

Influencia del capital público y de la inversión en educación sobre la eficiencia técnica en las economías europeas y *catch-up* tecnológico (1980-2001)

Inmaculada C. Álvarez Ayuso y Osvaldo U. Becerril Torres

Resumen *Abstract*

En este trabajo se cuantifican las cantidades de capital productivo, tanto público como privado, y en educación para los países de la Unión Europea (UE-15) durante el período 1980-2001. De este modo, disponemos de una base de datos que nos permite estimar una función frontera así como analizar la influencia de estas variables sobre la evolución de la eficiencia técnica en los países europeos. Por último, se ha comprobado la existencia de convergencia en eficiencia y, por tanto, la aproximación a la frontera tecnológica de los países europeos.

This paper quantifies production and education capital (both public and private) in the 15 member states of the European Union (EU) from 1980 to 2001. To carry out this research, a stochastic frontier model has been used, making it possible to study the role of public investment in infrastructure and education. We introduce these capitals in the inefficiency function to be estimated and take into consideration allocation criteria in European countries as determinants of productive efficiency. Findings confirm the positive influence of public capital as well as the existence of a technological catch-up.

Palabras clave: *Key words:*

Capital público, capital en educación, eficiencia técnica, convergencia condicionada y frontera estocástica

Public capital, human capital, productive efficiency, conditioned convergence and stochastic frontier.

1. Introducción

Las técnicas de frontera permiten calcular la eficiencia técnica como la distancia de la producción observada respecto de la frontera eficiente, que representa la producción alcanzable en condiciones óptimas. El planteamiento de nuevos modelos basados en las técnicas de frontera ha contribuido a desarrollar una extensa literatura dedicada a medir la eficiencia técnica, tanto de empresas como de sectores productivos y regiones¹, con aportaciones sumamente interesantes. El considerable número de estudios empíricos en los que la estimación de funciones frontera pone de manifiesto la existencia de ineficiencias en el uso de los factores productivos privados, tanto en la economía española como en el análisis por países (Gumbau y Maudos (1996), Beeson y Husted (1989)), ha dado paso a trabajos que tratan de concretar los determinantes que explican estos resultados. Así pues, la aplicación de funciones frontera en el análisis del impacto de las infraestructuras y el capital humano es reciente en la literatura. En los trabajos realizados se ha optado por técnicas no paramétricas de programación lineal o modelo de Envoltente de Datos (DEA) y la aproximación de frontera estocástica. En el cuadro 1 se resumen algunos de estos estudios.

En Maudos y otros (1998a) y Salinas y otros (2002), basándose en técnicas no paramétricas, realizan un análisis bietápico para las regiones españolas en diferentes períodos. Es decir, una vez estimada la función de producción con factores privados, extraen la ineficiencia y la productividad total de los factores, pasando a analizar a continuación el impacto del capital público productivo y humano sobre la evolución de las mismas. Por su parte, Domazlicky y Weber (1997), Lynde y Richmond (1999) y Boisso et. al. (2000) incorporan el capital público entre los factores productivos y calculan la eficiencia técnica siguiendo el enfoque DEA y el índice de Malmquist, mientras que Pedraja et. al. (1999) y Puig-Junoy (2001) analizan el

[1] Gran parte de los trabajos tienen como objetivo la comparación de empresas en áreas concretas (Battese y Broca (1997), Harris (2001)), pero su uso se ha extendido de manera generalizada al análisis del crecimiento económico y la productividad (Perelman (1995)), ya que en presencia de ineficiencia su omisión puede conducir a resultados sesgados. Por ello, y a pesar de las reservas que puede plantear el hacer uso de una metodología, inicialmente propuesta para el análisis de empresas, con datos agregados ésta ofrece un marco teórico de estimación apropiado, al permitir introducir el componente de la ineficiencia en la especificación del modelo.

papel de las infraestructuras mediante la utilización de fronteras estocásticas. En estos estudios, puesto que el capital público se considera un factor productivo, se descarta el análisis de los determinantes de la eficiencia, a excepción del trabajo de Puig-Junoy (2001), ya que la aplicación del modelo de Battese y Coelli (1995) le permite estimar simultáneamente una frontera de producción estocástica, que incorpora el capital público, junto con una ecuación de la ineficiencia, que incluye este factor y algunas de sus componentes.

La incorporación del capital humano en la frontera de producción se lleva a cabo, entre otros, en Maudos et. al. (1998b) y Maudos et. al. (1999) siguiendo, ambos enfoques en el primer estudio, y una frontera de tipo no paramétrico en el segundo, y basando las estimaciones en el modelo DEA y el índice de Malmquist. Por último, destacan los trabajos de Clements (1999) y Dolton, Marcenaro y Navarro (2001), que relacionan un output educativo, o variable proxy de los resultados académicos, con diversas características de los sistemas educativos nacionales (gasto público en educación por estudiante y gasto público en educación como porcentaje del PIB per cápita) y algunos aspectos personales que pueden condicionar el rendimiento de cada alumno, respectivamente.

Continuando en la línea de estos trabajos, en la presente investigación se va a analizar el impacto que ejercen el capital público y humano sobre la eficiencia en el uso de los factores privados. Para ello, se estima una frontera de producción translogarítmica para los países de la Unión Europea durante el período 1980-2001, considerando los factores productivos privados, empleo y capital, mediante la implementación del modelo de Battese y Coelli (1995), que flexibiliza el supuesto de invarianza en el tiempo de la ineficiencia técnica y permite modelizar ésta en función de un conjunto de variables explicativas, entre las que se incluyen la tendencia temporal así como el stock de capital público y una variable de educación, que hace referencia al stock correspondiente al gasto público en educación. A su vez, la eficiencia técnica estimada a través de una frontera estocástica se compara con la obtenida usando métodos de programación lineal, denominados Envolvente de Datos (DEA), en cuyo caso y basándose en un análisis bietápico, es posible estudiar los determinantes del cambio que se produce en la eficiencia técnica. En la consecución de los objetivos planteados ha sido necesario realizar una estimación del capital físico productivo, privado y público, y de la variable de educación, mediante la aplicación del método del inventario permanente sobre las correspondientes series de inversión y gasto.

Así pues, el estudio se estructura de la siguiente manera: en primer lugar, se estiman las series de stock de capital físico productivo, público y privado, y en educación, obteniendo series homogéneas de los stocks de capital que se emplean en el análisis empírico en términos monetarios durante un extenso período de tiempo y para la totalidad de los países que constituyen la Unión Europea. A continuación, se desarrollan los aspectos metodológicos relacionados con la medición de la eficiencia técnica. En el siguiente apartado se investiga el papel que han desempeñado las políticas de inversión en infraestructuras y gasto en educación sobre la reducción de la ineficiencia en el uso de los factores privados en la UE-15 mediante la incorporación del capital público y el capital en educación en una frontera estocástica y paramétrica, añadiendo el enfoque no paramétrico mediante un análisis bietápico de la eficiencia técnica obtenida a partir del modelo DEA. Por último, se presentan las principales conclusiones.

2. Estimación del capital público, capital privado y capital humano en la UE-15²:

La evolución de las políticas públicas en Europa y en España ha situado a la inversión pública en infraestructuras y al gasto en educación como los ejes centrales de su actuación, lo que se ha trasladado también a los trabajos realizados (De la Fuente y Vives, 1995). De hecho, estos son los componentes del capital público, entendido éste en su acepción más amplia (Biehl, 1986, Gramlich, 1994), que habitualmente son estudiados. Para ello, se han realizado distintas estimaciones de estos stocks que permiten analizar su evolución y situación relativa.

Las dotaciones de capital de la economía han ocupado un lugar destacado en los estudios sobre crecimiento, siendo el capital privado el que ha centrado, en mayor medida, la atención de los trabajos realizados, frente al capital público y al capital humano. Una de las justificaciones expuestas para esto es la falta de series compatibles para los tres stocks, que abarquen un número de países suficiente y

[2] La metodología empleada se desarrolla detalladamente en Álvarez y Delgado (2002), respecto al cual en el presente trabajo se han revisado las series de capital en educación. Los resultados obtenidos se presentan en el Apéndice Estadístico (cuadros A.3.-A.6.).

amplios períodos de tiempo³. Por ello, en esta investigación se ha considerado elaborar una base de datos homogénea que permita contar con abundante información sobre las economías europeas para el período 1980-2001, empleando como método de estimación el método del inventario permanente, habitual en las estimaciones de capital de la economía⁴.

La estimación del capital físico productivo y su distinción entre capital productivo privado y público se ha realizado habitualmente en términos monetarios⁵, existiendo distintas estimaciones tanto por países (Martin et. al., 2001) como para las regiones españolas (Fundación BBVA, 1998). En esta investigación se han utilizado las series de inversión por ramas de actividad contenidas en la base de datos NEW CRONOS que publica Eurostat. La disponibilidad de estos datos ha permitido valorar el capital privado y el capital público en términos monetarios constantes, homogeneizados con la Paridad de Poder de Compra Estándar (PPC del dólar) de 1990. Además, la base de datos New Cronos también contiene información del Valor Añadido Bruto a precios de mercado y en los mismos términos, lo que constituye un aliciente adicional para el empleo de estos datos de stocks.

En cuanto al capital humano de la economía, la gran parte de los análisis realizados han utilizado la distribución por estudios de la población y las tasas de escolarización como aproximaciones de este stock. A nivel internacional se dispone de las series de Barro y Lee (1996, 2000) y Mulligan y Sala y Martin (2000), y para la economía española las de Mas et. al. (1998). Frente a estas alternativas, basadas en resultados académicos, en esta investigación se ha ela-

[3] Esta situación está cambiando con la creación de bancos de datos que han hecho posible la estimación de estos capitales. Entre las bases de datos que cuentan con información sobre los flujos de inversión pública, privada y en educación se encuentran la *Business Sector Data Base (BSDB)*, las *National Accounts* y *Economic Outlook, Education at a glance* facilitadas por la OCDE.

[4] En OCDE (1993) se ofrece una descripción de los distintos procedimientos de cálculo utilizados por los países.

[5] Otra base de datos de capital físico productivo frecuentemente utilizada en las comparaciones internacionales es la de Summers y Heston (1991) pero en ella no se separa el capital público y el privado, lo mismo le sucede a la base de datos AMECO de la Comisión Europea. En la estimación del capital público de la economía se pueden encontrar estimaciones de este stock en términos físicos, para grupos de países (Canning, 2000 y Sanchez-Robles, 1998) y para la economía española (Álvarez y Delgado, 2001).

borado un stock de capital en educación⁶ que pretende recoger el esfuerzo inversor que las Administraciones Públicas han realizado en este ámbito con el objetivo de llegar a una medida en términos monetarios y que pueda ser utilizada como input productivo. En esta medición del stock se ha utilizado la información del gasto en educación recogida en las publicaciones de la OCDE⁷ expresada en moneda nacional y a precios corrientes y se ha transformado en los mismos términos que el resto de variables utilizando el deflactor del consumo público y la PPC que ofrece la OCDE. El empleo de este tipo de datos facilita la homogeneización de los distintos niveles de educación e introduce información sobre las diferencias de calidad existentes entre sus sistemas educativos. No obstante, presenta el problema de que se está asumiendo que el gasto en cada uno de los niveles educativos tiene la misma aportación al capital⁸.

La disponibilidad de estas series de inversión y gasto público en educación ha permitido valorar los stocks de capital bruto en términos monetarios constantes, homogeneizados con la Paridad de Poder de Compra Estándar de 1990. El período objeto de estudio es el período 1980-1997, aunque para la práctica totalidad de países las series se facilitan desde el año 1960. Con objeto de contar con un amplio período que alcance hasta el año 2001, se han realizado previsiones que permitan extender las series para los años más recientes. Para ello, se ha empleado la metodología de Box-Jenkins, utilizando el programa TASTE.

En este epígrafe se describe el método del inventario permanente, pasando a continuación a detallar el criterio de asignación al capital público y privado de la inversión y las fuentes y disponibilidad correspondientes a las series de gasto público en educación así como los métodos de predicción empleados en la extensión de las series de stock obtenidas. Finalmente, se llevará a cabo un análisis

[6] Al igual que en la mayoría de los trabajos, la estimación realizada depende de la información disponible, por ello, únicamente se estima el capital humano adquirido a través del sistema educativo, no disponiendo de información de otras formas de adquirir conocimientos al margen del sistema productivo, por ejemplo, a través de la experiencia laboral.

[7] La base de datos NEW CRONOS no contiene información sobre el gasto en educación de los países de la UE-15.

[8] Este problema también se presenta en gran parte de los indicadores elaborados a partir de la agregación de resultados académicos. No obstante, en esta investigación el objetivo de la medición de esta variable es obtener una medida de un input de educación, siendo conscientes de las dificultades de la estimación del capital humano en los países de la UE.

descriptivo acerca de la distribución por países de los stocks de capital público y en educación.

2.1. Método del Inventario Permanente⁹:

La implementación del método del inventario permanente se lleva a cabo sobre los correspondientes datos de inversión y partiendo de estimaciones del stock de capital inicial adecuadas. La necesidad de contar con una valoración del capital al comienzo del período exige, a su vez, que las series de inversión recojan un período suficientemente amplio, lo que permitirá alcanzar estimaciones del stock acumulado realistas, en la medida que los posibles sesgos por la aproximación del capital inicial quedarán minimizadas con el paso del tiempo. En esta investigación, y puesto que disponemos únicamente de las series de inversión, debemos comenzar exponiendo de que manera podemos obtener el stock de capital de partida. En el cálculo del capital inicial tendremos en cuenta el hecho de que las economías objeto de nuestro análisis pueden encontrarse apartadas de su situación de estado estacionario (Doménech y Taguas, 1999). Este supuesto se impone en el Modelo Neoclásico¹⁰ para poder extraer la tasa de crecimiento del stock de capital, κ ,

$$(1) \quad \kappa = \frac{I_t}{K_t} - \delta$$

de la siguiente manera:

Donde I_t es la inversión, δ es la tasa de depreciación y K_t el stock de capital¹¹. Despejando κ en (1) obtenemos la expresión que nos permitirá estimar el stock de capital inicial usando los datos de inversión. Para implementar dicha expresión es preciso suponer

[9] Esta es la metodología recomendada por el Sistema Europeo de Cuentas (SEC-95) para valorar el stock de activos fijos producidos.

[10] En Barro y Sala-i-martin (1995) se desarrollan en detalle los modelos de crecimiento de corte neoclásico.

[11] En el Modelo Neoclásico la evolución del capital viene expresada como: $K'_t = I_t - \delta K_t$, siendo $K'_t = dK/dt$ la derivada del capital con respecto al tiempo. Dividiendo por K_t a ambos lados de la igualdad en la ecuación anterior obtenemos la tasa de crecimiento del stock de capital.

que la tasa de crecimiento de la inversión es una buena aproximación a la tasa de crecimiento del stock de capital (K_t):

$$(2) \quad K_t = \frac{I_t}{K_t + I_t} = \frac{I_t}{I_t + K_t}$$

En el cálculo del stock de capital inicial, que a partir de ahora denotamos por K_I , implementamos la expresión (2) incorporando en dicha ecuación el nivel de inversión en el primer año de la muestra, I_I , así como la tasa de crecimiento media de dicha variable en la totalidad del período, I . De esa manera, obtenemos:

$$(3) \quad K_I = \frac{I_I}{I + K_I}$$

Sin embargo, puesto que la inversión presenta una gran volatilidad, su tasa de crecimiento puede diferir de manera considerable de la correspondiente al stock de capital, que por lo general muestra una variación bastante tendencial y suave a lo largo del tiempo. Por este motivo, se han filtrado las series de inversión utilizando el filtro de Hodrick y Prescott¹², $\lambda = 100$ con un parámetro de suavización de λ , dado que poseen una periodicidad anual. Así pues, la expresión que finalmente implementaremos en el cálculo del stock de capital inicial es la siguiente:

$$(4) \quad K_I = \frac{I_{hp}}{I_{hp} + K_I}$$

Donde I_{hp} es el dato inicial de la tendencia de la inversión calculada mediante el filtro de Hodrick y Prescott y I_{hp} es su tasa media de crecimiento en la totalidad del período para el que se dispone de datos correspondientes a dicha variable.

[12] Véase Hodrick y Prescott (1997). Para la serie de gasto público en educación no se ha utilizado el filtro de Hodrick y Prescott, dado que esta serie no está sujeta a las oscilaciones características de la inversión en la medida que el mayor componente de esta partida son los gastos corrientes, cuya variación anual es reducida. Así mismo, suponemos una tasa de depreciación del capital físico y humano del 0.05, en consonancia con el trabajo de Mankiw, Romer y Weil (1992), en el que igualan las tasas de depreciación de ambos tipos de capital.

A partir del año base, el stock de capital estimado para el resto del periodo se calcula a través del método del inventario permanente implementando la siguiente expresión:

$$(5) K_{I+j} = \sum_{s=1}^j (1 - \delta)^{s-1} I_{I+j-s} + (1 - \delta)^j K_I$$

Donde la letra I en los subíndices de las distintas variables hace referencia al año inicial. Como podemos comprobar, según la ecuación (5), el stock de capital se calcula como la suma ponderada de la inversión desde el comienzo del período junto con el stock de capital inicial, que se deprecia con el paso del tiempo, motivo por el cual el posible sesgo por la utilización de una aproximación a su valor va perdiendo relevancia.

2.2. Series de inversión, pública y privada, y gasto público en educación:

Los datos de inversión (FBKF por propietario) utilizados para medir el stock de capital público y privado están expresados en millones de PPS de 1990 y proceden de la estadística New Cronos que ofrece Eurostat para el período 1960-1997. Esta base de datos supone un gran avance en las estadísticas europeas al contar con una detallada información económica sobre los 15 países que constituyen la UE. No obstante, las series que presenta, en muchos casos, aparecen incompletas tanto en lo referente a los períodos como a la desagregación que ofrecen y los términos de su valoración. Por este motivo, en esta investigación ha sido necesario realizar un esfuerzo para homogeneizar la información y completar las series. En el Cuadro 2 se puede comprobar el distinto nivel de desagregación de la información sobre la inversión privada y pública por países, así como las diferencias en los períodos que abarcan las series.

En primer lugar, ha sido necesario desagregar la información de la FBKF (por propietario) entre inversión pública y privada para estimar el stock de capital público y privado de los países. Los sectores considerados en esta base son: Agricultura, Pesca y Silvicultura, Productos Energéticos, Industria, Construcción, Servicios Destinados a la Venta y Servicios no Destinados a la Venta. Esta desagregación está disponible para todos los países de la UE, con las únicas excepciones de España, Grecia y Portugal. Para los países que cuentan con la información por sectores, las series de inversión privada se obtienen mediante la suma de los sectores privados

(Agricultura, Pesca y Silvicultura, Productos Energéticos, Industria, Construcción y Servicios Destinados a la Venta), mientras que la inversión pública coincide con la formación bruta de capital fijo correspondiente al sector servicios no destinados a la venta¹³. New Cronos no contiene la FBKF con esta desagregación para España, Grecia y Portugal. Por este motivo, para estos países hemos aplicado sobre la inversión total los porcentajes medios de inversión privada y pública obtenidos a partir de las series de formación bruta de capital fijo a precios corrientes del período 1990-1996 contenidas en la misma base de datos de New Cronos¹⁴.

Por otra parte, las estimaciones del capital pretenden cubrir el mismo horizonte temporal en todos los países. En este sentido, las series de formación bruta de capital fijo también presentan diferencias en los años de inicio y finalización de la serie. En los casos de Alemania y Dinamarca, las series de inversión desagregadas a nivel sectorial finalizan un año antes que las correspondientes al total. Por ello, ha sido necesario aplicar los porcentajes de inversión privada y pública obtenidos en 1996 sobre la inversión total en 1997 para disponer de dichas series hasta este último año. Por el contrario, las series de inversión privada y pública pertenecientes a Irlanda, Luxemburgo y Dinamarca comienzan después que la serie del total, motivo por el cual se han ampliado hacia atrás de manera que su extensión en el tiempo coincida con la correspondiente al total. Para ello, en los casos de Irlanda y Luxemburgo los porcentajes medios de inversión privada y pública obtenidos desde 1970 hasta 1997 se aplican sobre la inversión total durante los años 60, mientras que en Dinamarca, y puesto que estos porcentajes varían considerablemente a lo largo del período disponible, se aplican los

[13] Las inversiones que el sector público realiza en el sector privado no se han incorporado en el dato de inversión pública, dada la desagregación sectorial que presenta la base de datos empleada en el análisis. Así mismo, Easterly y Rebelo (1993) señalan que la exclusión de la participación del sector público en actividades de carácter privado introduce un sesgo muy reducido en la cuantificación de la inversión pública.

[14] En el caso de España existe una fuente de datos oficial alternativa, ya que el Instituto Nacional de Estadística (INE) publica una serie de formación bruta de capital fijo referida al sector público en las Cuentas Nacionales de las Administraciones Públicas. Sin embargo, en este trabajo hemos extraído los porcentajes de inversión pública y privada a partir de la formación bruta de capital fijo a precios corrientes correspondiente a la base de datos New Cronos, continuando así con el esquema seguido en los restantes países que componen la muestra.

correspondientes al año de inicio de la serie sobre la inversión total hasta completar la década.

Por último, se ha observado que en Finlandia y Reino Unido la tasa de crecimiento media de la tendencia de la inversión, que nos permite aproximar la tasa de crecimiento del stock de capital, difiere de ésta última en signo y cuantía atendiendo a las series de capital que presenta Eurostat¹⁵. Así pues, en ambos países se han empleado las tasas de variación acumuladas obtenidas a partir de los stocks de capital físico que publica Eurostat a través de la base de datos New Cronos.

Los datos referidos al gasto público en educación¹⁶ utilizados para medir el stock de capital humano, que se encuentran disponibles en las estadísticas de la OCDE, están expresados en moneda nacional y a precios corrientes. Por ello, en primer lugar se procedió a homogeneizar la información deflactando la serie para transformarla a precios constantes de 1990 y utilizando la PPS de 1990. De esta manera contamos con la información de partida en los mismos términos que la utilizada en la estimación del capital físico y abarcando el mismo periodo 1960-1997. Para estos cálculos se utilizó la información sobre el deflactor del consumo público¹⁷ y la PPS que facilita la OCDE.

A diferencia de en la base de datos utilizada para el capital físico, que se ofrece en formato CD-ROM para la totalidad del periodo, la información presentada por la OCDE sobre el gasto en educación sólo se puede obtener en este soporte para años recientes. Por ello, para completar la información sobre el gasto en educación desde el año 1960, fue necesario consultar distintas publicaciones, que pasaremos a detallar en el Cuadro 3:

[15] New Cronos contiene estimaciones propias de capital para Finlandia, Reino Unido, Francia e Italia. Se ha comprobado que para Francia e Italia las tasas de crecimiento tanto de la tendencia de la inversión como del stock de capital durante el período analizado son muy similares.

[16] La estimación se ha realizado para el gasto público en educación, dada la dificultad para obtener la información sobre el gasto privado por países y para el período analizado. Además, la participación del gasto privado sobre el total del gasto en educación se comprobó que tan sólo representa entre un 5% y el 10%, estimación realizada para los años y países de los que se disponía el dato (Fuente: OCDE).

[17] Las publicaciones de la OCDE que incluyen datos de gasto en educación en términos constantes también utilizan en su elaboración el deflactor del consumo público.

Aunque en estas publicaciones la información sobre el gasto en educación resulta bastante completa¹⁸, carecen de datos para España, Luxemburgo y Dinamarca en el periodo 1970-1988, motivo por el cual se consultó el porcentaje que representan estos países sobre la suma de los restantes (UE-12) en los anuarios de la UNESCO. A partir de esta información se calculó el valor del gasto en estos países aplicando los correspondientes porcentajes sobre la base de datos de la OCDE.

Por su parte, en el caso de Luxemburgo las fuentes mencionadas con anterioridad no cubren el período 1989-1998. Puesto que únicamente se dispone del dato sobre el porcentaje que representa el gasto en educación sobre el GDP (Gross Domestic Product) en el año 1995, hemos empleado este dato en la ampliación de la serie desde el año 1989. Por último, para España y Dinamarca en el periodo 1960-70 el dato que se ofrece es el de gasto público corriente. Dado que la estimación del stock de capital humano se ha realizado a partir del gasto público en educación, que esta constituido por los gastos corrientes y los de capital, se ha aproximado al total incorporando a estos países el porcentaje medio que representan los gastos de capital en la Unión Europea.

2.3. Extensión de las series:

A partir de las series de inversión y gasto público en educación en PPS de 1990 comentadas en el apartado anterior hemos obtenido las correspondientes variables de stock durante el período 1960-1998. Posteriormente y con el propósito de extender dichas series hasta el año 2001, se han realizado previsiones aplicando la metodología de Box-Jenkins.

Las técnicas de análisis de series temporales sobre las que se basa la metodología Box-Jenkins se introducen y desarrollan en profundidad en el libro ya clásico de Box y Jenkins (1976). En castellano, destacan el manual de Espasa y Cancelo (1993) y las numerosas aportaciones del profesor A. Treadway¹⁹, quien ha dirigido la programación del paquete informático T.A.S.T.E. (Taller de Análisis de Series Temporales Económicas), que es el programa que emplea-

[18] Para algunos países las publicaciones utilizadas no contienen información para todos los años, por lo que se completó aplicando la tasa de crecimiento anual del año anterior.

[19] Véase Treadway et. al. (1978), Treadway (1984) y Treadway (1998), entre otros.

mos en las estimaciones llevadas a cabo. Otra metodología general de análisis de series de gran importancia teórica es el análisis espectral. El trabajo de Bloomfield (1976) constituye una de las referencias básicas en este ámbito. Así mismo, cabe destacar la formulación de los modelos econométricos en Espacio de los Estados. Los métodos de estimación a través del modelo en Espacio de los Estados han sido ampliamente desarrollados en el libro de Terceiro (1990), quien ha creado una Toolbox²⁰ en Matlab a través de la cual podemos implementar dichos modelos así como los algoritmos básicos, que suponen un avance interesante en el filtrado, predicción e interpolación de datos en series temporales.

La metodología de Box y Jenkins se utiliza en la modelización univariante de las series objeto de nuestro análisis, lo que nos permite llevar a cabo previsiones sobre las mismas, basándonos en el supuesto de que las condiciones futuras serán análogas a las pasadas. De esta manera, alcanzamos a predecir las series de stock de capital de un modo razonable, dado que la metodología empleada se basa en la estimación de modelos lineales, cuya aplicabilidad en la obtención de previsiones ha sido ampliamente justificada y que, frente a la utilización de las tasas de crecimiento, conserva la totalidad de la información contenida en las series originales. Veamos cómo se han extendido las series de stock hasta el año 2001 mediante el cálculo de previsiones basadas en las técnicas de análisis de series temporales de Box y Jenkins.

La construcción de un modelo univariante sigue, en la metodología Box-Jenkins, las siguientes etapas: 1) identificación, 2) estimación, 3) validación o diagnóstico y 4) predicción. El primer paso a seguir es identificar la estructura del modelo, lo que requiere decidir que transformaciones aplicar para convertir el proceso subyacente en estacionario y determinar una representación de tipo ARMA para el proceso estacionario. En la obtención de procesos estacionarios hemos aplicado, en primer lugar, transformaciones logarítmicas en las series que lo han requerido, con el propósito de corregir la no estacionariedad en varianza, lo que nos conduce con posterioridad a tomar primeras y segundas diferencias²¹ para que la media sea constante. A continuación, se identifican los órdenes p

[20] En Terceiro et. al. (1997) se ofrece una guía dirigida a los usuarios de la Toolbox E⁴.

[21] Hemos denotado al operador lineal de retardo como B, en cuyo caso: $BZ_t = Z_{t-1}$. Siendo Z_t la manera en que hemos denominado a las series de stock de capital físico. Este operador es lineal y cumple, por tanto, las leyes de suma, resta, multiplicación, división y

y q de los modelos ARMA asociados a los procesos estacionarios mediante la comparación de sus funciones de autocorrelación simple y parcial con el catálogo de funciones teóricas existentes en la literatura²².

Los modelos ARIMA(p,d,q) se expresan de manera genérica como:

$$(6) (1 - \alpha_1 B - \alpha_2 B^2 - \dots - \alpha_p B^p) [(1 - B)^d \ln Z_t - \mu] = (\beta_1 B - \beta_2 B^2 - \dots - \beta_q B^q) a_t$$

Siendo p y q los órdenes de los modelos autorregresivo y de medias móviles, respectivamente. Por su parte, α_i y β_j hacen referencia a los parámetros correspondientes a los modelos autorregresivo y de medias móviles, respectivamente. Así mismo, d representa el grado de diferenciación necesario para obtener un proceso estacionario, el parámetro μ nos sirve para introducir un término constante, en caso de que la media difiera de cero, y a_t es el residuo, que sigue un proceso ruido blanco.

En el cuadro 4 se resumen los modelos estimados para cada uno de los países de la Unión Europea, siguiendo la notación en (6). En todos los casos se han estimado modelos autorregresivos puros de primer, AR(1), y segundo orden, AR(2). Tras realizar la diagnosis de los modelos estimados, se llevan a cabo las previsiones de las series de capital a horizonte 2001.

2.4. Análisis comparado para los países de la Unión Europea:

En el cuadro 5 se presenta la distribución del capital público y del capital en educación entre los países de la Unión Europea. En el caso del capital público se observa como únicamente tres países,

potenciación, por lo que se puede operar con él como si de una variable se tratase. Así pues, el operador de primeras diferencias cumple que: $(1 - B)Z_t = Z_t - Z_{t-1}$

y el operador en segundas diferencias $(1-B)^2$ se puede expresar como :

$$(1 - B)^2 Z_t = (1 - B)(1 - B)Z_t = (1 - B)(Z_t - Z_{t-1}) = Z_t - 2Z_{t-1} + Z_{t-2}$$

[22] En numerosos manuales de Econometría podemos encontrar dibujadas las funciones de autocorrelación simple y parcial teóricas correspondientes a los distintos tipos de modelos univariantes.

Alemania, Francia y Reino Unido, aglutinan más de la mitad de este stock. Al considerar la dimensión de los países, relacionando las dotaciones de capital con respecto al valor añadido bruto y a la población, la situación cambia. Así pues, Austria, Finlandia, Luxemburgo y Dinamarca cuentan con las mayores dotaciones relativas de capital público, seguidas en importancia por Alemania, Bélgica, Reino Unido y Francia. En el grupo con menores dotaciones relativas se encuentran España, Portugal, Grecia e Irlanda.

Por su parte, el capital en educación se concentra en el colectivo de países que poseen la mayores dotaciones de capital público, al que se añade en esta ocasión Italia. Así mismo, el capital en educación en relación al valor añadido bruto y a la población se distribuye de la siguiente manera: relativizando mediante el valor añadido bruto destacan, en orden descendente, las dotaciones relativas correspondientes a Dinamarca, Suecia y Reino Unido, mientras que con respecto a la población Luxemburgo ocupa la tercera posición. En una situación intermedia y por encima del promedio europeo se encuentran Austria, Bélgica, Finlandia, Francia (solo respecto a la población), Italia y Países Bajos. Los restantes países no logran alcanzar la media de la Unión Europea y entre ellos España, Grecia y Portugal son los países con menores dotaciones de capital en educación.

3. La medición de la eficiencia técnica:

Parece razonable suponer cierto grado de ineficiencia en el uso de los factores por parte de las distintas economías. La ineficiencia productiva se da cuando, por diversas razones, las economías no son capaces de alcanzar la maximización de beneficios, motivo por el cual podemos distinguir dos tipos de eficiencia:

-Eficiencia técnica: aparece cuando una combinación de inputs genera la máxima producción alcanzable. A su vez, la eficiencia técnica se puede descomponer en eficiencia técnica "pura" y de "escala". El supuesto de rendimientos constantes a escala resulta admisible cuando la economía objeto de estudio opera a escala óptima, situación que desaparece ante imperfecciones en el mercado, que conllevan ineficiencias de escala.

-Eficiencia asignativa: se da cuando la combinación de inputs utilizada permite minimizar los costes de producción.

En las aplicaciones empíricas que se llevarán a cabo a continuación, dado que se estima una función de producción, se anali-

zará únicamente la eficiencia técnica, ya que la eficiencia asignativa se obtiene a partir de la función de costes. Para ello, el trabajo se centra en la medición de la eficiencia técnica a través de los índices de Farrell²³ (1957), considerando las desviaciones respecto de la frontera de producción.

La aproximación al cálculo empírico de las fronteras de producción puede ser no paramétrica o paramétrica. En la aproximación paramétrica nos basamos en la estimación de una frontera estocástica siguiendo el modelo de Battese y Coelli (1995), que considera la función de producción estocástica para un panel de datos:

$$(7) \quad Y_{it} = \exp(X_{it}' + v_{it} - u_{it}) \quad i = 1, \dots, N \\ t = 1, \dots, T$$

Siendo Y_{it} la producción en el período t -ésimo y para la empresa i , X_{it} un vector ($1 \times k$) de variables explicativas y β un vector ($k \times 1$) de parámetros desconocidos. En cuanto a los dos componentes que constituyen el término de error, v_{it} son los errores aleatorios independientes e idénticamente distribuidos como una normal con media cero y varianza σ_v^2 , e independientemente distribuidos de u_{it} . Por su parte, v_{it} está compuesto por variables aleatorias no-negativas, asociadas a la ineficiencia técnica en producción y obtenidas a partir de la distribución normal truncada²⁴ en cero con media Z_{it} y varianza σ_u^2 . Z_{it} es un vector ($1 \times m$) de variables explicativas asociadas a la ineficiencia técnica a lo largo del tiempo y γ es un vector ($m \times 1$) de coeficientes desconocidos.

La ecuación (7) especifica la frontera de producción estocástica en términos de los valores de producción originales. A su vez, la ineficiencia técnica, u_{it} , es función de un conjunto de variables explicativas, Z_{it} , y un vector de coeficientes desconocidos, γ . Así pues, la ineficiencia técnica se expresa como:

[23] Alternativamente, en los trabajos de Koop (1981), Russell (1985) y Zieschang (1984) se proponen índices que no requieren medir la eficiencia radialmente.

[24] Battese y Coelli (1995) suponen que la ineficiencia técnica sigue una distribución normal truncada en cero. Puesto que la ineficiencia solo puede reducir la producción por debajo de la frontera, es necesario suponer distribuciones asimétricas asociadas a dicho término, siendo igualmente aceptables las distribuciones half-normal y exponencial. Sin embargo, en diversos trabajos empíricos (Gumbau y Maudos, 1996) se demuestra que los resultados obtenidos siguiendo cualquiera de las distribuciones mencionadas con anterioridad son muy similares.

$$(8) \quad u_{it} = Z_{it} + W_{it}$$

Donde W_{it} sigue una distribución normal truncada en Z_{it} con media cero y varianza σ^2 . Las ecuaciones (7)-(8) se estiman simultáneamente siguiendo el método de Máxima Verosimilitud²⁵, obteniéndose una eficiencia técnica de la forma:

$$(9) \quad ET_{it} = \frac{E(Y_{it} / u_{it}, X_{it})}{E(Y_{it} / u_{it} = 0, X_{it})} = \exp(-u_{it})$$

Donde Y_{it} es la producción, que es igual a Y_{it} cuando la variable dependiente no está transformada e igual a $\exp(Y_{it})$ cuando ésta se expresa en logaritmos. Por tanto, la eficiencia técnica se calcula como la ratio del nivel de producción obtenido respecto del máximo alcanzable dadas las cantidades de los inputs (es decir, cuando $u_{it}=0$). Así mismo, su valor oscila entre 0 y 1, siendo éste último caso el más favorable.

Este modelo permite flexibilizar la estructura temporal de la ineficiencia técnica, frente a los trabajos anteriores que también siguen un patrón de variación temporal común para todas las empresas, entre los que se encuentra la versión anterior del mismo (Battese y Coelli, 1992). Para ello, se define la ecuación (8), que analiza los efectos que recoge la ineficiencia mediante una función explícita de factores específicos de cada empresa, entre los que se pueden encontrar las variables explicativas de la función de producción (ecuación 7), efectos fijos (individuales o temporales), así como cualquier variable susceptible de generar cambios en la ineficiencia técnica²⁶.

Desde el punto de vista no paramétrico implementaremos empíricamente las medidas de eficiencia desarrolladas por Farrell usando métodos de programación lineal, denominados Envoltente de Datos (DEA). El modelo DEA sobre el que efectuamos el cálculo de la eficiencia técnica y de escala es el desarrollado en Seiford y

[25] La función de verosimilitud y sus derivadas parciales con respecto a los parámetros del modelo se presentan en Battese y Coelli (1993), donde la primera se expresa en función de los parámetros de la varianza $\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_w^2$ y $\sigma = \sigma_v / \sigma$ (siguiendo la parametrización en Battese y Corra, 1977).

[26] Hay que destacar el hecho de que es preciso seleccionar cuidadosamente las variables que afectan a la eficiencia, debido a la posible existencia de problemas de identificación.

Thrall (1990)²⁷. El propósito de estos modelos radica en construir una frontera de posibilidades de producción no paramétrica, que envuelva los datos.

Considerando N unidades de decisión (DMU²⁸), cada una de las cuales consume cantidades de M factores para producir S productos, para cada j-ésima DMU resolvemos el programa matemático DEA output-orientado²⁹ y considerando rendimientos variables a escala que se expone a continuación:

$$\begin{aligned} & \text{Max} \\ \text{s.a.} \quad & X \lambda \leq x_0 \\ & y_0 - Y \lambda \geq 0 \\ & \theta \leq 1 \\ & e^T \lambda = 1 \end{aligned} \tag{10}$$

Siendo X e Y las matrices MxN y SxN, que contienen la totalidad de factores y productos correspondientes a las N DMU's consideradas. θ es un escalar y λ es un vector Nx1 de ponderaciones. θ , cuyo valor oscila entre 0 y 1, representa el grado de eficiencia técnica en el uso de los factores productivos. Por último, siguiendo la idea expuesta en el trabajo de Banker, Charnes y Cooper (1984), se considera la posible existencia de imperfecciones en el mercado, suponiendo rendimientos variables a escala mediante la incorporación de la restricción $e^T \lambda = 1$ (e es un vector de unos Nx1), lo que nos permite calcular eficiencias de escala.

[27] Los modelos estándar de rendimientos constantes y variables a escala, que llevan a cabo el cálculo de las eficiencias técnicas y de escala, se desarrollan en Fare, Grosskopf y Lovell (1994).

[28] DMU hace referencia a "decision making unit", que es un término más amplio que el de empresa.

[29] Las definiciones de eficiencia consideradas se denominan "output-orientadas", puesto que tratan de maximizar el output para combinaciones de inputs dadas. Análogamente, podemos definir las medidas de eficiencia "input-orientadas", que minimizan el uso de los factores dado un nivel de output. Tal y como demuestran Fare y Lovell (1978), bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala ambos enfoques coinciden.

4. Resultados empíricos

La disponibilidad de una base de datos de stocks de capital físico productivo, público y privado, y en educación homogéneos y para un amplio período temporal (1980-2001) nos va a permitir, siguiendo las técnicas de frontera expuestas, estimar para los países de la Unión Europea la eficiencia técnica en el uso de los factores privados así como la influencia sobre su evolución que ejercen el capital público y humano. A continuación, basándonos en el enfoque de los modelos de crecimiento neoclásico, se analizan las desigualdades existentes entre los países europeos en términos de eficiencia.

4.1. Estimación de la eficiencia técnica:

El panel de datos considerado abarca el período 1980-2001 para los países de la Unión Europea. El producto viene representado por el Valor Añadido Bruto (VAB) a precios de mercado y en paridad de poder de compra de 1990, que se obtiene a partir de la base de datos NEW CRONOS de Eurostat. Por su parte, empleo (L) y capital privado (K) representan los inputs, mientras que el capital público (P) y la educación (E) determinan la evolución de la eficiencia en el uso de los factores privados. El empleo, que se mide a partir del número de empleados, procede de la base de datos NEW CRONOS de Eurostat. El capital privado y público se obtienen aplicando el método del inventario permanente sobre la Formación Bruta de Capital Fijo (FBKF) por propietario y en paridad de poder de compra de 1990 de los sectores privados y del sector servicios no destinados a la venta, respectivamente, procedentes de la base de datos NEW CRONOS de Eurostat. Por último, la variable de educación, que hace referencia al “esfuerzo inversor del sector público en educación”, representa el stock, siguiendo el método del inventario permanente, correspondiente al gasto público total en educación en paridad de poder de compra de 1990, que se extrae de diversas publicaciones de la OCDE, como ya se ha expuesto en apartados anteriores. En el cuadro 6 se exponen los estadísticos descriptivos correspondientes a las bases de datos empleadas.

Siguiendo el modelo de Battese y Coelli (1995) se lleva a cabo la estimación de la eficiencia técnica en los países de la Unión Europea durante el período 1980-2001. La tecnología viene representada mediante una función de producción translogarítmica de la forma:

$$(11) \quad \ln Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 t + \sum_{j=1}^2 \alpha_j \ln(X_{jt}) + \sum_{j=1}^2 \alpha_{j+1} \ln(X_{jt}) t + \sum_{j=1}^2 \alpha_{j+2} \ln(X_{jt}) \ln(X_{ht}) + \alpha_{t^2} t^2 + V_{it} - U_{it}$$

$$i = 1, \dots, 15 \text{ países}$$

$$t = 1, \dots, 22 \text{ años}$$

Donde Y_{it} es el producto y X_{it} es un vector que hace referencia a los inputs considerados ($j, h = L, K$). Es decir, puesto que el objetivo de esta investigación radica en determinar la influencia que ejercen el capital público y en educación sobre la eficiencia en el uso de los factores privados, en la frontera de producción translogarítmica únicamente se introducen empleo y capital privado. El progreso técnico se incorpora a través de un regresor adicional (t) que representa la tendencia temporal. V_{it} es el error aleatorio y U_{it} representa el término de ineficiencia. Éste, a su vez, se define mediante la ecuación:

$$(12) \quad U_{it} = \alpha_0 + \alpha_1(T) + \alpha_2(T^2) + \alpha_3(P_{it}) + \alpha_4(E_{it}) + \sum_{i=1}^{14} \alpha_i D_i + W_{it}$$

$$i = 1, \dots, 15$$

$$t = 1, \dots, 22$$

La evolución de la eficiencia técnica viene explicada por el capital público y el capital en educación. También se han introducido dummies individuales con el objetivo de controlar las diferencias inobservables entre las regiones y, por último, el error aleatorio, W_{it} . La medida de eficiencia técnica de Farrell (1957) basada en el output para el país i -ésimo en el año t se estima a partir de la expresión:

$$(13) \quad ET_{it} = \exp(-U_{it}) = \exp - \alpha_0 + \alpha_1(T) + \alpha_2(T^2) + \alpha_3(P_{it}) + \alpha_4(E_{it}) + \sum_{i=1}^{14} \alpha_i D_i - W_{it}$$

De manera que la eficiencia técnica se calcula como la ratio del nivel de producción obtenido respecto del máximo alcanzable dadas las cantidades de los inputs (es decir, cuando $U_{it} = 0$). Su valor oscilará entre 0 y 1, siendo este último caso el más favorable.

A continuación, la eficiencia técnica estimada mediante la implementación de una función de producción translogarítmica se compara con la obtenida usando métodos de programación lineal, denominados Envolvente de Datos (DEA). Continuando con la orientación al output y suponiendo rendimientos variables a escala, vimos en el apartado anterior (modelo (10)) que ET_{it}^{-1} representa la eficiencia técnica (ET_{it}) en el uso de los factores. En la resolución del modelo de programación lineal empleamos un output, que viene dado por el nivel de producción (VAB), y los factores, productivos privados, empleo (L) y capital privado (K), mediante el uso del programa DEAP 2.1. (Coelli, 1996a) y siguiendo el método de estimación en varias etapas propuesto en Coelli (1998).

Basándonos en el estudio de Battese y Coelli (1995) llevamos a cabo la estimación por Máxima Verosimilitud de las ecuaciones (11)-(12) simultáneamente, mediante el uso del programa Frontier 4.1. (Coelli, 1996b). Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 8. Así mismo, en el cuadro 7 se realizan una serie de contrastes de razón de verosimilitud (λ), que nos permiten confirmar la necesidad de incorporar la ineficiencia técnica en la función de producción así como la significatividad de las variables que constituyen su correspondiente ecuación, incluidos los efectos individuales.

En la estimación realizada se ha considerado la función translogarítmica como una aproximación de segundo orden a una función arbitraria, estimando lo que se conoce como una forma aproximada³⁰, en cuyo caso, los coeficientes de primer orden se corresponden con las elasticidades de producción de cada input, mientras que los cuadráticos y cruzados no cambian. Así pues, tal y como se observa en el cuadro 8, las elasticidades correspondientes a los factores productivos privados son las habituales. La varianza de los parámetros se expresa en términos de $\sigma_v^2 = \frac{\sigma_v^2}{2 + \sigma_v^2}$ y $\sigma_{it}^2 = \sigma_v^2 + \sigma_{it}^2$, siendo σ_v^2 y σ_{it}^2 las varianzas en las distribuciones de V_{it} y U_{it} , respectivamente. Así pues, el valor del parámetro λ indica que la pro-

[30] En este caso, se ha considerado la media geométrica de los datos como el punto de aproximación, para lo cual se dividen las variables independientes por su media geométrica. La ventaja que introduce la forma aproximada sobre la exacta consiste en que los estadísticos t-student asociados a los coeficientes de primer orden en la forma aproximada permiten el contraste estadístico de si las elasticidades de producción son significativas. Véase Álvarez et. al. (2003) para una descripción de esta transformación. Así mismo, en Hunt y Link (1993) se exponen las consecuencias asociadas a un cambio de medida en los modelos translogarítmicos.

porción de la varianza de U_{it} sobre el error compuesto total es del 48% y muestra el error cometido al utilizar las funciones de producción medias en las que se ignora las diferencias en ineficiencia.

De manera similar a los trabajos de Beeson y Husted (1989) y Domazlicky y Weber (1997), a partir del modelo de frontera estocástica de Battese y Coelli (1995) se obtienen los valores de la eficiencia técnica para los países de la Unión Europea durante el período 1980-2001, mediante la implementación de la expresión (13). En el gráfico 1 se presenta el ranking por países para la media del período, donde se observan grandes disparidades. En orden descendente, Reino Unido, Luxemburgo, Francia y Alemania presentan unos niveles muy elevados, seguidos de Italia, España y Bélgica, que ocupan un lugar intermedio y por encima de la media europea. Los restantes países poseen unos niveles inferiores al del promedio europeo, siendo Finlandia, Grecia y Portugal los más desfavorecidos.

A continuación, pasamos a analizar la evolución temporal de la eficiencia técnica media, obtenida a partir de la especificación de una frontera estocástica translogarítmica siguiendo el modelo de Battese y Coelli (1995), y en comparación con los resultados que se extraen de la implementación del modelo DEA. Tal y como se observa en el cuadro 9, en ambos casos los resultados obtenidos muestran la favorable trayectoria que ha experimentado el agregado de la economía europea, que se intensifica a partir del año 1993, momento en el que se produce un punto de inflexión que da inicio a un nuevo ciclo económico en los países europeos, y se introducen medidas encaminadas a lograr los ajustes económicos necesarios para acceder a la Unión Monetaria. Al finalizar el período se produce un cambio de tendencia. En promedio, se alcanza una eficiencia técnica de 0.7, que indica que es posible incrementar la producción aproximadamente en un 30%, con los factores productivos utilizados y la tecnología disponible.

Siguiendo la metodología no paramétrica de los modelos DEA se alcanzan niveles de eficiencia técnica superiores a los que se obtienen bajo el enfoque de frontera estocástica, ya que en las aproximaciones de frontera estocástica las desviaciones respecto de la frontera eficiente se deben a los dos componentes del residuo, error aleatorio e ineficiencia, mientras que en el enfoque DEA el error aleatorio forma parte de la ineficiencia técnica, motivo por el cual se observan, además, oscilaciones más elevadas. Por tanto, los valores de la eficiencia técnica están condicionados por la metodología seleccionada. Sin embargo, la cuantía así como la significatividad de

los coeficientes de correlación de Kendall y Spearman que se presentan en el cuadro 9 nos permiten corroborar la equivalencia existente entre ambos enfoques, ya que en todos los casos se rechaza la hipótesis nula de ausencia de correlación. Así pues, aunque el modelo no paramétrico proporciona valores de la eficiencia técnica superiores a los del modelo econométrico, ambos son comparables.

4.2. Efectos del capital público y la educación sobre la eficiencia:

Los indicadores de eficiencia obtenidos nos muestran el incremento potencial de la producción que los países europeos podrían alcanzar mejorando el uso de sus factores productivos privados, empleo y capital. Sin embargo, estos niveles de eficiencia pueden verse influidos por diversos factores exógenos. Al igual que en Puig-Junoy (2001), puesto que las estimaciones de la frontera de producción estocástica se han llevado a cabo siguiendo el modelo de Battese y Coelli (1995), en el cuadro 8 se presenta el modelo de ineficiencia con efectos fijos, que incorpora los factores considerados en el estudio de la evolución de la eficiencia de las economías europeas. Alternativamente, la inclusión de estas variables exógenas se lleva a cabo en el cuadro 10³¹, a través de un análisis bietápico de la eficiencia técnica obtenida mediante la implementación del modelo DEA, siguiendo los trabajos de Maudos et. al. (1998a) y Salinas et. al. (2002).

Entre los posibles determinantes de la eficiencia, centraremos nuestra atención en las dotaciones de capital público y humano. Este tipo de análisis permiten determinar el impacto de las políticas públicas sobre la efectividad con que actúan los sectores privados. Las dotaciones de capital público pueden condicionar los niveles de eficiencia con los que se utilizan los factores privados. Por tanto, es de esperar que un país con mayores niveles de capital público logre alcanzar una producción más elevada apareciendo, en consecuencia, como más eficiente. Por su parte, la variable de educación considerada hace referencia al esfuerzo inversor del sector público en educación, que puede mejorar la calidad del empleo, siempre y

[31] Las estimaciones han sido realizadas mediante el uso del paquete DPD, programado por Arellano y Bond (Arellano y Bond, 1988).

cuando genere una población ocupada más cualificada, en cuyo caso la relación con la eficiencia debe ser positiva.

Los resultados obtenidos en los cuadros 8 y 10 muestran, en primer lugar, una elevada coincidencia entre ambos enfoques en cuanto al signo y significatividad de las variables explicativas. En el caso del capital público, se obtiene el signo esperado, en línea con la evidencia obtenida en la literatura, mientras que para la variable de educación sucede lo contrario. Así pues, en esta investigación no podemos extraer una clara evidencia acerca del impacto positivo de la variable de educación sobre la eficiencia en el uso de los factores privados indicando que el esfuerzo inversor del sector público en educación no contribuye de manera directa a la mejora de la cualificación de la mano de obra o se está incurriendo en un desaprovechamiento de los recursos que el sector público destina al sistema educativo.

4.3. Eficiencia técnica y desigualdades en Europa:

Durante el período de constitución de la Unión Europea las instituciones nacionales han dedicado gran parte de sus esfuerzos en alcanzar el “tren europeo”, o lo que es lo mismo en equiparar las condiciones económicas en los diferentes estados miembros a los estándares europeos. Por este motivo, resulta interesante analizar el grado de convergencia en niveles de eficiencia que conlleva dicho proceso entre los países que componen la Unión Europea.

En la literatura clásica aparecen dos conceptos de convergencia³²: “sigma-convergencia” y “beta-convergencia”. La sigma-convergencia implica una reducción en la dispersión, o lo que es lo mismo la desviación típica del logaritmo de la eficiencia. Por su parte, la convergencia beta analiza si aquellos países que parten de menores niveles de eficiencia experimentan mayores ganancias. Es decir, $\ln \frac{e_{it}}{e_{i-t}}$ siendo el crecimiento de la eficiencia entre t y $t-T$ correspondiente al i -ésimo país y $\ln(e_{i-t})$ el nivel inicial de la misma, en la ecuación:

$$(14) \quad \frac{\ln(e_{it}/e_{i-t})}{T} = a - b \ln(e_{i-t}) + u_{i,t,t-T}$$

[32] En Sala-i-martin (1994, 1996a, 1996b) se definen con detalle ambos conceptos.

Debemos obtener $b > 0$, donde $b = (1 - e^{-\tau})/T$ y τ representa la velocidad de convergencia.

Así pues, basándonos en los conceptos definidos con anterioridad analizaremos, en primer lugar, la convergencia en niveles de eficiencia que se produce en los países europeos. A continuación, se tratará de determinar si dicha convergencia se encuentra restringida a aquellos países de características similares. Por último, la introducción en la expresión (14) de las variables de capital público y esfuerzo inversor en educación nos permitirá comprobar la existencia de “beta-convergencia condicionada”³³.

Comenzamos nuestro estudio acerca de la convergencia en niveles de eficiencia entre los países de la Unión Europea durante el período 1980-2001 analizando la sigma-convergencia a partir de la desviación típica del logaritmo del indicador de eficiencia, que permite extraer información sobre la dispersión existente a lo largo del tiempo. El gráfico 2 muestra su evolución favorable, que indica que se han reducido las desigualdades en el período analizado, aunque este proceso no se ha producido de manera uniforme, experimentándose la intensificación de la convergencia entre el año 1993 y hasta el año 1997, en que se observa un punto de inflexión.

A continuación, el estudio se centra en el análisis de la convergencia beta, que nos permite corroborar si las economías que comienzan el período con unos niveles de eficiencia inferiores muestran una evolución más favorable, para lo cual es estimada la ecuación (14) considerando tasas de crecimiento bianuales ($T = 1$). Con lo cual, disponemos de un panel de datos³⁴. Puesto que se trata de un modelo dinámico, ya que el regresor es la propia variable dependiente en el período inicial, siguiendo el trabajo de Arellano y Bond (1991), nos basamos en el “estimador de variables instrumentales óptimo en dos etapas” o “estimador generalizado de momentos

[33] Barro y Sala-i-martin (1992) introducen el concepto de beta-convergencia condicionada, al incorporar en la ecuación (14) las “variables sectoriales”.

[34] En Islam (1995) y Temple (1998), mediante la implementación del modelo de Mankiw, Romer y Weil (1992) en el contexto de datos de panel, destacan en dicha metodología el hecho de que hace posible recoger las diferencias no observables entre países en forma de “efectos fijos”, evitando así el posible sesgo originado por un problema de variables omitidas. Para un análisis detallado acerca de las técnicas de datos de panel véase Hsiao (1986).

en dos etapas³⁵, sobre el modelo transformado en desviaciones ortogonales, que es equivalente al estimador intra-grupos, manteniendo las propiedades de eficiencia y consistencia cuando el modelo es de “efectos fijos”. Además, se ha utilizado la matriz de covarianzas propuesta por White (1980), que nos permite realizar inferencias robustas incluso en presencia de heteroscedasticidad.

Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 11. El signo de la pendiente en la ecuación (14) para la totalidad del período (ambos enfoques conducen a resultados muy similares), dado que es negativo y significativamente distinto de cero, indica un acercamiento de los países menos eficientes hacia los más eficientes. Por su parte, el gráfico 3 permite confirmar la relación negativa existente entre el nivel inicial de eficiencia y su tasa de crecimiento. Así mismo, atendiendo a su posición en el gráfico, se pueden distinguir tres grupos de países, cuyos miembros muestran así un mayor grado de afinidad.

Se ha obtenido una tasa de convergencia muy superior al 2% encontrado tradicionalmente, aunque similar a la que resulta en trabajos que consideran distintos estados estacionarios para las diferentes regiones o países (Islam, 1995), mediante la incorporación de los efectos fijos en la estimación. Según esto, el análisis realizado nos permite corroborar la existencia de “convergencia condicional” en niveles de eficiencia entre los países europeos y durante el período considerado. Por tanto, los países con menores niveles de eficiencia técnica crecen más rápido, acercándose a una situación de estado estacionario que depende de características propias. A continuación, seguiremos profundizando en este tema, con el propósito de determinar algunas de estas características, que podrían formar parte de las características inobservables incluidas en los efectos fijos.

En este apartado se estudiará la influencia de las dotaciones de capital público y capital en educación sobre el proceso de asimilación de tecnología y mejora en la gestión de los recursos. Para ello, se introducen estas variables como regresores adicionales en la ecuación de convergencia (14), lo que permitirá comprobar si han influido en el proceso de convergencia entre países y si forman parte de las características inobservables de cada país, que condicionan

[35] Las estimaciones continúan siendo realizadas mediante el uso del paquete D.P.D., como ya se mencionó en el apartado anterior. Arellano y Bond (1988) ofrece una guía de usuarios.

el acercamiento de los mismos hacia una situación de estado estacionario que depende de dichas características³⁶.

Algunos autores (Galor (1996) y Quah (1995, 1996)) mantienen la idea de que la convergencia en niveles de renta per cápita, en nuestro caso de eficiencia, se produce entre grupos de países que parten de una situación similar. Surge así la denominada “convergencia de clubes”. A este respecto, en el trabajo de Galor (1996) se discuten diversos mecanismos que pueden dar lugar a la convergencia de clubes en el marco del Modelo de Crecimiento Neoclásico. Por su parte, Quah argumenta que en una regresión de sección cruzada de la tasa de crecimiento de una variable sobre su nivel inicial un coeficiente negativo para éste último no implica necesariamente que disminuya con el tiempo la dispersión de la distribución entre unidades de la variable dependiente. En consecuencia, este autor propone contrastes alternativos de la hipótesis de convergencia a partir del estudio de las distribuciones entre países del producto real per cápita y de sus leyes de movimiento, a través del método de las cadenas de Markov. Utilizando este método obtiene que en el largo plazo la brecha entre economías ricas y pobres irá en aumento.

Así pues, a continuación clasificamos los países que componen la Unión Europea en tres grupos, según sus niveles de eficiencia técnica al inicio del período, que coinciden con los que se señalaron al analizar el gráfico 3. El grupo I está formado por Luxemburgo, Reino Unido, Francia, Alemania, Italia, España, Bélgica y Países Bajos, que poseen los mayores niveles de eficiencia técnica al comienzo del período. Irlanda, Suecia, Austria y Dinamarca constituyen el grupo II, que ocupa un lugar intermedio. Los restantes países de la Unión Europea, Portugal, Finlandia y Grecia, engloban el grupo III y constituyen el colectivo menos afortunado. Por último, incorporamos en la ecuación (14) las variables de capital público y esfuerzo inversor en educación. Este análisis nos permitirá determinar cuales han sido los condicionantes del proceso de convergen-

[36] Son numerosos los trabajos que incorporan el capital público y humano en la ecuación de convergencia de la renta per cápita, que se obtiene a partir de la solución de estado estacionario en el Modelo Neoclásico. Este es el caso de Mankiw, Romer y Weil (1992), Bajo (2000) y Aschauer (2000), entre otros. Sin embargo, aunque el modelo de Solow (1956) aumentado prevalece en la literatura sobre convergencia, De la Fuente y Doménech (2001) y De la Fuente (2002, 2003) señalan la necesidad de ahondar en los aspectos dinámicos y en los determinantes de la eficiencia técnica así como en las características inobservables de cada país, recogidas a través de los efectos fijos.

cia en niveles de eficiencia observado en Europa durante el período 1980-2001 así como la intensidad de dicho proceso según los niveles de partida.

En el cuadro 12 se presentan los resultados obtenidos. Se mantiene el método de estimación sobre el modelo transformado en desviaciones ortogonales, instrumentando únicamente el nivel inicial de eficiencia, dado que los restantes regresores se consideran exógenos³⁷, puesto que como determinantes de la eficiencia han de cumplir dicha característica. El análisis realizado permite confirmar, en el caso de la eficiencia obtenida a partir del modelo de Battese y Coelli (1995), el papel del capital público y el capital en educación como condicionantes de la convergencia en eficiencia, ya que se observa un incremento en el grado de convergencia, dado el aumento que se produce en el valor del parámetro correspondiente al nivel inicial de eficiencia técnica. En el caso de la eficiencia técnica obtenida siguiendo métodos no paramétricos (DEA), el grado de convergencia disminuye, aunque sensiblemente, debido a la proximidad existente entre países, alcanzándose así un punto de saturación, motivo por el cual la introducción de nuevas variables explicativas en el modelo no consigue intensificar dicho proceso. Por su parte, los grupos I y III, formados por aquellos países con mejor y peor situación de partida, respectivamente, presentan tasas de convergencia muy superiores a las correspondientes al grupo II. Así pues, se observa una polarización hacia los extremos, acorde con las conclusiones que plantea Quah (1996).

En cuanto a los coeficientes asociados a las variables de capital público y educación, destaca la contribución positiva de ésta última. Por su parte, el capital público presenta un efecto negativo, en consonancia con el trabajo de González-Páramo y Martínez (2002), lo que pone de manifiesto, tal y como se señala en De la Fuente y Vives (1995), el reducido impacto que la inversión pública realizada en el colectivo de menores niveles iniciales de eficiencia técnica ejerce sobre la reducción de las desigualdades en términos de eficiencia.

[37] Tal y como señala Gorostiaga (1999), la estimación del modelo de datos de panel con efectos fijos resulta ser la más adecuada en este contexto por dos motivos. En primer lugar, la omisión de estos efectos fijos ignora la existencia de posibles diferencias en el largo plazo y sesga hacia cero la estimación de la tasa de convergencia. Finalmente, es importante destacar que el coeficiente calculado para la tasa de convergencia es robusto a la introducción en el modelo de capital público y humano.

5. Conclusiones

En la presente investigación se comenzó llamando la atención acerca de la extensa literatura que aplica funciones frontera en el análisis del impacto de las infraestructuras y el capital humano sobre el crecimiento económico. Con ello, se trataba de reforzar el papel del capital público y humano como determinantes del crecimiento y bienestar económico de los países y, de este modo, justificar el interés del objetivo de este estudio: valorar los stocks de capital físico productivo, público y privado, y en educación, con el propósito de medir la eficiencia en el uso de los factores privados en los países de la UE-15 a partir de una frontera de producción siguiendo las técnicas econométricas en que se basan los modelos de fronteras estocásticas y Envolvente de Datos (DEA), pasando a analizar la influencia que ejercen el capital público y en educación sobre su evolución a lo largo del período considerado. Así mismo, el estudio de la convergencia en niveles de eficiencia permite constatar la existencia de un proceso de acercamiento o “catch-up tecnológico”, condicionado a la existencia de características específicas de cada país, entre las que se encuentran las decisiones de política regional respecto a la inversión pública y las políticas educativas.

Las principales conclusiones de la investigación, expresadas de manera resumida, se contienen en los puntos siguientes:

- 1 Tanto el capital público como el capital en educación se concentran en un porcentaje muy superior al 50% en un reducido colectivo de países, compuesto por Alemania, Francia, Reino Unido e Italia, manteniéndose un reparto desigual a lo largo del período considerado.
2. La eficiencia técnica para el agregado de la economía europea ha experimentado una favorable trayectoria, que se intensifica a partir del año 1993, momento en el que se produce un punto de inflexión que da inicio a un nuevo ciclo económico. Sin embargo, en el análisis por países se observa un comportamiento dispar. En orden descendente, Reino Unido, Luxemburgo, Francia y Alemania presentan unos niveles muy elevados, seguidos de Italia, España y Bélgica, que ocupan un lugar intermedio y por encima de la media europea. Los restantes países poseen unos niveles inferiores al del promedio europeo, siendo Finlandia, Grecia y Portugal los más desfavorecidos.
3. El comportamiento de la eficiencia en las economías europeas se encuentra relacionado positivamente con las dotaciones de capital público, en línea con la evidencia obtenida en la literatu-

ra, mientras que para la variable de educación sucede lo contrario. Así pues, en esta investigación no podemos extraer una clara evidencia acerca del impacto positivo de la variable de educación sobre la eficiencia en el uso de los factores privados indicando que el esfuerzo inversor del sector público en educación no contribuye de manera directa a la mejora de la cualificación de la mano de obra o se está incurriendo en un desaprovechamiento de los recursos que el sector público destina al sistema educativo.

4. Por último, se observa un proceso de acercamiento en niveles de eficiencia técnica durante la totalidad del periodo. Por otra parte, el análisis realizado permite confirmar el papel del capital público y el capital en educación, como condicionantes de la convergencia en eficiencia, ya que su inclusión genera un incremento en la tasa de convergencia, que alcanza una mayor cuantía en los grupos de países con mejor y peor situación de partida, lo que conduce a una polarización hacia los extremos. En cuanto a los coeficientes asociados a las variables de capital público y educación, destaca la contribución positiva de ésta última.

6. Bibliografía:

- Álvarez I. y M.J. Delgado, 2001: "Metodología para la Elaboración de índices de Equipamientos de Infraestructuras Productivas". *Revista Momento Económico*, 117, pp 20-34.
- Álvarez I. y M.J. Delgado, 2002: *Estimación del Capital Público, Capital Privado y Capital Humano para la UE-15*. Documento de Trabajo del Instituto de Estudios Fiscales 12/02, Madrid.
- Alvarez A., C. Arias y L. Orea, 2003: *Introducción al Análisis Empírico de la Producción*. Universidad de Oviedo, mimeo.
- Arellano M. and S. Bond, 1988: *Dynamic Panel Data Estimation Using D.P.D.: A Guide for Users*. Working Paper n° 88115. Institute for Fiscal Studies. London.
- Arellano M. and S. Bond, 1991: "Some Tests of Specification for Panel Data: A Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations". *Review of Economic Studies*, 58, 277-297.
- Arellano M. y O. Bover, 1990: "La Econometría de Datos de Panel". *Investigaciones Económicas (Segunda Epoca)*. Vol. XIV, n°1, pp 3-45.
- Arellano M., 1992, *Introducción al Análisis Econométrico con Datos de Panel*. Documento de Trabajo n° 9222. Servicio de Estudios del Banco de España.

- Aschauer D.A., 1989a: "Is Public Expenditure Productive?". *Journal of Monetary Economics*, 23, 177-200.
- Aschauer D.A., 1989b: "Public Investment and Productivity Growth in the Group of Seven". *Economic Perspectives*, Federal Reserve Bank of Chicago, 13.
- Aschauer D.A., 2000: "Public Capital and Economic Growth: Issues of Quantity, Finance and Efficiency". *Economic Development and Cultural Change*, Vol. 48, n° 2, pp 391-406.
- Bajo O., 2000: "A Further Generalization of the Solow Model: The Role of the Public Sector". *Economics Letters*, 68, pp 79-84.
- Banker R.D., A. Charnes and W.W. Cooper, 1984.: "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis". *Management Science*. Vol. 30, pp. 1078-1092.
- Banker R.D. and H.H. Johnston, 1994: "Evaluating the Impacts of Operating Strategies on Efficiency in the US Airline Industry" in A. Charnes, W.W. Cooper, A.Y. Levin and L.M. Seiford (eds.): *Data Envelopment Analysis : Theory, Methodology and Application*. Boston: Kluwer pp 97-128.
- Barro R. and J.W. Lee, 1993: "International Comparisons of Educational Attainment". *Journal of Monetary Economics*, N° 32.
- Barro R. and J.W. Lee, 1996: "International Measures of Schooling Years and Schooling Quality". *American Economic Review*. Vol. 86, N° 2.
- Barro R. and J.W. Lee, 2000: *International Data on Educational Updates and Implications*. Working Paper N° 4, Center for International Development at Harvard University, april 2000.
- Barro R.J. and X. Sala-i-Martin, 1992: "Convergence". *Journal of Political Economy*, Vol. 100, n°2, pp 223-251.
- Barro R. and X. Sala-i-martin, 1995: *Economic Growth*. MacGrawHill.
- Battese G.E. and G.S. Corra, 1977: "Estimation of a Production Frontier Model: With Application to the Pastoral Zone of Eastern Australia". *Australian Journal of Agricultural Economics*. Vol. 21, pp. 169-179.
- Battese G.E., T.J. Coelli and T.C. Colby, 1989: "Estimation of Frontier Production Functions and the Efficiencies of Indian Farms Using Panel Data from ICRISAT'S Village Level Studies". *Journal of Quantitative Economics*. Vol. 5, pp. 327-348.
- Battese G.E. and T.J. Coelli, 1988: "Prediction of Firm-Level Technical Efficiencies with a Generalized Frontier Production Function and Panel Data". *Journal of Econometrics*. Vol. 38, pp. 387-399.
- Battese G.E. and T.J. Coelli, 1992: "Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India". *Journal of Productivity Analysis*. Vol. 3, pp. 153-169.
- Battese G.E. and T.J. Coelli, 1993: *A Stochastic Frontier Production Function Incorporating a Model for Technical Inefficiency Effects*. Working Papers in Econometrics and Applied Statistics, n° 69. Department of Econometrics, University of New England.

- Battese G.E. and T.J. Coelli, 1995: "A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data". *Empirical Economics*, Vol. 20, pp 325-332.
- Battese G.E. and S. Broca, 1997: "Functional Forms of Stochastic Frontier Production Functions and Models for Technical Inefficiency Effects: A Comparative Study for Wheat Farmers in Pakistan". *Journal of Productivity Analysis*, 8, pp 395-414.
- Beeson P.E. and S. Husted, 1989: "Patterns and Determinants of Productive Efficiency in State Manufacturing". *Journal of Regional Science*, Vol. 29, N° 1, pp 15-28.
- Biehl D., 1986: *The Contribution of Infrastructure to the Regional Development*. Final Report of the Infrastructure Study Group. Document, Commission for the European Communities, Parts I and II. Office for the Official Publications for the European Communities, Luxemburgo.
- Bloomfield P., 1976: *Fourier Analysis of Time Series: An Introduction*. Wiley.
- Boisso D., S. Grosskopf and K. Hayes, 2000: "Productivity and Efficiency in the U.S.: Effects of Business Cycles and Public Capital". *Regional Science and Urban Economics*, 30, 663-681.
- Box G.E.P. and G.M. Jenkins, 1976: *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. San Francisco, Holden Day.
- Canning D., 2000: *The Social Rate of Return on Infrastructure Investments*. Policy Research Working Paper, N° 2390, World Bank.
- Castelló A. and R. Doménech, 2001: "Human Capital Inequality and Economic Growth: Some New Evidence". *Economic Journal*, 112, C187-200.
- Clements B., 1999: *The Efficiency of Education Expenditure in Portugal*. IMF Working Paper WP/99/79.
- Coelli T.J., 1996a: *A Guide to DEAP Version 2.1. : A Data Envelopment Analysis (Computer) Program*. Mimeo, Centre for Efficiency and Productivity Analysis. University of New England, Armidale.
- Coelli T.J., 1996b: *A Guide to Frontier Version 4.1. : A Computer Program for Stochastic Frontier Production and Cost Function Estimation*. CEPA Working Paper 96/07.
- Coelli T.J., 1998: *A Multi-stage Methodology for the Solution of Orientated DEA Models*. Mimeo, Centre for Efficiency and Productivity Analysis. University of New England, Armidale.
- De la Fuente A. and R. Doménech, 2001: "Schooling Data, Technological Diffusion and the Neoclassical Model". *American Economic Review*, may, 91(2), 323-327.
- De la Fuente A. and X. Vives, 1995: "Infrastructure and Education as Instruments of Regional Policy: Evidence from Spain". *Economic Policy*, 20, pp11-54.
- De la Fuente A., 2002: "On the Sources of Convergence: A Close Look at the Spanish Regions". *European Economic Review*, 46(3), 569-599.

- De la Fuente A., 2003: "Convergence Equations and Income Dynamics: The Sources of OECD Convergence, 1970-1995". *Economica*, 70, 655-671.
- Dolton P., O.D. Marcenaro and L. Navarro, 2001: *The Effective Use of Student Time: A Stochastic Frontier Production Function Case Study*. Centre for the Economics of Education. London School of Economics and Political Science. Junio 2001.
- Domazlicky B.R. and W.L. Weber, 1997: "Total Factor Productivity in the Contiguous United States, 1977-1986". *Journal of Regional Science*, Vol. 37, N° 2, pp 213-233.
- Doménech R. y D. Taguas, 1999: "El Impacto a Largo Plazo de la Unión Económica y Monetaria sobre la Economía Española" en *El Euro y sus Repercusiones sobre la Economía Española*. Fundación BBV.
- Easterly W. and S. Rebelo, 1993: "Fiscal Policy and Economic Growth. An Empirical Investigation". *Journal of Monetary Economics*, 32, 417-458.
- Espasa A. y J.R. Cancelo, 1993: *Métodos Cuantitativos para el Análisis de la Coyuntura Económica*. Alianza Economía.
- Fare R. and C.A.K. Lovell, 1978: "Measuring the Technical Efficiency of Production". *Journal of Economic Theory*. Vol. 19, pp. 150-162.
- Fare R., S. Grosskopf and C.A.K. Lovell, 1994: *Production Frontiers*. Cambridge University Press.
- Fare R., S. Grosskopf, M. Norris and Z.Zhang, 1994: "Productivity Growth, Technical Progress and Efficiency Changes in Industrialised Countries". *American Economic Review*. Vol. 84, pp. 66-83.
- Farrell M.J., 1957: "The Measurement of Productive Efficiency". *Journal of the Royal Statistical Society*. Vol. 120, Part 3, pp. 253-290.
- Fundación BBVA, 1998: *El Stock de Capital en la Economía Española y su Distribución Territorial*. Bilbao.
- Galor O., 1996: "Convergence?. Inferences from Theoretical Models". *Economic Journal*, Vol. 106, n° 437, pp 1056-1070.
- González-Páramo J.M. y D. Martínez, 2002: *Public Investments and Convergence in the Spanish Regions*. Documento de Trabajo EEE 112, Estudios sobre la Economía Española, FEDEA.
- Gorostiaga A., 1999: "¿Cómo Afectan el Capital Público y el Capital Humano al Crecimiento?. Un Análisis para las Regiones Españolas en el Marco Neoclásico". *Investigaciones Económicas*, Vol. XXIII, 1), 95-114.
- Gramlich E., 1994: "Infrastructure Investment: A Review Essay". *Journal of Economic Literature*, 32, págs. 1176-1196.
- Gumbau M. y J. Maudos, 1996: "Eficiencia Productiva Sectorial en las Regiones Españolas: Una Aproximación Frontera". *Revista Española de Economía*, Vol. 13, N° 2, pp 239-260.

- Gumbau M., 2000: "Efficiency and Technical Progress: Sources of Convergence in the Spanish Regions". *Applied Economics*, 32, 467-478.
- Harris R., 2001: "Comparing Regional Technical Efficiency in UK Manufacturing Plants: The Case of Northern Ireland 1974-1995". *Regional Studies*, Vol. 35, N° 6, pp 519-534.
- Hodrick R.J. and E.C. Prescott, 1997: "Postwar U.S. Business Cycles: An Empirical Investigation". *Journal of Money, Credit and Banking*. Vol. 29, N° 1, pp 1-16.
- Hsiao C., 1986: *Analysis of Panel Data*. Econometric Society Monographs, 11, Cambridge University Press.
- Hunt L.C. and E.L. Lynk, 1993: "The Interpretation of Coefficients in Multiplicative-Logarithmic Functions". *Applied Economics*, 25, 735-738.
- Islam N., 1995: "Growth Empirics: A Panel Data Approach". *Quarterly Journal of Economics*, 110, pp 1127-1170.
- Kodde D.A. and F.C. Palm, 1986: "Wald Criteria for Jointly Testing Equality and Inequality". *Econometrica*, 54, 1243-1248.
- Kopp R.J., 1981: "The Measurement of Productive Efficiency. A Reconsideration". *The Quarterly Journal of Economics*, pp. 477-503.
- Lynde C. and J. Richmond, 1999: "Productivity and Efficiency in the UK: A Time Series Application of DEA". *Economic Modelling*, 16, pp 105-122.
- Mankiw G., D. Romer and D. Weil, 1992: "A Contribution to the Empirics of Economic Growth". *Quarterly Journal of Economics*, CVII, 407-437.
- Martín C. y F. J. Velázquez, 2001: *Serie de Indicadores de Convergencia Real para España, el Resto de Países de la UE y EEUU*. Fundación de las Cajas de Ahorros Confederadas, (FUNCAS).
- Mas M., J. Maudos, F. Pérez y E. Uriel, 1998: *El Stock de Capital en España y su Distribución Territorial*. Fundación BBVA-IVIE (4ª edición), ed. Electrónica: www.bancoreg.fbbva.es
- Maudos J. , J.M. Pastor y L. Serrano, 1998a: "Convergencia en las Regiones Españolas: Cambio Técnico, Eficiencia y productividad". *Revista Española de Economía*, Vol. 15, N° 2, pp 235-264.
- Maudos J. , J.M. Pastor and L. Serrano, 1998b: *Human Capital in OECD Countries: Technical Change, Efficiency and Productivity*. Documento de Trabajo WP-EC-98-19.
- Maudos J. , J.M. Pastor and L. Serrano, 1999: "Total Factor Productivity Measurement and Human Capital in OECD Countries". *Economic Letters*, 63, pp 39-44.
- Maudos J. , J.M. Pastor and L. Serrano, 2000: "Crecimiento de la Productividad y su Descomposición en Progreso Técnico y Cambio de Eficiencia: Una Aplicación Sectorial y regional en España (1964-93)". *Investigaciones Económicas*, Vol. XXIV (1), 177-205.

- Maudos J. , J.M. Pastor and L. Serrano, 2003: "Human Capital in OECD Countries: Technical Change, Efficiency and Productivity". *International Review of Applied Economics*, Vol. 17, N° 4, October 2003.
- Mulligan C. and X. Sala-i-martin, 2000: *Measuring Aggregate Human Capital*. Working Paper 5016, NBER.
- OCDE, 1981: *Educational Statistics in OECD Countries*. París.
- OCDE, 1992: *Public Educational Expenditure, Costs and Financing: An Analysis of Trends (1970-1988)*. París.
- OCDE, 1993: *Methods used by OECD Countries to Measure Stocks of Fixed Capital*. National Accounts: Sources and Methods, N° 2, Statistics Directorate. París.
- Pedraja F. , J. Ramajo y J. Salinas, 1999: "Eficiencia Productiva del Sector Industrial Español: Un Análisis Espacial y Sectorial". *Papeles de Economía Española*, N° 80.
- Perelman S., 1995: " R & D, Technological Progress and Efficiency Change in Industrial Activities". *Review of Income and Wealth*, Vol. 41, N° 3, pp 349-366.
- Puig-Junoy J., 2001: "technical Inefficiency and Public Capital in U.S. States: A Stochastic Frontier Approach". *Journal of Regional Science*, Vol. 41, N° 1, pp 75-96.
- Quah D.T., 1995: "Empirics for Economic Growth and Convergence". *European Economic Review*, 40, 1353-1375.
- Quah D.T., 1996: "Twin-Peaks: Growth and Convergence in Models of Distribution Dynamics". *Economic Journal*, 106, july, 1045-1055.
- Russell R.R., 1985: "Measures of Technical Efficiency". *Journal of Economic Theory*. Vol. 35, pp. 109-126.
- Sala-i-martin X., 1994: "La Riqueza de las Regiones. Evidencia y Teorías sobre Crecimiento Regional y Convergencia". *Moneda y Crédito*, 198, pp. 13-80.
- Sala-i-martin X., 1996a: "The Classical Approach to Convergence Analysis". *Economic Journal*, 106, pp. 1019-1036.
- Sala-i-martin X., 1996b: "Regional Cohesion Evidence and Theories of Regional Growth and Convergence". *European Economic Review*, 40, pp 1325-1352.
- Salinas M.M. , F. Pedraja y J. Salinas, 2002: "Efectos del Capital Público y del Capital Humano sobre la Productividad de las Regiones Españolas". *Papeles de Economía Española*, 93, 135-147.
- Sánchez-Robles B., 1998: "Infrastructure Investment and Growth: Some Empirical Evidence". *Contemporary Economic Policy*, Vol. XVI, 98-108.
- Seiford L.M. and R.M. Thrall, 1990: "Recent Developments in DEA: The Mathematical Approach to Frontier Analysis". *Journal of Econometrics*. Vol. 46, pp. 7-38.

- Serrano L., 1999: "On Convergence Accounting". *Applied Economics Letters*, 6, 219-221.
- Solow R.M., 1956: "A Contribution to the Theory of Economic Growth". *Quarterly Journal of Economics*, 70, 1, (february), 65-94.
- Summers R. and A. Heston, 1991: "The Penn World Table (Mark 5). An Expanded Set of International Comparisons, 1950-1987". *Quarterly Journal of Economics*, 106, 1-41.
- Temple J.R.W., 1998: "Robustness Tests of Augmented Solow Model". *Journal of Applied Econometrics*, 13(4), july-august, 361-375.
- Terceiro J., 1990: *Estimation of Dynamic Econometric Models with Errors in Variables*. Berlin: Springer-Verlag.
- Terceiro J. et. al., 1997: *Toolbox for State Space Estimation of Econometric Models. For Use with Matlab*. Mimeo.
- Treadway A.B., A. Carbajo y J. García-Pardo, 1978: *Efectos sobre la Economía Española de una Devaluación de la Peseta*. Madrid: Fundación Ramón Areces.
- Treadway A.B., 1984: "On the Properties Typical of Economic Time Series". *Qüestió*, Vol. 8, N° 1, pp 21-38.
- Treadway A.B., 1998: *A General Theory of Money*. Documento de Trabajo N° 9811, Instituto Complutense de Análisis Económico (ICAE).
- Velázquez F.J., 1995: *Medición y Evolución Sectorial del Stock de Capital de España y los Países Centrales de la Unión Europea*. Documento de Trabajo N° 119/1995, Fundación FIES.
- Ward M., 1976: *The Measurement of Capital. The Methodology of Capital Stock Estimates in OECD Countries*. OCDE, Paris.
- White H., 1980: "A Heteroskedastic-Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedastic". *Econometrica*, Vol. 48, pp 817-838.
- Zieschang K., 1984: "An Extended Farrell Technical Efficiency Measure". *Journal of Economic Theory*. Vol. 33, pp. 387-396.