

¿CÓMO AFECTAN EL CAPITAL PÚBLICO Y EL CAPITAL HUMANO AL CRECIMIENTO?: UN ANÁLISIS PARA LAS REGIONES ESPAÑOLAS EN EL MARCO NEOCLÁSICO

ARANTZA GOROSTIAGA
CEMFI y Universidad Complutense

En este trabajo se plantea la estimación del modelo de crecimiento neoclásico, basada en la especificación presentada por Mankiw, Romer y Weil (1992). Se deriva la ecuación de convergencia que resulta cuando se incluyen capital público y capital humano en el modelo y se estima dicha ecuación con datos de las Comunidades Autónomas españolas entre los años 1969 y 1991 utilizando el método de variables instrumentales e incluyendo efectos fijos regionales. Entre los resultados obtenidos cabe destacar los altos valores estimados para la tasa de convergencia condicional, que se sitúan en torno al 18 por ciento. Las estimaciones de los parámetros asociados al capital humano en el modelo presentan inconsistencias, lo que motiva un planteamiento alternativo para la participación del capital humano en el modelo. (JEL C23, O41)

1. Introducción

Las grandes disparidades observadas empíricamente en la renta de los distintos países así como el deseo de explicar dichas diferencias y su evolución, han generado un profundo interés por la teoría del crecimiento y han hecho de ésta un área profundamente tratada por la investigación económica.

La evolución de la teoría económica del crecimiento se ha caracterizado desde mediados de los años 80 por el surgimiento de los modelos

Este trabajo constituye una versión revisada de la tesina presentada por la autora al completar el Programa de Estudios de Postgrado del CEMFI. Quiero agradecer a Manuel Balmaseda la labor de supervisión de este trabajo. Igualmente, han sido de gran ayuda los comentarios de Manuel Arellano y de mis compañeros y profesores del CEMFI, en especial los de Jorge Blázquez e Ignacio García. Las sugerencias de dos evaluadores anónimos y de Jorge Padilla han contribuido a mejorar sustancialmente el artículo. Finalmente, quiero dar las gracias a Teresa Dabán, del Ministerio de Economía y Hacienda, y al servicio de Estudios del BBV por proporcionarme los datos. Todo error que pueda existir es de mi entera responsabilidad.

de crecimiento endógeno como alternativa a los modelos neoclásicos (Solow (1956), Cass (1965), Koopmans (1965)). A su vez, estos últimos también se han desarrollado con el objetivo de llegar más lejos en sus conclusiones teóricas. Al mismo tiempo, dentro de la literatura de crecimiento el debate de la convergencia económica ha captado gran parte de la atención. Una preocupación recurrente en estos trabajos ha sido en qué medida los datos respaldaban la existencia de convergencia absoluta, es decir, si todos los países convergen a un mismo estado estacionario, siendo los más pobres los que se acercan más rápidamente al mismo. La falta de evidencia en favor de esta hipótesis dio lugar a la consideración del concepto de convergencia condicional, que implica que las economías tienden a crecer más deprisa cuanto más alejadas se encuentran de su propio estado estacionario. En este área de investigación es obligada la referencia a los artículos de Barro y Sala-i-Martin (1992) y Mankiw, Romer y Weil (1992) por la repercusión que han tenido en la literatura. Las estimaciones llevadas a cabo por estos autores no permiten rechazar la hipótesis de convergencia aunque implican que el proceso de convergencia es sorprendentemente lento. Estos resultados se mantienen en múltiples trabajos posteriores cuando se consideran diferentes muestras de países o regiones.¹ En los últimos años, han aparecido algunos artículos en los que se trabaja con la hipótesis de que la convergencia estimada hasta la fecha es lenta por una especificación incorrecta del modelo.² Estos autores encuentran evidencia en favor de una convergencia más rápida, pero de cada país hacia un estado estacionario diferente.

En la literatura para España tenemos varios trabajos que estudian la convergencia entre regiones o provincias a través de la estimación de una ecuación de convergencia. Es el caso, entre otros, de Doldo, González Páramo y Roldán (1994), Mas, Maudos, Pérez y Uriel (1994), Raymond y García (1994), De la Fuente (1996) y Villaverde y Pérez (1996). Estos autores presentan estimaciones llevadas a cabo con distintas bases de datos y bajo especificaciones ligeramente diferentes de la ecuación de convergencia. Los resultados encontrados están en la misma línea que los obtenidos en artículos análogos que utilizan muestras internacionales.

¹Un interesante resumen de estos resultados puede encontrarse en Sala-i-Martin (1996).

²Raymond-García (1994), Canova-Marcet (1995), Islam (1995), Evans-Karras (1996) y De la Fuente (1996).

El objetivo de este trabajo es estimar la ecuación de convergencia asociada a un modelo de crecimiento como el propuesto por Mankiw, Romer y Weil (1992) que incluye, entre otros factores, capital humano y capital público.³ Las infraestructuras incorporadas como un tipo diferente de capital productivo en la función de producción se han considerado en muy pocas ocasiones en los trabajos empíricos de crecimiento. Sin embargo, pensamos que es interesante tenerlas en cuenta en la medida en que este tipo de capital pueda ser complementario del capital físico privado y pueda, por lo tanto, afectar al ritmo de crecimiento de los países. En este artículo, las estimaciones de la ecuación de convergencia se realizan utilizando el panel de las Comunidades Autónomas españolas entre los años 1969 y 1991. Siguiendo a Islam (1995) contrastaremos la hipótesis de convergencia condicional, recogiendo la existencia de estados estacionarios heterogéneos a través de la consideración de efectos fijos inobservables en la ecuación de convergencia. Por otro lado, y con el fin de evitar sesgos de endogeneidad en las variables condicionantes utilizadas, se estima el modelo mediante el método de variables instrumentales. Este es uno de los aspectos novedosos de este trabajo, ya que en los estudios anteriores se ha utilizado mayormente la estimación por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). Finalmente, debido a que con la especificación tradicional del modelo neoclásico no se obtienen unos resultados totalmente satisfactorios, hacemos una primera aproximación a la estimación de la ecuación de convergencia que resulta al suponer que el capital humano afecta a tasa a la que se acumula el progreso técnico. Aunque este tipo de planteamiento se ha utilizado, con datos de las regiones españolas, para estimar funciones de producción (De la Fuente (1996)), no existen para esta base de datos estimaciones de la ecuación de convergencia.⁴

De los resultados cabe destacar que encontramos una tasa de convergencia anual del 18%, estimación que es robusta a la introducción en el modelo de capital humano y/o público. Esta cifra es sensiblemente superior al 2% encontrado tradicionalmente, sin embargo, es similar a la que resulta en trabajos (veáse nota 2) que consideran distintos estados estacionarios para las diferentes regiones o países. Estos resultados nos dirían que las regiones más pobres crecen más rápido,

³ Cuando a lo largo del trabajo hablamos de capital público, nos estamos refiriendo a las infraestructuras suministradas pública y privadamente. En la literatura se suele hacer referencia a esta variable como *capital público productivo*.

⁴ De la Fuente y Da Rocha (1996) estiman un modelo similar para una muestra de 21 países de la OCDE.

pero no para acercarse a las más ricas, sino para alcanzar un estado estacionario que depende de características propias.

La estimación de una ecuación de convergencia como la planteada aquí podemos calificarla de “estructural” en el sentido de que se deriva directamente del modelo teórico de crecimiento presentado. En consecuencia, las estimaciones calculadas nos van a permitir recuperar algunos parámetros estructurales que resultan de especial interés. En concreto, nos vamos a centrar en las elasticidades de los distintos factores productivos. Las estimaciones para la elasticidad del capital físico privado se sitúan entre un 20% y un 26% mientras que la del capital público es muy pequeña (3%) y poco significativa. Estos resultados se encuentran en el rango esperado dados los precedentes establecidos por otros trabajos. Sin embargo, el coeficiente asociado al capital humano resulta ser negativo lo que es, en principio, sorprendente. Estas estimaciones se han obtenido con una especificación en la cual el capital humano aparece en la función de producción como tradicionalmente en la literatura, es decir, de forma multiplicativa. A la vista de las estimaciones derivadas con esta especificación, se plantea una formulación alternativa para la participación del capital humano en la función de producción considerando que esta variable afecta a la tasa de progreso técnico. En esta nueva versión del modelo encontramos resultados que, aunque son más coherentes que los obtenidos con la especificación tradicional, no pueden considerarse totalmente satisfactorios. Pensamos que existen posibilidades de mejorar la implementación empírica de este tipo de modelos a través de la utilización de índices de capital humano que recojan, de forma más adecuada que los usados habitualmente, la variable que teóricamente estamos considerando en la función de producción.

El resto del trabajo se organiza como sigue: en la Sección 2 estimamos tres especificaciones del modelo neoclásico suponiendo primero que sólo existe capital físico privado en la economía e incorporando a continuación capital humano y capital público. En la Sección 3 consideramos un modelo alternativo en el que el capital humano aparece de forma distinta en la función de producción. Finalmente, en la Sección 4 se presentan las conclusiones.

2. El modelo de crecimiento neoclásico ampliado con capital público y con capital humano

2.1 Marco teórico

El modelo de Solow parte de una función de producción de tipo Cobb-Douglas con rendimientos constantes a escala que se caracteriza por ser una tecnología que aumenta la eficiencia del trabajo y que es igual para todas las regiones. En esta sección vamos a considerar que hay tres tipos de capital en la economía: capital privado, capital público y capital humano.⁵ La función de producción es:

$$Y_t = K_{pt}^\alpha K_{Gt}^\beta H^\gamma [A_t L_t]^{1-\alpha-\beta-\gamma} \quad 0 < \alpha + \beta + \gamma < 1,$$

donde Y es la producción, K_p el capital físico privado, K_G el capital público productivo, H el capital humano, L el trabajo y A el nivel de tecnología.

La inclusión del capital humano y del capital público en la tecnología considerada se justifica por la relación de complementariedad existente entre estos tipos de capital y el capital físico. Puede ser necesario un nivel mínimo de infraestructuras y de formación de la mano de obra para que el capital físico fluya hacia un país o región. Esta motivación cobra mayor importancia cuando el objeto del análisis es estudiar cuestiones relacionadas con el crecimiento o la convergencia. Tradicionalmente, en la literatura, el capital humano se ha introducido en la función de producción de forma multiplicativa y con un exponente distinto a los que acompañan a los otros factores considerados. Con respecto al capital público, su presencia en los estudios empíricos de crecimiento no es tan habitual. En este trabajo hemos optado por dar al capital público el mismo tratamiento que al capital privado y al capital humano.⁶

El modelo de crecimiento neoclásico supone que la fuerza de trabajo y la tecnología crecen a una tasa constante y exógena igual a n y g

⁵Suponemos una especificación más general para la función de producción que luego nos va a permitir derivar fácilmente casos más simples.

⁶Barro (1990) postula un modelo de crecimiento endógeno incluyendo el capital público en la producción de forma multiplicativa y con un exponente igual a uno, es decir, la introducción de las infraestructuras da lugar a la aparición de rendimientos crecientes a escala. Esto puede generar controversias puesto que no resulta evidente que el capital privado y las infraestructuras provistas por el Sector Público sean tan distintas (de hecho una buena parte de este capital público podría estar suministrado por empresas privadas) como para que tengan que recibir un tratamiento tan diferente

respectivamente. Por otro lado, se supone de se invierte (y ahorra) una proporción constante de la renta y que dicha tasa de inversión está dada exógenamente.

A partir de las ecuaciones que recogen la evolución de los distintos tipos de capital a lo largo del tiempo, y haciendo una expansión de Taylor alrededor del estado estacionario podemos encontrar la siguiente ecuación de convergencia:⁷

$$\begin{aligned} \ln y_t - \ln y_{t-T} = & \ln A_0 + gT - \Lambda \ln y_{t-T} + \Lambda \frac{\alpha}{1 - \alpha - \beta - \gamma} \ln s_p \\ & + \Lambda \frac{\beta}{1 - \alpha - \beta - \gamma} \ln s_G + \Lambda \frac{\gamma}{1 - \alpha - \beta - \gamma} \ln s_h \\ & - \Lambda \frac{\alpha + \beta + \gamma}{1 - \alpha - \beta - \gamma} \ln(n + \delta + g), \end{aligned} \quad [1]$$

siendo y la producción per capita y $\Lambda = (1 - e^{-\lambda T})$, donde λ es la tasa de convergencia hacia el estado estacionario, que suponemos constante para todas las regiones. Además, s_p , s_G , y s_h son las tasas de inversión en capital físico privado, público y en capital humano respectivamente, y δ es la tasa de depreciación.⁸

2.2 Modelo econométrico

Mankiw, Romer y Weil (1992) estiman ecuaciones similares a la anterior⁹ para una muestra de sección cruzada haciendo el siguiente supuesto: el nivel inicial de tecnología, $\ln A_0$, está compuesto por un término común a todas las regiones y por otro idiosincrásico independiente de las variables explicativas incluidas. Este tipo de hipótesis les permite estimar por mínimos cuadrados ordinarios obteniendo estimaciones consistentes. Sin embargo, tal y como apunta Islam (1995), en la medida en que $\ln A_0$ esté recogiendo también características institucionales, climáticas o de dotación de recursos, parece razonable pensar que el componente específico de cada región esté correlacionado con variables como la tasa de crecimiento de la población y la tasa de inversión.

⁷La derivación de la ecuación de convergencia para las diferentes especificaciones consideradas en esta sección se ha omitido por ser la que habitualmente se presenta en este tipo de trabajos. Una exposición detallada de su desarrollo aparece recogida en Gorostiaga (1997).

⁸Como es estándar en este tipo de literatura, se supone que los distintos tipos de capital considerados en el modelo se deprecian a la misma tasa.

⁹Estos autores estiman la ecuación de convergencia para dos casos: en el primero consideran una función de producción con capital privado y trabajo, y en el segundo incluyen también, como factor productivo, el capital humano.

La exclusión en la estimación de estas características propias de cada región crea un sesgo de variables omitidas, lo que puede explicar las bajas tasas de convergencia que se han encontrado tradicionalmente. La utilización de un panel de datos nos permite tener en consideración la posibilidad de que el término constante del modelo sea diferente para cada región. Con respecto a si estos efectos individuales son fijos o aleatorios, el razonamiento anterior nos llevaría a la conclusión de que tenemos efectos fijos en la medida en que están correlacionados con las variables explicativas incluidas. En la implementación empírica del modelo se han incluido también variables ficticias temporales con la idea de recoger el efecto del ciclo.¹⁰

Por otro lado, tradicionalmente las ecuaciones de convergencia se han estimado por el método de MCO. Sin embargo, en la medida en que existan sesgos de endogeneidad en las variables condicionantes utilizadas, puede que ésta no sea la forma más adecuada de estimar.¹¹ El hecho de que la tasa de inversión en capital (s_p) pueda depender de la tasa de crecimiento de la producción resulta bastante razonable y ha sido señalado anteriormente por autores como King y Levine (1994), Dolado *et al.* (1994) y Dinopoulos y Thompson (1997). Por lo tanto, para evitar este problema sería más adecuado estimar por variables instrumentales. En este punto, dada la especificación econométrica planteada, podemos tener dificultades para encontrar instrumentos apropiados. Sabemos que la inclusión de efectos fijos en la ecuación a estimar equivale a expresar el modelo en desviaciones con respecto a la media de cada región. En la medida en que el nuevo término de error está formado por una media de las perturbaciones pasadas y futuras, variables explicativas retardadas no van a ser un buen instrumento para la tasa de inversión (en desviaciones con respecto a la media) en t . Como alternativa, y siguiendo a Arellano (1988), podemos escribir

¹⁰Podríamos evitar la inclusión de estos efectos temporales considerando períodos de tiempo más largos entre observaciones. Sin embargo, dado el tamaño de nuestra muestra, hacer ésto tendría un alto coste en términos de grados de libertad.

¹¹Podemos encontrarnos, como de hecho ocurre con la muestra y la especificación aquí planteada, con resultados tan sorprendentes como una estimación negativa de la participación del capital físico en la renta.

el modelo en desviaciones ortogonales,¹² lo que nos proporciona estimaciones numéricamente iguales a la *intragrupos* y que nos permite considerar variables desfasadas como instrumentos. Así, los resultados presentados en este trabajo se han obtenido utilizando este mecanismo para estimar e instrumentando $\ln(s_p/n + \delta + g)$ con $\ln(n + \delta + g)$ retardada un período.

Finalmente, la estimación de una ecuación de convergencia como la planteada en este artículo puede calificarse como “estructural” en el sentido de que se deriva directamente del modelo teórico de crecimiento presentado. En este sentido, las estimaciones calculadas nos van a permitir recuperar algunos parámetros estructurales que resultan de especial interés y a los que se puede dar una interpretación económica. En concreto, nos fijaremos en los coeficientes que acompañan a los distintos factores en la función de producción.

2.3 Datos y resultados

Las estimaciones en este estudio están realizadas para datos bianuales de las Comunidades Autónomas españolas (excluyendo Ceuta y Melilla) entre los años 1969 y 1991. El Cuadro 1 recoge una descripción de las variables utilizadas así como la fuente estadística de la que proceden.

El Cuadro 2 recoge los resultados obtenidos con tres especificaciones del modelo en las que se incluyen sucesivamente capital físico privado, capital humano y capital público productivo.

Uno de los aspectos que más destacan de estas estimaciones es que la tasa de convergencia encontrada se sitúa alrededor del 18% anual, valor considerablemente más alto que el 2% hallado tradicionalmente por la mayor parte de la literatura. Sin embargo, estos resultados sí se parecen a los que se obtienen en Islam (1995) para diferentes muestras de países, en Evans y Karras (1996) para los estados de EEUU, en Canova y Marcet (1995) para la regiones europeas o en Raymond y García (1994) y De la Fuente (1996) para las regiones españolas.

¹²Las desviaciones ortogonales suponen quitar a cada observación una media ponderada de las observaciones futuras de la siguiente forma:

$$x_{it}^* = \frac{(T-t)^{1/2}}{(T-t+1)^{1/2}} \left[x_{it} - \frac{1}{T-t} (x_{it+1} + \dots + x_{iT}) \right]$$

Nuestro trabajo tiene en común con éstos el hecho de que permite una mayor flexibilidad en las estimaciones al considerar la existencia de distintos estados estacionarios. Nuestros resultados indicarían, por lo tanto, que las regiones más pobres están creciendo más rápido pero no necesariamente para acercarse a las comunidades más ricas, sino para llegar a su propio estado estacionario. La omisión de estos efectos fijos regionales ignora posibles diferencias en los niveles de renta a 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 humano y/o público.

CUADRO 1
Variables utilizadas

y	VAB por trabajador (utilizando para deflactar la población en edad de trabajar) en millones de pesetas constantes de 1990. Fuentes: serie de VAB elaborada por el Servicio de Estudios del BBV y serie de población en edad de trabajar elaborada por el IVIE para Bancaja.
s_p	Inversión privada como porcentaje del PIB en millones de pesetas de 1990. Fuentes: serie de PIB elaborada por el servicio de estudios del BBV y serie de inversión elaborada por el IVIE para la Fundación BBV.
s_G	Inversión pública (productiva) más inversiones privadas en infraestructuras como porcentaje del PIB en millones de pesetas de 1990. Fuente: serie elaborada por el IVIE para la Fundación BBV.
s_h	Inversión en educación financiada por las AA.PP. como porcentaje del PIB en millones de pesetas de 1990. Fuente: serie elaborada por el IVIE para la Fundación BBV.
n	Tasa de crecimiento de la población en edad de trabajar. Media de las observaciones anuales en cada subperíodo. Fuente: serie elaborada por el IVIE para Bancaja.
H	Población en edad de trabajar con estudios anteriores al superior y/o superiores (miles de personas). Fuente: serie elaborada por el IVIE para bancaja.

Con respecto a los parámetros de la función de producción, encontramos que las estimaciones para la participación del capital físico privado en la renta se sitúan entre el 20% y el 27%, cifras más bajas de lo que cabía esperar pero también próximas a las que se encuentran en los trabajos citados anteriormente. Por otro lado, el coeficiente que acompaña al capital público es muy pequeño y se estima con poca precisión. Este resultado está en la línea de los obtenidos en algunos trabajos en los que se estiman funciones de producción con datos de países o de estados de los EEUU. Esta estimación nos estaría indicando que la productividad del capital público es pequeña y muy inferior a la del capital privado. Por último, con respecto a la elasticidad del capital humano, cabe decir que su estimación es negativa y significativamente

CUADRO 2
Estimación del modelo neoclásico para las regiones españolas (1969-1991)

Variable	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
$\ln y_{i,t,T}$	-0.299 (0.05)	-0.313 (0.05)	-0.301 (0.05)
$\ln s_{pit} - \ln(n_{it} + \delta + g)$	0.073 (0.05)	0.107 (0.05)	0.101 (0.05)
$\ln s_{mit} - \ln(n_{it} + \delta + g)$	-	-0.030 (0.01)	-0.030 (0.01)
$\ln s_{Git} - \ln(n_{it} + \delta + g)$	-	-	0.01 (0.01)
λ	0.177 (0.03)	0.187 (0.03)	0.179 (0.03)
α	0.195 (0.11)	0.274 (0.10)	0.265 (0.10)
γ	-	-0.077 (0.03)	-0.084 (0.03)
β	-	-	0.030 (0.03)

Errores estándar entre paréntesis

Número de observaciones 204

$\delta=0.05$ y $g=0.02$ (las estimaciones son robustas a cambios en estos parámetros)

Estimaciones por variables instrumentales con variables ficticias temporales y utilizando $\ln(n_{it} + \delta + g)(-1)$ como instrumento de $\ln s_{mit} - \ln(n_{it} + \delta + g)$

distinta de cero.¹³ Este tipo de resultados no son nuevos en la literatura sino que aparecen, como apunta Islam (1995), en trabajos en los que se ha incorporado una dimensión temporal del capital humano en las estimaciones de ecuaciones de crecimiento. Este autor comenta que pueden ser dos las causas que estén detrás de estos resultados: por un lado, que exista una discrepancia entre la variable teórica “capital humano” que entra en la función de producción y la variable utilizada en las regresiones. La consideración únicamente de variables relacionadas con la educación como *proxy* del capital humano puede ser inadecuada, puesto que puede haber otra serie de factores que afecten también a este tipo de capital. En segundo lugar, otro hecho que puede explicar los resultados obtenidos, es que la vía a través de la cual el capital humano afecta a la producción y al crecimiento es más compleja que su mera inclusión en la función de producción multiplicativamente. Podemos pensar que el capital humano entra en la función de producción afectando a la tasa a la que aumenta el progreso técnico. En la

¹³La *proxy* de la tasa de inversión en capital humano utilizada es el gasto en educación de las Administraciones Públicas como porcentaje del PIB. No hay duda de que este indicador del flujo inversor en capital humano no es el ideal y que sería deseable contar con uno que incluyera más factores que la educación. Sin embargo, la alta correlación entre esta variable y la que teóricamente recoge el modelo hace que su elección pueda ser considerada como aceptable.

siguiente sección de este trabajo nos ocupamos de implementar esta especificación en el modelo de Solow y de contrastarla empíricamente para nuestra muestra de regiones españolas.

3. Una forma alternativa de incorporar el capital humano

Tal y como apuntábamos en la sección anterior, los resultados de las estimaciones de la ecuación de convergencia cuando consideramos que el capital humano entra en la función de producción multiplicativamente son poco satisfactorios. Esto ha llevado a buscar formas alternativas para la participación de esta variable en el modelo. Nelson y Phelps (1966) postulan que un país con un mayor nivel de capital humano será más eficaz a la hora de crear, implementar y adoptar nuevas tecnologías y, por lo tanto, será capaz de generar un mayor crecimiento. Benhabib y Spiegel (1994) recogen esta idea y estiman funciones de producción. Los resultados que obtienen para las elasticidades asociadas a los distintos factores de producción son más razonables que los que se tienen con las especificaciones tradicionales. De la Fuente (1996) hace un análisis similar para las regiones españolas concluyendo que los resultados son alentadores en la medida en que las estimaciones obtenidas son razonables y precisas. Por otro lado, De la Fuente y Da Rocha (1996) incorporan esta idea al modelo de crecimiento neoclásico y hacen estimaciones para los países de la OCDE. Sus resultados ponen de manifiesto la importancia de la educación en la acumulación de progreso técnico. En esta sección vamos a estimar una ecuación de convergencia, similar a la planteada por estos autores, para la muestra de las regiones españolas utilizada en la sección anterior.

3.1 Marco teórico

Consideramos una función de producción Cobb-Douglas con rendimientos constantes a escala en la que aparecen tres factores de producción: capital privado, capital público y trabajo.¹⁴

$$Y_t = K_{pt}^\alpha K_{Gt}^\beta [A_t(H_t)L_t]^{1-\alpha-\beta} \quad \alpha + \beta < 1.$$

Suponemos que la fuerza de trabajo crece a una tasa exógena n mientras que la tecnología crece a una tasa g_a que depende del nivel de

¹⁴A pesar de la poca precisión del coeficiente estimado del capital público hemos optado por mantener esta variable en esta sección porque su exclusión no altera los resultados y consideramos que es interesante tenerla en cuenta.

capital humano. Vamos a poder distinguir tres componentes en g_a : por un lado, una tasa de progreso técnico exógena (c), por otro, una tasa de progreso técnico endógena asociada a la habilidad de un país para innovar domésticamente (dH_i) y finalmente un término que recoge la capacidad de la economía para adoptar tecnologías desarrolladas por otros países ($mH_i b_i$)

$$g_a = c + dH_i + mH_i b_i,$$

donde b_i mide la brecha tecnológica, es decir, la distancia logarítmica de la tecnología de un país (A_i) y su nivel potencial de desarrollo tecnológico (P_i):

$$b_i = \ln \left(\frac{P_i}{A_i} \right) = p_i - a_i.$$

Suponemos que el nivel teórico de conocimientos crece en el tiempo a una tasa exógena g_p :

$$P_i(t) = P_i(0)e^{g_p t}.$$

Para encontrar la ecuación de convergencia tenemos que hacer una expansión de Taylor de las ecuaciones que recogen la dinámica del capital privado, del capital público y de la brecha existente entre el nivel de tecnología de un país y su nivel teórico (b_i) alrededor de sus correspondientes estados estacionarios.¹⁵ El resultado obtenido es el siguiente:

$$\begin{aligned} \ln y_{it} - \ln y_{it-T} &= g_p + \Lambda g_p T + \Lambda p_0 - \Lambda \ln y_{it-T} + \phi_1 \ln s_{pit} \\ &+ \phi_2 \ln s_{Git} - \phi_3 \ln(n_{it} + g_p + \delta) + \phi_4 \frac{1}{H_{it}} \left[1 + (\mu_{it} - 1)e^{-mH_{it}T} \right] \\ &+ \phi_5 \left[1 + (\mu_{it} - 1)e^{-mH_{it}T} \right] + \phi_6 (\mu_{it} - 1)e^{-mH_{it}T} \quad [2] \end{aligned}$$

donde:

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \frac{\Lambda \alpha}{1 - \alpha - \beta} & \phi_2 &= \frac{\Lambda \beta}{1 - \alpha - \beta} & \phi_3 &= \frac{\Lambda(\alpha + \beta)}{1 - \alpha - \beta} \\ \phi_4 &= \Lambda \frac{c - g_p}{m} & \phi_5 &= \Lambda \frac{d}{m} & \phi_6 &= \Lambda(p_0 - a_0) \end{aligned} \quad \mu_{it} = \frac{mH_{it}}{n_{it} + g_p + \delta}$$

3.2 Modelo econométrico y resultados

La expresión [2] cambia, con respecto a la ecuación encontrada en la sección anterior, sólo en los tres términos finales. Son precisamente

¹⁵Esta derivación se encuentra recogida en el Apéndice

estos términos los que hacen más difícil la estimación de la ecuación porque incluyen transformaciones no lineales tanto de las variables como de los parámetros. Esta no linealidad resulta problemática porque pretendemos, al igual que en la sección anterior, estimar utilizando el método de variables instrumentales e incluyendo efectos fijos inobservables. Una manera de afrontar este problema es fijar el valor de alguno de los parámetros del modelo.¹⁶ En este caso, fijando el valor del parámetro m eludimos la necesidad de la estimación no lineal. Elegir un valor a priori para este parámetro es complicado y por este motivo hemos optado por estimar una función de producción de la misma forma que Benhabib y Spiegel (1994)¹⁷ para hacernos una idea del rango de valores en los que podría encontrarse. El valor finalmente elegido y que impondremos en la estimación de la ecuación de convergencia es el que resulta de estimar la función de producción, i. e. 0.003. Las estimaciones de los parámetros de la ecuación de convergencia son robustas a cambios en el valor fijado para m .

Por otro lado, a la hora de implementar empíricamente esta versión del modelo vamos a aproximar el último término que aparece en la ecuación por el efecto fijo que recoge la heterogeneidad de las distintas regiones.

Los resultados de la estimación de la ecuación [2] son los recogidos en el Cuadro 3. Por un lado, la estimación del parámetro que más nos interesa, la tasa de convergencia λ , se mantiene en el mismo rango que el obtenido con la especificación presentada en la sección anterior. Esto nos indicaría que nuestra estimación de este parámetro es robusta no sólo a la inclusión de capital público y capital humano en el modelo, sino también a las diferentes formas de incluir éste último. Algo similar podríamos decir para el caso de los parámetros de la función de producción α y β . Por otra parte, fijándonos en los nuevos parámetros introducidos en la función de producción, vemos que los signos son los que cabía esperar: tanto la tasa exógena de progreso técnico como el coeficiente que recoge la capacidad de un país para

¹⁶Aunque ésto pueda resultar un tanto extraño, es lo que se hace con la tasa de crecimiento de la tecnología en la sección anterior y en las estimaciones de ecuaciones de convergencia en la literatura. En todo caso, las estimaciones obtenidas son consistentes desde el punto de vista estadístico.

¹⁷La ecuación estimada es la que se deriva de tomar diferencias logarítmicas de la función de producción propuesta en esta sección. Los datos utilizados proceden de la base de datos de la Fundación BBV (*stock* de capital público y privado), Servicio de Estudios del BBV (VAB) y del IVIE (factor trabajo)

innovar domésticamente son positivas. Sin embargo, las estimaciones son muy poco precisas y tampoco nos permiten obtener conclusiones definitivas. La escasa precisión de los coeficientes estimados se debe, fundamentalmente, a que contamos con pocas observaciones y a que estamos estimando un número relativamente alto de parámetros. Este problema tiene difícil solución en el sentido de que no existen, por el momento, más datos disponibles para la muestra de regiones españolas.

CUADRO 3
Estimación del modelo con difusión de la tecnología
para las regiones españolas (1969-1991)

Variable	Coefficiente Estimado
$\ln y_{i,t-T}$	-0.2935 (0.05)
$\ln s_{pit} - \ln(n_{it} + \delta + g_p)$	0.079 (0.05)
$\ln s_{cit} - \ln(n_{it} + \delta + g_p)$	0.008 (0.01)
$\frac{[1 + (\mu - 1)e^{-\mu H_t T}]}{m H_t}$	-0.001 (0.003)
$[1 + (\mu - 1)e^{-\mu H_t T}]$	0.08 (0.22)
λ	0.17 (0.04)
α	0.21 (0.10)
β	0.021 (0.021)
c	0.014 (0.012)
d	0.0008 (0.003)

Errores estándar entre paréntesis

Número de observaciones 204

$m=0.03$, $\delta=0.05$ y $g_p=0.02$

Estimaciones por variables instrumentales con variables ficticias temporales y utilizando $\ln(n_{it} + \delta + g)(-1)$ como instrumento de $\ln s_{pit} - \ln(n_{it} + \delta + g)$

Vemos, por lo tanto, que la nueva formulación del modelo neoclásico proporciona resultados que no son totalmente satisfactorios aunque sí esperanzadores y más realistas que los que obtenemos con la especificación tradicional, en la medida en que desaparece el signo negativo asociado al capital humano. Por ello consideramos que este planteamiento de la función de producción es más adecuado y que debería seguir trabajándose con él. De cualquier forma, sólo hemos hecho

frente a uno de los problemas que señalábamos en la sección anterior. Otra vía a seguir en el futuro es la utilización de una *proxy* más adecuada del capital humano. En este sentido los datos con los que contamos nos permiten hacer algún avance más, ya que las variables de población están disponibles con un grado de desagregación por nivel de estudios terminados en cinco categorías (analfabetos, con estudios primarios, medios, anteriores al superior y superiores). Utilizando estimaciones del rendimiento de la educación como los presentados por Abadíe (1998) podemos explotar más la información y construir algún indicador más adecuado. También consideramos que sería interesante recoger de alguna forma el efecto de la formación en el puesto de trabajo, por ejemplo a través de los datos de salarios, y combinar los dos tipos de información en un índice de capital humano.

4. Conclusiones

En este trabajo nos hemos planteado estudiar la incorporación del capital público y del capital humano en el modelo de crecimiento neoclásico propuesto por Solow (1956) y estimarlo para las Comunidades Autónomas españolas utilizando la metodología de datos de panel. Así mismo, hemos estimado la ecuación de convergencia que resulta en un modelo en el que el capital humano afecta a la tasa de crecimiento de la tecnología y a la difusión de ésta.

Una de las características fundamentales del procedimiento de estimación seguido es la consideración de la existencia de efectos fijos por regiones que recogen la heterogeneidad de las comunidades autónomas españolas. Desde el punto de vista teórico, la inclusión de estos efectos fijos se justifica por la existencia de distintos estados estacionarios a los que las regiones convergen. De esta forma, obtenemos estimaciones que resultan robustas a distintas especificaciones del modelo y que nos dan información sobre cuán rápido converge cada una de las comunidades a su propio estado estacionario. Por lo tanto, aunque encontramos una elevada estimación para la tasa de convergencia, esto no implica necesariamente que las diferencias regionales tiendan a eliminarse. Estos resultados nos permiten derivar algún tipo de implicación para la política regional, en el sentido de que el papel para ésta es más importante. Si todas las regiones convergieran al mismo estado estacionario la política regional no sería necesaria, simplemente habría que dejar que las economías se fueran acercando a éste. Sin embargo, en la medida en que estos estados difieran, sí caben medidas de tipo

estructural que traten de eliminar las distancias entre los mismos.

Por otro lado, los resultados obtenidos nos hacen pensar en que la especificación que considera que el capital humano afecta a la tasa de acumulación de la tecnología es más adecuada que la planteada tradicionalmente. En este trabajo hemos hecho una aproximación a la estimación de la ecuación de convergencia correspondiente, y los resultados obtenidos nos permiten ser moderadamente optimistas aunque no puedan ser considerados como definitivos. Pensamos que es posible que los problemas presentes en estas estimaciones se deban a que la variable de capital humano utilizada no sea la más adecuada y que sería interesante investigar en este campo en un futuro.

Apéndice: Derivación de la ecuación de convergencia del modelo con difusión de la tecnología

Partimos de las tres expresiones dinámicas que recogen la evolución temporal de la brecha existente entre el nivel de tecnología de un país y su nivel teórico, y del capital físico privado y público expresados en unidades de trabajo eficaz:

$$\dot{b} = \dot{p} - \dot{a} = g_p - c - dH - mHb, \quad [A1]$$

$$\dot{\hat{k}}_p = s_p \hat{k}_p^\alpha \hat{k}_G^\beta - (n + \delta + g_a) \hat{k}_p, \quad [A2]$$

$$\dot{\hat{k}}_G = s_G \hat{k}_p^\alpha \hat{k}_G^\beta - (n + \delta + g_a) \hat{k}_G. \quad [A3]$$

Y de los correspondientes niveles para las variables en el estado estacionario, que se definen como los valores de las variables que resultan de igualar a cero las expresiones dinámicas [A1]-[A3]:

$$b^* = \frac{g_p - c - dH}{mH}, \quad [A4]$$

$$\hat{k}_p^* = \left(\frac{s_p^{1-\beta} s_G^\beta}{n + \delta + g_p} \right)^{\frac{1}{1-\alpha-\beta}}, \quad [A5]$$

$$\hat{k}_G^* = \left(\frac{s_p^\alpha s_G^{1-\alpha}}{n + \delta + g_p} \right)^{\frac{1}{1-\alpha-\beta}}. \quad [A6]$$

Fuera del estado estacionario nos encontramos las siguientes expresiones:

$$\frac{\dot{\hat{k}}_p}{\hat{k}_p} = F_p(\hat{k}_p, \hat{k}_G, b) = s_p e^{(\alpha-1) \ln \hat{k}_p} e^{\beta \ln \hat{k}_G} - (n + \delta + c + dH + mHb), \quad [A7]$$

$$\frac{\hat{k}_G}{\hat{k}_G} = F_G(\hat{k}_p, \hat{k}_G, b) = s_G e^{\alpha \ln \hat{k}_p} e^{(\beta-1) \ln \hat{k}_G} - (n + \delta + c + dH + mHb). \quad [A8]$$

Dado que nos interesa hacer una expansión de Taylor de las dos expresiones anteriores alrededor de los estados estacionarios definidos por [A4]-[A6], nos es útil calcular las siguientes derivadas:

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial F_p}{\partial \ln \hat{k}_p} \right|_{\hat{k}^* \hat{h}^* b^*} &= -(1 - \alpha)(n + \delta + g_p) \\ \left. \frac{\partial F_G}{\partial \ln \hat{k}_p} \right|_{\hat{k}^* \hat{h}^* b^*} &= \alpha(n + \delta + g_p) \\ \left. \frac{\partial F_p}{\partial \ln \hat{k}_G} \right|_{\hat{k}^* \hat{h}^* b^*} &= \beta(n + \delta + g_p) \\ \left. \frac{\partial F_G}{\partial \ln \hat{k}_G} \right|_{\hat{k}^* \hat{h}^* b^*} &= -(1 - \beta)(n + \delta + g_p) \\ \left. \frac{\partial F_p}{\partial b} \right|_{\hat{k}^* \hat{h}^* b^*} &= -mH \\ \left. \frac{\partial F_G}{\partial b} \right|_{\hat{k}^* \hat{h}^* b^*} &= -mH \end{aligned}$$

El resultado de la expansión de Taylor sería:

$$\begin{aligned} \frac{\hat{k}_p}{\hat{k}_p} = \gamma_{\hat{k}_p} &= -(1 - \alpha)(n + \delta + g_p)(\ln \hat{k}_p - \ln \hat{k}_p^*) \\ &+ \beta(n + \delta + g_p)(\ln \hat{k}_G - \ln \hat{k}_G^*) - mH(b - b^*), \quad [A9] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\hat{k}_{pG}}{\hat{k}_G} = \gamma_{\hat{k}_G} &= \alpha(n + \delta + g_p)(\ln \hat{k}_p - \ln \hat{k}_p^*) \\ &- (1 - \beta)(n + \delta + g_p)(\ln \hat{k}_G - \ln \hat{k}_G^*) - mH(b - b^*). \quad [A10] \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta que:

$$\begin{aligned} y &= A \hat{k}_p^\alpha \hat{k}_G^\beta, \\ \ln y &= \ln A + \alpha \ln \hat{k}_p + \beta \ln \hat{k}_G, \\ \frac{\dot{y}}{y} &= \gamma_y = \dot{a} + \alpha \gamma_{\hat{k}_p} + \beta \gamma_{\hat{k}_G}. \quad [A11] \end{aligned}$$

Donde $a = \ln A$. Sustituyendo [A9] y [A10] en [A11]:

$$\begin{aligned} \gamma_y &= \dot{a} - \alpha(1 - \alpha)(n + \delta + g_p)(\ln \hat{k}_p - \ln \hat{k}_p^*) \\ &+ \alpha\beta(n + \delta + g_p)(\ln \hat{k}_G - \ln \hat{k}_G^*) \\ &- \alpha mH(b - b^*) + \beta\alpha(n + \delta + g_p)(\ln \hat{k}_p - \ln \hat{k}_p^*) \\ &- \beta(1 - \beta)(n + \delta + g_p)(\ln \hat{k}_G - \ln \hat{k}_G^*) - \beta mH(b - b^*). \end{aligned} \quad [A12]$$

Llamamos:

$$\lambda = (1 - \alpha - \beta)(n + \delta + g_p).$$

Y operando obtenemos:

$$\gamma_y = \dot{a} - \lambda(\alpha \ln \hat{k}_p + \beta \ln \hat{k}_G - \alpha \ln \hat{k}_p^* - \beta \ln \hat{k}_G^*) - (\alpha + \beta)mH(b - b^*).$$

Lo que implica:

$$\gamma_y = \dot{a} + \lambda a - \lambda \ln y + \lambda \alpha \ln \hat{k}_p^* + \lambda \beta \ln \hat{k}_G^* - (\alpha + \beta)mH(b - b^*).$$

Por otro lado llamando:

$$\tilde{b} = b - b^*.$$

Y resolviendo la siguiente ecuación diferencial:

$$\dot{b} = g_p - c - dH - mHb.$$

Podemos encontrar una expresión para \tilde{b} :

$$\tilde{b} = \tilde{b}_0 e^{-mHt}. \quad [A13]$$

Además:

$$\dot{a} = c + dH + mHb = c + dH + mH(b^* + \tilde{b}) = g_p + mH\tilde{b}_0 e^{-mHt}.$$

Lo que implica:

$$a_t = a_0 + g_p t + \tilde{b}_0(1 - e^{-mHt}). \quad [A14]$$

Sustituyendo [A29] y [A30] en [A28] y operando llegamos a la expresión:

$$\begin{aligned} \gamma_y &= g_p + \lambda g_p t + \lambda p_0 - \lambda \ln y + \frac{\lambda \alpha}{1 - \alpha - \beta} \ln \frac{s_p}{(n + \delta + g_p)} \\ &+ \frac{\lambda \beta}{1 - \alpha - \beta} \ln \frac{s_G}{(n + \delta + g_p)} + \lambda \frac{c + dH - g_p}{mH} [1 + (\mu - 1)e^{-mHt}] \\ &+ \lambda(\mu - 1)e^{-mHt}(p_0 - a_0), \end{aligned}$$

con

$$\mu = \frac{mH}{n + \delta + g_p}.$$

Expresándolo en tiempo discreto tenemos la ecuación de convergencia estimada en la sección 3.

Referencias

- Abadíe, A. (1998): "Changes in Spanish labor income structure during the 1980's: a quantile approach", *Investigaciones Económicas* 21, pp. 253-272.
- Arellano, M. (1988): "An alternative transformation for fixed effects models with predetermined variables", mimeo Institute of Economics and Statistics, Oxford.
- Banco Bilbao-Vizcaya (varios años), *Renta nacional en España y su distribución provincial* Bilbao.
- Barro, R.J. (1990): "Government spending in a simple model of endogenous growth", *Journal of Political Economy* 98, pp. S103-S125.
- Barro, R.J. y X. Sala-i-Martin (1992): "Convergence", *Journal of Political Economy* 100, pp. 223-251.
- Benhabib, J. y M.M. Spiegel (1994): "The role of human capital in economic development. Evidence from aggregate cross-country data", *Journal of Monetary Economics* 34, pp. 143-173.
- Canova, F. y A. Marcet (1995): "The poor stay poor: non-convergence across countries and regions", CEPR, Discussion Paper núm 1265.
- Cass, D. (1965): "Optimum growth in an aggregative model of capital accumulation", *Review of Economic Studies* 23, pp. 233-240.
- De la Fuente, A. (1995): "Catch-Up, growth and convergence in the OECD", CEPR, Discussion Paper núm 1274.
- De la Fuente, A. (1996): "Economía regional desde una perspectiva neoclásica. De convergencia y otras historias", *Revista de Economía Aplicada* II, pp.5-63.
- De la Fuente, A. y J.M. da Rocha (1996): "Capital humano y crecimiento: un panorama de la evidencia empírica y algunos resultados para la OCDE", *Moneda y Crédito* 203, pp. 43-84.
- Dinopoulos, E. y P. Thompson (1997): "R&D-based long-run growth in a cross-section of countries", mimeo.
- Dolado, J.J., J.M. González-Páramo y J.M. Roldán (1994): "Convergencia económica entre las provincias españolas", *Moneda y Crédito* 198, pp. 81-131.
- Evans, P. y G. Karras (1996): "Convergence revisited", *Journal of Monetary Economics* 37, pp. 225-248.
- Gorostiaga, A. (1997): "¿Cómo afectan el capital público y el capital humano al crecimiento?: un análisis para las regiones españolas en el marco neoclásico", Tesina CEMFI, 9701.

- Islam, N. (1995): "Growth empirics: a panel data approach", *Quarterly Journal of Economics* 95, pp. 1127-1170.
- King, R.G. y R. Levine (1994): "Capital fundamentalism, economic development, and economic growth", *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy* 40, pp. 259-292.
- Koopmans, T.C. (1965): "On the concept of optimal economic growth", en *The Economic Approach to Development Planning*, Pontifical Academy of Sciences, Amsterdam: North-Holland.
- Mankiw, G., D. Romer y D. Weil (1992): "A contribution to the empirics of economic growth", *Quarterly Journal of Economics* 106, pp. 407-437.
- Mas, M., J. Maudos, F. Pérez y E. Uriel (1994): "Disparidades regionales y convergencia en las CC.AA.", *Revista de Economía Aplicada* II, pp. 129-148.
- Mas, M., F. Pérez, E. Uriel y L. Serrano (1995), *Capital humano, series históricas 1964-1992*, Fundación Bancaja, Valencia.
- Mas, M., F. Pérez, y E. Uriel (1996), *El stock de capital en España y sus Comunidades Autónomas*, Fundación BBV, Bilbao.
- Nelson, R. y E. Phelps (1966): "Investment in humans, technological diffusion, and economic growth", *American Economic Review: Papers and Proceedings* 61, pp. 69-75.
- Raymond, J.L. y B. García Greciano (1994): "Las disparidades en el PIB per cápita entre Comunidades Autónomas y la hipótesis de convergencia", *Papeles de Economía Española* 59, pp. 37-58.
- Sala-i-Martin, X. (1996): "The classical approach to convergence analysis", *The Economic Journal* 106, pp. 1019-1036.
- Solow, R.M. (1956): "A contribution to the theory of economic growth", *Quarterly Journal of Economics* 70, pp. 65-94.
- Uriel, E. (1997), *Las cuentas de la educación en España y sus Comunidades Autónomas: 1980-1992*, Fundación Argentaria, Madrid.
- Villaverde, J. y P. Pérez (1996): "Los ejes del crecimiento de la economía española", *Papeles de Economía Española* 67, pp. 63-80.

Abstract

This paper estimates the neoclassical growth model following Mankiw-Romer-Weil (1992) and using data for spanish regions from 1969 until 1991. The proposed specification includes fixed effects and it is estimated using the instrumental variable method. Public and human capital are included and model predictions are tested. The estimated conditional convergence rate is around 18 % much higher than that found in the literature. This estimate implies a capital share in production smaller than expected. The estimates of the parameters of human capital in the model yield anomalous results and this fact lead to a different specification of the production function with respect to human capital.