

# El Análisis de Eficiencia en el Sector Público mediante Métodos Frontera



En este trabajo se presenta la metodología que resuelve el análisis de eficiencia mediante métodos frontera. Se desarrollan los objetivos generales de dicho análisis y se exponen las dos técnicas más utilizadas en el mundo de la economía aplicada. En el ámbito no paramétrico el método más aplicado recibe el nombre de Data Envelopment Análisis (DEA), y estima la frontera de producción mediante la envolvente de los datos de la muestra analizada, utilizando técnicas de programación matemática. El método paramétrico estima una función frontera de producción de carácter econométrico. La distancia a la frontera permite determinar el índice de eficiencia por cualquiera de los dos métodos.

Igualmente se exponen las características del análisis de eficiencia aplicado al sector público particularizando para cada uno de los subsectores más estudiados como son el sector sanitario, el de educación secundaria, la docencia e investigación en la universidad, y los municipios.

Las técnicas de análisis de eficiencia mediante función frontera se presentan como idóneas para ser aplicadas al sector público, a pesar de las dificultades inherentes en dicho sector y además se aconseja la aplicación de las mismas con objeto de detectar debilidades en el sistema y plantear estrategias encaminadas a incrementar el nivel de eficiencia del mismo.

## 1.- INTRODUCCIÓN AL ANÁLISIS DE EFICIENCIA MEDIANTE FUNCIÓN FRONTERA

El análisis de eficiencia en producción es actualmente aplicado con mucha frecuencia en 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.

Se enmarca concretamente en el área de la Economía Aplicada y tiene como objetivo general analizar la eficiencia de un sector de empresas.

Un buen tratado sobre los aspectos más relevantes de esta materia se encuentra en el trabajo de Álvarez, A, (2001), así como en Coelli et al.(1998), y Kumbhakar y Lovell (2000).

Si nos centramos en el concepto de eficiencia técnica, definimos como eficiente a la empresa que obtiene el máximo posible de producción, habiendo empleado unos recursos dados, y como ineficiente a aquella empresa que usando los mismos recursos obtiene menos producción que la anterior.

Su estudio se apoya en la estimación de lo que denominamos frontera de producción, de modo que el índice de eficiencia técnica de la empresa se calcula mediante la razón entre la producción real y la producción (frontera) que hubiera alcanzado si hubiera empleado los factores de producción de forma totalmente eficiente. La frontera de producción se encontrará en el valor máximo alcanzable por cada empresa dados unos factores de producción.

La eficiencia económica valora la capacidad con que la empresa utiliza los factores de producción de forma óptima desde el punto de vista económico. Esta situación será la del mínimo coste para producir unos productos, dados unos precios para los factores y los productos. Dicha eficiencia nos vendrá dada por la relación entre el coste mínimo (frontera) y el coste real soportado.

La eficiencia asignativa se refiere sólo al uso de los factores en proporción óptima, por lo que se establece que el producto de eficiencia técnica por la asignativa es igual a la económica.

### 1.1. Áreas científicas

Las áreas científicas que se ven implicadas en el análisis de eficiencia son: Economía, Econometría, Investigación Operativa, Estadística y Teoría de la Producción.

En cuanto a los resultados que se pueden obtener tras el análisis de eficiencia de un sector de empresas, podemos puntualizar los siguientes:

- El nivel de eficiencia medio del sector.
- El índice de eficiencia de cada empresa.
- Ranking de empresas en función de la eficiencia.
- Factores que inciden en la eficiencia.
- Características o perfiles de las empresas más y menos eficientes.
- Estrategias de corrección del nivel de ineficiencia.

### 1.2. Aplicaciones

Son muchos los campos de aplicación en los que se pueden encontrar trabajos de investigación en el ámbito del análisis de eficiencia, aunque hay que comentar que las aplicaciones llevadas a cabo serán tanto más acertadas cuanto mejor se pueda modelizar el problema a resolver desde el enfoque de los procesos de producción. (Fried et al, 1993)

Los sectores que con más frecuencia han sido estudiados son:

- Agricultura y Ganadería.
- Sector Bancario.
- Sector Público:
  - Educación,
  - Universidad,
  - Hospitales,
  - Ayuntamientos,
  - Policía.

Hay que puntualizar, además, que, atendiendo a las más recientes inquietudes, se está desarrollando todo un campo de aplicación que tiene en consideración el aspecto medioambiental, dando esta nueva metodología lugar a la estimación de la eficiencia medioambiental conjuntamente con la eficiencia técnica. Así, la eficiencia técnica y económica se suelen ver mermadas en pro de ser más respetuoso con el medio ambiente, bien por iniciativa propia o

por tener que cumplir una normativa cada vez más presente en el ámbito industrial y agrario.

### 1.3. Orientaciones

Dependiendo del objetivo del estudio se plantean dos distintas orientaciones en la estimación de la frontera:

La orientación output, que es el enfoque comentado hasta aquí, estima el aumento proporcional en output que podría conseguir cada empresa ineficiente, si no lo fuera, y usando los mismos inputs. Esta medida es la distancia en output desde su output observado hasta la frontera y por tanto es una estimación de su índice de eficiencia.

Por el contrario, en la orientación input se estima la frontera de inputs, siendo el índice de eficiencia la reducción proporcional que podrían sufrir los inputs de la empresa ineficiente, si se comportara como las eficientes y produciendo lo mismo.

En base a estos dos planteamientos, se enfocará la orientación del análisis dependiendo de las circunstancias productivas del sector. En el enfoque output, las ineficiencias detectadas se tratan de corregir manteniendo los mismos inputs y haciendo a las empresas ineficientes que produzcan más. Sin embargo tras una orientación al input, se detectan las posibilidades de reducción en el uso de inputs manteniendo el nivel actual de producción.

Hay que señalar, no obstante que cuando las empresas se desenvuelven manteniendo retornos de escala constantes, las dos orientaciones dan lugar a la misma estimación del nivel de eficiencia.

### 1.4. Metodologías

Las dos metodologías más usadas en la actualidad para estimar eficiencias mediante función frontera son la programación matemática aplicando DEA (Seiford y Thrall, 1990) y la que se denomina frontera econométrica ( Battese, 1992).

La técnica del Análisis Envolvente de Datos (DEA) es una técnica de programación lineal que facilita la construcción de una superficie envolvente, frontera eficiente o función de producción empí-

rica, a partir de los datos disponibles del conjunto de entidades objeto de estudio, de forma que aquellas que determinan la envolvente son denominadas entidades eficientes, y permite la evaluación de la eficiencia relativa de cada una de las entidades.

La metodología Data Envelopment Analysis (DEA), dado que es una técnica no-paramétrica, no supone ninguna forma funcional de la relación entre los inputs y los outputs, ni una distribución de la ineficiencia. Además, es capaz de manejar situaciones de múltiples inputs y outputs, expresados en distintas unidades. Son precisamente estas ventajas de DEA las que han favorecido su uso extensivo.

El modelo DEA con orientación input debido al planteamiento de Charnes, Cooper y Rhodes (1978) (CCR) puede expresarse, en términos matriciales, de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda} \quad & \theta, \\ -y_i + Y\lambda & \geq 0 \\ \theta x_i - X\lambda & \geq 0 \\ \lambda & \geq 0 \end{aligned} \tag{1}$$

Donde  $Y$  es una matriz de outputs de orden  $(s \times n)$ ,  $X$  es una matriz de inputs de orden  $(m \times n)$ ,  $y_i$  y  $x_i$  representan los vectores de outputs e inputs, respectivamente, de la entidad que está siendo evaluada,  $\lambda$  es el vector  $(n \times 1)$  de pesos o intensidades y  $\theta$  denota la distancia proporcional en inputs a la envolvente y por tanto, la medida del índice de eficiencia técnica. Este modelo supone retornos constantes a escala.

Sin embargo es frecuente que resulte más apropiado con la tecnología de producción suponer retornos variables. En ese caso, se aplica el modelo desarrollado por Banker, et al. (1984) que se diferencia del anterior en que añade una restricción sobre las intensidades, obligando a la suma unitaria de las mismas. Así, el modelo se expresa del siguiente modo:

$$\begin{aligned} & \min_{\theta, \lambda} \theta, \\ & -y_i + Y\lambda \geq 0 \\ & \theta x_i - X\lambda \geq 0 \\ & \lambda \geq 0 \\ & i\lambda = 1 \end{aligned} \quad (2)$$

Fig 1 input orientation (BCC)

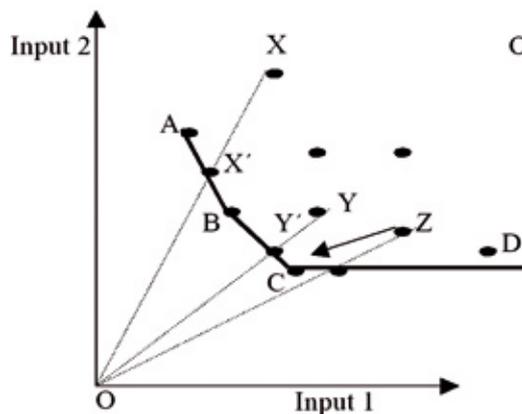
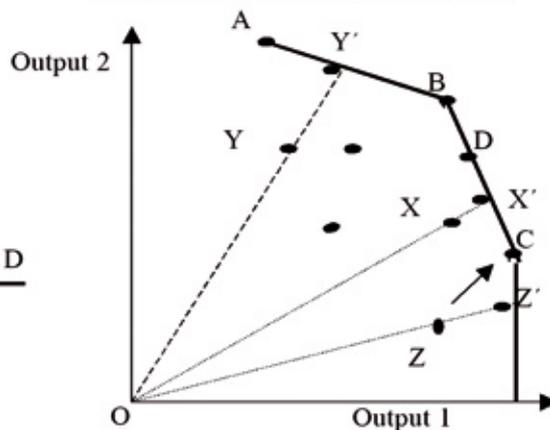


Fig 2 output orientation (BCC model)



Fuente: Herrero (2002)

En las Figuras 1 y 2 se pueden observar las representaciones del modelo de retornos constantes en sus dos orientaciones input y output respectivamente.

En la figura 1, la envolvente de datos (frontera) para la orientación input está constituida por la línea quebrada de vértices A, B, C, que son las empresas eficientes de la muestra. La empresa X es una empresa ineficiente cuya referente eficiente está sobre la frontera, en el punto X'. Dicha empresa consume menos inputs que la empresa X, produciendo lo mismo. Por tanto, el índice de eficiencia de la empresa X se calcula mediante el ratio (OX' / OX). Esto supone que la empresa X podría reducir sus inputs proporcionalmente, siguiendo radialmente la línea OX, siendo la máxima reducción posible igual a su ineficiencia.

Si observamos la figura 2, la frontera de outputs está definida por la línea de vértices A, B, C, y de nuevo son estas las empresas eficientes y siendo en cambio ineficientes todas las que no alcancen la envolvente.

La empresa X es, por tanto, ineficiente y su índice de eficiencia será igual al ratio (OX / OX'). Para llegar a ser eficiente, dicha empresa podría aumentar la producción de sus output proporcionalmente en la dirección OX', hasta situarse en la frontera.

Esta frontera de producción también puede ser aproximada aplicando métodos econométricos, constituyendo esta metodología la otra alternativa para el análisis de eficiencia mediante función frontera.

Así, bajo el enfoque econométrico, la función de producción frontera se especifica por medio del modelo:

$$y = X * \beta + \varepsilon \quad (3)$$

donde la variable de error  $\varepsilon$  recoge la diferencia entre la parte sistemática del modelo y los valores observados.

En el ámbito del estudio de la eficiencia, y en base al modelo anterior, se pueden considerar dos enfoques que son los siguientes:

Frontera Global o Determinística:

En este enfoque, la variable de error representa la ineficiencia del sistema. Por tanto, las diferencias ocurridas entre la Y observada y la correspondiente frontera se debieron únicamente a ineficiencia. Este planteamiento supone que la variable de error debe tomar siempre valores negativos, y la frontera estimada superará siempre a los valores observados, excepto para la empresa más eficiente cuya producción se encuentra sobre la frontera.

La especificación que se plantea para este tipo de variable de error debe de ser congruente con la característica de no tomar valores positivos y suele adoptar forma asimétrica dado el fenómeno que recoge. Las variables Exponencial, Seminormal, Normal Truncada y Gamma, han sido las consideradas con más frecuencia en la literatura, tanto en este enfoque, como en el de error compuesto que analizaremos más adelante.

La estimación del índice de eficiencia para cada individuo se calcula mediante el índice de Timmer (Timmer, 1970), que cuantifica de manera relativa al más eficiente, la razón entre el resultado obtenido y el máximo que podría haber conseguido (frontera) si hubiera sido totalmente eficiente.

Frontera Estocástica o de Error Compuesto:

En el enfoque de Error Compuesto, la variable de error no sólo recoge el efecto de la ineficiencia, sino que también existe otra fuente de error incluida en la misma, que no es controlable por el individuo. Se admite, por tanto, que la variable  $\varepsilon$  se genera como diferencia entre una variable estocástica  $v$  (no controlable, simétrica, y definida entre  $-\infty$  e  $\infty$ ) y la variable de ineficiencia  $u$ , que en este caso será siempre positiva y asimétrica, como la definida para la frontera global. La variable  $v$  se especifica con distribución Normal con media cero y varianza  $\sigma_v^2$ , y la variable  $u$  se ha especificado con las distribuciones ya comentadas para la ineficiencia, que son la Exponencial, Seminormal, Normal Truncada y Gamma.

Para realizar el análisis de la eficiencia con este planteamiento, en base a la especificación que se establez-

ca para  $u$ , se procede a estimar por máxima verosimilitud el modelo de función frontera, suponiendo para el error compuesto la distribución que le corresponda a  $v$  y  $u$ . Como resultado inmediato de dicha estimación se obtienen los residuos que recogen dicho error compuesto, del que habrá que extraer la parte que se deba realmente a ineficiencia.

Aigner et al. (1977) plantearon el modelo de función frontera con error compuesto con la especificación Normal-Seminormal resolviendo la estimación maximoverosímil de los parámetros  $\beta$ ,  $\sigma_v^2$  y  $\sigma_u^2$ . Posteriormente Stevenson (1980), generalizó la especificación a la Normal-Normal Truncada y la Normal-Gamma.

El modelo estimado por máxima verosimilitud nos permite estimar los residuos correspondientes. Sin embargo la estimación del índice de eficiencia individual para cada empresa viene dado por la expresión:

$$IE = e^{-u_i} \quad , \quad (4)$$

con lo que se hace necesaria la descomposición de  $\varepsilon$  en sus dos componentes  $v$  y  $u$ . Esta descomposición no fue resuelta hasta que Jondrow et al (1982) propusieron un método para realizar dicha descomposición, basando la estimación de la variable  $u$  en su distribución condicionada al error compuesto  $\varepsilon$ .

Siendo el error compuesto  $\varepsilon = v - u$  y las distribuciones de  $v$  y  $u$  las siguientes:

$$v_i \approx N(0, \sigma_v^2) ; u_i \approx [N(0, \sigma_u^2)] ,$$

la varianza de dicho error compuesto será:

$$\sigma^2 = \sigma_u^2 + \sigma_v^2 \quad ,$$

y la distribución condicionada de  $u$  dado  $\varepsilon$  sigue una variable normal truncada en cero  $N(\mu_u, \sigma_u^2)$  donde

$$\mu_u = -\frac{\sigma_u^2 \varepsilon}{\sigma^2} \quad ; \quad y \quad \sigma_u^2 = \frac{\sigma_u^2 \sigma_v^2}{\sigma^2}$$

Si definimos  $\lambda$  como  $\lambda = \frac{\sigma_u}{\sigma_v}$ , se puede predecir

el valor de variable  $u$  por medio de la esperanza matemática de esa distribución condicionada, que se expresa de la siguiente forma:

$$E(u|\varepsilon) = \sigma_* \left[ \frac{f\left(\frac{\varepsilon\lambda}{\sigma}\right)}{1 - F\left(\frac{\varepsilon\lambda}{\sigma}\right)} - \left(\frac{\varepsilon\lambda}{\sigma}\right) \right]$$

donde  $f(\cdot)$  y  $F(\cdot)$  son las funciones de densidad y distribución de la normal estándar respectivamente.

### 1.5. Factores que afectan al análisis de eficiencia

El análisis de la eficiencia hasta aquí descrito nos permite estimar no sólo el nivel de eficiencia medio de la muestra, sino el índice de eficiencia de cada empresa.

Es interesante, sin embargo, tener en cuenta la influencia debida a factores externos al proceso de producción y, por tanto, incontrolables por el responsable de la gestión de la empresa. Estos son los que llamamos Factores de ambiente o entorno y que vendrán representados por variables que afectan a la frontera. Estos factores son los que repercuten en el hecho de que existan circunstancias particulares para submuestras, que provocan que la frontera no sea común a todas las unidades. La realización de un análisis conjunto, 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. Un ejemplo puede ser el número de habitantes de los municipios, o el sistema de regadío y secano en agricultura.

La introducción de las variables de entorno en el análisis de eficiencia se hace mediante su inclusión en el cálculo de la frontera, de modo que distintos valores de dichas variables provoquen un cambio en la misma y, por tanto, en el índice de eficiencia calculado para cada empresa.

Hay que distinguir, sin embargo, entre estos factores y las Variables que afectan a la eficiencia. Estas son las que inciden en la eficiencia propiamente dicha, es decir, en la distancia entre los resultados

de la empresa y su frontera. Este análisis resulta sumamente interesante, ya que la detección de las características que inciden en las ineficiencias de la muestra, nos permitirá aplicar estrategias con el fin de corregir dichas ineficiencias (Dios et al., 2002).

## 2. LA MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA EN EL SECTOR PÚBLICO

Un factor importante a considerar en el estudio de la eficiencia en el sector público es el tamaño. El tamaño del sector público se puede medir mediante los ingresos fiscales divididos por el PIB en %. (Lovell y Muñiz, 2003)

En España, dicho tamaño es grande a nivel mundial, pero se puede considerar pequeño a nivel europeo. La eficiencia del sector guarda relación con su tamaño, ya que de éste depende el del sector privado, y la interrelación entre los dos sectores dará lugar al comportamiento general del sistema.

Las administraciones públicas son el agente más importante cuantitativamente y por tanto sería deseable que operaran con eficiencia, obteniendo la mejor relación entre recursos empleados y resultados obtenidos.

Con el fin de proceder de forma eficiente, la administración debe de plantear acciones en los siguientes frentes de actuación:

- 1) En el ámbito de la recaudación de ingresos tributarios uno de los grandes problemas es que la economía sumergida supone un 23% del PIB. Este problema, de difícil solución es una de las causas de ineficiencia.
- 2) Otro objetivo de mejora estaría encauzado a conseguir una óptima asignación eficiente de recursos entre empleos alternativos de presupuesto.
- 3) Por último, sería imprescindible tratar de conseguir el empleo eficiente de recursos en cada actividad productiva.

En el ámbito del grado de preocupación e interés de la Administración pública por conseguir un comportamiento eficiente, la tendencia y situación actual debería ser tratar de conseguir una institu-



cionalización plena y real de los análisis de eficiencia y productividad, así como trasladar los resultados académicos a la práctica.

### 3. APLICACIONES DEL ANÁLISIS DE EFICIENCIA AL SECTOR PÚBLICO

El análisis de eficiencia mediante métodos frontera se ha aplicado al sector público sobre todo desde el entorno universitario, donde se han ido realizando distintos enfoques más con objetivos de introducir nuevas metodologías, que con el de resolver los problemas de eficiencia del sector.

Como características generales de dicho análisis encontramos fundamentalmente los siguientes:

A) Problemas que se presentan:

- Dificultad en definir y cuantificar outputs e inputs, sobre todo porque en su gran mayoría consisten en prestación de servicios.
- Necesidad de modelizar la tecnología mediante una función flexible y esto supone una gran dificultad dadas las características propias del sector.

- Existe un problema de pobreza de datos.
- B) Requisitos aconsejados:
- Se aconseja que haya una planificación para elaborar los datos previamente.
  - Es conveniente que la toma de datos y los análisis sean sistemáticos y recurrentes.
  - Debe de concretarse previamente quién evalúa en cada caso con el fin de evitar distorsiones.
- C) Deficiencias :
- La más importante es la falta de exploración previa del servicio evaluado, si bien hay que tener en cuenta la existencia de un grave problema de dificultad para obtener datos.

En general, se destaca la metodología DEA como la más adecuada.

#### 3.1. Aplicación al Sector Sanitario

En el sector sanitario se han realizado importantes aplicaciones, siendo una de las más recientes la realizada por Navarro (1999) con referencia a los hospitales de Andalucía.

En este sector, los puntos a tener en cuenta en el



análisis de eficiencia son los siguientes:

- A) Problemas que se presentan:
- Medir el producto sanitario, sobre todo desde el punto de vista dinámico debido al cambio de técnicas.
  - Existe una gran sensibilidad de la solución a distintas importancias de objetivos, según se lleve a cabo el trabajo de una forma u otra.
- B) Unidades a estudiar:
- Centros hospitalarios homogéneos.
  - Servicios homogéneos.
- C) Definición de variables:
- Output:
    - nº de altas.
    - nº de intervenciones.
  - Inputs:
    - nº de camas.
    - nº de empleados.
    - nº de médicos.
    - gasto en distintos departamentos.

### 3.2.-Aplicación a la Educación Secundaria

En el sector de la educación secundaria también

se pueden encontrar aplicaciones interesantes como la de Muñiz (2001).

Las características generales que presenta este tipo de aplicación son las siguientes:

- A) Problemas que se presentan:
- Definir los factores que influyen en el rendimiento escolar.
  - Establecer distintos conjuntos socio-económicamente homogéneos.
  - Medir el producto con ausencia de evaluación externa.
- B) Unidades a estudiar:
- Centros Educativos homogéneos.
- C) Definición de variables:
- Outputs:
    - calificaciones escolares
    - % de aprobados
  - Inputs:
    - gastos del centro
    - nº de profesores
    - infraestructura del Centro
    - gastos en personal

### 3.3. Aplicación a la Universidad

Este sector ha recibido atención para ser analizado mediante esta metodología a pesar de las limitaciones que tiene, como se puede ver en los trabajos de García Valderrama (1999) y Koronen et al. (2001).

Las características generales son las que se exponen a continuación:

- A) Problemas que se presentan:
- Medir el resultado de investigación.
  - Medir el resultado de la docencia.
- B) Unidades a estudiar:
- Departamentos de una Universidad.
  - Áreas de conocimiento dentro de Departamentos.
- C) Definición de variables:
- Outputs:
    - nº de publicaciones
    - nº de conferencias
    - asistencia a congresos
    - clases impartidas

- resultados de encuestas de los alumnos
- Inputs:
  - nº de profesores
  - presupuesto del departamento
  - gastos en personal

### 3.4. Aplicación a Municipios

En el estudio de la eficiencia de municipios y ayuntamientos el problema más importante es que se trata sobre todo de prestación de servicios múltiples a una comunidad, y estos son muy difíciles de evaluar. Por este motivo los trabajos que se han realizado en este campo consideran como output variables proxies relacionadas con la población demandante del servicio. En el trabajo de Jiménez y Prior (2003) se aplica el análisis de eficiencia en el ámbito de municipios:

A) Servicios Prestados: El tipo de servicios que el ayuntamiento debe de proporcionar al ciudadano va aumentando según el tamaño del municipio siendo obligatorios los que se señalan a continuación:

- I) Todos los municipios
  - Iluminación pública.
  - Cementerios.
  - Recogida de residuos.
  - Limpieza viaria.
  - Agua Potable.
  - Accesos a los núcleos de población.
  - Conservación de las vías públicas.
  - Control de alimentos y bebidas.
- II) Mayores de 5.000 habitantes
  - Parque público.
  - Biblioteca pública.
  - Mercado.
  - Tratamiento de residuos.
- III) Mayores de 20.000 habitantes
  - Protección civil.
  - Prestación de servicios sociales.
  - Prevención y extinción de incendios.
  - Instalaciones deportivas de uso público.
  - Matadero.
- IV) Mayores de 50.000 habitantes
  - Transporte colectivo urbano de viajeros.

- Protección del medio ambiente.
- B) Objetivos: Eficiencia técnica o económica.
- C) Unidades a estudiar: Municipios.
- D) Definición de variables:
  - Outputs: Normalmente hay que utilizar proxies de los servicios recibidos que se aproximan por medio de las unidades que demandan los servicios como son:
    - Superficie urbana en hectáreas,
    - Población Total,
    - Número de automóviles,
    - Número de edificios,
    - Toneladas de residuos,
    - Longitud de carreteras,
    - Número de personas mayores de 65,
    - Número de beneficiarios de la renta de subsistencia,
    - Número de crímenes,
    - Número de estudiantes de primaria.
  - Inputs:
    - Gastos en personal,
    - Infraestructura,
    - Compra de bienes y servicios,
    - Parque móvil,
    - nº de autobuses,
    - nº de camiones de basura, etc.

### 4. Conclusiones

En primer lugar hay que señalar que el sector público se presenta en gran medida como ineficiente. Esta conclusión se deriva de los análisis efectuados hasta la fecha, tanto por métodos convencionales como a través de la estimación de funciones frontera.

En base a dichos análisis podemos plantear la necesidad de profundizar en estos estudios, con el fin de valorar en cada subsector el nivel de la ineficiencia presente, y poner los medios para el establecimiento de estrategias que lleven a paliar las deficiencias presentes.

Dado que los métodos de análisis que estiman funciones fronteras permiten a su vez determinar los factores que pueden provocar la ineficiencia, dichos métodos se destacan como muy idóneos para efectuar el estudio de la eficiencia del sector público.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aigner, D.J., Lovell, C.A.K., Schmidt, P.**, (1977), "Formulation and Estimation of Stochastic Frontier Production Function Models", *Journal of Econometrics*, 6, 21-37
- Álvarez Pinilla, A.** (Ed.) ( 2001), *La medición de la eficiencia y la productividad*, Madrid, Ed Pirámide
- Banker, R., A. Charnes y W. Cooper** (1984): "Some models for estimating technical and scales inefficiencies in Data Envelopment Analysis". *Management Science*, nº 30. Pp. 1078-1092.
- Battese, G.E.**, (1992), "Frontier Production Functions and Technical Efficiency: A Survey of Empirical Applications in Agricultural Economics", *Agricultural Economics*, 7, 185-208
- Charnes, A.; W. Cooper y E. Rhodes** (1978) "Measuring the efficiency of decision making units". *European Journal of Operational Research*, nº 2 429-444.
- Coelli, T.J, D.S. Prasada Rao and G.E. Battese** (1998), *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*, Kluwer Academic Publishers.
- Dios Palomares, R; J. M. Martínez Paz, y F. Martínez-Carrasco Pleite**, (2002) "Análisis de eficiencia en el sector comercializador y manipulador hortícola de Almería". *III Workshop de Eficiencia y Productividad*. Oviedo.
- Fried, H.; C. Lovell y S. Schmidt (eds)** (1993) *The Measurement of Productive Efficiency: Techniques and applications*. Oxford University Press, New York.
- Jiménez y Prior** (2003), "Evaluación Frontera de Eficiencia en Costes. Aplicación a los municipios de Cataluña", *Papeles de Economía Española*, 95 :113-124.
- Jondrow, J., Lovell, C.A.K., Materov, I. S., Schmidt, P.**, (1982) "On Estimation of Technical Inefficiency in the Stochastic Frontier Production Function Model", *Journal of Econometrics*, 19, 233-238.
- Kohonen, P.; R. Tainio y J. Wallenius** (2001), "Value efficiency analysis of academic research", *European Journal of Operational Research*, 130,1 :121-32
- Kumbhakar, C.A. y K. Lovell**, (2000), *Stochastic Frontier Analysis*, Cambridge University Press.
- Lovell, C. A. K. y M.A. Muñiz**, (2003), "Eficiencia y Productividad en el sector público. Temas dominantes en la literatura". *Papeles de Economía Española*, 95, 47-65.
- 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.
- Navarro, J.L.** (1999) "La medida de la eficiencia técnica en los hospitales públicos andaluces". *Hacienda Pública Española*, 148
- Seiford, L.M., Thrall, R.M.**, (1990), "Recent Developments in DEA: The Mathematical Approach to Frontier Analysis", *Journal of Econometrics*, 46, 7-3
- Stevenson, R.E.** (1980), "Likelihood function for generalized stochastic frontier estimation". *Journal of Econometrics*, nº 13, pp 57-66.
- Timmer, C. P.** (1970), "On measuring technical efficiency". *Food Research institute Studies*, nº 9, pp 99-171.