

Análisis Malmquist y DEA intertemporal de las agriculturas de la Unión Europea*

Natalia Aldaz

Universitat de Lleida

Joaquín A. Millán

Universidad Politécnica de Madrid

RESUMEN: En este trabajo se realiza un análisis comparado de dos métodos no paramétricos de medida de productividad total de los factores con datos de panel basados en programación: índices de Malmquist y un modelo DEA intertemporal que permite acotar las medidas de eficiencia y progreso técnico, suponiendo cambio técnico no regresivo. La aplicación se realiza sobre las agriculturas de los países de la Unión Europea, encontrándose algunas diferencias importantes entre ambos enfoques. Los resultados sugieren menor crecimiento de productividad agraria y, sobre todo, una ordenación distinta de países en relación con dichos crecimientos que los encontrados en otros trabajos.

PALABRAS CLAVE: productividad, DEA, agricultura, Europa, datos de panel.

Clasificación JEL: D24, O47, Q10.

Analysis of European Union agriculture using Malmquist and intertemporal DEA

SUMMARY: This paper compares two non-parametric programming techniques for the measurement of total factor productivity using panel data: Malmquist indices and an intertemporal-DEA model that allows the calculation of technology and efficiency levels bounds, assuming non-regressive technical change. Both methodologies are applied to the analysis of agricultural productivity in the European

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto ALG 2001-3631 de la DGICYT. Se agradecen los comentarios de Carmen Murillo y de los participantes en el III Oviedo Workshop de eficiencia y productividad, así como los de dos revisores anónimos.

Dirigir correspondencia a: Natalia Aldaz. natalia@aegern.udl.es y Joaquín A. Millán. jmillan@eco.etsia.upm.es

Recibido en septiembre de 2002. Aceptado en octubre de 2003.

Union countries, and several important divergences between models are found. The results suggest lower productivity increases in agriculture than those found in recent literature, with different country ranking concerning productivity growth.

KEYWORDS: productivity, DEA, agriculture, Europe, panel data.

JEL classification: D24, O47, Q10.

1. Introducción

La medida de la productividad total de los factores (PTF) en la agricultura presenta dificultades en la valoración de los inputs primarios. La determinación del coste de los servicios del capital y de la renta de la tierra no es directa, sobre todo si los alquileres no son frecuentes, como en España. Tampoco es fácil la valoración del trabajo en la agricultura, debido a tratarse fundamentalmente de trabajo no remunerado y a la decisión conjunta de producción y consumo en los hogares agrícolas (Schmidt, 1989; Luijt y Hillebrand, 1992). Por consiguiente, el análisis de la productividad en la agricultura depende de los supuestos utilizados en la imputación del coste del trabajo no remunerado y de las rentas de capital y tierra. Las valoraciones ex-post, como cuasi-rentas, del coste del trabajo no remunerado y del coste de capital proporcionales a sus valores ex-ante no es correcta, ya que en efecto no se tienen en cuenta realmente las productividades y utilizaciones de capacidad de cada input cuasi-fijo. Esto es, se introducen sesgos en el análisis si los precios aplicados a las valoraciones no se corresponden con los precios sombra de factores y productos.

Por todo lo anterior, es interesante considerar metodologías útiles para medir la eficiencia en el caso de inputs o outputs de difícil valoración económica, como las basadas en el análisis de la envolvente de datos o DEA (*Data Envelopment Analysis*). Un enfoque utilizado recientemente para medir, además, cambio técnico es la metodología del índice de Malmquist (Bureau *et al.*, 1995; Aldaz y Millán, 1996; Arnade, 1997; Fulginiti y Perrin, 1997, 1998; Millán y Aldaz, 1998). Además, el estudio de la PTF mediante el índice de Malmquist no requiere la suposición restrictiva de producción eficiente, que se asume en las metodologías tradicionales. La medida de productividad mediante Malmquist permite analizar la variación de la eficiencia en el tiempo, o aproximación a la frontera de producción, como un componente del índice. Un segundo componente del índice de productividad de Malmquist se interpreta como cambio técnico, recogiendo desplazamientos de la frontera de producción.

Ya en Bureau *et al.* (1995) se hace referencia al problema de muestra pequeña en la utilización del índice de Malmquist para el análisis comparado de PTF en agricultura. En el presente trabajo se emplea una metodología DEA intertemporal, que considera conjuntamente todas las observaciones de panel en una sola serie de programas, aumentando el número potencial de observaciones de referencia. Con supuestos adicionales sobre la estructura del cambio tecnológico, la metodología basada en DEA-intertemporal permite la descomposición de PTF en elementos de eficiencia y cambio técnico específicos para cada agricultura estudiada.

El objetivo de este trabajo es el análisis de la evolución de la productividad agraria en los países de la Unión Europea por medio de técnicas DEA en el período 1980-97. En el siguiente apartado se describen aquellos aspectos del cambio técnico en agricultura que se abordan especialmente en este trabajo. A continuación se explica el proceso de medida de la eficiencia productiva mediante índices de Malmquist y mediante la metodología de DEA intertemporal. Sigue el análisis empírico, que se inicia comentando los datos empleados en el mismo. Finalmente, se destacan las principales conclusiones.

2. La medida de cambio técnico en el sector agrario

El progreso tecnológico es considerado uno de los principales determinantes del crecimiento agrario. La variación intertemporal de PTF se interpreta como la tasa de variación del cociente entre un índice de outputs y un índice de inputs, o por la tasa de desplazamiento de una función de producción (o de una función de coste dual) estimada econométricamente. Se asume que el mecanismo que causa estas variaciones es progreso técnico, por lo que la medida del cambio técnico coincide con la medida del cambio en PTF. En este marco tradicional está implícito que la producción es eficiente, por lo que cualquier variación en la utilización de inputs para alcanzar un determinado nivel de outputs se identifica con desplazamientos de la función de producción. En presencia de ineficiencia productiva en algún período del análisis, las medidas obtenidas de progreso técnico son sesgadas.

La aplicación de las metodologías tradicionales (estimación econométrica o números índices) al sector agrario requiere de unos supuestos muy restrictivos. En primer lugar, la hipótesis equilibrio competitivo a largo plazo difícilmente es válida en la agricultura, por los motivos señalados en la introducción y por la evidencia de estudios econométricos. Si la presencia de factores cuasi-fijos es importante, como se encuentra en diversos estudios a partir de Brown y Christensen (1981), es necesario incorporar ajustes de utilización de capacidad en el corto plazo (Berndt y Fuss, 1986). Siguiendo esta misma línea de análisis, la valoración del trabajo familiar, que en todos los países es mayoritario en agricultura, es problemática. Teniendo en cuenta que gran parte del crecimiento de PTF en agricultura se explica por la reducción del trabajo (Bureau *et al.*, 1991; OECD, 1995), los posibles errores en la valoración de la importancia de este factor son cruciales en la medida de la PTF. Desde una perspectiva contable, la renta de las familias agrarias es un residuo, que remunera tanto el trabajo como una amplia variedad de rentas. Así, el precio sombra que debe ser aplicado al trabajo familiar no está claro. Por otro lado, los diversos programas de apoyo a los subsectores agrarios contribuyen a que los resultados agregados del sector no sean los que cabe esperar en un modelo competitivo: los precios no reflejan los costes marginales de producción en numerosos casos. Todos los problemas apuntados, junto a la asunción de eficiencia en producción, subyacen en la aplicación de la metodología de números índices.

La aproximación econométrica presenta problemas adicionales. La hipótesis de una forma funcional paramétrica específica con incorporación de variables de ten-

dencia para recoger «progreso técnico» o de variables ficticias que permiten diferentes «niveles de tecnología» no resulta del todo satisfactoria. Está claro que las empresas y los sectores evolucionan en el tiempo, y que las tecnologías cambian tanto dentro de las unidades productivas consideradas como entre ellas. Sin embargo, como se concluye de la reciente revisión de Cuesta (2001) en el análisis de la eficiencia técnica variable en el tiempo (relacionado con el problema aquí tratado), es necesario imponer condiciones adicionales de identificación, siendo difícil discriminar entre modelos¹.

Por todo lo anterior, parece interesante un enfoque alternativo para la medida de la PTF que no imponga estructura funcional a la evolución del cambio técnico. En este trabajo se consideran dos aproximaciones. En primer lugar, el procedimiento no paramétrico de índice de Malmquist, utilizado en Bureau *et al.* (1995), sobre el sector agrario de 10 países europeos y USA, en Millán y Aldaz (1998), sobre los sectores agrícolas y ganaderos de las CC.AA. españolas, o Aldaz y Millán (1996), sobre los sectores agrarios de las CC.AA. incluyendo output y tierra forestales. En segundo lugar, una metodología de DEA intertemporal, con la hipótesis adicional de que el cambio técnico es no regresivo. La hipótesis de progreso técnico monótono no decreciente es mantenida en Fawson y Shumway (1988) y Lim y Shumway (1992) en el análisis de la agricultura de los Estados Unidos. Más recientemente, Bar-Shira y Finkelshtain (1999) han aceptado progreso técnico monótono y comportamiento minimizador de coste también para la agricultura de USA. La imposición de más estructura, de forma aditiva o multiplicativa, que la evolución monótona del cambio técnico en Chavas y Cox (1988, 1990) presenta debilidades criticadas en Chalfant y Zhang (1997).

3. Metodología

En este trabajo se utilizan técnicas de medida de la eficiencia productiva basadas en DEA, que permiten identificar la estructura de la tecnología de producción eficiente y medir la eficiencia de las unidades respecto a la frontera. DEA recurre al empleo de la programación lineal, proporcionando la medida de la eficiencia (no paramétrica) resolviendo el adecuado programa de optimización. En este trabajo se utilizan dos procedimientos basados en supuestos distintos en la comparación de los datos anuales de las agriculturas nacionales: la construcción del índice de Malmquist sobre periodos adyacentes y la medida de productividad con DEA intertemporal bajo cambio técnico no regresivo.

3.1. Medida de la PTF mediante el índice de Malmquist

Färe *et al.* (1994) miden los cambios en productividad mediante el índice de Malmquist, y distinguen dos componentes mutuamente excluyentes y exhaustivos:

¹ La dependencia de variables ambientales hace que los movimientos anuales de la frontera de producción agraria tengan un componente exógeno y, en gran medida, impredecible, lo que dificulta la caracterización de progreso o regresión tecnológica.

cambios en la eficiencia técnica y cambios en la tecnología. En la exposición que sigue, así como en el análisis empírico, se asumen rendimientos constantes, la caracterización más habitual en los trabajos de productividad agraria². La construcción del índice de Malmquist implica definir las funciones de distancia respecto a dos períodos diferentes de tiempo y calcular para cada observación la variación de la tecnología en la media geométrica de las distancias en ambos períodos. La función de distancia de input se define como la reducción máxima de los inputs manteniendo constante el nivel de output, dentro del conjunto de posibilidades de producción S . Para un período de referencia t se expresa matemáticamente como:

$$D_i^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t) = (\inf \{ \theta: (\theta \mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t) \in S^t \})^{-1} = (\sup \{ \theta: (\mathbf{x}^t / \theta, \mathbf{y}^t) \in S^t \})^{-1} \quad [1]$$

siendo \mathbf{x} el vector de inputs, \mathbf{y} el vector de outputs, θ un escalar que mide la reducción proporcional en todos los inputs manteniendo el nivel de output. La construcción del índice de Malmquist implica el definir la función de distancia respecto a dos períodos diferentes de tiempo, (en los cuales se mide el avance en productividad); uno que lo define la observación y otro que se define por el período de referencia de la tecnología. Así:

$$D_i^t(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1}) = (\inf \{ \theta: (\theta \mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1}) \in S^t \})^{-1} \quad [2]$$

La función de distancia $D_i^t(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})$ mide la reducción máxima de los inputs para hacer posible $(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})$ en el período de tecnología t . De forma similar se puede definir la función distancia de la observación $(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)$ en el período $(t+1)$:

$$D_i^{t+1}(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t) = (\inf \{ \theta: (\theta \mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t) \in S^{t+1} \})^{-1} \quad [3]$$

Färe *et al.* (1994) definen el índice de productividad de Malmquist, tomando la tecnología de referencia en la media geométrica y descomponiendo el índice en la forma:

$$M_i(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1}, \mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t) = \frac{D_i^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})}{D_i^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)} \left[\frac{D_i^t(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})}{D_i^{t+1}(\mathbf{x}^{t+1}, \mathbf{y}^{t+1})} \cdot \frac{D_i^t(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)}{D_i^{t+1}(\mathbf{x}^t, \mathbf{y}^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad [4]$$

El cociente entre corchetes es la media geométrica de dos cocientes que reflejan movimientos de la frontera tecnológica entre los dos períodos t y $t+1$, indicando

² Los rendimientos a escala se están considerando entre países. Es difícil interpretar los rendimientos variables ya que éstos pueden deberse a variables tan distintas como dimensión de explotación o tamaño del país. Así, Italia es el segundo país en producción total, detrás de Francia, y el antepenúltimo en dimensión media de explotación en UDE (unidades de dimensión económica), con explotaciones medias más pequeñas sólo en Grecia y Portugal. España es cuarta en producción y está inmediatamente por delante de Italia en UDE media. Los tres países con explotaciones mayores en media (Holanda, Bélgica y Dinamarca) tienen una producción total conjunta inferior a la de Italia. Por todo lo anterior, se prefiere mantener el supuesto de rendimientos constantes, evitando ambigüedad en la interpretación de escala y de PTF.

cambio técnico. El cociente fuera de los corchetes refleja la variación de la eficiencia relativa, medida como cociente entre las eficiencias entre los períodos que se consideran.

El índice de Malmquist, se está aplicando frecuentemente en muestras relativamente pequeñas. Bureau *et al.* (1995) comparan la productividad agraria entre los Estados Unidos y los diez primeros países de la Unión Europea, Fulginiti y Perrin (1997, 1998) analizan las agriculturas de 18 países menos desarrollados. Aldaz y Millán (1996) y Millán y Aldaz (1998) estudian el sector agrario de las 17 CC.AA. españolas. Es interesante considerar una metodología alternativa que no esté condicionada por el escaso número de observaciones utilizado para construir las tecnologías contemporáneas de referencia.

3.2. Medida de la PTF mediante DEA intertemporal

El modelo DEA intertemporal resulta atractivo por cuatro razones principales. En primer lugar, el panel completo puede aliviar el problema de muestra pequeña. En segundo lugar, es posible una comparación más detallada de las unidades de producción, no limitando la comparación a períodos adyacentes. Tercero, la comparación de cada observación se realiza frente a un mayor número de observaciones con similares ratios de factores, por lo que se pueden considerar en un mismo análisis estructuras de producción diferentes. Finalmente, si la transitividad de las medidas de productividad es una exigencia del análisis, al realizar las comparaciones utilizando todas las observaciones se evitan referencias arbitrarias.

Lovell (1996) y Tulkens y van den Eeckaut (1995)³ no consideran DEA intertemporal para el estudio de cambio técnico, al establecer de forma explícita que el nivel de la tecnología no cambia. Sin embargo, ampliando a DEA intertemporal el modelo DEA con datos de serie temporal de Lynde y Richmond (1999), basado en una especificación monótona no decreciente de progreso técnico, es posible identificar límites de eficiencia y de cambio técnico. La metodología se ha introducido en Aldaz y Millán (2002), con un único output y aplicación a la industria alimentaria de las CC.AA., se ha aplicado en Aldaz y Millán (2003) a los sectores agrarios de las CC.AA. españolas en producción conjunta (productos agrícolas y ganaderos) y en Millán y Aldaz (2004) se ha extendido a comparaciones intersectoriales.

El modelo permite el cálculo de límites inferior y superior de eficiencia y cambio técnico para cada observación en cada período. Para facilitar la presentación, se asume el mismo número de observaciones N en cada uno de los T períodos, aunque la metodología se adapta fácilmente a cualquier estructura de panel, también no equilibrado. Sea $\mathbf{x}_{it} \in \mathbb{R}^M$ el vector de M inputs utilizado por la unidad productiva i en el período t para producir el vector de J outputs $\mathbf{y}_{it} \in \mathbb{R}^J$. El conjunto de TN observaciones que define la tecnología de referencia es el panel completo.

³ Tulkens y van den Eeckaut (1995) estudian especialmente el DEA secuencial, en el que cada período incluye todos los anteriores para construir la tecnología de referencia. El DEA secuencial asume una evolución de la tecnología común para todas las observaciones. En nuestro enfoque DEA intertemporal con cambio técnico no regresivo cada país se analiza secuencialmente de forma independiente, sin imponer una evolución común del nivel de la tecnología.

La frontera de producción se define $F(\mathbf{y}_{it}^*, \mathbf{x}_{it}^*) = 0$, o, en forma detallada,

$$\mathbf{F}[(\mathbf{y}_{it} + \mathbf{z}_{it}), e_{it} A_{it}, (\mathbf{x}_{it} - \mathbf{s}_{it})] = 0 \tag{5}$$

donde

$0 < e_{it} \leq 1$ es la eficiencia de la unidad productiva i en el período t ;

$0 < A_{it} \leq A_{i\max}$ es el nivel de tecnología de la unidad productiva i en el período t ;

$\mathbf{z}_{kt}, \mathbf{s}_{it} \geq 0$ son los vectores de holguras específicas para cada vector de outputs y de inputs, respectivamente, midiendo ineficiencias no radiales de la unidad productiva i en el período t .

Con la resolución de DEA sobre todas las unidades y todos los períodos conjuntamente (DEA intertemporal) se identifica un índice radial d_{it} , producto de los niveles de eficiencia y tecnología:

$$d_{it} = e_{it} A_{it} \tag{6}$$

Es posible imponer una estructura adicional sobre el elemento de cambio técnico A_{it} . Lynde y Richmond (1999) asumen progreso técnico no decreciente ($A_{it} \leq A_{i,t+1}$, para $t \leq T$) en su modelo DEA de serie temporal.

En el modelo que aquí se presenta, se calcula el índice de productividad d_{it} por medio de programación lineal, partiendo de una formulación DEA convencional, con orientación de inputs. El índice 0 hace referencia a cada par $\{it\}$ que se está estudiando, de las NT observaciones k . La frontera para la unidad de producción i en el período t se construye como combinación lineal de las observaciones eficientes, siendo α el vector de ponderaciones.

$$\begin{aligned} & \min_{d_0, \alpha_k} d_0 \\ & \text{sujeto a} \\ & \sum_{k=1}^{NT} \alpha_k x_{mk} + s_{m0} = x_{m0} d_0 \quad m = 1, \dots, M \\ & \sum_{k=1}^{NT} \alpha_k y_{jk} - z_{j0} = y_{j0} \quad j = 1, \dots, J \\ & \alpha_k, d_0 \geq 0 \end{aligned} \tag{7}$$

No se establece ninguna restricción sobre la suma de los elementos del vector α con lo que se asumen rendimientos a escala constantes, a diferencia de Lynde y Richmond (1999), que especifican rendimientos no crecientes. La resolución de los programas en [7] proporciona un conjunto de NT índices de productividad radial. Lovell (1996) asume que el nivel de la tecnología es el mismo para todas las unidades productivas y períodos ($A_{it} = 1$, para todas i, t), por lo que el índice de productividad es un índice de eficiencia ($d_{it} = e_{it}$). No obstante, se pueden conside-

rar otras descomposiciones alternativas. Aquí se sugiere la generalización a datos de panel de la descomposición de Lynde y Richmond (1999), construida sobre series temporales. Los tres aspectos fundamentales de esta descomposición son los siguientes:

1. La eficiencia técnica está acotada entre cero y uno;

$$0 < e_{it} \leq 1 \quad [8]$$

2. El progreso técnico es no regresivo, quedando acotado el nivel máximo alcanzable de tecnología, por normalización arbitraria, en el valor de uno;

$$0 < A_{i1} \leq A_{i2} \leq \dots \leq A_{iT} = A_{imax} \leq 1 \quad [9]$$

3. El nivel máximo de tecnología para una unidad productiva i se corresponde al mejor resultado obtenido de productividad;

$$A_{imax} = \max_i \{d_{it}; t = 1, \dots, T\} \quad [10]$$

Con base en las hipótesis anteriores se construyen unos límites inferior y superior para el nivel de tecnología A_{it} y, asociados dado que $d_{it} = e_{it} A_{it}$, los límites superior e inferior para la eficiencia e_{it} . El límite superior del índice de tecnología es A_{imax} , que se corresponde con una tecnología estacionaria para cada unidad productiva a partir del período en que se alcanza este nivel. En este caso, toda desviación de productividad se considera ineficiencia técnica.

$$A_{it}^U = A_{imax} \quad [11]$$

El límite inferior de tecnología se obtiene en el máximo nivel de productividad alcanzado hasta t , suponiendo que dicho nivel de productividad se ha obtenido con producción eficiente. Si se considera $e_{it} = 1$ se tiene como valor mínimo de tecnología d_{it} . Se puede admitir dicho nivel mínimo de tecnología excepto en el caso de haber obtenido en un momento anterior un nivel tecnológico más alto, ya que A_{it} es no decreciente. Así,

$$A_{it}^L = \max(d_{it}, A_{i(t-1)}^L) = \max\{d_{ir}; r \leq t\} \quad [12]$$

Como resultado de lo anterior se tiene que $A_{it}^L = 1$, si y sólo $d_{ir} = 1, r \leq t$.

Establecidos los límites superior e inferior del nivel de tecnología, se tienen respectivamente el nivel inferior y el superior de eficiencia, a partir de la expresión [6]. El límite inferior de eficiencia se obtiene para el nivel superior de tecnología.

$$e_{it}^L = d_{it} / A_{it}^U \quad [13]$$

Análogamente, el índice superior de eficiencia se construye a partir del índice inferior de cambio técnico:

$$e_{it}^U = d_{it} / A_{it}^L \quad [14]$$

Lynde y Richmond (1999) también analizan la eficiencia particular de cada input, incorporando la reducción potencial no proporcional medida en las holguras (s_{mit}). El uso eficiente del input j para la observación $\{it\}$ viene dado por

$$x_{mit}^* = e_{it} (x_{mit} - s_{mit}) \quad [15]$$

Los límites de eficiencia del input j para la observación $\{it\}$, se definen como el cociente entre el nivel eficiente de input x_{mit}^* en [11] y el uso real de factor x_{mit} , según la expresión siguiente

$$\Phi_{mit} = \frac{e_{it} (x_{mit} - s_{mit})}{x_{mit}} \quad [16]$$

Considerando respectivamente e_{it}^L y e_{it}^U y reorganizando la expresión [16], se obtienen los límites inferior y superior de la eficiencia particular de cada input.

$$\Phi_{mit}^L = e_{it}^L \left(1 - \frac{s_{mit}}{x_{mit}} \right) \quad [17]$$

$$\Phi_{mit}^U = e_{it}^U \left(1 - \frac{s_{mit}}{x_{mit}} \right) \quad [18]$$

En producción conjunta es también posible la ineficiencia en la obtención de algún output particular. Como el análisis se realiza con una orientación de input, la única (in-)eficiencia identificable en output es no radial. Por otro lado, se considera el porcentaje de ineficiencia respecto al output potencial, evitando un valor negativo de eficiencia si la holgura z_{jit} es mayor que el output y_{jit} . Se tiene que:

$$\Phi_{jit}^O = \left(1 - \frac{z_{jit}}{y_{jit} + z_{jit}} \right) \quad [19]$$

Para todas las medidas desarrolladas anteriormente (A_{it}^L , e_{it}^U , e_{it}^L , Φ_{mit}^L , Φ_{mit}^U , Φ_{jit}^O), se puede estudiar la evolución en niveles, o la variación en el cociente de logaritmos de períodos sucesivos, de forma similar a como se analizan otros índices de crecimiento. Lo que se obtiene con esta metodología es un conjunto más amplio de índices interrelacionados, que no proporcionan unos valores concretos de eficiencia o tecnología, sino unos intervalos que ofrecen una información rica sobre evolución de la tecnología.

4. Resultados

El análisis se realiza sobre las agriculturas de los países de la Unión Europea, excepto Luxemburgo, desde 1980 a 1997. Los datos originales de 41 producciones vegetales, 12 producciones animales, 10 inputs intermedios y depreciaciones proceden de las Cuentas Económicas de la Agricultura. De otras estadísticas agrarias en EUROSTAT se han tomado los datos de trabajo (en UTA) y de tierra (SAU en miles de hectáreas). Se consideran dos outputs (producción agrícola y producción ganadera) y cinco inputs (semillas y piensos, otros consumos intermedios, capital, trabajo, tierra).

Los inputs intermedios incluidos en el análisis se han agregado en dos categorías, inputs biológicos (semillas y piensos) y otros inputs intermedios. Los diferentes grupos se han agregado mediante índices de precios translog con base 1990. Las cantidades de producción vegetal, producción ganadera, inputs intermedios biológicos (semillas y piensos) y otros inputs intermedios se han obtenido dividiendo los valores nominales por los índices de precios correspondientes. Como medida de los servicios del capital empleado en la producción se utilizan las amortizaciones en términos reales. Se han tomado series de depreciaciones de edificios y maquinaria de las Cuentas Económicas de la Agricultura en EUROSTAT, y se han aplicado deflatores de inversiones, o de reparaciones cuando no estaba disponible el deflactor de inversiones.

Todas las series construidas a precios constantes de 1990 están en las monedas nacionales. La conversión a una base común se realiza con el tipo de cambio de moneda nacional a ECU en 1990. Sobre los datos de trabajo y de tierra no se ha realizado ningún ajuste por calidad.

Se considera la República Federal de Alemania (RFA) en el período 1980 a 1992 y la Alemania Unificada (AU) desde 1990 a 1997. Una particularidad de la nueva metodología es que permite incorporar unidades productivas en diferentes niveles de agregación de forma conjunta. Para el cálculo de los índices de Malmquist se ha tomado RFA hasta el año 1990 y AU desde 1991.

El cuadro 1 muestra las tasas medias de crecimiento de inputs y outputs por países. La tasa de crecimiento media anual indica que se da un aumento mayor de producción en el subsector agrícola que en el ganadero, excepto en Portugal e Irlanda. La producción agrícola aumenta en todos los países excepto en Suecia, siendo este crecimiento especialmente intenso en Holanda (4% anual) y Dinamarca (3,1% anual). La producción ganadera presenta tasas negativas en Alemania (tanto en RFA como en AU), Finlandia y Suecia, aunque muy pequeña en este último país. En los tres países la producción ganadera representa la parte más importante de su producción final agraria. El crecimiento de la producción ganadera es muy importante en Portugal (3,2% anual).

En general, aumenta el consumo de inputs biológicos, excepto en aquellos países donde decrece la producción ganadera. Los incrementos más importantes se dan en España (2,7% anual) e Irlanda (2,6% anual). Otros consumos intermedios crecen especialmente en Portugal (2,7% anual) y en Grecia (2,2% anual), disminuyendo en Alemania, en Dinamarca y, de forma importante, en Suecia (-1,6% anual).

CUADRO 1

Tasas medias de crecimiento de outputs e inputs. %. 1980-97

	Output Agrícola	Output Animal	Semillas y piensos	Otro consumo interm.	Capital	Trabajo	Tierra
RFA (80-92)	2,8	-0,4	0,0	-1,1	-0,8	-3,4	-0,2
AU (90-97)	2,3	-0,8	-0,8	-1,5	-2,0	-8,9	-0,2
Austria	1,0	0,3	0,6	0,5	-3,8	-3,9	-0,4
Bélgica	2,7	1,4	1,8	2,0	1,0	-2,2	-0,2
Dinamarca	3,1	1,1	0,7	-0,6	-2,5	-3,5	-0,4
España	2,6	1,5	2,7	1,3	0,9	-2,3	-0,3
Finlandia	1,8	-0,8	-1,8	0,1	-1,6	-4,0	-1,2
Francia	1,8	0,6	1,8	0,3	-0,2	-3,5	-0,3
Grecia	2,7	0,1	0,3	2,2	1,7	-2,7	-0,1
Holanda	4,0	0,0	0,1	1,0	4,1	-0,7	-0,2
Irlanda	1,3	2,0	2,6	1,7	0,2	-2,4	-0,6
Italia	0,8	0,6	-0,4	0,4	2,5	-3,3	-0,8
Portugal	1,7	3,2	0,3	2,7	-0,7	-4,8	0,0
Suecia	0,0	-0,1	-0,7	-1,6	-1,7	-3,1	-1,0
Reino Unido	1,6	0,2	0,6	0,9	-2,0	-1,7	-1,1

El empleo agrario disminuye en todos los países, especialmente en Portugal (-4,8% anual) y muy considerablemente en AU (-8,9% anual). La evolución del capital (amortizaciones) es muy variable entre países. Destacan los incrementos de Holanda (4,1% anual) e Italia (2,5% anual), aunque hay también disminuciones muy importantes, como en Austria (-3,8% anual) o Dinamarca (-2,5% anual). La tasa de crecimiento media de la tierra agrícola es negativa en todos los países, excepto en Portugal, donde permanece estable y en AU donde se produce un ligero crecimiento de la SAU (0,2% anual).

Las tasas de crecimiento de la PTF obtenidas mediante el índice de Malmquist se presentan en el cuadro 2. La media es 1,6% anual en el período de análisis 1980-1997 en las agriculturas Europeas. El crecimiento de PTF mediante índices de Malmquist es positivo para todos los países con la única excepción de Italia, que experimenta un ligero decrecimiento (-0,02% anual) en la PTF obtenida. España presenta la tasa de crecimiento media más elevada (3,5% anual), seguida de Dinamarca (2,7% anual) y Portugal (2,2% anual). Es interesante destacar el caso de Alemania ya que el crecimiento medio de la productividad casi se duplica en la AU (1990-1997) respecto al crecimiento de la RFA en el período anterior (1973-1990)⁴. En el análisis detallado de los resultados, no se observa ningún patrón común en la evolución de los índices de productividad entre países del Norte o del Sur, países con grandes superficies agrícolas o pequeños países, o entre países mediterráneos o atlánticos. Los valores máxi-

⁴ Debido a la estructura del modelo, con únicamente 14 observaciones en cada período para 2 outputs y 5 inputs, la medida contemporánea de eficiencia está sesgada al alza, siendo muchas las observaciones eficientes. No obstante, se puede señalar que España presenta resultados singulares ya que es el único país con una mejora realmente importante (1,1% anual) en el componente de eficiencia del índice de Malmquist.

CUADRO 2

Tasas de crecimiento del índice de Malmquist

	80-81	81-82	82-83	83-84	84-85	85-86	86-87	87-88	88-89	89-90
Alemania RFA	0,01	0,05	-0,02	0,03	-0,01	0,04	-0,04	0,01	0,02	-0,06
Alemania UA										
Austria	0,00	0,05	0,01	0,06	0,00	0,03	-0,01	0,01	0,00	0,05
Bélgica	0,03	0,08	-0,04	0,05	0,01	0,03	-0,03	0,03	0,02	-0,01
Dinamarca	0,03	0,03	0,01	0,07	0,02	0,03	-0,02	0,06	0,02	0,02
España	-0,11	0,08	0,03	0,13	0,01	-0,07	0,12	0,05	0,01	0,06
Finlandia	-0,01	-0,03	0,05	0,07	-0,01	0,00	-0,08	-0,03	-0,01	0,09
Francia	-0,02	0,12	-0,06	0,10	0,03	-0,01	0,02	-0,02	0,06	0,04
Grecia	-0,02	0,02	-0,05	0,05	0,03	0,10	-0,10	0,08	0,04	-0,12
Holanda	0,04	0,03	-0,01	0,04	-0,01	0,06	-0,12	0,02	0,02	0,06
Irlanda	-0,05	0,06	0,02	0,08	0,02	-0,06	0,03	0,01	-0,03	0,05
Italia	-0,04	-0,01	0,06	-0,06	0,03	-0,04	0,05	-0,01	0,01	0,01
Portugal	0,01	0,08	0,04	0,07	-0,23	0,20	0,03	-0,04	0,07	-0,06
Reino Unido	0,02	0,03	-0,02	0,12	-0,03	-0,01	0,01	0,01	0,04	0,00
Suecia	0,04	0,08	0,00	0,03	-0,02	0,04	-0,03	-0,03	0,02	0,10

CUADRO 2

Tasas de crecimiento del índice de Malmquist (continuación)

	90-91	91-92	92-93	93-94	94-95	95-96	96-97	Media
Alemania RFA								0,014
Alemania UA	-0,01	0,08	0,07	0,02	0,01	0,04	0,02	0,032
Austria	-0,02	0,01	0,05	0,02	0,00	0,02	0,00	0,017
Bélgica	0,05	0,07	0,00	-0,03	-0,01	0,01	-0,02	0,014
Dinamarca	0,02	-0,01	0,02	-0,01	0,03	0,02	0,12	0,027
España	0,04	0,01	-0,08	0,07	0,01	0,17	0,06	0,035
Finlandia	0,01	-0,02	-0,09	0,08	0,05	0,03	0,02	0,006
Francia	-0,03	0,06	-0,05	-0,06	-0,04	0,04	0,01	0,011
Grecia	0,17	-0,04	0,04	0,01	0,03	0,02	0,01	0,017
Holanda	0,01	0,00	0,04	0,04	0,02	0,00	-0,03	0,013
Irlanda	-0,01	0,05	-0,05	0,02	0,04	0,00	0,03	0,013
Italia	0,06	0,04	-0,03	-0,07	0,00	0,02	-0,02	0,000
Portugal	0,04	0,07	0,00	0,02	-0,01	0,14	-0,05	0,022
Reino Unido	0,04	0,00	0,07	-0,03	-0,01	-0,01	0,05	0,017
Suecia	0,02	-0,07	0,05	-0,01	-0,02	0,02	0,02	0,014

mos y mínimos de crecimiento del índice de Malmquist pertenecen a dos países mediterráneos de orientación predominantemente agrícola y con agriculturas que presentan bastantes semejanzas.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos con la descomposición propuesta para un aprovechamiento completo del panel en DEA intertemporal. El cuadro 3 recoge un resumen de los resultados de eficiencia y progreso técnico con todas las observaciones conjuntamente. Para RFA y AU, los resultados están referi-

dos a los períodos 1980 a 1992 y 1990 a 1997, respectivamente. La primera columna recoge el nivel de productividad d_{80} en 1980 y la segunda columna es el nivel inferior de tecnología A_{imax} en 1997. La tercera columna indica en qué año se consiguió el máximo nivel de productividad para cada país. La columna siguiente muestra las tasas medias de progreso técnico, consideradas para el período completo de 17 años. Las dos últimas columnas muestran las medias de los niveles inferior e_{it}^L y superior e_{it}^U de eficiencia. Finalmente, aparecen los años en que el índice de productividad es uno.

CUADRO 3

DEA intertemporal. Cambio técnico no decreciente. Resumen estadístico

	d_{80}	A_{97}	t_{max}	r_A	e^L	e^U	Años en frontera
RFA (80-92)	0,94	1,00	86	0,5%	0,92	0,98	86
AU (90-97)	0,88	1,00	97	1,9%	0,93	1,00	97
Austria	0,91	1,00	84	0,6%	0,97	1,00	84 86 88 90-94 96 97
Bélgica	0,88	1,00	93	0,8%	0,96	0,99	93 95 96
Dinamarca	0,85	1,00	91	1,0%	0,95	0,99	91 96 97
España	0,69	1,00	97	2,1%	0,81	0,98	97
Finlandia	0,93	1,00	84	0,4%	0,87	0,97	84 93 97
Francia	0,86	1,00	96	0,9%	0,94	0,99	96 97
Grecia	1,00	1,00	80	0,0%	0,98	0,98	80 86 88 91 92 95-97
Holanda	0,96	1,00	82	0,2%	0,98	0,99	82-84 86 94-97
Irlanda	0,94	1,00	84	0,4%	0,96	0,98	84 85 90 92 97
Italia	1,00	1,00	80	0,0%	0,96	0,96	80 83 96 97
Portugal	0,86	1,00	92	0,9%	0,92	0,97	92 96 97
Suecia	0,69	0,866	97	1,3%	0,92	0,98	
Reino Unido	0,79	0,943	92	1,1%	0,94	0,97	

d_{80} : índice de productividad en 1980, (en 1990 para AU).

A_{97} : límite inferior del índice de tecnología en 1997, (en 1992 para RFA).

t_{max} : año en que se alcanza el máximo de productividad.

r_A : tasa de crecimiento media anual del límite inferior del índice de tecnología.

e^L : media del límite inferior del índice de eficiencia.

e^U : media del límite superior del índice de eficiencia.

Se pueden destacar dos rasgos de la metodología propuesta. En primer lugar, el tratamiento de un panel no equilibrado es sencillo. En segundo lugar, es posible tratar unidades productivas con diferentes niveles de agregación, e incluso con solapamiento; es decir, tratar conjuntamente unidades productivas que pueden coincidir parcialmente con otras unidades incluidas en el análisis. Este es el caso de Alemania, sobre la que se estudian los años de 1989 a 1992 tanto para el territorio de la antigua RFA como para la Alemania Unificada.

En el análisis de productividad DEA intertemporal, todos los países excepto Suecia y Reino Unido aparecen con un índice de productividad igual a 1 en algún período. En total, 52 observaciones de un total de 255 forman la tecnología de referencia intertemporal. El período inicial resulta con el máximo nivel de productividad en Grecia e Italia. Es interesante el estudio del progreso técnico en estos países dado que

uno de los supuestos de la descomposición que aquí se analiza es que el progreso técnico es no regresivo. Italia es el único país que resulta con retroceso de productividad en el análisis de Malmquist. Este resultado resulta compatible, en parte, con el análisis de DEA intertemporal ya que la primera observación obtiene el nivel de productividad más alto. Los resultados en Grecia, con crecimiento de productividad en Malmquist, presentan en DEA intertemporal un nivel alto de tecnología, aunque con algunos años ineficientes, desde 1980.

Se puede señalar que para todos los países excepto Italia (y España si se considera sólo el componente de cambio técnico) las tasas de cambio técnico o de productividad son superiores a las tasas 'máximas' de crecimiento del nivel de tecnología admisibles con la metodología intertemporal y cambio técnico no regresivo. Lógicamente, los países que comienzan con un nivel bajo de productividad y alcanzan el máximo hacia el final del período de análisis son los que muestran un crecimiento mayor del límite inferior de tecnología. Los resultados obtenidos proporcionan estimaciones de crecimiento de productividad en la agricultura europea inferiores a los obtenidos en otros estudios, cuestionando en parte la idea generalizada de alto crecimiento de la PTF en las agriculturas desarrolladas (OCDE, 1995).

El análisis DEA intertemporal presenta un patrón más rico de ineficiencia que el obtenido en el análisis contemporáneo considerado en el índice de Malmquist. Las medias de los límites inferior y superior de eficiencia son ilustrativas de dos aspectos distintos. Un valor relativamente alto del límite inferior de eficiencia técnica indica que los resultados de productividad están próximos a los mejores resultados alcanzables de productividad a lo largo del tiempo por la unidad productiva en cuestión (Austria, Grecia, Holanda). Un valor alto del índice superior de eficiencia técnica indica que no hay retrocesos en productividad o que éstos son poco importantes (Alemania Unificada, Austria, Bélgica, Dinamarca, Francia, Holanda, Suecia). Por construcción, los límites inferior y superior de eficiencia están cada vez más próximos, coincidiendo a partir del año del máximo nivel de tecnología (en todo caso coinciden en el último período de análisis).

Hasta ahora se ha estudiado sólo el componente radial de la productividad. Los resultados son aún más variados al considerar los componentes no radiales. El cuadro 4 resume la existencia de holguras en factores y en productos obtenidas con el DEA intertemporal⁵. En aquellos casos en que hay solamente unas pocas ocurrencias de holguras se indica el número; cuando las holguras son frecuentes se indica SÍ. Excepcionalmente Italia, no hay ineficiencia no radial en producción ganadera, siendo frecuentes las holguras en producción agrícola, sobre todo en países de orientación ganadera. La ineficiencia específica de factores más frecuente se da en el uso de otros consumos intermedios, con excepción de Italia y España. Es de destacar que en España prácticamente la única ineficiencia no radial se da en el uso de la tierra. En otros países la ineficiencia específica en el uso de algún factor puede ser importante.

⁵ La construcción del índice no radial de Russell es una alternativa interesante para la medición de la eficiencia y la obtención directa de la medida de las eficiencias específicas de inputs. Ahora bien, para las eficiencias específicas de outputs habría que seguir adoptando el enfoque del texto, basado en las holguras.

CUADRO 4

DEA intertemporal. Holguras. Resumen

	Output Agrícola	Output Ganadero	Semillas Pienso	Otro input interm.	Capital	Trabajo	Tierra
RFA (80-92)	SÍ			SÍ	SÍ		1
AU (90-97)				SÍ			1
Austria	3			1	SÍ	SÍ	SÍ
Bélgica				SÍ		1	1
Dinamarca	SÍ			2		SÍ	1
España			1				SÍ
Finlandia	SÍ			SÍ	SÍ	SÍ	
Francia				SÍ			SÍ
Grecia			SÍ	SÍ			2
Holanda	SÍ		SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	
Irlanda	SÍ		1	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Italia		SÍ	SÍ		SÍ	SÍ	SÍ
Portugal			SÍ	SÍ		SÍ	SÍ
Suecia	SÍ			SÍ	SÍ		SÍ
Reino Unido				SÍ			SÍ

Como ilustración de la descomposición de las eficiencias parciales en el uso de factores y obtención de productos y de la interpretación de los resultados particulares, se presentan los casos de España y de Alemania. España es interesante puesto que obtiene el mejor resultado de crecimiento de la productividad y está en la frontera eficiente en el último año. En estas condiciones, el supuesto sobre monotonía de progreso técnico no condiciona el análisis. Teniendo en cuenta que en España no se dan holguras en los outputs y sólo en tierra en el caso de los inputs, la evolución del índice de productividad radial es un buen indicador de los resultados productivos. La figura 1 presenta los límites de eficiencia radial. Por construcción, el límite superior de eficiencia está en uno hasta que se produce una disminución en el resultado total de productividad. Esto ocurre en los años de 1981 a 1983, 1986 y de 1993 a 1995. Los resultados de la evolución de la eficiencia parcial en la utilización del input tierra, en la figura 2, tienen una interpretación directa. Aunque en los primeros años hay casi un 20% de diferencia entre los límites inferior y superior, la evolución es similar con cualquiera de ellos, siendo los resultados muy parecidos, también cuantitativamente, en la década de los 90. Es destacable la mejora en la eficiencia del uso de la tierra, probablemente debida a una producción más intensiva en los últimos años tras un descenso en la primera mitad de los 90.

La figura 3 muestra los límites de eficiencia radial en Alemania, que es un buen ejemplo para ilustrar diversos aspectos de la metodología. Se observa en los años 1990 a 1992 que los resultados son consistentemente mejores en la antigua RFA que en AU. Desde 1986, los límites inferior y superior de eficiencia coinciden en la RFA, al haberse alcanzado el mayor nivel de tecnología. Por el contrario, en la AU se aprecia una mejora progresiva de eficiencia, con pequeñas caídas en 1991 y 1994, siguiendo el límite inferior de eficiencia.



Figura 1. Límites de eficiencia radial. España.



Figura 2. Límites de eficiencia de Tierra. España.

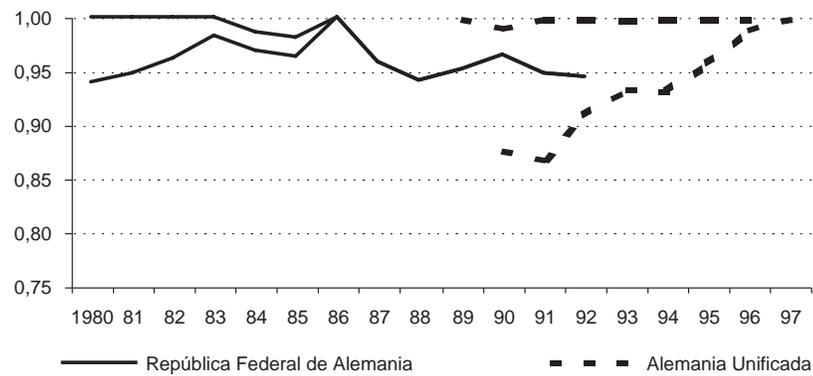


Figura 3. Límites de eficiencia radial. Alemania.



La figura 4, que ilustra la evolución de los límites del índice de eficiencia parcial del uso de otros consumos intermedios, muestra una disminución en la RFA entre 1987 y 1989, mientras que en la AU se aprecia una mejora progresiva, excepto en la caída de 1994, más acusada que con los límites de los índices radiales. La figura 5 presenta los límites de eficiencia del uso del trabajo, observándose un patrón de ineficiencia parcial muy diferente al que se tiene para consumos intermedios, tanto para la RFA como para la AU. Es interesante anotar que la evolución de la eficiencia en la utilización del trabajo es ligeramente decreciente en la RFA pero creciente en la AU en los años que se estudian conjuntamente. La eficiencia de la utilización del trabajo en RFA tras la unificación es peor que anteriormente, pero es mayor que la eficiencia del trabajo en el territorio de la antigua República Democrática, que a su vez está creciendo de forma notable, resultando una mejora en el conjunto de la AU.

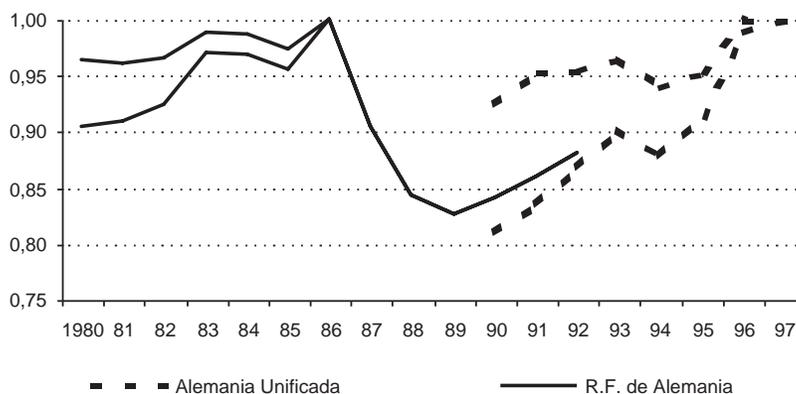


Figura 4. Límites de eficiencia de Otros Consumos Intermedios. Alemania.

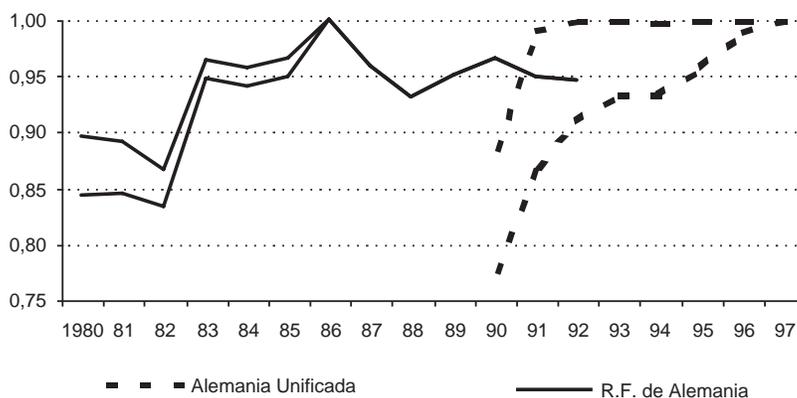
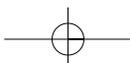


Figura 5. Límites de eficiencia de Trabajo. Alemania.



5. Conclusiones

En este trabajo se analiza la productividad de los sectores agrarios de los países de la UE en el período 1980 a 1997, mediante técnicas DEA. Un método utilizado como referencia y base para la comparación es el índice de Malmquist entre períodos sucesivos. Además, se presenta una metodología DEA intertemporal que, con el supuesto adicional de cambio técnico no regresivo, permite calcular niveles superior e inferior de tecnología y de eficiencia.

Se puede destacar que con la metodología DEA intertemporal se obtiene una información muy rica respecto a eficiencia, sobre todo considerando componentes no radiales. Estos resultados tan amplios no se pueden obtener en aplicaciones basadas en números índices ni se obtienen, en esta aplicación concreta, con la metodología de Malmquist basada en la comparación de períodos adyacentes.

El índice de Malmquist determina que existe progreso técnico durante el período analizado para todos los países, excepto Italia. El resultado de Italia es parcialmente compatible con el obtenido en el DEA intertemporal, en donde la primera observación de 1980 es eficiente, pero existen además otras observaciones eficientes incluyendo el último año 1997. Por el contrario, Grecia es una muestra de resultados divergentes, presentando crecimiento de la productividad mediante el índice de Malmquist y siendo eficiente la primera observación en DEA intertemporal.

Las diferencias obtenidas con las dos metodologías utilizadas ilustran la dificultad de identificar inobservables como 'eficiencia' y 'progreso técnico' y cómo sus medidas dependen de los supuestos adicionales sobre el comportamiento de los productores y la estructura de la tecnología y su evolución. Se obtiene que aunque en los distintos análisis suelen coincidir el signo y las ordenaciones de los fenómenos de mejora de la productividad, las tasas estimadas pueden diferir de forma apreciable. Los resultados que se han obtenido con DEA intertemporal sugieren una corrección a la baja de las estimaciones de crecimiento de productividad para la mayoría de las agriculturas consideradas.

Este resultado es nuevo y cuestiona la aceptación casi general de la existencia de progreso técnico importante en las agriculturas en países desarrollados (Bureau *et al.*, 1991; OCDE, 1995; Ball *et al.*, 1997). Schimmelpfenning y Thirtle (1999) cubre un período de tiempo parecido, de 1973 a 1993, al que se considera en este trabajo, mostrando dos diferencias fundamentales respecto a los resultados de productividad para los 9 países en común (los resultantes de la ampliación de 1973, menos Luxemburgo). En primer lugar, los resultados de crecimiento de productividad obtenidos en el presente trabajo con DEA intertemporal son más bajos. En segundo lugar, la clasificación de los países en dos grupos de alto y bajo crecimiento no coincide con la que resulta en este trabajo. Así, Holanda está situada entre los países de alto crecimiento de PTF agrario y el Reino Unido entre los de bajo crecimiento, mientras que los resultados presentados en este trabajo son contrarios. Por ello, los resultados obtenidos en el presente trabajo sugieren reconsiderar también los estudios de los factores determinantes de la PTF.

El estudio aquí realizado supone un avance en el análisis de la PTF en la agricultura europea, pero está sujeto a ciertas limitaciones, que deberían estudiarse en futuros trabajos. Se ha conseguido un mayor poder de discriminación de observaciones en la

frontera tecnológica que en trabajos previos, pero sigue pareciendo muy alto el número de observaciones que resultan eficientes. El uso de «bootstrap» permitiría calcular intervalos de confianza de las estimaciones de productividad, aunque no afectarían a los valores obtenidos en las estimaciones, por lo que seguiría sin resolverse la posible insuficiencia en capacidad discriminadora del análisis. Una solución del problema de muestra pequeña consistiría en extender el ámbito de las comparaciones. Para ello, se debería avanzar en la construcción de bases de datos homogéneas.

Referencias

- Aldaz, N. y Millán, J.A. (1996). «Comparación de medidas de productividad total de los factores en las agriculturas de las Comunidades Autónomas españolas». *Revista Española de Economía Agraria* **178**:73-113.
- Aldaz, N. y Millán, J.A. (2002). «Eficiencia y cambio técnico en DEA con datos de panel». *Revista de Economía Aplicada*, **X**(29):163-176.
- Aldaz, N. y Millán, J.A. (2003). «Regional productivity of Spanish agriculture in a panel DEA framework». *Applied Economics Letters*, **10**:87-90.
- Arnade, C. (1998) «Using a Programming Approach to Measure International Agricultural Efficiency and Productivity». *Journal of Agricultural Economics*, **49**(1):67-84.
- Ball, V.E.; Barkaoui, A.; Bureau, J.C. y Butault, J.P. (1997). «Aggregation Methods for Inter-country Comparisons of Prices and Real Values in Agriculture: A Review and Synthesis». *European Review of Agricultural Economics*, **24**(2):183-206.
- Bar-Shira, Z. y Finkelshtain, I. (1999). «Simple nonparametric tests of technological change: Theory and application to U.S. agriculture». *American Journal of Agricultural Economics*, **81**(4):850-64.
- Berndt, E.R. y Fuss, M. (1986). «Productivity Measurement Using Capital Asset Valuation to adjust for Variations in Utilization». *Journal of Econometrics*, **33**(1/2):7-30.
- Brown, R.S y Christensen, L.R. (1981). «Estimating elasticities of substitution in a model of partial static equilibrium: an application to U.S. agriculture», en E.R. Berndt y B.C Field (eds.): *Modeling and Measuring Natural Resource Substitution*, pp. 209-229. MIT Press. Cambridge. MA.
- Bureau, J.C.; Butault, J.P.; Hassan, D.; Lerouville, P.H. y Rousselle, J.M. (1991). *Generation and Distribution of Productivity Increases in European Agriculture*. EUROSTAT. Luxemburgo.
- Bureau, J.C.; Färe, R. y Grosskopf, S. (1995). «A Comparison of Three Nonparametric Measures of Productivity Growth in European and United States Agriculture». *Journal of Agricultural Economics*, **46**(3):309-326.
- Chalfant, J.A y Zhang, B. (1997). «Variations on Invariance or Some Unpleasant Non-parametric Arithmetic». *American Journal of Agricultural Economics*, **79**(4):1164-76.
- Chavas, J.P. and Cox, T.L. (1990). «A Non-parametric Analysis of Productivity: The Case of U.S. and Japanese Manufacturing». *American Economic Review*, **80**(3):450-64.
- Chavas, J.P. y Cox, T.L. (1988). «A Nonparametric Analysis of Agricultural Technology». *American Journal of Agricultural Economics*, **70**(2):303-310.
- Cuesta, R.A. (2001) «Modelos con eficiencia técnica variable en el tiempo», en A. Álvarez Píñilla (coord.): *La medición de la eficiencia y la productividad*, pp. 59-76. Pirámide. Madrid.
- Färe, R.; Grosskopf, S.; Norris M. y Zhang Z. (1994). «Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries». *American Economic Review* **84**:66-83.

- Fawson, C. y Shumway, C.R. (1988). «A Non-Parametric Investigation of Agricultural Production Behavior for U.S. Subregions». *American Journal of Agricultural Economics*, **70**:311-317.
- Fulginiti, L.E. y Perrin, R.K. (1997). «LDC agriculture: Nonparametric Malmquist productivity indexes». *Journal of Development Economics*, **53**:373-390.
- Fulginiti, L.E. y Perrin, R.K. (1998). «Agricultural productivity in developing countries». *Agricultural Economics*, **19**:45-51.
- Lim, H. y Shumway, C.R. (1992). «Profit maximization, returns to scale, and measurement error». *Review of Economics and Statistics*, **74**(3):430-38.
- Lovell, C.A.K. (1996). «Applying Efficiency Measurement Techniques to the Measurement of Productivity Change». *Journal of Productivity Analysis*, **7**(2-3):329-40.
- Luijt, J.y Hillebrand, J.H.A. (1992). «Fixed Factors, Family Farm Income and the Continuity of Dutch Dairy Farms». *European Review of Agricultural Economics*, **19**(3):265-82.
- Lynde, C. y Richmond, J. (1999). «Productivity and efficiency in the UK: a time series application of DEA». *Economic Modelling*, **16**(1):105-122.
- Millán, J.A. y Aldaz, N. (1998). «Agricultural productivity of the Spanish regions: a non-parametric Malmquist Analysis». *Applied Economics*, **30**(7):875-884.
- Millán, J.A. y Aldaz, N. (2004). «Efficiency and technical change in intertemporal intersectoral DEA». *Journal of Productivity Analysis*, **21**(1):7-23.
- OCDE (1995). *Technological Change and Structural Adjustment in OECD Agriculture*. OCDE. París.
- Schimmelpfennig, D. y Thirtle, C. (1999). «The Internationalization of Agricultural Technology: Patents, R&D Spillovers, and Their Effects on Productivity in the European Union and United States». *Contemporary Economic Policy*, **17**(4):457-68.
- Schmitt, G. (1989). «Farms, Farm Households, and Productivity of Resource Use in Agriculture». *European Review of Agricultural Economics*, **16**(2):257-84.
- Tulkens, H. y Vanden Eeckaut, P. (1995). «Non-parametric efficiency, progress and regress measures for panel data: Methodological aspects». *European Journal of Operational Research*, **80**:474-499.