

# **ANÁLISIS NO PARAMÉTRICO DE EFICIENCIA EN EXPLOTACIONES LECHERAS**

## **E. GONZÁLEZ FIDALGO**

Dpt. de Economía. Universidad Pompeu Fabra  
C/ Córcega 255, 6º02, 08038 Barcelona

## **A. ÁLVAREZ PINILLA**

Dpt. de Economía. Universidad de Oviedo  
Av. Cristo s/n, 33006 Oviedo

## **C. ARIAS SAMPEDRO**

Dpt. de Economía. Universidad de Oviedo  
Av. Cristo s/n, 33006 Oviedo

### **RESUMEN**

En este trabajo se aplica un método no paramétrico (DEA) para estimar el grado de eficiencia técnica, de escala y de congestión de 133 explotaciones lecheras asturianas, en 1991. Sólo el 5% de ellas son técnicamente eficientes, pudiendo conseguirse en el resto un ahorro medio de recursos del 22% mediante mejoras en la gestión y/o adoptando la escala productiva apropiada. Coincidiendo con los resultados obtenidos en trabajos anteriores, como Álvarez (1991), la eficiencia técnica no se encuentra relacionada con el tamaño de la explotación pero sí con ciertas variables técnicas de resultados.

**PALABRAS CLAVE:** Eficiencia  
No paramétrico  
Explotaciones lecheras

### **INTRODUCCIÓN**

El concepto de eficiencia productiva hace referencia a la manera más adecuada de utilizar los recursos, con la tecnología de producción existente. Según la clasificación establecida por Farrell (1957), la eficiencia productiva se puede dividir en dos componentes: eficiencia técnica y asignativa. La ineficiencia técnica aparece cuando una unidad productiva no consigue el máximo output posible, dada su dotación de inputs, o utiliza más inputs de los necesarios para obtener un determinado volumen de producción. La eficiencia desde el punto de vista asignativo se consigue cuando el empresario decide las cantidades de factores que utiliza, de forma tal que sus precios se igualen a sus productividades marginales.

Färe, Grosskopf y Lovell (1985) realizan una división de la eficiencia técnica de Farrell, también llamada eficiencia técnica global, en tres componentes: eficiencia de escala, eficiencia técnica pura y eficiencia de congestión. La eficiencia de escala se alcanza cuando el empresario elige adecuadamente la escala de producción, en los casos en que la tecnología de producción subyacente presenta rendimientos a escala variables. La ineficiencia de congestión aparece cuando la cantidad utilizada de algún input es tan grande que origina un fenómeno de saturación, de forma que aportaciones adicionales de dicho input provocan una disminución de la cantidad producida. Por su parte, el concepto de eficiencia técnica pura es idéntico al de eficiencia técnica global, una vez descontadas las ineficiencias de escala y de congestión.

Para evaluar el grado de eficiencia técnica con que actúa una explotación es necesario conocer cómo es la tecnología que caracteriza su actividad. Tradicionalmente se han venido utilizando dos métodos para la estimación de la tecnología. Por un lado, en la aproximación paramétrica se parte de la especificación de una forma funcional para la frontera de producción, cuyos parámetros se estiman a partir de los datos<sup>1</sup>. Por otra parte, en la aproximación no paramétrica no es necesario especificar una forma funcional concreta, sino que se establecen ciertas propiedades que debe satisfacer el conjunto de posibilidades de producción y, a partir de ellas, se calcula su frontera como una envolvente a los datos, determinándose para cada una de las observaciones si pertenece o no a dicha frontera. Los índices de eficiencia se obtienen como resultado de comparar la actuación de cada empresa con las mejores prácticas productivas observadas, que definen la frontera eficiente, o *frontera de mejor práctica*. El uso de las distintas aproximaciones puede conducir a resultados muy diferentes, como en Elyassiani y Medhian (1993).

Una de las principales ventajas de la aproximación no paramétrica es su flexibilidad, en el sentido de que impone condiciones menos restrictivas sobre la

---

<sup>1</sup> Una amplia descripción de la aproximación paramétrica puede encontrarse en Lovell y Schmidt (1988).

tecnología de referencia y también en cuanto a que se adapta a contextos multiproducto, y de ausencia de precios, con relativa sencillez. Además, permite desagregar la medida de eficiencia técnica global en sus tres componentes. Sin embargo, su gran flexibilidad es también su principal inconveniente, puesto que la frontera de referencia obtenida se muestra más sensible a problemas de *outliers* y de errores de medida, que la frontera estimada a partir de una especificación de carácter paramétrico. Asimismo, el carácter determinístico de la aproximación no paramétrica implica que cualquier desviación respecto de la frontera es atribuida a comportamientos ineficientes, confundiendo la ineficiencia con los factores aleatorios que pudieran afectar al proceso productivo. Para un análisis más amplio y pormenorizado sobre las ventajas e inconvenientes de las distintas aproximaciones véase Pastor (1995).

Varios estudios anteriores, todos ellos desde la aproximación paramétrica, han encontrado evidencia empírica sobre la existencia de un importante grado de ineficiencia en las explotaciones lecheras asturianas. Álvarez, Belknap y Saupe (1988) y Álvarez (1991) estiman un nivel medio de eficiencia técnica del 40% y 91%, respectivamente. Más recientemente, Álvarez y Arias (1993), utilizando un modelo de efectos fijos y otro de efectos aleatorios con datos de panel, obtienen unos índices de eficiencia técnica media del 73% y 82%, respectivamente. En ninguno de estos estudios se encontró relación entre tamaño y eficiencia técnica.

En este trabajo se pretende evaluar el grado de eficiencia técnica de 133 explotaciones lecheras asturianas utilizando una aproximación no paramétrica, en un contexto de largo plazo en que se supone que no existen inputs fijos. Las causas que motivan tal elección son fundamentalmente tres: en primer lugar, evitar las rigideces propias de los métodos paramétricos a la hora de estimar la frontera de referencia; en segundo lugar, permitir un estudio más detallado de las causas de la ineficiencia, mediante la utilización de las medidas de eficiencia técnica pura, de escala y de congestión; por último, comparar los resultados obtenidos con los de estudios previos realizados desde la aproximación paramétrica. También se desea analizar la influencia de la ubicación geográfica de las explotaciones (Costa-Interior), así como la existencia

de patrones de comportamiento que puedan caracterizar a las explotaciones más eficientes.

## LA REPRESENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN EL CONTEXTO NO PARAMÉTRICO

Para poder medir el grado de eficiencia técnica con que actúa una unidad productiva (UP) es necesario conocer la tecnología con la que opera, que se representa mediante una relación entre los inputs que utiliza y los outputs que obtiene en el proceso de producción. En una actividad productiva en la que  $n$  explotaciones utilizan  $m$  inputs  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)' \in \mathfrak{R}_+^m$  para producir  $s$  outputs  $\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_s)' \in \mathfrak{R}_+^s$ , cada par de vectores  $(\mathbf{x}, \mathbf{y})$  constituye un proceso productivo concreto. La tecnología puede caracterizarse mediante el conjunto de posibilidades de producción (CPP), definido como el conjunto de procesos productivos que es posible llevar a cabo.

Los métodos no paramétricos de evaluación de la eficiencia se basan en el trabajo de Farrell (1957), en el que se imponen las siguientes propiedades sobre el CPP:

- *Convexidad*: el CPP está compuesto por los procesos productivos observados y por el conjunto convexo que delimitan.

- *Rendimientos a escala constantes (REC)*: el CPP está compuesto por todas las combinaciones lineales de los procesos productivos observados.

- *Eliminación gratuita de inputs y outputs*: implica que una UP puede producir igual cantidad de output con una cantidad mayor de inputs, o menos cantidad de output con la misma cantidad de inputs.

El conjunto de procesos productivos que satisface estas propiedades viene determinado por la expresión:

$$T = \{(\mathbf{x}, \mathbf{y}): \mathbf{y} \leq Y\boldsymbol{\lambda}, X\boldsymbol{\lambda} \leq \mathbf{x}, \boldsymbol{\lambda} \in \mathfrak{R}_+^n\} \quad (1)$$

donde  $X$  es una matriz de dimensión  $(m,n)$  que recoge las cantidades de inputs empleadas por las  $n$  UPs,  $Y$  es una matriz de dimensión  $(s,n)$  que recoge las cantidades de output que producen y  $\boldsymbol{\lambda}$  es el *vector de intensidad*  $(n,1)$  que pondera la actividad de cada explotación, de modo que  $X\boldsymbol{\lambda}$  representa una combinación lineal de los vectores de inputs utilizados por las  $n$  unidades, e  $Y\boldsymbol{\lambda}$  es la combinación lineal de los vectores de outputs que se obtiene con ese vector de intensidad. De este modo, la expresión (1) define el CPP como el conjunto de procesos productivos que no suponen más producción de outputs, ni menos consumo de inputs, que cualquier combinación lineal de los procesos observados.

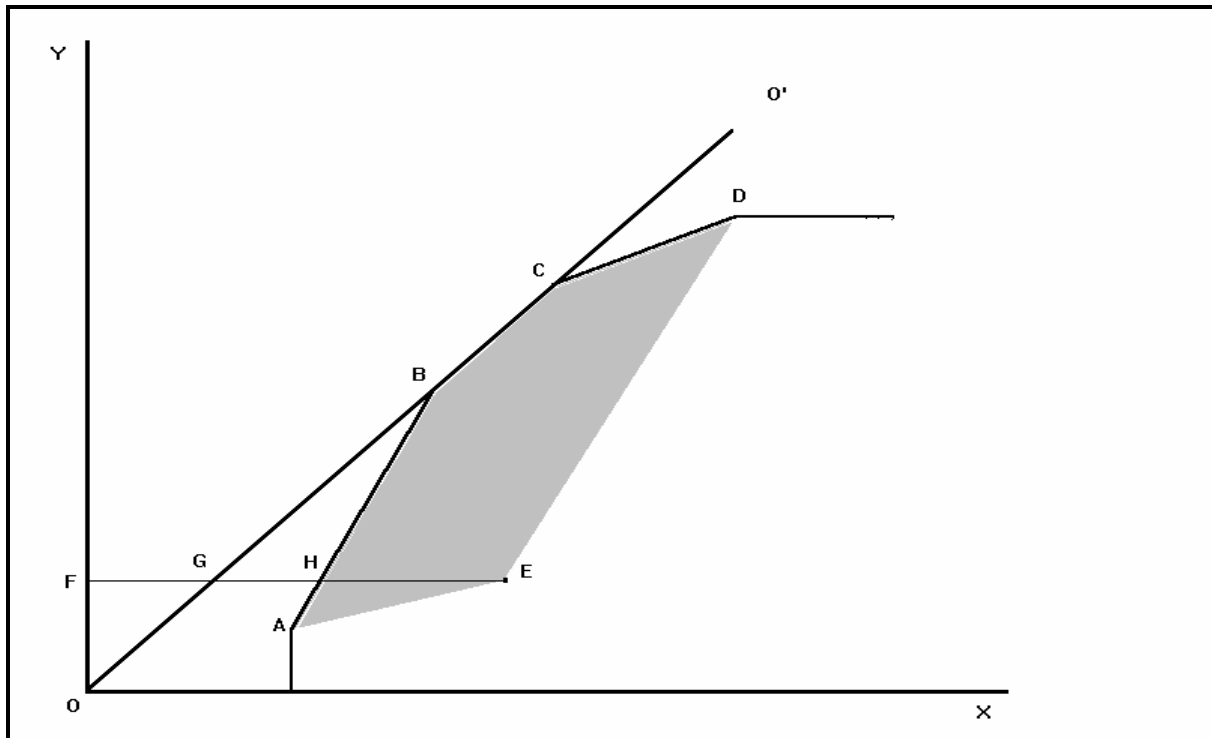
El supuesto de REC puede ser muy restrictivo, puesto que implica que es tecnológicamente posible reescalar la actividad de una UP sin límite alguno. Sin embargo, la tecnología puede presentar rendimientos a escala variables (REV), de modo que al incrementar los inputs en una determinada proporción el output lo hace en una proporción distinta. Afriat (1972) demuestra que es posible redefinir el CPP de manera que permita la existencia de rendimientos a escala variables, mediante la inclusión en (1) de la siguiente restricción sobre las componentes del vector de intensidad:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (2)$$

De este modo, se impone la condición de que el CPP esté integrado por los procesos productivos observados y por sus combinaciones lineales convexas, con lo que se reduce su dimensión. En el gráfico 1 se representa una tecnología de producción, bajo los supuestos de rendimientos a escala constantes y variables, para el caso de cinco unidades productivas que producen un output  $Y$ , a partir de un input  $X$ , según los procesos (A, B, C, D y E). En el caso de REC, el CPP está constituido por todo el área a la derecha de la línea  $OO'$ . La línea  $OO'$  pertenece al CPP puesto que está integrada por combinaciones lineales del proceso B (o C), y el área a su derecha

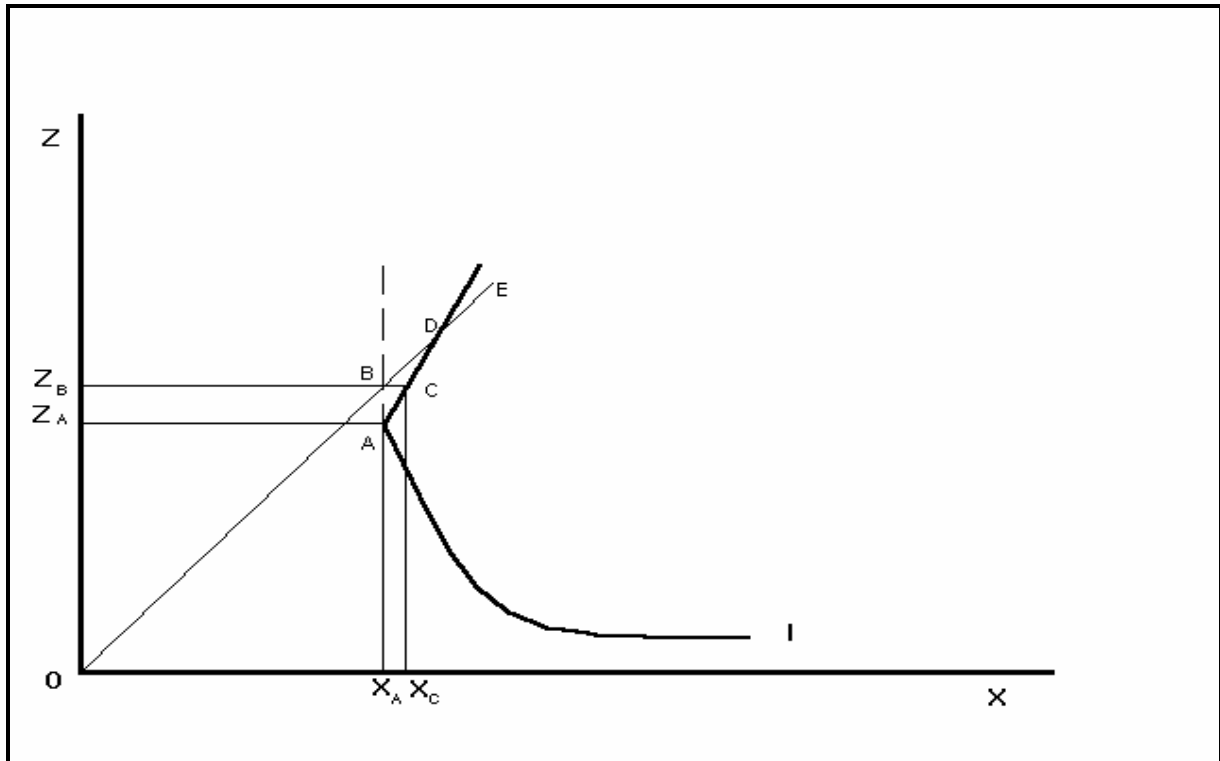
también pertenece al CPP debido al supuesto de eliminación gratuita. Bajo REV no se permite que cualquier combinación lineal de los procesos observados pertenezca al CPP, sino sólo las convexas, recogidas en el área sombreada. Como en el caso de REC, el CPP se extiende hacia la derecha y hacia abajo debido al supuesto de eliminación gratuita.

**Gráfico 1.-** La tecnología bajo REC y REV



La línea  $OO'$  es la frontera del CPP con REC, y recoge la cantidad máxima de output que se puede obtener a partir de cada cantidad de input, o la cantidad mínima de input requerida para producir cada cantidad de output. Bajo REV la frontera viene definida por la línea ABCD. La frontera, al estar compuesta por los procesos técnicamente eficientes, puede utilizarse como referencia para medir la eficiencia con que actúa cada unidad.

**Gráfico 2.-** La tecnología con congestión



Otra propiedad que puede ser relajada es la de eliminación gratuita de inputs. En sentido estricto, esta propiedad implica que si  $(x, y) \in T$  y  $x' \geq x \Rightarrow (x', y) \in T$ . En ocasiones sucede que para cantidades grandes de uno de los inputs, la producción no puede mantenerse al mismo nivel cuando aumenta la dotación de éste. Tal fenómeno se conoce con el nombre de *congestión*. Si se desea que la tecnología estimada recoja el posible efecto de la congestión, debe imponerse la propiedad de eliminación gratuita de inputs en sentido débil, es decir  $(x, y) \in T \Rightarrow (\alpha x, y) \in T, \alpha \geq 1$ . En este caso, siempre que todos los inputs se incrementen proporcionalmente es posible seguir produciendo la misma cantidad, pero ésto no necesariamente sucede al incrementarse sólo algunos de los inputs.

Gráficamente, la congestión se produce cuando la isocuanta se *dobla hacia atrás*, en cuyo caso existe un punto a partir del cual al aumentar uno de los inputs la producción disminuye. En el gráfico 2 se representa la isocuanta I, para el caso de 2 inputs X y Z. El problema de la congestión aparece en el punto A, ya que a partir de

ahí un incremento en la cantidad empleada del input Z (por ejemplo de  $Z_A$  a  $Z_B$ ) reduce la producción, a menos que la cantidad del input X aumente hasta  $X_C$ .

## ÍNDICES DE EFICIENCIA TÉCNICA

Debreu (1951) y Farrell (1957) introdujeron una medida radial de la ineficiencia técnica, bajo el supuesto de rendimientos a escala constantes. La idea consiste en medir la máxima reducción equiproporcional en todos los inputs que permite seguir obteniendo la misma cantidad de output, o el máximo incremento alcanzable en el output para una dotación de inputs determinada<sup>2</sup>. Conviene señalar que esta medida es generalmente distinta según se realice desde la perspectiva de la minimización de los inputs o de la maximización del output. Sólo en el caso de REC ambas medidas son equivalentes, como señala Farrell (1957) y demuestran Färe y Lovell (1978).

En el caso de las explotaciones lecheras asturianas, puede resultar más interesante evaluar la eficiencia desde el punto de vista de la minimización de los inputs, al encontrarse el output (producción de leche) parcialmente fijado por las cuotas lecheras impuestas por la CE. Por consiguiente, en lo sucesivo sólo se hará referencia a la eficiencia técnica desde el punto de vista de la minimización de los inputs.

El índice de eficiencia técnica global de Farrell, para la  $UP_i$  genérica, se define como:

$$ETG_i = \min_{\theta} \{ \theta : (\mathbf{y}_i, \theta \mathbf{x}_i) \in T \} \quad (3)$$

---

<sup>2</sup> Las medidas radiales implican el mantenimiento de la relación de factores de la unidad evaluada en el punto de la frontera con que se compara, al medir la máxima reducción equiproporcional posible en todos los inputs.



donde  $\theta$  es un escalar. Se trata de buscar la mínima proporción  $\theta^*$  a la que se puede reducir el vector de inputs  $x_i$ , dejando inalterado el nivel de producción en  $y_i$ . De otra forma,  $(1-\theta^*)$  puede interpretarse como la máxima reducción equiproporcional posible en todos los inputs. La proyección de la  $UP_i$  sobre la frontera del CPP viene dada por  $(y_i, \theta^* x_i)$ . El índice de eficiencia técnica está acotado entre 0 y 1; si el índice es 1, no es posible reducir las cantidades de inputs empleados y la unidad es técnicamente eficiente, mientras que si es menor que 1 existe ineficiencia técnica.

Banker, Charnes y Cooper (1984) descomponen el índice de eficiencia técnica global en un índice de eficiencia de escala y otro que mide la eficiencia técnica descontando el efecto de la escala. De esta manera, se obtiene un índice de eficiencia técnica (ET) que hace referencia al grado de eficiencia cuando se permite la existencia de REV y, por tanto, no incluye la parte de ineficiencia que se produce como consecuencia de no operar en la escala óptima. El otro componente de la eficiencia técnica global, la eficiencia de escala (ES), puede interpretarse como la reducción adicional a la que podría reducirse el consumo de inputs si la tecnología presentase REC en el punto en que produce la unidad.

Volviendo al gráfico 1, es fácil comprobar que el proceso E es técnicamente ineficiente. Su grado de eficiencia técnica global viene dado por el ratio  $FG/FE$ . Al realizar la comparación respecto a la frontera con REV, se obtiene el índice ET como  $FH/FE$ . La eficiencia de escala se mide por el ratio  $FG/FH$ , de modo que  $ETG=ET \cdot ES$ .

Färe, Grosskopf y Lovell (1985) descomponen el índice ET en un índice que mide el efecto de la congestión (EC) y un índice de eficiencia técnica pura (ETP). En el gráfico 2, la unidad E presenta un índice de eficiencia técnica  $OB/OE$ . Para calcular este índice, la comparación se realiza utilizando la tecnología más próxima que cumple la propiedad de eliminación gratuita de inputs (la línea vertical punteada) y no presenta problemas de congestión. Si se toma como referencia la tecnología congestionada, se obtiene el índice de eficiencia técnica pura como  $OD/OE$ . La parte de ineficiencia que

se debe a la congestión se mide por OB/OD, de modo que  $ET=ETP \cdot EC$  y, en consecuencia,  $ETG=ETP \cdot EC \cdot ES$ . Esta descomposición permite analizar las causas de la ineficiencia con mayor detalle.

Charnes, Cooper y Rhodes (1978) introdujeron la técnica de Análisis Envolvente de Datos (DEA), que permite calcular los índices de eficiencia técnica mediante la resolución de programas de optimización. El objetivo es obtener un escalar que represente la mínima proporción a la que se pueden reducir los consumos de inputs, sin que disminuya la cantidad producida de output<sup>3</sup>. Suponiendo que se dispone de datos de  $n$  explotaciones, cada una de ellas puede ser caracterizada por un vector de inputs  $\mathbf{x}_i = (x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{mi})' \in \mathfrak{R}_+^m$  y una cantidad de output  $y_i$ . Cada unidad es secuencialmente comparada con el resto con el fin de encontrar su *grupo de comparación eficiente* (GCE), definido como la combinación lineal de procesos productivos que minimiza los consumos de inputs, sujeta a la restricción de producir, al menos, tanto output como la unidad analizada.

El índice de eficiencia técnica global (ETG) a largo plazo, para la unidad  $i$ -ésima, se estima resolviendo el siguiente programa:

$$\begin{aligned}
 & \min \quad \theta_i \\
 & \text{s.a.:} \quad \sum_{j=1}^n x_{qj} \lambda_j - \theta_i x_{qi} \leq 0 \quad , \quad q = 1, 2, \dots, m \\
 & \quad \quad \sum_{j=1}^n y_j \lambda_j \geq y_i \\
 & \quad \quad \lambda_j \geq 0 \quad \quad \quad , \quad j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \tag{4}$$

En el programa,  $\lambda_j$  es la componente  $j$ -ésima del vector de intensidad y se interpreta como la ponderación que se asigna al proceso productivo de la unidad

---

<sup>3</sup> Sin pérdida de generalidad, se expone el método para el caso de un solo output, dado que en la aplicación posterior se considera la producción de leche como único output.

j-ésima como componente del GCE, de forma que si  $\lambda_j > 0$  dicha unidad forma parte del mismo. El GCE determina un  $\theta_i^*$  óptimo que es el índice ETG de la unidad que se evalúa, puesto que indica la proporción mínima de todos los inputs utilizados por la unidad ( $\mathbf{x}_i$ ), que permitiría a una combinación lineal de procesos observados producir al menos la cantidad de output  $y_i$ . La proyección del proceso de la UP<sub>i</sub> sobre la frontera es  $(y_i^*, \mathbf{x}_i^*) = (\sum y_j \lambda_j, \theta_i^* \mathbf{x}_i)$ , es decir la cantidad de output que obtiene y las cantidades de inputs que utiliza el GCE. Para cada observación se resuelve el programa (4) proporcionando la función objetivo su grado de eficiencia. Calculando el GCE de todas las unidades, se puede representar la frontera de mejor práctica. Las unidades cuyos procesos se sitúan sobre esta frontera son declaradas técnicamente eficientes y tienen un  $\theta^* = 1$ .<sup>4</sup> Para estas unidades el GCE está compuesto exclusivamente por ellas mismas.

El supuesto de REC permite que cualquier valor positivo de  $\lambda_j$  sea posible, con lo que unidades de gran escala son comparadas con unidades hipotéticas de pequeña escala y viceversa. En efecto, si  $\sum \lambda_j > 1$  se está comparando la unidad con unidades que operan a una escala más reducida, mientras que si  $\sum \lambda_j < 1$  se la está comparando con unidades de escala mayor<sup>5</sup>. En el caso de que los rendimientos a escala sean variables, al comparar unidades de escala diferente no se puede distinguir lo que son ineficiencias técnicas en sentido estricto de ineficiencias derivadas de no operar en la escala óptima. Para calcular el índice de eficiencia técnica (ET) es necesario realizar la

---

<sup>4</sup> Sin embargo, tener un índice  $\theta^* = 1$  no garantiza que no sea posible reducir la cantidad empleada de algún input, sino solamente que no se pueden reducir todos a la vez. Una empresa no puede reducir el consumo de ninguno de los inputs cuando, además de tener un  $\theta^* = 1$ , las variables de holgura en el programa (4) son cero. Este problema puede resolverse mediante la consideración de las variables de holgura, de modo que el valor 1 sólo se asigne a las empresas *eficientes* con variables de holgura cero.

<sup>5</sup> Por ejemplo, si  $\sum \lambda_j = 0.33$ , el GCE con el que se compara la UP<sub>i</sub> está compuesto por unidades que operan conjuntamente a una escala tres veces mayor y, por tanto, pueden producir  $y_i$  con una fracción de un tercio de los inputs que utilizan. El razonamiento es simétrico si  $\sum \lambda_j > 1$ .

comparación respecto a la frontera con REV, imponiendo la restricción de que el GCE opere a una escala similar a la de la unidad analizada.

El modelo DEA original fue modificado por Banker, Charnes y Cooper (1984), para permitir la existencia de REV mediante la inclusión de la restricción (2) en el programa (4). La nueva función objetivo ( $\theta_i^v$ ) proporciona el índice de eficiencia técnica (ET), que siempre es mayor o igual que el índice de ETG, ya que para su cálculo se reduce el número de grupos de comparación que pueden servir de referencia<sup>6</sup>

A partir de los índices ETG y ET se define la eficiencia de escala como:

$$ES_i = \frac{\theta_i}{\theta_i^v} \quad (5)$$

En el caso de que existan ineficiencias de escala, interesa averiguar si se deben a rendimientos crecientes o decrecientes. Añadiendo, en el programa (4), una restricción que no permita la presencia de rendimientos crecientes:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \leq 1 \quad (6)$$

se obtiene un nuevo índice de eficiencia  $\phi_i$ . En el caso de que  $\phi_i < \theta_i^v$ , puede afirmarse que los rendimientos a escala son crecientes, mientras que si ambos índices coinciden la ineficiencia de escala se deberá a rendimientos decrecientes<sup>7</sup>.

---

<sup>6</sup> Debido a la restricción adicional que deben satisfacer.

<sup>7</sup> El tipo de rendimientos a escala también puede comprobarse a partir del vector de intensidad resultante de resolver el programa (6). Si  $\sum \lambda_j < 1$  hay rendimientos a escala crecientes en el punto ajustado sobre la frontera con REV. Por el contrario, si  $\sum \lambda_j > 1$  los rendimientos a escala en dicho punto son decrecientes. En el caso de  $\sum \lambda_j = 1$ , hay REC en la frontera con REV.

Para dividir el índice ET en sus dos componentes, eficiencia técnica pura (ETP) y eficiencia de congestión (EC), se resuelve el siguiente programa, cuya función objetivo es el índice ETP:

$$\begin{aligned}
 & \min \theta_i^p \\
 & s.a.: \sum_{j=1}^n x_{qj} \lambda_j - \theta_i^p x_{qi} = 0 \quad , \quad q = 1, 2, \dots, m \\
 & \sum_{j=1}^n y_j \lambda_j \geq y_i \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\
 & \lambda_j \geq 0 \quad , \quad j = 1, 2, \dots, n
 \end{aligned} \tag{7}$$

La igualdad en la restricción de los inputs asegura el cumplimiento de la propiedad de eliminación gratuita de inputs en sentido débil. A partir del índice ETP, el índice EC se calcula mediante el cociente ET/ETP.

## PRESENTACIÓN DE LOS DATOS

Los datos utilizados en el análisis proceden de un programa de gestión de vacuno lechero de la Consejería de Medio Rural y Pesca del Principado de Asturias, en el año 1991. Los datos disponibles engloban un total de 133 explotaciones lecheras asturianas que participan voluntariamente en el programa, por lo que la muestra no es aleatoria, no siendo los resultados extrapolables al resto de explotaciones asturianas. La muestra incluye explotaciones de tamaños diversos y de distintas zonas de la geografía asturiana. En la tabla 1 se presentan algunas estadísticas descriptivas de las variables incluidas, que son<sup>8</sup>:

---

<sup>8</sup> De la muestra original, compuesta por 138 observaciones, se suprimieron 5 explotaciones que contenían valores en alguna de sus variables que hacían sospechar de algún error en la toma de

## OUTPUT

- **Leche:** Producción anual de leche en miles de litros.

## INPUTS

- **Trabajo:** Unidades de trabajo humano. Es un índice que tiene en cuenta la dedicación de cada miembro de la explotación.
- **Tierra:** Hectáreas de superficie agrícola útiles ocupadas por pradera natural, pradera sembrada y cultivos forrajeros.
- **Vacas:** Número de vacas el último día de cada mes.
- **Pienso:** Concentrados consumidos por las vacas, en miles de kilogramos.
- **Maquinaria:** Depreciación de la maquinaria e instalaciones de la explotación, en miles de pesetas.

**Tabla 1.-** Estadísticas descriptivas de los datos

	Inputs					Output
	Trabajo	Tierra	Vacas	Pienso	Maquinaria	Leche
Máximo.....	4.0	36.0	67	163	3637	386
Mínimo.....	1.0	4.2	12	10	88	40
Media.....	1.9	13.3	24	37	794	120
Desviación típica.....	0.4	5.5	10	20	540	60

## RESULTADOS EMPÍRICOS<sup>9</sup>

datos. Dada la gran sensibilidad de las técnicas no paramétricas a la presencia de outliers y errores de medida, es conveniente suprimir estas observaciones atípicas ya que podrían distorsionar los resultados del análisis.

<sup>9</sup> Para calcular los índices de eficiencia se utilizó el programa GAMS.

El cálculo de los índices de eficiencia se realiza en un contexto de largo plazo, bajo el supuesto de que todos los inputs son variables. En la tabla 2 se muestra la distribución de las distintas medidas de eficiencia, calculadas a partir de los programas expuestos en el apartado 3, así como sus medias y coeficientes de variación. Como resultado del análisis se obtuvo un índice de eficiencia técnica global medio del 78%, con un coeficiente de variación de 0.16. Esto significa que, por término medio, sería técnicamente posible producir la misma cantidad de leche con un 78% de los inputs empleados, por lo que existe un margen para el ahorro de recursos del 22%. Sólo el 5% de las explotaciones son técnicamente eficientes, mientras que esta cifra asciende al 20% cuando no se consideran ineficiencias de escala (ET) y al 53% cuando tampoco se consideran ineficiencias de congestión (ETP). Cabe destacar que si bien sólo el 6% de las explotaciones operan con rendimientos a escala constantes (ES=100%), el índice de eficiencia de escala supera el 95% en casi la mitad de los casos.

**Tabla 2.-** Distribución de frecuencias de los índices de eficiencia

Intervalo de eficiencia	Índices de eficiencia (%)				
	ETG	ES	ET	ETP	EC
100.....	5	6	20	53	21
95-99.....	5	41	13	10	40
90-94.....	10	12	18	11	22
85-89.....	14	5	14	4	9
80-84.....	10	11	8	6	4
75-79.....	12	9	12	7	2
70-74.....	13	7	9	8	1
65-69.....	17	5	5	0	1
menos de 65.....	14	4	1	1	0
Total.....	100	100	100	100	100
Eficiencia media.....	78	89	88	93	95
Coefficiente de variación.....	0.16	0.13	0.12	0.10	0.07

Los principales esfuerzos deberían dirigirse a alcanzar la escala óptima, puesto que la ineficiencia de escala (11%) supone la principal contribución a la ineficiencia técnica global. Por su parte, las ineficiencias *puramente técnicas* y las de congestión suponen conjuntamente una pérdida de recursos del 12%. El índice de eficiencia de congestión indica que, por término medio, sería posible ahorrar un 5% en el consumo de inputs no utilizando ese 5%. El índice de eficiencia técnica pura sugiere que sería posible reducir el consumo de inputs en un 7% si se *gestionara mejor* su uso en el proceso de producción<sup>10</sup>.

La tabla 3 recoge los valores máximo, mínimo y medio de los índices de eficiencia según el tipo de rendimientos a escala. El 6% de las unidades operan en la escala óptima, mientras que el 83% se encuentra en el tramo con rendimientos crecientes y el resto (11%) presenta rendimientos decrecientes. La mayor eficiencia técnica global, por término medio, corresponde a las unidades que operan bajo rendimientos a escala constantes. Este índice es, en promedio, inferior para el caso de rendimientos crecientes (75%) que para el de rendimientos decrecientes (84%), debido a la gran diferencia en la eficiencia de escala, ya que la eficiencia técnica (y sus componentes, ETP y EC) es similar en ambos tipos de explotaciones. En efecto, la ganancia media de reducir la escala para las unidades que producen con rendimientos decrecientes es tan sólo del 4%, siendo de un 13% para el caso de rendimientos crecientes.

**Tabla 3.- Eficiencia según el tipo de rendimientos a escala**

	Índices de eficiencia (%)				
	ETG	ES	ET	ETP	EC
Rdtos a escala constantes (6)*					

<sup>10</sup> Aunque no se menciona explícitamente, al establecer conclusiones de este tipo, se está suponiendo implícitamente que el resto de los índices toman el valor uno. En efecto,  $EC=0.95$  significa que, si esta fuera la única causa de la ineficiencia, habría un margen de ahorro del 5%. Esta circunstancia se debe al carácter multiplicativo de los índices:  $ETG=ETP \cdot EC \cdot ES$ .



máximo.....	100	-	-	-	-
mínimo.....	91	-	-	91	-
media.....	99	-	-	99	-
<b>Rdtos. a escala decrecientes (11)</b>					
máximo.....	97	99	100	100	100
mínimo.....	65	81	66	70	68
media.....	84	96	87	92	95
<b>Rdtos a escala crecientes (83)</b>					
máximo.....	98	99	100	100	100
mínimo.....	46	56	61	64	71
media.....	75	87	87	93	94

\* La cifra entre paréntesis indica el porcentaje de unidades que contiene cada grupo.

En la tabla 4 se presentan las medias de los índices de eficiencia calculadas para cinco intervalos de tamaño, medido por la producción de leche (en miles de litros), junto con los porcentajes de unidades que presentan rendimientos crecientes, decrecientes y constantes en cada intervalo. El volumen de producción se obtiene como resultado de utilizar conjuntamente la totalidad de los inputs en el proceso de producción. Éste es el motivo por el que en este trabajo se considera la producción como la aproximación más adecuada del tamaño. Por otra parte, si en un contexto de minimización de inputs se utiliza uno de ellos como medida del tamaño, éste puede confundirse con la ineficiencia.

**Tabla 4.-** Distribución de la eficiencia según el tamaño de las explotaciones

Producción de leche (000 l)	Nº de UPs	ETG	ES	ET (%)	ETP	EC	Rditos. crecient.	Rditos. decrecient.	Rdtos. constant.
40-67.....	27	67	73	92	97	95	100	0	0
67-94.....	27	75	84	89	93	96	96	0	4
94-125.....	27	80	92	87	91	95	100	0	0
125-155.....	26	81	98	82	90	92	80	8	12

más de 155..	26	88	97	90	96	94	35	50	15
ANOVA	F(4,128)	13.9**	64.3**	3.8**	2.55*	1.28			

\* Nivel de significación 0.05

\*\* Nivel de significación 0.01

Los resultados indican que el grado de eficiencia técnica global aumenta con el tamaño de la explotación, debido a las mejoras que se consiguen en la eficiencia de escala. En el intervalo comprendido entre los 125.000 y 155.000 litros comienzan a observarse rendimientos decrecientes, produciéndose ligeras caídas en la eficiencia de escala. Las unidades con un índice de eficiencia de escala superior a 98% (32% del total) producen por término medio 156.000 litros, por lo que se puede considerar que la escala óptima se encuentra en torno a esa cifra. La técnica DEA no permite, en general, encontrar *un* tamaño óptimo sino que existen unidades operando con REC en tres de los cinco intervalos de tamaño construidos, produciendo desde 76.000 hasta 386.000 litros. De cualquier manera, sí puede decirse que las explotaciones que producen menos de 125.000 litros operan generalmente bajo rendimientos crecientes, presentando amplios márgenes para la mejora de la eficiencia de escala.

Es destacable el hecho de que las unidades englobadas en el intervalo más eficiente desde el punto de vista de la escala son las que menor grado de eficiencia técnica presentan. Este índice es superior para las unidades más grandes y para las más pequeñas, lo cual sugiere que no existe una relación clara entre eficiencia técnica y tamaño. Sí puede observarse, sin embargo, que tanto la eficiencia técnica como la eficiencia técnica pura disminuyen al aumentar el tamaño, para aumentar bruscamente una vez se superan los 155.000 litros de producción. Este resultado puede deberse a que la dotación del input “gestión” sólo se aumenta para niveles grandes de producción. Así, para niveles más pequeños, al aumentar la producción aparecen rendimientos decrecientes en la gestión, al ser éste un input cuasifijo (fijo para esos niveles), provocando una disminución en los índices ET y ETP. En cuanto a la eficiencia de congestión, no se observan diferencias importantes para distintos tamaños.

A efectos de comprobar la significatividad de las diferencias entre los índices de los distintos grupos, se contrastó la hipótesis de igualdad de medias mediante la técnica de análisis de varianza (ANOVA) <sup>11</sup>. El estadístico F señala la existencia de diferencias significativas en los cuatro primeros índices, si bien las diferencias en la eficiencia técnica y en la eficiencia técnica pura no se producen en un único sentido debido, probablemente, a las circunstancias indicadas anteriormente. En la tabla se observa que la congestión no es un fenómeno que dependa del tamaño. Este resultado era de esperar ya que el problema tiene su raíz en la utilización de cantidades muy grandes de algún input, que provoca que la combinación de inputs no sea adecuada, y no en la utilización de grandes cantidades de todos los inputs, que implicarían un tamaño grande.

**Tabla 5.-** Comparación de la eficiencia técnica entre costa e interior

		Eficiencia media (%)					Producción media de LECHE
		ETG	ES	ET	ETP	EC	
Costa	(72) <sup>1</sup>	79	91	87	92	95	130.000
-REC	(8)	99	-	-	100	99	205.000
-RECr	(80)	76	89	86	92	94	110.000
-RED	(12)	84	97	86	91	95	200.000
Interior	(28)	75	83	90	96	94	95.000
-RECr	(89)	74	82	90	97	93	80.000
-RED	(11)	83	93	90	94	95	210.000
ANOVA - F(1,131)		3.53*	14.61**	2.49	5.55*	0.9	7.25**

<sup>1</sup> Entre paréntesis el porcentaje de unidades que corresponde a cada categoría.

REC=Rendimientos a escala constantes; RECr=Rendimientos crecientes; RED=Rendimientos decrecientes.

\* Nivel de significación 0.05

\*\* Nivel de significación 0.01

<sup>11</sup> Banker (1993) demuestra que los estimadores DEA son consistentes, y sugiere un test para contrastar la significatividad de las diferencias en la ineficiencia media de dos grupos. El test se basa en la consistencia de los estimadores, que implica que la distribución muestral de la ineficiencia tiende asintóticamente a la distribución teórica. El test de Banker, se realizó suponiendo dos distribuciones de probabilidad distintas para la ineficiencia (seminormal y exponencial), no observándose cambios cualitativamente importantes en los resultados. En las tablas, se ofrecen únicamente los resultados del análisis de varianza.

La comparación entre las explotaciones de la costa y las del interior es de gran interés, ya que se trata de zonas que responden a diferentes patrones estructurales. Las explotaciones del interior producen 95.000 litros de leche, por término medio, y en general operan en una escala más pequeña que las situadas en la costa, cuya producción media asciende a 130.000 litros. En la tabla 5 se resumen los resultados de la comparación entre costa e interior. La eficiencia técnica global es levemente superior en las explotaciones costeras, debido a su mayor eficiencia de escala. En ambas zonas, los rendimientos decrecientes comienzan a aparecer a partir de los 140.000 litros, cifra a la que se acercan más las explotaciones costeras; de ahí su mayor eficiencia de escala. Sin embargo, las explotaciones del interior presentan unos índices de eficiencia técnica pura ligeramente más elevados que los de la costa, siendo estas diferencias estadísticamente significativas. Ésto puede deberse a que el limitado tamaño de las explotaciones de interior, reduce el problema de los rendimientos decrecientes en la gestión.

En la tabla 6 se muestra la relación entre la eficiencia técnica y algunas variables que miden los resultados técnicos de las explotaciones. El análisis de varianza permite detectar diferencias significativas entre los grupos en el rendimiento por vaca (Litros/Vaca) y por hectárea (Litros/Hect.), así como en la utilización de concentrados (Pienso/Litro). Las empresas más eficientes se caracterizan por producir un mayor volumen de leche por vaca y por hectárea, y por utilizar menos gramos de pienso por cada litro que producen. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Álvarez (1991). No se perciben, en cambio, diferencias significativas en la productividad del trabajo ni del capital.

**Tabla 6.-** Variables técnicas en relación con la eficiencia técnica

Intervalo de eficiencia	Número de unidades	Variables técnicas de resultados <sup>1</sup>				
		Litros/vaca	Pienso/litro	Litros/Hect	Litros/Trab	Maq/litro
97-100.....	33	5133	280	10085	70671	6.9
90-97.....	33	5013	311	10611	64294	6.1

80-90.....	33	4865	298	8614	57307	6.7
menos de 80...	34	4446	349	8060	55082	7.4
ANOVA.....	F(3,129)	3.43*	4.33**	3.58*	1.85	0.98

<sup>1</sup> La variable Pienso/Litro viene expresada en gramos y Maq/Litro en pesetas, mientras que el resto se expresan en litros.

\* Nivel de significación 0.05      \*\* Nivel de significación 0.01

## CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio ponen de manifiesto la posible existencia de un margen considerable para aumentar la eficiencia técnica en las explotaciones lecheras asturianas. La ineficiencia técnica global es mayor cuanto más pequeña es la explotación, debido a la importancia de las economías de escala. Las ineficiencias de escala suponen una pérdida de recursos del 11%, siendo la principal fuente de la ineficiencia técnica global (22%). La ineficiencia técnica pura es del 7% y la debida a la congestión en el uso de los factores del 5%.

En general, las explotaciones no operan en la escala óptima sino que un 83% lo hace por debajo y un 11% por encima de dicha escala. Aunque no es posible encontrar un tamaño óptimo único, dado el carácter multidimensional del proceso productivo, una aproximación adecuada podría estar en torno a los 156.000 litros, al ser este el volumen de producción medio de las explotaciones cuya eficiencia de escala supera el 98%. Parece que las ineficiencias de escala son especialmente importantes en las explotaciones del interior, donde la producción media se encuentra muy por debajo del tamaño que podría considerarse eficiente.

La eficiencia técnica se distribuye más uniformemente entre los distintos tipos de explotación, siendo ligeramente superior en el interior. Al igual que en los trabajos realizados con anterioridad para el sector lechero en Asturias, no se encontró una relación clara entre eficiencia técnica y tamaño. Sin embargo, los resultados apoyan la idea de que para niveles de producción intermedios aparecen rendimientos

decrecientes en la gestión, que sería un input fijo para estos niveles. Esto supone que las explotaciones más pequeñas y las más grandes sean las que presentan índices más elevados de eficiencia técnica pura y de eficiencia técnica. También se aprecian ciertas diferencias en el rendimiento por vaca y por hectárea de pradera natural, así como en la utilización del pienso, siendo las explotaciones técnicamente más eficientes las que mejor se comportan respecto a estas variables, resultado que coincide con el obtenido por Álvarez (1991).

#### **AGRADECIMIENTOS**

Debemos agradecer los interesantes comentarios y sugerencias de Joaquín A. Millán a la primera versión de este artículo, especialmente en cuanto al tratamiento de la eficiencia de congestión, así como las acertadas sugerencias de dos revisores anónimos. Gracias a ellos, la calidad del artículo ha aumentado muy notablemente.

#### **ABSTRACT**

This paper applies a nonparametric model for measuring technical, scale and congestion efficiency of 133 dairy farms in Asturias, on 1991. Only 5% of them are technically efficient. An average reduction of 22% in input use might be attained by improving management and/or adopting the appropriate productive scale. The results are similar to those in Álvarez (1991). No relationship is found between technical efficiency and farm size, although there is evidence of a relationship among technical efficiency and some ratios of technical performance.

**KEY WORDS:** Technical efficiency  
Nonparametric  
Dairy farms

#### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Afriat S. N., (1972). "Efficiency estimation of production functions". International Economic Review. Vol. 13, nº 3, 568-98.

- Álvarez A., (1991). "Análisis económico de la eficiencia de las explotaciones lecheras en Asturias". Tesis Doctoral no publicada. Departamento de Economía, Universidad de Oviedo.

- Álvarez A., Belknap J y Saupe W., (1988). "Eficiencia técnica de explotaciones lecheras". Revista de Estudios Agro-Sociales. nº 145, 143-56.

- Álvarez A. y Arias C., (1993). "Estimación de eficiencia técnica en explotaciones lecheras con datos de panel". *Investigación Agraria Economía*. Vol. 8, nº1, 101-9.
- Banker R.D., (1993). "Maximum likelihood consistency and Data Envelopment Analysis: A statistical foundation". *Management Science*. Vol. 39, nº 10, 1265-73.
- Banker R. D., Charnes A. y Cooper W. W., (1984). "Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis". *Management Science*. Vol 30, nº 9, 1078-92.
- Charnes A., Cooper W. W. y Rhodes E., (1978). "Measuring the efficiency of decision making units". *European Journal of Operational Research*. Vol. 2, 429-44.
- Debreu G., (1951). "The coefficient of resource utilization". *Econometrica*. Vol.19, 273-292.
- Elyasiani E. y Mehdian S., (1993). "Measuring technical and scale inefficiencies in the beer industry: Nonparametric and parametric evidence". *The Quarterly Review of Economics and Finance*. Vol. 33, nº 4, 383-408.
- Färe R., Grosskopf S. y Lovell C.A.K., (1985). "The measurement of efficiency of production". Boston: Kluwer Nijhoff Publishing.
- Färe R. y Lovell C.A.K., (1978). "Measuring the technical efficiency of production". *Journal of Economic Theory*. Vol.19, nº 1, 150-62.
- Farrell M., (1957). "The measurement of productive efficiency". *Journal of the Royal Statistical Society (Series A)*. 120, Part. III, 253-290.
- Lovell C.A.K. y Schmidt P., (1988). "A comparison of alternative approaches to the measurement of productive efficiency", en A. Dogramaci y R. Färe, (eds.), *Applications of modern production theory: efficiency and productivity*. Boston : Kluwer Academic Publishers.

- Pastor J.M., (1995). "Eficiencia, cambio productivo y cambio técnico en los bancos y cajas de ahorro españolas: un análisis de la frontera no paramétrico". Revista española de economía. Vol. 12, nº 1, 35-73.