habría que considerar además este efecto dentro de los slacks que resultan de la resolución de un modelo

¹ Aunque la denominación mas generalizada en la literatura para este tipo de factores es la de "variables ambientales" se optó por el término variables de entorno por no provocar confusión alguna con las de carácter medioambiental.

donde no se incluyan las variables de entorno.

De manera general, se puede decir que los esfuerzos efectuados para descomponer estos efectos han dado lugar a los distintos métodos que son descritos en el presente trabajo. Uno de los enfoques que se ha llevado a cabo para la inclusión de variables de entorno en el análisis de eficiencia es el que se denomina "de programas" y fue inicialmente planteado por Charnes, Cooper y Rhodes (1981), con el fin de estudiar posibles diferencias inducidas por la aplicación de un Programa de Actuación en un subsector concreto de colegios públicos. Este método estima fronteras separadas para los distintos subsectores y posteriormente proyecta sobre la frontera para eliminar la ineficiencia intraprograma. Una segunda frontera con los datos corregidos para toda la muestra da lugar a estimaciones de distancias que únicamente se deben al efecto del programa. Estas últimas distancias permiten la evaluación de dicho programa. El objetivo, por tanto, de este método es la valoración del efecto de la variable de entorno considerada.

En el presente trabajo se ha estructurado en cinco grandes apartados; en el primero se describen los distintos tipos de variables que intervienen en el análisis de eficiencia, con expresa distinción entre las variables de entorno y los "factores de eficiencia". En el apartado 3 se realiza una revisión de los métodos de análisis de eficiencia hasta ahora propuestos que incluyen variables de entorno, con especial hincapié en los que utilizan DEA, que por otra parte son los que más se han aplicado. En el siguiente apartado se propone un método de tres etapas para variables de entorno categóricas que, bajo las mismas hipótesis que el antes descrito de Charnes *et al.* (1989), permite además estimar la eficiencia de cada empresa una vez corregido el efecto debido a la variable de entorno y al error. Como aplicación del método propuesto se estudia la eficiencia del sector de la Industria de las Conservas Vegetales de la Región de Murcia, considerando como variable de entorno la pertenencia al Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y la Alimentación (CTC). Los dos últimos apartados se dedican a conclusiones y referencias bibliográficas.

2.- TIPOS DE VARIABLES A CONSIDERAR EN EL ESTUDIO DE EFICIENCIA

El análisis de eficiencia mediante métodos frontera se enfrenta a un proceso de modelización de la tecnología de producción, siendo imprescindible realizar un estudio previo de las variables matemáticas y económicas que recogerán los efectos relacionados con los aspectos de interés en dicho análisis.

Los tipos de variables que intervienen se pueden clasificar y definir atendiendo a su implicación y función en el proceso productivo, distinguiéndose cuatro grupos de variables, tal y como se expone a continuación:

1.- Output: Son las variables que representan los productos y servicios que se obtienen en el proceso de producción. Estos a su vez pueden ser:

- *Deseables*: Bienes y servicios con un valor económico, para cuya obtención se realiza la actividad productiva.
- *No deseables*: Productos que se derivan del proceso de producción asociados a los output deseables. Se consideran en el estudio por su carácter perjudicial, sobretodo en el medio ambiente.

2.- Input: Representan los factores de producción que se consumen durante el proceso, pudiéndose distinguir entre:

- *Controlados*: Están bajo el control de la empresa, que decide sobre su cantidad, calidad, distribución, etc.
- *Fijos*: Aunque intervienen como factores de producción, sin embargo vienen determinados de forma exógena, estando, por tanto, fuera del control del empresario.

3.- Variables de entorno: Se trataría de aquellas variables no controlables a corto plazo, que inciden en distintos niveles de productividad, y por tanto, en distintas fronteras. La no consideración de estas variables en el estudio de eficiencia provoca que se le asignen a las empresas mas perjudicadas por el entorno unos objetivos que nunca podrían conseguir con sus medios actuales. Esto da como resultado unos índices de eficiencia irreales y el planteamiento de políticas de mejora inalcanzables. Dependiendo de su espacio muestral se dividen en:

- *Cualitativas*: La variable es categórica y divide la muestra total en pocas submuestras correspondientes a distintos entornos de producción, dando lugar asimismo a diferentes

productividades. No tiene porque haber un orden de magnitud entre las distintas categorías. Ejemplos de variables cualitativas serían los que resultan de la distinción dicotómica entre empresa pública y privada o entre actividades agrarias en secano y regadío, o la diferenciación entre varios marcos legislativos o diferentes regiones.

- *Cuantitativas*: Estas se subdividen a su vez en continuas y discretas. Las primeras se corresponden con casos en los que cada empresa puede llegar a tomar un valor distinto, siempre dentro de una escala continua (por ejemplo variables estructurales medidas en ratios o tantos por ciento), frente a las segundas, en las que los valores quedan reducidos a un número determinado de categorías entre las que hay un orden que se relaciona con la productividad.

4.- Factores de eficiencia: Se refiere a aquellas variables que determinan distintos niveles de eficiencia dentro de la misma frontera. Son variables que representan características relacionadas con la mejor o peor gestión de los recursos en el proceso de producción y que podrían ser corregidas a corto plazo. Nuevamente estas pueden ser:

- *Cualitativas*: Variables que toman valores categóricos, siendo un ejemplo habitual el nivel de estudios del empresario.
- *Cuantitativas*: Variables que toman valores numéricos, como por ejemplo lo pueden ser los ratios de la organización interna o los niveles de inversión de una empresa.

La clasificación expuesta puede dar origen a otra agrupación atendiendo al grado de control que finalmente puede ejercer la empresa sobre las distintas variables, pudiendo distinguir entre:

- *Variables bajo control*: Las variables que pueden ser controladas por la empresa son los output, los input variables y los factores de eficiencia.
- *Variables exógenas*: Los input fijos y las variables de entorno son exógenas, ya que vienen determinados desde el exterior sin que la empresa pueda decidir sobre ellos a corto plazo.

En atención a la primera clasificación de variables expuesta y sus implicaciones en el análisis de eficiencia, queda claro que previo a la realización de dicho análisis es imprescindible estudiar de homogeneidad de la muestra, comprobando si existen factores que introducen heterogeneidad en sus productividades, requiriéndose en tal caso la consideración e inclusión en el

modelo de variables de entorno. Sin embargo, la determinación de las variables de entorno que deben tenerse en cuenta en el análisis no es inmediata. En este sentido, resulta imprescindible el conocimiento del proceso de producción en el sector y las distintas alternativas de la variable de entorno, ya que esto aportará información sobre su posible incidencia, así como sobre el sentido de dicha influencia. Tomando como base los datos recogidos para el análisis de eficiencia, cabría pensar en tres fuentes de información apropiadas para la determinación de dicha incidencia: las productividades individuales de cada input-output, el índice de eficiencia que resultara de un análisis conjunto con toda la muestra, y la comparación entre los resultados con fronteras separadas. No obstante, ninguna de las tres resuelve el problema con satisfacción. Con respecto a las dos primeras, esta claro que ambas incluyen tres efectos solapados debidos respectivamente al entorno, la eficiencia y el error. Por tanto, queda enmascarada la influencia que se quiere determinar. Por otro lado, la consideración de fronteras separadas puede venir afectada por la relatividad de la medida y la comparación entre eficiencias no nos da la comparación entre productividades que es lo que realmente recogería la influencia de la variable de entorno.

En el ámbito de métodos propuestos para resolver el problema de detección de variables de entorno influyentes, cabe mencionar los trabajos de Pastor *et al.* (1999 y 2002), en los que se establecen procedimientos que incluyen contrastes de hipótesis cuya aplicación da como resultado la aceptación o rechazo de cada variable de entorno como influyente en la frontera. Siguiendo este método secuencial, Lozano *et al.* (2002) determinan las variables de entorno en el sector bancario, que posteriormente incluyen en el análisis de eficiencia.

3.- MÉTODOS DE ANÁLISIS DE EFICIENCIA CONSIDERANDO VARIABLES DE ENTORNO

Si bien la mayor parte de los análisis de eficiencia realizados hasta la fecha se han limitado a la consideración de inputs y outputs, no son pocos los trabajos que podemos encontrar en que se introduce en el análisis otro tipo de variables, ya sean de entorno o factores de eficiencia. Así, atendiendo a la clasificación expuesta en el apartado anterior, el tratamiento con variables de entorno deberá estar enfocado a la estimación y corrección de la frontera teniendo en cuenta dichas variables. Sin embargo, dado que los factores de eficiencia son características asociadas con el nivel de eficiencia, los métodos que las incluyen en el análisis, ya sean de una etapa (Battese y Coelli,

1995) o de dos (Dios *et al.*, 2002), no tratan de corregir la frontera, sino de investigar los factores donde incidir en el planteamiento de mejoras. Dado que este último tipo de variables no es el objeto de estudio del presente trabajo, lo que resta de apartado se centra en la exposición de las distintas metodologías que se han planteado en la literatura en el ámbito de la inclusión de variables de entorno en el análisis de eficiencia.

Dentro de los métodos que incorporan el efecto de variables de entorno con más de una etapa, se pueden distinguir tres grandes tipos de planteamientos:

a) El primero, formado por aquellas propuestas en las que se estima la eficiencia en una primera etapa sin considerar dichas variables, acometiendo en una segunda etapa su corrección mediante técnicas econométricas.

b) El segundo grupo, en los que también se realiza la primera etapa sin considerar las variables de entorno, pero en las siguientes etapas se corrige (por diferentes métodos los inputs y/o output), resolviendo el modelo final con los datos corregidos; esta última solución de la envolvente proporciona la eficiencia sin el efecto de las variables entorno.

c) El tercero, conocido como de programas, resuelve en una primera etapa un modelo para cada programa, estimando en la segunda fase la envolvente global para toda la muestra con los datos corregidos de la eficiencia intraprogramas.

En la exposición de los distintos métodos que consideran dichas variables, se pueden seguir varios criterios de clasificación. Rouse (1996) presenta una revisión de dichos métodos y los divide según el número de etapas y atendiendo a que se corrijan los inputs y outputs, o bien el índice de eficiencia. Muñoz (2001) los clasifica en unietapicos, multietápicos y de programas. Dado que el criterio más generalizado de clasificación es el del número de etapas que hay que realizar hasta la estimación final de la eficiencia (Fried, *et al.*, 1999 y Fried *et al.*, 2002), es ese el que se va a seguir en la exposición que viene a continuación. Sin embargo, se ha de puntualizar que, en la denominación que los distintos autores le han ido dando a los métodos propuestos, en algunos casos han considerado la corrección de los datos (inputs o outputs) como una de las etapas del método. Con el fin de dar homogeneidad a la descripción, en este trabajo no se hace así, de modo que cada corrección de datos se considerará incluida en la etapa previa a dicha corrección.

3.1. Métodos de una etapa

Método 1.- DEA (Banker y Morey, 1986a)

Este método considera en el análisis de eficiencia las variables de entorno en una única etapa, determinando los niveles de eficiencia que se suponen corregidos debido a dichas variables. Se realiza un análisis DEA incluyendo las variables de entorno, junto con los inputs y outputs propios de la producción, considerándolos como input fijos. Dado que son tratados como input invariables, en ningún caso se ven afectados por el parámetro de reducción o aumento radial en la búsqueda de la frontera. El problema de la existencia de variables categóricas es tratado por los mismos autores en Banker y Morey (1986b). Este método es uno de los más aplicados en el análisis de eficiencia considerando factores exógenos.

Método 2.- DEA (Lozano, Pastor y Pastor, 2002)

Este método es similar al planteado de Banker y Morey (1986a) en el sentido de que se resuelve un sólo modelo DEA en el que se incluyen las variables de entorno. La diferencia sustancial está en que estos autores le dan a las variables de entorno carácter de input o output dependiendo de su posible influencia en la productividad. Si la variable proporciona un aumento de productividad porque favorece la misma, se introduce en el modelo como input, y en caso contrario, se introduce como output. La consideración aludida se especifica en el sentido de la desigualdad de la restricción correspondiente. La base conceptual del método es que la comparación de cada DMU con el resto de las unidades se haga solo con aquellas que están en condiciones iguales o mejores que ella con respecto a la variable de entorno.

Método 3.- SFA (Coelli *et al.*, 1999)

Se realiza la estimación de la frontera estocástica considerando como variables explicativas de la frontera, tanto los inputs como las variables de entorno. Posteriormente se realizan ajustes que permiten separar la eficiencia neta de la eficiencia bruta.

3.2. Métodos de dos etapas

Método 4.- DEA + Regresión

Entre las primeras aplicaciones realizadas de este método cabe mencionar la de Ray (1991). Bhattacharyya *et al.* (1997), presentan un enfoque de variable de entorno en el sector bancario, McCarty y Yaisawarng (1993) introducen la estimación de modelos Tobit en la segunda etapa y Fried *et al.* (1993) modelizan los *slacks* resultantes de la primera etapa mediante técnicas de modelos econométricos aparentemente relacionados.

Este método de DEA y regresión se puede sintetizar de la siguiente forma: en una primera etapa se estima la frontera; aunque no se conoce trabajo en que se haya aplicado la estimación con SFA, se puede considerar que sería totalmente factible su aplicación tanto con DEA como con SFA. El resultado de esta primera etapa da lugar a la estimación de un índice de eficiencia contaminado con el efecto del entorno. Este efecto se tratará de corregir en la siguiente etapa. En esa segunda etapa se establece un modelo del índice de eficiencia en función de las variables de entorno. Se aconseja el modelo Tobit por su mejor adaptación a la naturaleza acotada de la variable endógena que es la medida de la eficiencia. Posteriormente se corrige el índice de eficiencia del efecto debido a las variables de entorno, restándole el valor de predicción del modelo estimado².

Método 5.- DEA + DEA (Pastor, 1994)

En una primera etapa se resuelve un modelo DEA, incluyendo solo outputs y las variables de entorno. Posteriormente se calculan las proyecciones en la frontera de las unidades ineficientes corrigiendo los outputs. En una segunda fase se resuelve un nuevo modelo DEA de todas las unidades con los datos originales observados, añadiendo las unidades ineficientes con los inputs o outputs (dependiendo de la orientación) corregidos del efecto de las variables de entorno; en este último modelo ya no intervienen dichas variables.

² Este método no debe confundirse con el de dos etapas con variables "factores de eficiencia", donde solo se trata de establecer relaciones entre la eficiencia y dichas variables, sin la pretensión de corregirla.

Método 6.- Método de Programas (Charnes, Cooper y Rhodes, 1981)

Este método fue concebido para ser aplicado a casos en los que la variable de entorno es categórica (o discretizada), y sobretodo con el objetivo de estimar la eficiencia debida a la variable de entorno (programas). En una primera etapa se divide la muestra en las submuestras correspondientes a distintos valores de la variable de entorno, y se estima la frontera mediante DEA. Posteriormente se sustituyen los valores observados de input o outputs por sus valores objetivos (proyectados sobre la frontera), cada uno en su submuestra correspondiente. De esta forma se elimina en cada submuestra la ineficiencia (intraprograma) de las unidades ineficientes. En una segunda etapa se estima la frontera y el índice de eficiencia con toda la muestra y con los datos corregidos. El nuevo índice de eficiencia recoge el efecto que se debe únicamente a diferencias entre las categorías de la variable de entorno. En caso de programas esta medida nos daría la eficiencia de los mismos.

3.3. Métodos de tres etapas

Los métodos de tres etapas que se describen en este apartado tienen las siguientes características y etapas comunes:

- En una primera etapa se realiza la estimación de la frontera considerando solo los inputs y outputs propios de la producción, y sin que intervengan las variables de entorno. La idea de base de estos métodos es que los *slacks* totales (no solo los radiales) que proporciona la solución de este modelo DEA contienen el efecto tanto de la eficiencia de gestión intra-entorno, como la del entorno propiamente dicho.

- En una segunda fase se busca para cada input y output el *slack* mínimo dentro de su entorno, y se corrige el efecto en cada input y output. Se resuelve un modelo para cada uno.

- En la tercera y última etapa se resuelve, mediante DEA, el modelo de la primera fase con los datos corregidos provenientes de la segunda etapa. La eficiencia que resulta de esta última etapa es sólo de gestión. Tanto esta como la primera etapa son comunes a los cuatro modelos que se describen a continuación.

Método 7.- DEA + Múltiple DEA +DEA (Fried y Lovell, 1996)

La primera etapa es común a la definida para el grupo de métodos de tres etapas. En la segunda fase se resuelve un modelo DEA para cada input y output, poniendo los *slacks* totales como input, las variables de entorno como outputs y con orientación input. Fried y Lovell (1996) proponen corregir posteriormente cada input (y output) sumándole (o restándole) los *slacks* que se derivan de esta segunda etapa. La tercera y última etapa sería la definida anteriormente como común a este grupo.

Método 8.- DEA + Múltiple DEA +DEA (Muñiz, 2001)

Nuevamente, la primera etapa del método sería la común al grupo. Este método realiza la segunda etapa igual que Fried y Lovell (1996) en la resolución de los múltiples modelos DEA para la determinación de los *slacks* mínimos dentro del entorno. Sin embargo, introduce una interesante modificación en la corrección de los inputs y outputs, ya que no suma los *slacks* resultantes de la segunda etapa, sino precisamente los *target* (proyecciones en la envolvente) por considerar que estos son los que están recogiendo el efecto debido al entorno. Nuevamente la tercera etapa es la común a este grupo.

Método 9.- DEA + Múltiple MLG +DEA (Fried, Schmidt y Yaisawarng, 1999)

A la primera etapa, común al grupo, le sigue una segunda en la que se emplea métodos econométricos con el fin de separar el efecto debido al entorno del ocasionado por la eficiencia de gestión. Para ello se estima un modelo econométrico para cada input (en caso de orientación input) con la siguiente especificación:

- Variable endógena: *slack* total del input correspondiente a ese modelo.
- Variables exógenas: variables de entorno.

Posteriormente, se corrigen los valores correspondientes a ese input sumándole a su valor observado, para cada empresa, la diferencia entre su *slack* predicho tras la estimación y el mínimo predicho de toda la muestra. La tercera etapa es la común al grupo.

Método 10.- DEA + Múltiple SFA +DEA (Fried *et al.*, 2002)

La primera etapa es común a la definida para el grupo de modelos de tres etapas. En la segunda se emplea en este caso los métodos de frontera estocástica. La idea básica de esta fase es la consideración de que los *slacks* totales resultantes de la primera etapa contienen al error aleatorio además de las dos componentes estudiadas en el método anterior. La separación de las tres componentes se resuelve mediante la estimación de una frontera estocástica de mínimo (costes) para cada input (en caso de orientación input) con la siguiente especificación:

- Variable endógena para la frontera: *slack* total del input correspondiente a ese modelo.
- Variables explicativas de la frontera: variables de entorno.
- Error compuesto: $v+u$, con $u \geq 0$.

Posteriormente, se corrigen los valores correspondientes a ese input sumándole a su valor observado, para cada empresa, dos componentes: a) la diferencia entre su *slack* predicho en la frontera y el mínimo predicho de toda la muestra y b) la diferencia entre la v predicha y la mínima v predicha de toda la muestra. Esta corrección permite que los resultados de la tercera etapa den el nivel de eficiencia de gestión separado de los efectos del entorno y del error. La tercera etapa es nuevamente la común al grupo.

4.- UN MÉTODO DE TRES ETAPAS CON VARIABLES CATEGÓRICAS

A la vista de los métodos descritos en el apartado anterior, si bien todos tienen como fin común introducir en el análisis de eficiencia las variables de entorno, cada uno pudiera resultar más o menos apropiado dependiendo, entre otras cosas, de la naturaleza de las variables, del tamaño de las distintas submuestras a estudiar o del número total de variables (tanto de entorno como input y output).

Otro factor a considerar es el objetivo planteado con el análisis, ya sea la corrección del efecto del entorno o la detección y estudio del mismo. En este sentido, el método de dos etapas por programas de Charnes, Cooper y Rhodes (1981) realiza en primer lugar la estimación de la eficiencia de cada DMU dentro de cada programa, corrigiendo la ineficiencia a posteriori mediante una proyección a la frontera, con lo que el *slack* residual contendría dos componentes: el efecto del entorno (programa) y el del error. En la resolución del modelo DEA de la segunda etapa de este

método, que incluye toda la muestra, la distancia a la frontera recoge precisamente esos dos efectos conjuntos, habiendo sido corregida la ineficiencia en la primera etapa. Dado que el objetivo del método es comparar y estudiar la incidencia de la variable de entorno (programa), los *slacks* que resultan de dicha resolución proporcionan la información requerida para las comparaciones. Este método resulta por tanto apropiado para ser utilizado con este objetivo, sobretodo cuando las variables de entorno son del tipo categórica (o discretizada), con pocas categorías, y en casos en que las submuestras no se pueden escalonar o es difícil aventurar su efecto en la productividad para las distintas submuestras.

En los casos anteriormente mencionados, también sería interesante su aplicación no sólo enfocada a la comparación de eficiencias de programas, sino con el objetivo de estimar y analizar la eficiencia de cada DMU corregida del efecto de la variable de entorno. Con este fin, en este trabajo se propone un nuevo método de tres etapas con variables categóricas, que supone una continuación de la propuesta comentada de Charnes, Cooper y Rhodes (1981), y que tiene una parte común al de dichos autores, que incluye solo la primera etapa, y la segunda hasta la estimación del modelo DEA conjunto. Para ello se propone una nueva corrección de datos dentro de la segunda etapa, y una tercera etapa que dará origen a las eficiencias corregidas por la variable de entorno.

Para describir el método propuesto, que podría denominarse *Multiple DEA +DEA +DEA*, se plantea el caso de una variable de entorno dicotómica y orientada al input, por simplicidad y sin que esto suponga una grave pérdida de generalidad. Siguiendo con el ejemplo, se podría considerar una muestra de N empresas, donde las variables a contemplar en el análisis de eficiencia son M outputs (y_i), L inputs (x_i), con una variable de entorno dicotómica z con valores z_h para $h = a, b$. En función de dicha variable, la muestra queda dividida en dos submuestras, de tamaño N_h , cuyas matrices de datos serán Y_h ($N_h \times M$) para los outputs y X_h ($N_h \times L$) para los inputs, ambas para $h = a, b$. El método se puede analizar describiendo las tres etapas en las que se estructura, tal y como se propone a continuación:

a) *Primera Etapa*: Se divide la muestra en las submuestras correspondientes a distintos valores de la variable de entorno, y se estima una frontera mediante DEA para cada una de ellas. Siguiendo con el ejemplo propuesto, se estiman dos fronteras para $h=a$ y $h=b$ mediante dos modelos DEA orientados al input, obteniendo en cada una los *slacks* totales correspondientes a cada input y outputs (en su caso), que denominaremos S_{xjh} para $j = 1, \dots, L$, y S_{yih} para $i=1, \dots, M$.

Posteriormente se sustituyen los valores observados de input o output por sus valores objetivos (proyectados sobre la frontera), cada uno en su submuestra correspondiente. De esta forma se elimina la componente de ineficiencia relativa de cada unidad dentro de su grupo. Siguiendo nuevamente con el ejemplo, se calculan para cada valor de h (a y b) los nuevos valores para los inputs y outputs según la siguiente corrección:

$$X^h(n_h, j) = X_h(n_h, j) - S_{xjh} \text{ para } j = 1, \dots, L; n_h = 1, \dots, N_h$$

$$Y^h(n_h, i) = Y_h(n_h, i) + S_{yih} \text{ para } i = 1, \dots, M; n_h = 1, \dots, N_h$$

...siendo X_h y Y_h los valores originales, respectivamente, de inputs y outputs.

b) Segunda Etapa: Se estima una nueva frontera mediante DEA, con todas las unidades y con los valores corregidos. En esta etapa los nuevos *slacks* recogen el efecto debido a las dos componentes restantes, que son la influencia del entorno y el error. Continuando con el ejemplo, las nuevas matrices con los datos de outputs e inputs corregidos en la etapa anterior contienen todas las unidades muestrales y las denominamos Y^* ($N \times M$), y X^* ($N \times L$). En estas se basa el modelo DEA, que se resuelve en esta etapa orientado al input, y que dará como resultado *slacks* totales para cada input y output (en su caso) que son S^*x_j para $j = 1, \dots, L$, y S^*y_i para $i=1, \dots, M$. Posteriormente se corrigen los datos originales de inputs y outputs con dichos *slacks* para eliminar esos dos efectos. En el ejemplo, la corrección que se efectúa es la siguiente³:

$$X^{**}(n, j) = X(n, j) - S^*x_j \text{ para } j = 1, \dots, L; n = 1, \dots, N$$

$$Y^{**}(n, i) = Y(n, i) + S^*y_i \text{ para } i = 1, \dots, M; n = 1, \dots, N$$

c) Tercera Etapa: Se estima de nuevo mediante DEA la envolvente definitiva con los datos originales corregidos y procedentes de la segunda etapa. Como resultado de la corrección, las nuevas distancias a la frontera solo recogerán el efecto de la propia ineficiencia de cada DMU. En el ejemplo, las nuevas matrices con los datos de outputs e inputs corregidos en la etapa anterior contienen todas las unidades muestrales y se denominan Y^{**} ($N \times M$), y X^{**} ($N \times L$). En estas se basa el modelo DEA, que se resuelve en esta etapa orientado al input y que dará como resultado los índices de eficiencia de cada empresa que ya no contienen el efecto de la variable de entorno ni del error.

³ Hay que tener en cuenta que esta corrección se efectúa sobre los valores originales y no sobre los que sirvieron de base al modelo de la segunda etapa.

5.- EFICIENCIA DE LA INDUSTRIA DE CONSERVAS VEGETALES DE LA REGIÓN DE MURCIA CONSIDERANDO LA PERTENENCIA AL CTC

El método propuesto, expuesto en el apartado anterior, se ha aplicado en el estudio de la eficiencia de la industria de conservas vegetales de la Región de Murcia, proponiendo la consideración en el modelo de una variable de entorno categórica: la pertenencia al Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y la Alimentación (CTC). Se realiza este planteamiento bajo la hipótesis de que esta circunstancia ha provocado que las empresas que no pertenecen al CTC están operando en inferiores condiciones, y por tanto, tienen que ser estudiadas bajo el prisma de una frontera tecnológica distinta.

La concentración de esta actividad agroindustrial en esta provincia la sitúa entre las principales zonas productoras y exportadoras de conservas vegetales de toda España. Este sector, si bien está perdiendo peso en el conjunto de la estructura productiva regional -por las crisis que ha sufrido en las dos décadas pasadas y por la propia diversificación experimentada por el conjunto de la economía- sigue siendo la actividad industrial que más empleo genera, con 8.692 personas, generando un valor añadido al coste de los factores en el año 2001 de 244.619 miles de euros, cerca de un 10% del total producido por la industria regional. En la actualidad son cerca de ochenta las empresas de conservas vegetales que localizan su actividad productiva en la región (Cascales *et al.*, 2001). Entre finales de los años setenta y principios de los ochenta el sector de la conserva vegetal sufrió una importante crisis, acometiéndose procesos de concentración empresarial y de reestructuración que llevaron a la desaparición de un importante número de empresas, por lo general de escasa dimensión y falta de capacidad competitiva. Nuevamente a principios de los años noventa se produjo en el sector otra crisis, que supuso un retroceso en los valores añadidos brutos generados por el sector entre 1992 y 1993. Con objeto de paliar los efectos causados en el sector por la crisis de la década de los noventa, y de fortalecer al sector, la Administración regional⁴ y el sector conservero emprendieron un ambicioso plan denominado de Reconversión de la Conserva de la Región de Murcia (Plan RECOR) que se centraría en la modernización y tecnificación del sector.

⁴ En los presupuestos Generales de la Región de Murcia se hace mención al esfuerzo inversor realizado en el año 1997 en el Plan RECOR, así como en la modernización del sector agroalimentario regional (CARM, 1998).

Este plan se basó fundamentalmente en la realización de una campaña de promoción, refinanciación de pasivos, renovación de equipos a través de subvenciones y el desarrollo de un plan de calidad. Además, el Plan RECOR establecía de manera explícita que, tanto para las Administraciones Públicas como para la Agrupación de Conserveros será el Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y la Alimentación⁵ la unidad básica de investigación y tecnología de apoyo al sector (Cáscales *et al.*, 2002).

Los Centros Tecnológicos son un elemento esencial en la política industrial instrumentada en la pasada década por las autoridades autonómicas de cara a fortalecer la posición tecnológica de las PYMES industriales regionales (Colino y Riquelme, 2000). El CTC tiene su origen en la Asociación de Investigación de la Industria de las Conservas Vegetales (AICV), fundada en 1962. Fue en el año 1990 cuando el Instituto de Fomento de la Región de Murcia -a raíz de la puesta en marcha del programa STRIDE de la Unión Europea- adquirió el compromiso de construir y equipar un centro de asistencia tecnológica a las empresas del sector agroalimentario regional (CTC, 2003); sus tres principales objetivos son la prestación de servicios tecnológicos y de asesoría, la investigación y el desarrollo tecnológico e innovación, y la formación de técnicos en el sector. La labor desempeñada por este centro tecnológico en los escasos años de vida que tiene -de especial importancia para las pequeñas empresas que en el sector existen y que no cuentan con sus propios departamentos de I+D+I- le ha llevado a que cuente con más de 170 empresas asociadas, siendo aún mayor el número de empresas clientes de sus servicios.

La situación actual del sector conservero murciano sigue estando marcada por un contexto general de fuerte competencia e importantes dificultades. Se trata de un sector maduro, que se enfrenta a una creciente competencia internacional. Por otro lado, el potencial agrario de la región y el carácter tradicional de la actividad conservera confieren al sector una fuerte especialización, aunque la gestión empresarial ha abusado de la financiación de inversiones, afectando esto negativamente a su liquidez y a su capacidad de capitalización y crecimiento de sus estructuras. En

⁵ Este centro tecnológico sectorial, de propiedad y gestión privada, inaugura sus instalaciones en Molina de Segura el 29 de enero de 1997 a partir de fondos públicos, fundamentalmente subvenciones procedentes de los Fondos Europeos de Desarrollo Regional (FEDER) en las líneas de ayudas a regiones Objetivo nº1 de la UE, en la que la Región de Murcia se encuentra (CTC, 2003).

general, hay gran diversidad, conviviendo numerosas empresas de reducida dimensión y capacidad competitiva, con empresas de gran tamaño, líderes en el mercado.

Dada la situación reciente del sector de la conserva vegetal en la Región de Murcia y los procesos de modernización e inversión vividos en el mismo, resulta de gran interés la realización de un análisis de eficiencia de este sector, con el fin de detectar tanto su nivel de eficiencia, como algunos factores asociados a la posible ineficiencia. Además, teniendo en cuenta que el establecimiento del CTC ha podido inducir diferencias en productividad en las empresas estudiadas, se consideró que la pertenencia o no a este centro debe ser incluida en el análisis como una variable de entorno.

5.1. Metodología

El análisis de eficiencia de la Industria de conservas vegetales de la Región de Murcia se ha realizado desde la perspectiva de que el CTC ha podido incidir en el hecho de que los dos grupos de empresas en los que se divide la muestra, según pertenezcan o no al mismo, han de ser considerados en el contexto de diferentes fronteras de producción. Así, esta variable se trata en el análisis como una variable de entorno. Para la realización de dicho análisis, se ha aplicado el método de tres etapas propuesto en el apartado anterior.

Con el fin de detectar características asociadas a la eficiencia, se ha investigado además sobre la posible relación entre algunas variables "factores de eficiencia" y el índice final estimado por el método propuesto de tres etapas. Este último análisis se ha realizado aplicando técnicas no paramétricas de correlación y asociación estadística: el coeficiente de correlación por rangos de Spearman para variables cuantitativas y el contraste de la U de Mann-Whitney, para las cualitativas.

5.2. Datos

Los datos de base del análisis proceden de la información para el 2001 de una muestra de 38 empresas de conservas vegetales de la Región de Murcia⁶ que proporciona la base de datos DUNS 50.000 (D&B, 2002). En el caso de las empresas del sector ubicadas en esta provincia, es habitual que estas compaginen la producción de conservas de frutas y hortalizas, con la elaboración de zumos, jugos y néctares, siendo terceras empresas, y de manera más atomizada, las que en la provincia se dedican a la fabricación de aceitunas y encurtidos, o a la fabricación de productos de tercera gama de alimentos como congelados vegetales y deshidratados. Esta circunstancia llevó a limitar este estudio a las empresas que se dedican en la Región de Murcia a la producción de conservas (al natural, en almíbar o mermeladas) y zumos de frutas y hortalizas. Las variables incluidas en el análisis han sido:

- Output: *ingresos por ventas*.
- Inputs: *el activo total de la empresa*, y el *empleo* (nº de ocupados).
- Variable de entorno: *pertenencia* o no al *Centro Tecnológico*.
- Factores de Eficiencia: la *gama de productos* (como *proxy* de su esfuerzo de diversificación), la *orientación exportadora* de la empresa (% de las ventas destinadas a mercados externos), la *edad de la empresa*, el nivel de modernización de la *gestión comercial* (aproximada a través de la disponibilidad de imagen de empresa y servicios a través de internet), y el ser *filial* o no de una empresa extranjera.

En el cuadro nº 1 se recogen los principales estadísticos descriptivos de las variables que intervienen en el análisis. En él se puede observar una gran variabilidad en el conjunto de la muestra. Con respecto a la variable CTC, se aprecia que esta divide la muestra de modo que son 27 las que pertenecen al mismo.

⁶ La Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE) aglutina en el epígrafe Preparación y conservación de frutas y hortalizas (código 153): la Preparación y conservación de patatas (1.531), la Fabricación de jugos de frutas y hortalizas (1.532) y la Fabricación de conservas de frutas y hortalizas (1.533).

CUADRO 1. DESCRIPTIVA DE LA INDUSTRIA DE LA CONSERVA DE LA REGIÓN DE MURCIA.

Tipo de Variables		Características de la empresa	Media	Mínimo	Máximo
Output:	(V)	- Ingresos por ventas (<i>Euros</i>)	22.554.375	2.651.346	141.981.254
Input :	(A)	- Activo total (<i>Euros</i>)	15.697.754	97.768	69.798.095
	(O)	- Empleados (<i>ocupados</i>)	143	4	709
Factores de Eficiencia:	(D)	- Vida de la empresa (años)	25	2	82
	(E)	- Mercancías destinadas al extranjero (%)	49 %	0	98%
	(I)	- Mercancías importadas del extranjero (%)	2 %	0	10%
		Características cualitativas		Nº empresas (%)	
	(G)	- Gestión comercial con acceso a internet		11	(28.9)
		- Gama de productos:			
	(Fr)	1.- <i>Frutas</i>		12	(31.6)
	(Hr)	2.- <i>Hortalizas</i>		30	(78.9)
(Zm)	3.- <i>Zumos</i>		16	(42.1)	
(F)	- Filial de empresa extranjera		27	(71.1)	
Variable de Entorno	(CTC)	- Pertenencia al Centro Tecnológico de la Conserva		8	(20.5)

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Resultados

Tomando como base las variables ya descritas, y aplicando el método de tres etapas propuesto en este trabajo, se han obtenido los índices de eficiencia técnica y pura respectivamente de las empresas del sector, una vez corregido el efecto debido a la pertenencia al Centro Tecnológico.

Dadas las características del sector, y teniendo en cuenta que la demanda en la actualidad se puede considerar estancada, se ha optado por realizar una orientación al input con el objetivo de investigar sobre la posibilidad de optimizar el empleo de recursos existentes, desde la perspectiva de una posible reducción de input en las empresas que resulten ineficientes.

Los resultados correspondientes a la eficiencia técnica de la muestra, pura y de escala (ver cuadro nº 2), revelan que hay un 87% de empresas de la misma con ineficiencia de escala, y que por tanto no están operando en su tamaño óptimo, siendo la media de la eficiencia pura igual a 58,7 % lo

que indica que se podría conseguir un ahorro en inputs superior al 40%.

CUADRO 2. DESCRIPTIVA DE LOS INDICES DE EFICIENCIA

	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Típica	Empresas eficientes
Ef. Técnica	7,77	100	39,97	27,19	3 (8%)
Ef. Pura	9,12	100	58,70	33,50	11 (29%)
Ef. Escala	34,65	100	70,06	18,17	5 (13%)

Fuente: Elaboración propia.

Las posibles reducciones de input indican que, atendiendo a resultados medios, que predomina la reducción radial en torno al 42% en ambos factores, aunque existe la posibilidad de reducción adicional para el empleo, situándose la media en torno al 42,6 %. Existen sin embargo empresas para las que es posible una reducción en ambos factores de hasta el 90%. Asimismo se detectan *slacks* para el output solo para dos empresas, siendo estos del 34% y del 41%, lo que permitiría un aumento de las ventas además de la correspondiente reducción de input.

Incidencia de la variable de entorno

Con objeto de estudiar la repercusión que ha tenido la inclusión de la variable CTC como variable de entorno, se han estimado también los índices de eficiencia pura sin incluir esta variable para la muestra completa. Posteriormente se calculó un coeficiente de cambio en el índice mediante el tanto por ciento de incremento sufrido al considerar en el análisis dicha variable. Tras el análisis del coeficiente de cambio se concluye que el incremento sufrido es estadísticamente superior en las empresas que no pertenecen al CTC. Para ello se realizó un contraste de diferencia de medias mediante la U de Mann-Whitney (Sig Asint. =0,001), siendo los rangos promedios 28,73 para las empresas que no pertenecen al CTC y 15,74 para el resto.

Para estudiar diferencias debidas a la variable de entorno, se analizan los *slacks* provenientes de la segunda etapa tal como proponen Charnes, Cooper y Rhodes (1981) comparando los programas. En este caso, el resultado de un contraste de diferencias de medias mediante la U de Mann-Whitney (Sig. Asint. = 0,01) lleva a la conclusión de que las empresas pertenecientes al CTC, independientemente de la eficiencia intrasubmuestras, están mas cerca de la

frontera que las demás.

Estudio de relaciones entre la eficiencia y los “factores de eficiencia”

Con objeto de plantear posibles estrategias de mejora en la eficiencia del sector, se han realizado análisis de asociación entre la eficiencia y aquellas características de las empresas que se ha creído podían estar asociadas con una mejor o peor gestión de los recursos. Para las variables cuantitativas los resultados de la correlación por rangos arrojan que no hay asociación entre la eficiencia y la iniciativa exportadora de las empresas, ni tampoco con la antigüedad (experiencia) de las mismas. Con respecto a la diversificación de productos, distintas estructuraciones de las variables que reflejan el número de productos tratados, así como si son zumos, frutas u hortalizas, llevan a la conclusión de que la eficiencia no se asocia con la diversificación. En cambio, de los contrastes de la U de Mann-Whitney (Sig Asint = 0,006) se deduce que las empresas más ineficientes son las que se dedican a la elaboración de hortalizas.

La adopción de nuevas tecnologías de gestión comercial se ha modelizado a través de una *proxi* que recoge la disponibilidad de imagen y servicios a través de internet, por carecer de datos más relacionados con esta variable. De la aplicación del test de Mann-Whitney se deduce que no es significativa la diferencia de media de eficiencia entre las empresas que han adoptado estas tecnologías y las que no lo han hecho. Por último, en la muestra existen empresas que son filiales de otra empresa extranjera. Esta característica también ha sido analizada como posible factor de eficiencia, estudiando su relación con el índice mediante un contraste no paramétrico de diferencia de medias. El valor de la U de Mann-Whitney (Sig Asint = 0.046) lleva a rechazar la hipótesis de igualdad de medias, con lo que se deduce que las empresas que son filial de otra extranjera son más eficientes que las que no lo son.

6.- CONCLUSIONES

En el presente trabajo se realiza una revisión de los métodos que tienen en consideración variables de entorno para el análisis de eficiencia mediante métodos frontera. Se propone además un nuevo método de tres etapas que supone una continuación del propuesto por Charnes, Cooper y Rhodes (1981), siendo apropiado para el análisis de eficiencia que incluyen variables de entorno de carácter categórico. El nuevo método no sólo permite el estudio del efecto de la variable de entorno,

sino que separa este efecto de la eficiencia de cada empresa del sector.

De la aplicación de dicho método al análisis de eficiencia de la Industria Conservera de la Región de Murcia se deduce que el efecto debido a la pertenencia al Centro Tecnológico queda corregido en la última etapa, y que esta corrección es superior para las empresas que no pertenecen al mismo. La eficiencia del sector resulta ser de solo el 60%, lo que supone la posibilidad de emprender medidas para conseguir un ahorro en capital y empleo de alrededor del 40%.

Del estudio de asociaciones con factores de eficiencia se deduce que no existe dicha asociación entre la misma y la capacidad exportadora de la empresa, ni tampoco con la antigüedad como *proxy* de experiencia. Asimismo, las empresas con presencia en internet no han resultado significativamente más eficientes. Se detecta como característica asociada a la eficiencia el ser filial de una empresa extranjera, siendo por tanto este punto un interesante referente de cara a plantear mejoras en el sector.

7.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, A. (Ed.) (2001). *La medición de la eficiencia y la productividad*. Ed. Pirámide. Madrid.
- Banker, R.D.; R.C. Morey (1986a). "Efficiency Analysis for Exogenously Fixed Input and Outputs". *Operations Research*, Vol. 34, 4, pp. 513-521.
- Banker, R.D.; R.C. Morey (1986b). "The use of categorical variables in data envelopment analysis". *Management Science*. Vol. 32, 12.
- Bhattacharyya, A.; C.A.K. Lovell; P. Sahay (1997). "The impact of liberalization on the productive efficiency of Indian commercial banks". *European Journal of Operational Research*, nº98, pp. 332-345.
- Battese, G.E. (1992). "Frontier Production Functions and Technical Efficiency: A Survey of Empirical Applications in Agricultural Economics". *Agricultural Economics*, 7, pp. 185-208.
- Battese, G.E.; T.J., Coelli (1995). "A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data". *Empirical Economics*, nº 20.
- C.A.R.M. (1998): *Proyecto de Ley Presupuestos Generales de la Región de Murcia 1999*. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.
- Cascales, J.M.; P. Segura; F. Navarro (2001). *La industria de conservas vegetales en la Región de Murcia*. Editorial Dickinson. Madrid. Pp. 174.

- Coelli, T.; S. Perelman; E. Romano (1999). "Accounting For Environmental Influences In Stochastic Frontier Models: With Application To International Airlines". *Journal of Productivity Analysis*, 11, pp. 251-273.
- Colino, J.; P. Riquelme (2000). "Estructura industrial y desarrollo tecnológico en la Región de Murcia." *Economía Industrial*, nº 335/336, pp. 271-283.
- C.T.C. (2003): *Centro Tecnológico de la Conserva. Orígenes*. Centro Tecnológico Nacional de la Conserva. Disponible en internet: [<http://www.ctnc.es>].
- Charnes, A ;W.W. Cooper y E. Rhodes (1981). "Evaluating Program and Managerial Efficiency: An Application of Data Envelopment Analysis to Program Follow Through". *Management Science*, 27 (6), pp. 668-697.
- Dios, R.; J.M. Martínez; F. Martínez-Carrasco (2002). "Análisis de eficiencia en el sector comercializador y manipulador hortícola de Almería". *III Oviedo Workshop de on Efficiency and Productivity*. Oviedo.
- D&B (2002): "DUNS 50.000 Principales empresas Españolas". Edición 2003. Dun-Bradstreet. España. Agosto.
- Fried, H.; C.A.K. Lovell (1996). "Searching for the Zeds". *II Georgia Productivity Workshop*. Univ. Georgia.
- Fried, H.; C. Lovell; P. Vanden Eeckaut (1993). "Evaluating the Performance of U.S. Credit Unions". *Journal of Banking and Finance*, 17 (2/3), pp. 251-265.
- Fried, H.; S.S. Schmidt; S. Yaisawarng (1999). "Incorporating the Operating Environment into a Nonparametric Measure of Technical Efficiency". *Journal of Productivity Analysis*, 12 (3), pp. 249-267.
- Fried, H.; C.A.K. Lovell; S.S. Schmidt; S. Yaisawarng (2002). "Accounting for Environmental Effects and Statistical Noise in Data Envelopment Analysis". *Journal of Productivity Analysis*, 17, pp.157-174.
- Kumbhakar, C.A.; K. Lovell (2000). *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge University Press.
- Lozano, A.; J.T. Pastor; J.M. Pastor (2002). "An efficiency Comparison of European Banking Systems Operating under Different Environmental Conditions". *Journal of Productivity Analysis*, 18, pp. 59-77.
- McCarty, T. A.; S. Yaisawarng (1993). Technical Efficiency in New Jersey School Districts en Fried, H.; C. Lovell y S. Schmidt (eds) (1993) *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and applications*. Oxford University Press, New York.

- Muñiz, M. A. (2001). "¿Son realmente menos eficientes los centros LOGSE? (La evaluación DEA de los Institutos de Educación Secundaria)". *Hacienda Pública Española*, 157-2.
- Pastor, J.T. (1994). "How to discount Environmental Effects in Dea: An application to bank branches". *Documento de trabajo IVIE*.
- Pastor J.T.; J.L. Ruiz ; I. Sirvent (1999). "A Statistical Test for detecting influential observations in DEA". *European Journal of Operational Research*. 115 , pp. 542-554
- Pastor J.T.; J.L. Ruiz ; I. Sirvent (2002). "A Statistical Test for nested radial DEA models". *Operations Research*. 50 , pp. 728-735.
- Ray, S.C. (1991). "Resource-Use Efficiency in Public Schools: A Study of Connecticut Data". *Management Science*, 37 (12), pp. 1620-1628.
- Rouse, P. (1996). "Alternative Approaches to the Treatment of Environmental Factors in Dea: An Evaluation". Working Paper, University of Auckland, presented at the *II Georgia Productivity Workshop*.
- Seiford, L.M.; R.M. Thrall (1990). "Recent Developments in DEA: The Mathematical Approach to Frontier Analysis". *Journal of Econometrics*, 46, 7-3.