

entra en nuestra página web



www.fundacionsistema.com

FUNDACION **S**ISTEMA



artículos

Colección Completa



Tenemos a su disposición
las tapas del año 2007
de **principios**

Si desea encuadernar los ejemplares
publicados en 2007 de la Revista
Principios, tenemos las **tapas** a su
disposición (precio de las
tapas 2007: 6 €).



Si desea recibir un
volumen encuadernado
del año 2007 de la Revista
Principios, puede solicitarlo ahora
(precio del volumen 2007: 40 €).

Pedidos a

principios

C/ Fuencarral, 127, 1º Izda. 28010 Madrid Tel. (+34) 91 448 73 19. Fax. (+34) 91 448 73 39

email: fsistema@teleline.es

Una estimación de la «función de producción de ideas» en España

Carlos Borondo Arribas¹

Universidad de Valladolid

Resumen. En este artículo se estima una función de producción de ideas para la economía española. El soporte de esta función es un modelo de crecimiento endógeno en el que los motores del crecimiento son la acumulación de capital físico y humano y la acumulación de conocimientos científico-técnicos (las ideas). La generación de nuevas ideas depende del desplazamiento de la frontera del conocimiento (medido en nuestro caso como la PTF de EEUU), del *stock* de conocimientos ya consolidados dentro del país y del número de científicos dedicados a las actividades de I+D.

Palabras clave. Productividad, Crecimiento endógeno, I+D.

Clasificación JEL. O31, O40, O52.

Abstract. This paper estimates a knowledge production function for the Spanish economy. The foundation for this function is an endogenous growth model in which the drivers of growth are the physical and human capitals and the stock of scientific knowledge (ideas). Generation of new ideas depends on the movement of the international frontier of knowledge (measured with the TFP of the US), the stock of knowledge already in use inside the economy and the number of scientists dedicated to R&D.

Key words. Productivity, Endogenous Growth, R&D.

JEL classification. O31, O40, O52.

1. Introducción

Es bien conocido que la productividad media del trabajo (PMeL o simplemente productividad) es el factor determinante del nivel de vida de un país. A su vez, la productividad depende del capital físico y humano y del progreso técnico. El progreso técnico es algo difuso y difícil de medir, y sin embargo sabemos que con frecuencia es la fuente de crecimiento más importante. La literatura del crecimiento endógeno ha tratado de aclarar el proceso por el que se generan descubrimientos científicos que redundan en un aumento de la producción por hora trabajada. En general estos modelos describen una función de producción de conocimientos científico-técnicos (o simplemente *ideas* para abreviar) que se plasman en nuevas variedades de productos o en mejoras de

¹ Este artículo presenta los resultados sobre productividad obtenidos para una investigación más amplia titulada «La sostenibilidad de las pensiones en España: envejecimiento, inmigración y productividad» llevada a cabo por Zenón Jiménez-Ridruejo (director), Carlos Borondo, Julio López y Carmen Lorenzo, todos ellos de la Universidad de Valladolid. El proyecto fue subvencionado por el Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Agradezco los comentarios de Zenón, Julio y especialmente los de Carmen. Cualquier error es de mi responsabilidad.

calidad de los productos existentes. La producción de nuevas ideas suele depender del *stock* de ideas ya descubierto, de las ideas recibidas del exterior y del número de investigadores (o del volumen de recursos dedicados a I+D). Este artículo pretende indagar en los determinantes de la productividad en España, desde un enfoque empírico, pero con el soporte teórico de un modelo de crecimiento endógeno, para lo que se estima una función de producción de ideas para la economía española.

La Estrategia de Lisboa pactada en el año 2000 por la UE vino a reconocer lo importante de estimular el crecimiento de la productividad aprobando un paquete de medidas conducentes a convertir la economía europea en la más competitiva del mundo en el año 2015. Es conocido que las previsiones de aquella agenda no se están cumpliendo. Los economistas de la Comisión Europea han hecho un esfuerzo por seleccionar y cuantificar la importancia de algunos de los mecanismos de crecimiento endógeno para el conjunto de la UE. En este sentido, Denis *et al.* (2004) comparan la evolución de la productividad de la UE con la de EEUU desde 1960, destacando que hasta 1990 la productividad creció a tasas más altas en Europa, y a partir de entonces ha ocurrido lo contrario. Las causas de este retroceso con relación a EEUU se atribuyen precisamente a los factores de crecimiento endógeno: menor esfuerzo en I+D y en educación. En ese mismo trabajo se ofrecen resultados empíricos sobre el efecto de estos y otros factores sobre la tasa de crecimiento de la productividad. Para ello configuran un panel de 21 países de la OCDE con datos de 1975 a 2000 y calculan el efecto de largo plazo sobre la productividad, considerando una función de producción de Cobb–Douglas con rendimientos constantes de escala y donde la productividad total de los factores (PTF) aumenta con I+D, educación y otros factores. Económicamente estiman las elasticidades confirmando el importante papel de la I+D y en menor medida de la educación, la apertura y el tamaño del país y descartan un efecto significativo de la regulación y el mercado financiero. Finalmente los resultados anteriores se combinan con la dinámica de un modelo de crecimiento para obtener los efectos recogidos en el **Cuadro 1**.

El resultado anterior es, sin embargo, para el conjunto de la UE, pero no detallado por países (y los autores admiten que puede haber amplias diferencias). Nuestro objetivo es obtener resultados específicos para España del efecto de la I+D y de la educación sobre el crecimiento de la productividad.

La estructura del artículo es la siguiente. En el segundo epígrafe se resumen brevemente algunas cuestiones relacionadas con la estimación directa del efecto de la I+D sobre la productividad y se ofrecen datos de la misma en España. En el tercer epígrafe hace lo mis-

Cuadro 1. Efectos a largo plazo sobre la productividad

Inversión en I+D (aumento permanente de un punto del PIB)	18%
Educación (aumento permanente de un año en el nivel de educación medio)	13%
Regulación de los mercados (alcanzando el nivel de EEUU)	5%
Apertura y tamaño de mercado (aumento permanente de 10% en el comercio intra–UE)	3%
Inversión en capital físico (aumento permanente de un punto en la tasa de inversión)	2%

Fuente: Denis *et al.* (2004)

mo con el capital humano. El cuarto epígrafe integra las variables anteriores en un modelo de crecimiento endógeno desarrollado originalmente por Jones. Sobre este modelo hacemos unas modificaciones para obtener una función de producción de ideas adaptada al caso de la economía española y procedemos a estimarla. Finalmente, en el último epígrafe se presentan las conclusiones.

2. El efecto de la I+D en la productividad

La investigación y el desarrollo (I+D) está en el fundamento de los aumentos de productividad, pero el concepto de I+D es muy difícil de delimitar y la magnitud de su impacto sobre la productividad está lejos de ser bien conocida. Las actividades de I+D pueden ser entendidas, de forma amplia, como toda acción que contribuye al aumento de conocimientos científico-técnicos que pueden plasmarse, con más o menos desfase, en la producción de algún bien o servicio o en la organización de las empresas y que, en muchos casos, se extiende y beneficia a agentes que no han colaborado en su gestación. Puesto que es imposible medir todo esto, los datos disponibles de I+D se refieren al gasto efectivamente realizado en actividades directamente relacionadas con la investigación y el desarrollo de nuevas técnicas. El INE lo define como «el trabajo creativo llevado a cabo de forma sistemática para incrementar el volumen de conocimientos, incluido el conocimiento del hombre, la cultura y la sociedad, y el uso de esos conocimientos para crear nuevas aplicaciones» (nota metodológica a la *Estadística sobre actividades de I+D en 2004*).

La cuestión clave es en qué medida influye la I+D en la productividad. Con la respuesta podremos calcular el efecto del anunciado aumento de I+D en España (y en la UE en general) sobre la productividad.

2.1. Contribución de la I+D al crecimiento de la productividad²

Para medir el efecto de la I+D sobre la productividad existen dos tipos de enfoques: estudios transversales o longitudinales, cada uno con tres posibles niveles de desagregación (datos de empresas individuales, datos de industrias o datos agregados para el conjunto de la economía). El punto de partida suele ser una función de producción Cobb-Douglas:

$$Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^\beta R_t^\gamma \quad (1)$$
$$A_t = A e^{\lambda t}$$

Donde Y_t es el PIB real, A_t la productividad total de los factores (PTF), K_t el *stock* de capital, L_t el factor trabajo y R_t mide el esfuerzo en I+D. La variable R puede medirse como el *stock* de I+D (acumulando el gasto anual neto en I+D) o como el gasto en I+D de ese año (o del anterior si consideramos que pasa un tiempo entre la realización del gasto y su plasmación en el proceso productivo). La PTF no es directamente obser-

² Este epígrafe está basado en la reciente panorámica del *Congressional Budget Office* (2005).

vable y se estima de diversas formas, en este caso como una tendencia determinista con tasa de crecimiento constante λ .

La ecuación (1) se puede reescribir en tasas de crecimiento:

$$\hat{Y}_t = \lambda + \alpha \hat{K}_t + \beta \hat{L}_t + \gamma \hat{R}_t \quad (2)$$

Donde los parámetros α , β , γ , son las elasticidades del PIB respecto a cada uno de los factores. Si tenemos datos (longitudinales o transversales) del PIB y los factores podemos estimar estas tres elasticidades. Un problema econométrico corriente en la estimación por MCO es el de simultaneidad: la I+D (y la inversión en capital fijo) depende a su vez del PIB (actual y pasado), lo que introduce un sesgo en el coeficiente estimado. Las técnicas para evitar este problema suelen requerir sustituir R por otra variable relacionada con ella y a la vez independiente de Y para estimar por variables instrumentales lo que a menudo no es posible. Otro problema habitual es la multicolinealidad de los regresores, que reduce la significación de los parámetros estimados. Finalmente, en los estudios longitudinales se supone que γ es constante a lo largo del tiempo.

Una alternativa es estimar la tasa de rendimiento de la I+D a través de la ecuación:

$$\hat{Y}_t = \lambda + \alpha \hat{K}_t + \beta \hat{L}_t + \rho(\Delta R_t / Y_t) \quad (3)$$

Donde ΔR es la inversión neta en I+D, ρ es la tasa de rendimiento (aumento del PIB por cada euro de inversión en I+D)³ y la ratio $(\Delta R/Y)$ es la intensidad de I+D o proporción respecto al PIB. Este enfoque tiene la ventaja de soslayar la construcción del *stock* de capital tecnológico al utilizar el dato de la intensidad de I+D, que es el directamente disponible.

Si la función de producción tiene rendimientos constantes a escala, entonces la ecuación (3) se puede reescribir como:

$$\hat{Y}_t - \hat{L}_t = \lambda + \alpha(\hat{K}_t - \hat{L}_t) + \rho(\Delta R_t / Y_t) \quad (4)$$

Donde el término de la izquierda es el crecimiento de la PMeL, que dependerá del crecimiento del capital por empleado y de la intensidad de la I+D.

Problemas de medición

Los datos e indicadores disponibles (gasto en I+D, nuevas patentes, etc.) reflejan sólo indirectamente la contribución de la innovación al proceso productivo. Por ejemplo, cuando la innovación conduce a una mejora en la calidad del producto es difícil de medir el resultado, puesto que el efecto es un aumento del precio del producto, lo que habitualmente se elimina al trabajar con series de tiempo de variables reales o índices de volumen. Una so-

³ Puesto que $\gamma = \frac{\partial Y}{\partial R} \frac{R}{Y}$ y $\rho = \frac{\partial Y}{\partial R}$, por tanto $\gamma = \rho \frac{R}{Y}$.

lución que se está aplicando parcialmente en EEUU es utilizar índices de precios que recojan mejoras en la calidad del producto, que son los índices hedónicos de precios, y que permiten reconsiderar parte de los aumentos nominales de producción como reales, con el resultado de que la productividad aumenta. La diferencia en el cálculo del crecimiento de la productividad con índices de precios normales y con los nuevos hedónicos ha sido notable en sectores como los ordenadores y los microprocesadores. En EEUU ya se usa este tipo de índices para una quinta parte del PIB; en España, sin embargo, todavía no se utilizan.

En segundo lugar, el capital tecnológico es difícil de medir puesto que se trata de un concepto muy amplio que puede crecer de muchas maneras: la escolarización, la formación de trabajadores, etc. Se puede aproximar con los datos de gasto en I+D, pero aun así será sólo una parte del total. Además existe el problema de la depreciación: no se trata de un desgaste físico, como con el capital, sino de que el rendimiento que obtiene una empresa por su innovación se reduce con el tiempo porque otras empresas imitan la innovación o porque aparece otra innovación mejor.

El último problema es el de los *spillovers* (o desbordamientos): una empresa se beneficia gratis de la innovación de otras empresas, sean del mismo sector o de otros sectores, y posiblemente de la innovación de otros países. Este efecto seguramente se ha disparado con la mejora de las comunicaciones, el bajo coste del transporte y, más recientemente, con el uso generalizado de Internet. Es posible que para España sea importante la I+D realizada en países de nuestro entorno. Las consecuencias de los *spillovers* son importantes por tres motivos. En primer lugar, generan externalidades positivas, de modo que la inversión privada en I+D suele quedar por debajo de lo que sería óptimo socialmente, lo que conduce a justificar un papel activo del Estado para incentivar o proveer directamente I+D. En segundo lugar, los *spillovers* pueden hacer que la contribución de la I+D al crecimiento sea mucho mayor a nivel agregado que la estimada para empresas o sectores concretos. En tercer lugar, también podrían implicar la existencia de rendimientos crecientes de escala a nivel agregado, una posibilidad explorada primero por Romer (1990) y después en la literatura del crecimiento endógeno.

Estimaciones econométricas

Las estimaciones microeconómicas suelen dar efectos mayores de la I+D sobre la productividad que los enfoques macroeconómicos. En el primer caso, la elasticidad y estimada está entre 0,1 y 0,2. En el caso de los estudios macroeconómicos, la elasticidad varía entre 0 y 0,6, pero en muchas ocasiones no es estadísticamente significativa. Coe y Helpman (1995), en uno de los estudios más conocidos, analizan una muestra de países de la OCDE y obtienen para los países del G7 una elasticidad de 0,27 y para el resto de 0,08. Además concluyeron que la I+D extranjera tiene más efecto en un país cuanto más abierto sea al comercio, cuanto más I+D se haga en el país y cuanto mayor sea el nivel de educación de sus trabajadores, porque con ello será capaz de asimilar mejor los *spillovers*. En la estimación hay un problema de desfase: la investigación de un país puede tardar mucho tiempo en trasladarse y aplicarse a otro⁴.

⁴ Otros estudios que encuentran evidencia de *spillovers* son: Bernstein y Yan (1997), Coe *et al.* (1997), Engelbrecht (1997), Xu y Wang (1999), van Pottelsberghe y Lichtenberg (2001).

La metodología empírica para aislar el concepto de PTF y estimar el efecto de distintas variables tampoco está exenta de problemas (errores de medición de las variables, simultaneidad y variables omitidas, principalmente), lo que ocasiona sesgos e inconsistencias en los estimadores del modelo, que han llevado a distintas estrategias recientemente comparadas en dos trabajos de van Biesebroeck (2003 y 2004). En general, el problema más serio es que al omitir variables explicativas en la regresión se produce un sesgo al alza en la estimación de los parámetros, lo que induce a sobrevalorar el papel de las variables explicativas investigadas. Esto es lo que ha encontrado Comín (2004) al analizar el efecto de la I+D en EEUU.

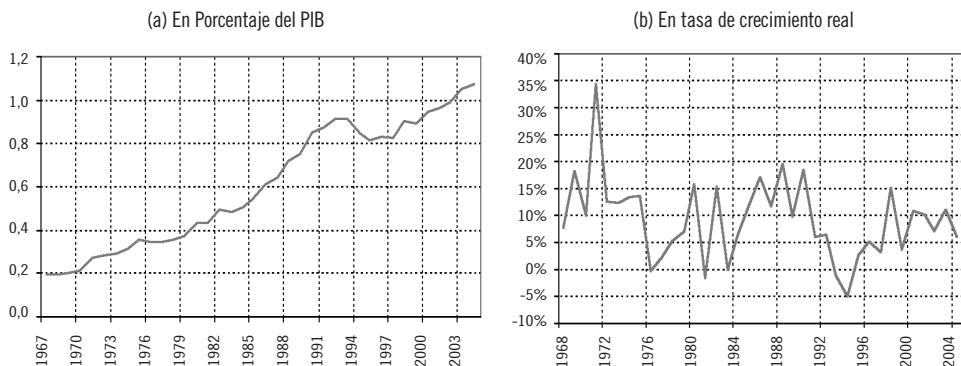
Otra fuente de evidencias es la contabilidad del crecimiento. A partir de la ecuación (3), y una vez estimados los parámetros, se puede calcular la contribución al crecimiento de cada factor, incluida la I+D, en un período de tiempo. Por ejemplo, Fraumeni y Okubo (2005) estiman una contribución de 0,38 puntos porcentuales del crecimiento del PIB en el período 1961–2000 en EEUU y Jones (2002) estima algo mucho mayor, entre 1 y 1,5 puntos porcentuales en el período 1950–1993 también en EEUU.

2.2. La I+D en España

Tradicionalmente, el gasto en I+D en España ha sido pequeño pero creciente, llegando al 1,07% del PIB en 2004 según los últimos datos disponibles. Comparado con la media de la UE–15 estamos todavía un punto porcentual del PIB por debajo, y mucho más lejos de Suecia y Finlandia, los países de la UE que más invierten en I+D (3,7 y 3,5%, respectivamente, en 2004). Esta evolución enmascara importantes esfuerzos que se aprecian considerando el crecimiento real anual de la I+D (**Gráfico 1**). La participación de las empresas se sitúa ligeramente por debajo de la mitad, mientras que en la UE15 es algo mayor (48% frente a 54% en 2003).

Otra forma de medir la I+D es a través del número de investigadores (equivalentes a dedicación plena), que pasan de 4.181 en 1967 a 100.994 en 2004, lo que implica importantes tasas de crecimiento. Este crecimiento de investigadores ha sido superior a la me-

Gráfico 1. Evolución de la I+D en España



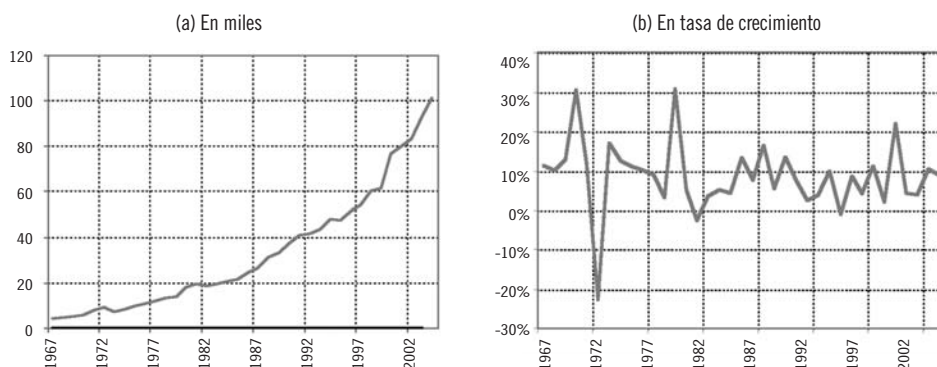
Fuente: Elaboración propia con datos del INE

dia de la UE-15, lo que nos permite pasar de tener el 5,5% de todos los investigadores de los 15 países en 1992 (no hay datos homogéneos anteriores) al 9,2% en 2004 (**Gráfico 2**).

Esta tasa de crecimiento del número de investigadores se traduce en un aumento notable de su proporción respecto al empleo total, que pasa de 5 investigadores por cada 10.000 trabajadores a 55 en este período de tiempo. Sin embargo todavía estamos aproximadamente en la mitad de la ratio que tiene EEUU (**Gráfico 3**).

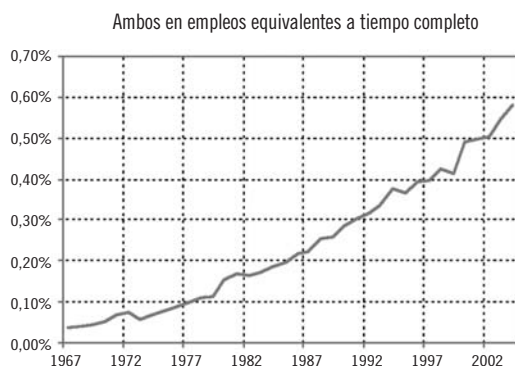
Uno de los siete ejes del *Plan Nacional de Reformas* (PNR) lanzado por el Gobierno en 2005 es precisamente el impulso de la I+D con el objetivo de aumentar la tasa de crecimiento de la productividad del trabajo en España, actualmente inferior a la media de la UE-15. El PNR quiere impulsar la I+D para llegar en el año 2010 al 2% del PIB y aumentar la participación de las empresas privadas hasta el 55% para esa fecha. Para conseguirlo el PNR prevé aumentos de la I+D pública del 25% anuales, que se han materializado ya en 2005 y 2006, junto con cambios normativos que fomenten este tipo de gasto en las empresas, nuevos programas de apoyo a las iniciativas empresariales (INGENIO 2010) y un nuevo sistema de seguimiento y evaluación de los mismos.

Gráfico 2. Evolución del número de investigadores en España (equivalentes a tiempo completo)



Fuente: INE.

Gráfico 3. Porcentaje de investigadores sobre empleo total



Fuente: INE y AMECO.

3. El efecto de la educación en la productividad

Basándonos en la reciente revisión de la literatura de De la Fuente (2005), existen dos formas de analizar el efecto del capital humano: sobre la producción o sobre el crecimiento de la PTF. En el primer caso, el punto de partida es una función Cobb–Douglas:

$$Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha} h_t^\beta \quad (5)$$

Donde h es el capital humano individual medido directamente por el número de años de educación media (l_h) y, por tanto, se supone que $h = l_h^5$. El modelo econométrico a estimar se obtiene tomando logaritmos en la función de producción anterior y añadiendo la perturbación aleatoria ε_t :

$$\ln\left(\frac{Y_t}{L_t}\right) = \ln(A_t) + \alpha \ln\left(\frac{K_t}{L_t}\right) + \beta \ln(h_t) + \varepsilon_t \quad (6)$$

El parámetro β mide la elasticidad de la productividad del trabajo respecto al capital humano, en este caso definido como los años de educación. Por tanto, un aumento del 1% en la educación media implica un aumento porcentual de β en el nivel de la productividad.

La segunda opción que distingue De la Fuente (2005) es investigar empíricamente una función de progreso técnico de la forma:

$$\hat{A} = \beta_0 + \beta_b b_t + \beta_h h_t + \beta_{bh} h_t b_t + \beta_r ID_t \quad (7)$$

donde b es una *proxy* de la brecha tecnológica entre el país y la frontera tecnológica mundial. Se espera que el parámetro tenga un valor positivo, de modo que cuanto más alejado más crece. La segunda variable explicativa es el capital humano, que en esta especificación tendría un efecto de tasa, puesto que el aumento de la educación aumenta la tasa de crecimiento de la PTF y, por tanto, de la productividad y del PIB *per capita*. La tercera variable recoge la posibilidad de un efecto conjunto entre las dos anteriores. La cuarta variable es un indicador de la intensidad investigadora (como el gasto en I+D respecto al PIB).

Hay tres problemas habituales en la estimación de estas ecuaciones en paneles internacionales: los errores de medición, la causalidad inversa y los retardos. El primer problema ha sido ampliamente investigado por De la Fuente y Doménech (2002) y se debe a las inconsistencias en definiciones empleadas en diversos países, así como a las inconsistencias dentro de un mismo país que cambia los criterios o definiciones y produce rupturas de la serie. Estos problemas generan un sesgo a la baja en la estimación del coeficiente de la educación. De la Fuente y Doménech comprueban que con series corregidas el resultado mejora sustancialmente. El segundo problema es la causalidad inversa que se produce porque la escolarización depende del nivel de renta. Este proble-

⁵ Conviene hacer esta distinción porque más adelante veremos la posibilidad alternativa de medir el capital humano como una función minceriana de los años de educación, esto es: $\ln h = \psi \ell_h$.

ma es importante cuando se utiliza como variable la tasa de escolarización en vez de los años de educación. Con esta última variable el problema desaparece porque no es previsible que las fluctuaciones de corto plazo del PIB afecten a los años de educación media de la población, que evoluciona muy lentamente y en su mayor parte está determinada por decisiones que tomaron los agentes mucho antes del año corriente. Es probable que los aumentos del capital humano se traduzcan en aumentos del PIB o de la PTF con algún retraso. En tal caso, la relación contemporánea podría no ser significativa y habría que introducir un esquema de retardos en la estimación.

Posiblemente, el resultado empírico más conocido sea el de Mankiw, Romer y Weil (1992), donde el capital humano (medido en tasas de escolarización) resultó significativo en un panel internacional. Muchos otros trabajos han confirmado y ampliado estos resultados, pero también ha habido críticas. Temple (1998), por ejemplo, encontró que eliminando unos pocos *outliers* de la muestra los resultados cambian totalmente.

Una alternativa habitual es considerar una función minceriana para el capital humano:

$$\ln h = \psi \ell_h \quad (8)$$

donde el parámetro ψ recoge el aumento en tanto por uno del capital humano que implica un año adicional de educación. Sustituyendo en (6) tenemos la alternativa a estimar

$$\ln\left(\frac{Y_t}{L_t}\right) = \ln(A_t) + \alpha \ln\left(\frac{K_t}{L_t}\right) + \psi \ell_h + \varepsilon_t \quad (9)$$

Jones (2003) obtiene una estimación de ψ de 0,19 y muy significativa para EEUU. Esta especificación implica que un aumento de un año de educación hace aumentar la productividad del trabajo un 19%, independientemente del nivel que ya tenga el país, lo cual es muy importante y distinto de la especificación (6). Un país poco desarrollado que aumenta de 1 a 2 años su nivel de educación (un 100%) obtendría con (6) un efecto superior en la productividad al de un país desarrollado que también aumenta un año su educación pasando de 10 a 11 (un 10%). Sin embargo, la especificación minceriana implica que en ambos países el efecto será el mismo: un 19% sobre la producción. Jones (2003) argumenta que esto último explica que las regresiones de (6) en tasas de crecimiento (tomando primeras diferencias) den muy malos resultados empíricos como en Benhabib y Spiegel (1994) e Islam (1995).

De la Fuente y Doménech (2002) construyen su propia base de datos de educación para un conjunto de 21 países de la OCDE y obtienen una estimación significativa de la elasticidad β de 0,33. Esto implica con sus datos un valor de ψ de 0,06, que es mucho más bajo que el de Jones pero consistente con estimaciones salariales en Europa que utilizan también funciones mincerianas⁶.

⁶ Puesto que β es la elasticidad y ψ la semielasticidad de (Y/L) respecto a los años de educación (ℓ_h), la relación

entre ambas es: $\psi = \frac{\beta}{\ell_h}$.

De la Fuente y Doménech (2006) estiman el efecto de la educación sobre la productividad en un panel con las Comunidades Autónomas de España, y obtienen una elasticidad β de 0,835 que implica, con un nivel medio de educación en 2001 de 8,33 años, un valor para ψ de 0,10.

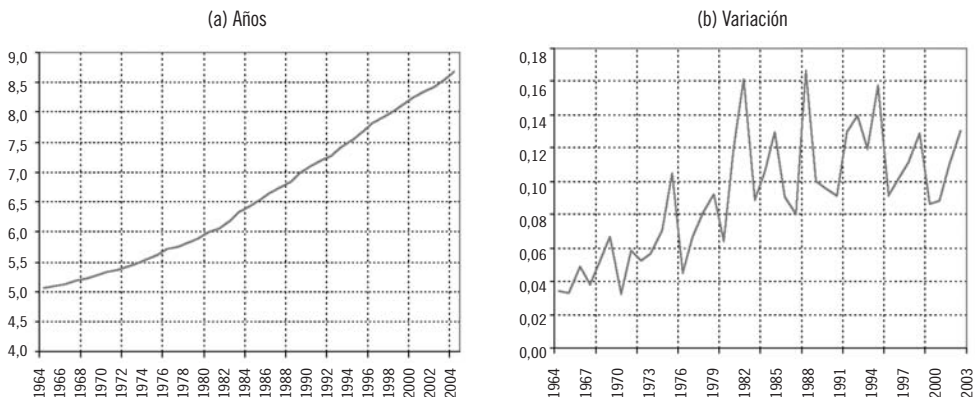
La importancia de la educación en la UE ha sido cuantificada en Montanino *et al.* (2004). España es precisamente uno de los países de la UE donde previsiblemente más va a aumentar el nivel medio de educación de los trabajadores (se espera un aumento de 4 años frente a 2,68 de media en la UE15). Este cálculo tiene en cuenta las previsiones demográficas sobre la estructura por edades de la población y los previsibles aumentos de la ratio de escolarización en niveles medios y superiores. El aumento en el nivel educativo se estima que tendrá un efecto positivo sobre la tasa de crecimiento anual del PIB español de 0,59 puntos porcentuales en el período 2000–2050 (para la UE15 el impacto esperado es de 0,31 puntos porcentuales de crecimiento anual). Para este cálculo han utilizado estimaciones de De la Fuente (2003) del parámetro ψ en varios países, y en concreto para España el valor del parámetro es 0,08.

3.1. El capital humano en España

Para calcular el capital humano en España hemos procedido de la siguiente manera. En primer lugar, hemos tomado las series elaboradas por Mas *et al.* (2005) de 1964 a 2001 donde se desglosa la población ocupada por nivel de estudios en cinco grupos: analfabetos, con estudios primarios, con estudios medios, con estudios anteriores al superior y con estudios superiores. Hemos ponderado cada tramo con los siguientes años de educación: 0, 5, 8, 12 y 15, respectivamente, y, como resultado, obtenemos la serie de años de escolarización del **Gráfico 4** hasta el 2001. Los últimos años (2002–04) se han completado con datos de la EPA sobre aumentos de la escolarización que hemos aplicado al año 2001, último disponible de la serie homogénea anterior.

Es evidente el gran avance que se ha producido en España en el nivel de educación medio, con aumentos continuados en los últimos cuarenta años. Sin embargo, todavía

Gráfico 4. Años de escolarización



Fuente: IVIE, EPA y elaboración propia.

estamos lejos de la media de la UE15 y de EEUU. Según los datos manejados por De la Fuente y Doménech (2006), la brecha podría estar en torno a un 25% respecto a la UE-15 y un 40% respecto a EEUU.

4. Estimación del efecto de la I+D y el capital humano sobre la productividad en España

4.1. Marco teórico

Nuestro fundamento teórico es el modelo de Jones (2002), que incorpora la investigación como motor de la generación de nuevas ideas, que son a su vez el soporte del crecimiento de la PTF. Sobre este modelo hacemos una adaptación al caso de España, una economía pequeña y abierta a las ideas internacionales, y añadimos la importancia del envejecimiento de la población en la generación de nuevas ideas⁷.

La función de producción de la economía es

$$Y_t = K_t^\alpha (A_t H_{Yt})^{1-\alpha} \quad (10)$$

Donde A se interpreta como el *stock* de ideas o conocimientos, y H_Y es el capital humano dedicado a la producción de bienes y servicios. El capital humano se calcula multiplicando la cantidad de trabajo dedicado a la producción (L_Y) por el capital humano individual (h):

$$H_{Yt} = h L_{Yt} \quad (11)$$

A su vez, el capital humano individual es el resultado de los años de educación media de la población (\mathcal{E}_b) de acuerdo con la función minceriana vista en (8), donde ψ es la semielasticidad: el aumento proporcional de h cuando aumenta la educación en un año.

Jones (2002) analiza un entorno en el que las ideas circulan libremente entre países, de modo que su generación depende no del esfuerzo investigador del país sino del mundo, según la función de producción de conocimiento:

$$\dot{\tilde{A}}_t = \partial \tilde{H}_A^\lambda \tilde{A}_t^\phi \quad (12)$$

donde el punto sobre una letra representa su derivada respecto del tiempo. \tilde{A} es el *stock* de conocimientos en la frontera de la investigación, y Jones supone que en EEUU $A = \tilde{A}$. Sin embargo, para España tendremos que cambiar este supuesto dado que no estamos en la frontera de la investigación. \tilde{H}_A es el capital humano dedicado a la investigación en todo el mundo, que influye en la generación de nuevas ideas con una elasticidad $\lambda > 0$. La generación de ideas depende del *stock* de ideas ya disponible, aunque esta dependencia podría ser negativa ($\phi < 0$) si suponemos que cada vez es más difícil encontrar nuevas ideas (*fish-pond effect*) o positiva, como se supone aquí ($\phi > 0$), debido a que el *stock* de

⁷ Rafael Myro y Patricio Pérez (2001) también utilizan el modelo de Jones para estimar funciones de producción de ideas en Alemania, Francia y Reino Unido, aunque su especificación es distinta a la nuestra.

conocimientos de que disponemos nos permite investigar con más eficiencia (*stand-on-shoulder effect*). Además se considera que $\phi < 1$ para evitar el efecto fuerte de escala de los modelos iniciales de I+D (por ejemplo, Romer 1990) donde la tasa de crecimiento crecía con el número de investigadores. Con $\phi < 1$ lo que se obtiene es que la tasa de crecimiento de la productividad (y , por tanto, del PIB *per capita*) depende de la tasa de crecimiento del número de investigadores, que en el estado estacionario es la misma que la tasa de crecimiento de la población.

El *stock* de capital físico se acumula en la forma habitual:

$$\dot{K}_t = s_K Y_t - \delta_K K_t \quad (13)$$

Donde s_K es la tasa de inversión, que suponemos exógena, y δ_K es la tasa de depreciación del *stock* de capital. Cada país dedica también una parte de su trabajo a la investigación, de modo que la cantidad total se reparte entre la producción de bienes y servicios y la producción de ideas: $L_Y + L_A = L$. Definimos la ratio $\ell_Y = L_Y / L$.

Si consideramos exógenas las ratios de asignación de recursos (ℓ_Y, s_K, ℓ_b) y suponemos que la población crece a una tasa constante n y que el número de investigadores (\tilde{H}_A) crece también a esa misma tasa, las cinco ecuaciones anteriores permiten obtener la dinámica de las cinco variables (Y, K, A, H_Y, b).

4.2. Contabilidad del crecimiento

La función de producción (10) se puede reescribir como:

$$\frac{Y_t}{L_t} = \left(\frac{K_t}{Y_t} \right)^{1-\alpha} \ell_{Y_t} h_t A_t \quad (14)$$

donde Y/L es la productividad del trabajo. A partir de aquí podemos estimar el *stock* de conocimientos A como la productividad total de los factores (PTF) o residuo de Solow, tomando logaritmos y despejando:

$$a_t = \ln \frac{Y_t}{L_t} - \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln \frac{K_t}{Y_t} - \ln \ell_{Y_t} - \ln h_t \quad (15)$$

donde $a = \ln A$. Para aplicar esta ecuación hemos tomado $\alpha = 0,35$ que es valor usado por la comisión en sus proyecciones para todos los países europeos (ver CPE 2006). Los datos de PIB, del *stock* de capital y de empleo (equivalente a tiempo completo) provienen de la base de datos AMECO de la Comisión Europea. El parámetro ℓ_Y (proporción de empleo en actividades no investigadoras) tiene un valor muy cercano a 1, y por tanto su logaritmo es prácticamente cero en toda la muestra. Aplicando (8) calculamos $\ln h_t = \psi \ell_{h_t}$. En el epígrafe anterior se ha mencionado el trabajo de De la Fuente y Doménech (2006) en el que estiman el efecto de la educación sobre la productividad en un panel de datos de las Comunidades Autónomas de España, donde obtienen una elasticidad

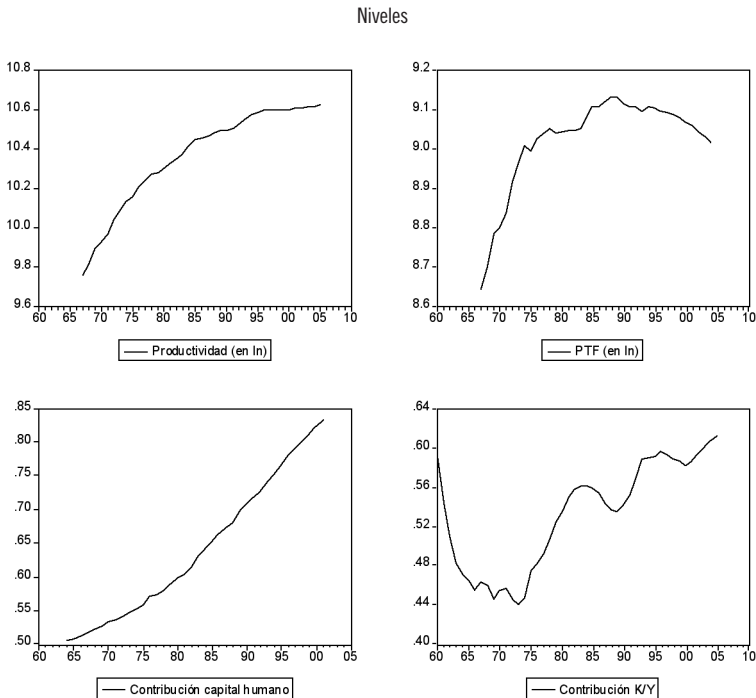
dad de 0,835. Teniendo en cuenta que el número de años de educación media en España era 8,33 en el 2001, esto implica una semielasticidad $\psi = 0,1$. Los datos de años de estudio están comentados también en el epígrafe anterior.

El **Gráfico 5** ofrece el resultado de la descomposición de la productividad según la ecuación (14) en logaritmos, una vez calculada la PTF. Se observa que la productividad aumentó notablemente hasta 1995, aunque a un ritmo decreciente hasta llegar prácticamente al estancamiento a partir de ese año. Observando sus componentes se comprueba que el de mayor peso es la PTF, y ésta aumentó rápidamente hasta el año 1975, más despacio hasta el 1989 y prácticamente se mantiene estancada desde entonces e incluso ha decrecido recientemente. La contribución del capital humano, en cambio, no ha dejado de crecer, y finalmente la contribución de la ratio K/Y es la más pequeña y sin una tendencia clara, pues disminuyó al principio y se recuperó después, terminando en el mismo valor con el que empezó.

En términos de crecimiento podemos separar la contribución de cada componente al crecimiento de la productividad. Tomando logaritmos y primeras diferencias en (14) tenemos las tasas de crecimiento:

$$\gamma_{Y/L} = \gamma_A + \frac{\alpha}{1-\alpha} \gamma_{K/Y} + \psi \Delta \ell_h \quad (16)$$

Gráfico 5. Evolución de la productividad y sus componentes.



Los resultados de aplicar esta descomposición se recogen en el **Cuadro 2**. Se comprueba que la media del período ha sido un crecimiento de la productividad del 2,3%, fundamentado en la PTF, que ha aportado un punto porcentual, lo que representa una explicación del 43% del crecimiento. En segundo lugar, el crecimiento se ha basado en el capital humano, que aporta el 40%. Finalmente, el aumento de la intensidad de capital por unidad de producto aportó el 17% restante. El desglose por décadas nos explica los profundos cambios que ha sufrido el patrón de crecimiento en España. En la primera década el crecimiento fue muy rápido y sustentado casi exclusivamente en la PTF. De 1976 a 1985 el crecimiento continuó siendo muy importante pero menos intenso, y sobre todo apoyado menos en la PTF y más en los otros dos factores, la inversión en capital físico y humano. En la tercera década, de 1986 a 1995, la productividad reduce notablemente su ritmo de aumento, lastrada por la ralentización del avance de la PTF y de la acumulación de capital productivo, pasando a ser su principal motor la educación, que sustenta el 82% del crecimiento de la productividad. Este patrón se agudiza todavía más en el último período 1996–2001 donde la productividad apenas aumenta por la fuerte caída de la PTF y la estabilización de la ratio K/Y , siendo el aumento en educación el único factor dinamizador.

Es difícil explicar en este modelo que la PTF (el *stock* de ideas) disminuya, y ésta es una de las debilidades del modelo en su aplicación empírica, puesto que según (12) la variación de A no puede ser negativa. Es evidente que en la práctica la PTF o residuo de Solow incluye más cosas, no sólo los conocimientos científico-técnicos que posibilitan el progreso técnico, sino también las mejoras en infraestructuras, la regulación de los mercados, las economías de escala, etc.⁸

Para EEUU hemos hecho el mismo cálculo⁹ y los resultados son los del **Gráfico 6**. Se observa que hay una relación claramente positiva hasta 1994, año a partir del cual España empieza a reducir su PTF, mientras que EEUU ha seguido aumentándola. En este gráfico se observa (y se confirma estadísticamente) que la tasa de España está retrasada un año respecto a la de EEUU, lo que sugiere una transmisión desde ese país, que representa la frontera del conocimiento, hacia España.

Cuadro 2. Contribuciones al crecimiento de la productividad.

Período	$\gamma_{Y/L}$	γ_A	$\frac{\alpha}{1-\alpha}\gamma_{K/Y}$	$\psi\Delta \ell_h$
1968-2004	2,32	1,00	0,39	0,94
1968-1975	5,01	4,41	0,13	0,53
1976-1985	2,88	1,13	0,85	0,92
1986-1995	1,38	-0,07	0,33	1,14
1996-2004	0,34	-0,98	0,17	1,11

⁸ Una alternativa seguida por algunos investigadores es medir A con el *stock* de patentes. Ver, por ejemplo, Abdih y Joutz (2005).

⁹ Siguiendo a Jones (2002) hemos dado valores $\psi=0,07$ y $\alpha=1/3$. Ver apéndice para las fuentes de datos.

4.3. Estimaciones

La adaptación del modelo de Jones al caso de España consiste en cambiar la función de producción de nuevos conocimientos (12). En concreto modificamos el supuesto de que $A = \tilde{A}$, esto es, que el país está en la frontera del conocimiento mundial, que es razonable para EEUU pero no tanto para España. La función de producción de ideas adaptada es:

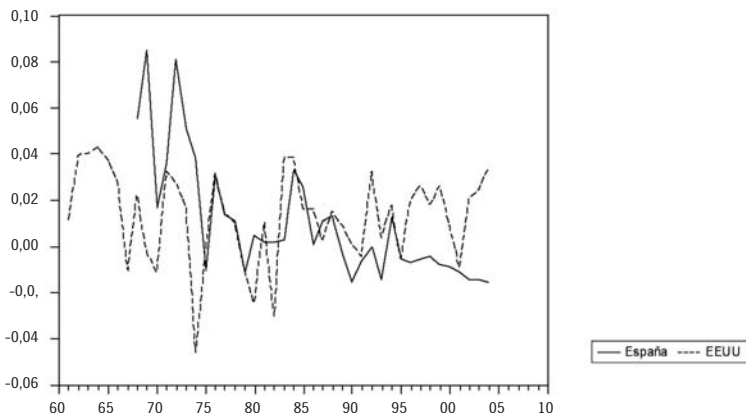
$$\dot{A} = \partial A^\phi H_A^\lambda \tilde{A}^\mu J^\eta \quad (17)$$

La generación de nuevas ideas en la economía española es una función del propio *stock* de ideas ya consolidadas y disponibles dentro del país (A), del capital humano empleado en la investigación en España (H_A), de las nuevas ideas generadas internacionalmente en la frontera del conocimiento (\tilde{A}) y de un índice de juventud de la población (J) definido como la proporción de menores de 30 años en la población en edad de trabajar (de 15 a 64 años, para ajustarnos a los datos quinquenales del INE).

El capital humano en investigación lo identificamos directamente con el número de investigadores (su nivel de cualificación será siempre el máximo en cada momento, por lo que no podemos aplicar el nivel de estudios medios de la población): $H_A = L_A$. El índice de juventud recoge la idea de que la edad es importante para asimilar nuevas ideas y cambios técnicos (el uso de Internet y en general de las TIC, por ejemplo, han resultado más sencillos de asimilar por parte de los jóvenes que los trabajadores ya maduros y con muchos años de experiencia). Los estudios empíricos encuentran que la productividad individual está relacionada con la edad del trabajador de forma no lineal: primero aumenta y luego disminuye en forma de U invertida. Esta evidencia se incorpora en modelos que analizan el impacto del envejecimiento sobre la productividad agregada (por ejemplo, Oliveira *et al.* 2005, Miles 1999, Blake y Mayhew 2006).

Los datos para construir el índice de juventud se han tomado directamente del banco de datos del INE (accesible desde su página web) y están disponibles desde 1971.

Gráfico 6. Tasas de crecimiento de la PTF en España y en EEUU



Para completar la serie en las estimaciones econométricas se han extrapolado los datos hasta 1965.

Para estimar la función de producción de ideas en España supondremos que la frontera del conocimiento la representa EEUU, por lo que hacemos $\tilde{A} = A_{US}$. La ecuación que estimamos es una versión lineal de (17)¹⁰:

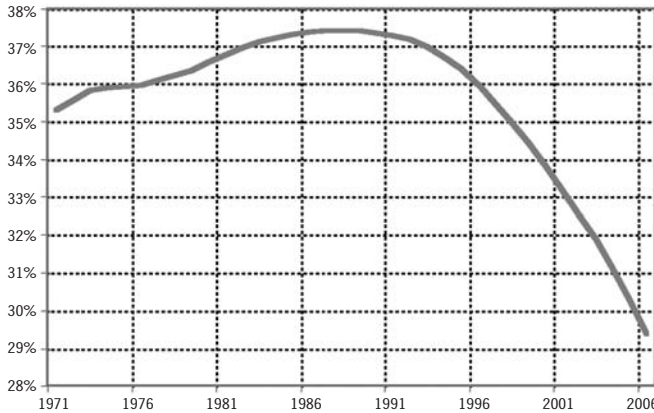
$$\Delta a_t = \beta_0 + (\phi - 1)a_{t-1} + \lambda \ln L_{At-1} + \mu \Delta \tilde{a}_{t-1} + \eta \ln J_{t-1} + \varepsilon_t \quad (18)$$

donde $a = \ln A$ y ε es una perturbación aleatoria. El problema para estimar (18) es que la tasa de crecimiento de la PTF no es estacionaria sino que tiene tendencia decreciente en el período muestral y lo mismo ocurre con el índice de juventud y con el número de investigadores (en este caso con tendencia creciente), lo que podría arrojar sospechas de una relación espuria entre las variables. Para evitarlo hemos estimado la ecuación (18) en primeras diferencias:

$$\Delta \Delta a_t = (\phi - 1)\Delta a_{t-1} + \lambda \Delta \ln L_{At-1} + \mu \Delta \Delta \tilde{a}_{t-1} + \eta \Delta \ln J_{t-1} + u_t \quad (19)$$

Los resultados se recogen en el Cuadro 3.

Gráfico 7. Índice de Juventud (proporción de menores de 30 años en la población en edad de trabajar)



Fuente: INE.

¹⁰ No es directamente el logaritmo de (17), que sería: $\ln\left(\frac{\dot{A}}{A}\right) = \ln\left[\partial A^{\phi-1} H_A^\lambda \dot{A}^\mu J^\eta\right]$ pero las variaciones de A ,

medidas con (15), en algunos años son negativas. Otros estudios miden la variación de A como el número de patentes concedidas en un año, que nunca puede ser negativo, y en tal caso sí pueden tomarse logaritmos en (17).

Una estimación de la «función de producción de ideas» en España

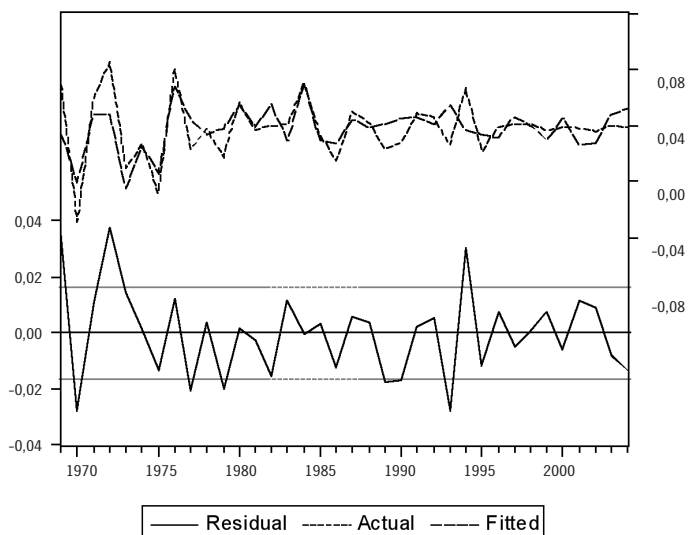
Las estimaciones se han hecho por MCO utilizando la matriz de Newey–West robusta a la autocorrelación y heteroscedasticidad. El Cuadro contiene cuatro versiones de la ecuación (19) con distintas variables. Los coeficientes estimados son muy similares a medida que introducimos más variables. En la columna cuatro, con todas las variables incluidas, todas son significativas¹¹. El **Gráfico 8** con los residuos indica que la estimación recoge adecuadamente los cambios en la tasa de crecimiento excepto en años concretos como en 1969–70, 1972 y 1993–4 (la última crisis económica).

Cuadro 3. Estimación de la función de producción de ideas en España. Variable dependiente: aceleración del crecimiento de la PTF.

	Período: 1969-2004			
	(1)	(2)	(3)	(4)
Δa_{t-1}	-0,3498 (-3,82)	-0,3744 (-3,92)	-0,4118 (-4,22)	-0,4737 (-4,51)
$\Delta \Delta \tilde{a}_{t-1}$	0,3649 (2,20)	0,3773 (2,29)	0,3644 (2,21)	0,3825 (2,38)
$\Delta \ln J_{t-1}$			0,5513 (2,57)	0,7356 (4,40)
$\Delta \ln L_{At}$		0,0373 (1,91)		0,0504 (3,40)
AIC	-5,2017	-5,2201	-5,2076	-5,2973
SBLC	-5,1137	-5,0881	-5,0756	-5,1214

Notas: Entre paréntesis los estadísticos t obtenidos con estimadores de varianzas consistentes con heteroscedasticidad y autocorrelación. SBLC es el criterio de Schwarz y AIC el de Akaike.

Gráfico 8. Resultados de la estimación del crecimiento de la PTF.



¹¹ En la columna (2) el p -valor del coeficiente del número de investigadores es 0,06.

Respuestas dinámicas.

Una vez obtenidas las estimaciones de los parámetros de la ecuación (18) podemos analizar sus implicaciones dinámicas. Esta ecuación implica que para alcanzar el estado estacionario (EE), donde la PTF crece a una tasa constante, se tiene que cumplir que el lado derecho de (18) sea constante. Puesto que excepto la PTF todas las demás variables son exógenas, si permanecen constantes el resultado es que la propia PTF alcanza también un valor constante, esto es, su crecimiento estacionario es cero. Dicho de otra manera, se trata de un proceso dinámico que será estable si el coeficiente ϕ es menor que 1. Para comprobarlo reescribimos (18):

$$a_t - a_{t-1} = \beta_0 + (\phi - 1)a_{t-1} + \lambda \ln L_{At} + \mu \Delta \bar{a}_{t-1} + \eta \ln J_{t-1} + \varepsilon_t \quad (20)$$

Suponiendo que las variables exógenas permanecen constantes, las agrupamos en una nueva variable c :

$$\begin{aligned} a_t &= \phi a_{t-1} + \beta_0 + \lambda \ln L_A + \mu \Delta \bar{a} + \eta \ln J \\ &= \phi a_{t-1} + c \end{aligned} \quad (21)$$

La ecuación (21) es una ecuación en diferencias de primer orden cuya condición de estabilidad es $\phi < 1$, cosa que se cumple como hemos visto en los resultados de la estimación del **Cuadro 3**, donde ϕ tiene un valor estimado de 0,5363.

Un cambio puntual y permanente en alguna de las variables exógenas implica un proceso dinámico en el que la PTF irá cambiando hasta alcanzar un nuevo estado estacionario, donde al final vuelve a ser constante. En el EE el valor de a es:

$$\bar{a} = \frac{c}{1 - \phi} = 2,1110c \quad (21)$$

Por tanto, la elasticidad a largo plazo de la PTF ante cambios en c es 2,1110. Para calcular el efecto a largo plazo de un aumento puntual y permanente del número de investigadores (L_A) en un 1%, tenemos que tener en cuenta el valor estimado de λ que es 0,0504 y, por tanto, el efecto será $2,1110 * 0,0504 * 1\% = 0,1064\%$ de aumento total de la PTF a largo plazo. Aunque el efecto de impacto es pequeño, en 10 años se alcanza su efecto completo de largo plazo como se observa en el **Gráfico 9**.

El mismo procedimiento informa de que un aumento permanente del crecimiento de la PTF de EEUU en un punto porcentual implica un aumento total del 0,8% en la PTF española a largo plazo, alcanzándose este efecto total en 10 años.

La única forma de conseguir tasas de crecimiento permanentes en la PTF es que alguna variable exógena esté permanentemente aumentando. La candidata más probable es L_A , el número de investigadores, que a largo plazo crecerá a un ritmo constante e idéntico al de la población. Si llamamos n a esta tasa de crecimiento exógena, entonces la tasa de crecimiento de la PTF en el estado estacionario será, a partir de (22):

$$\hat{A} \equiv \Delta a = \frac{\lambda}{1-\phi} n \quad (23)$$

Con la estimación de λ y ϕ del **Cuadro 3**, un aumento sostenido del 1% en el número de investigadores implica un aumento sostenido del 0,1% anual en la PTF. En otros términos, el crecimiento medio observado en España del 8% anual del número de científicos ha contribuido a aumentar la PTF en un 0,8% anual de media, lo que explica nada menos que el 80% del crecimiento medio observado entre 1968 y 2004 (**Cuadro 2**), que fue un 1%.

El traslado de estos resultados a la productividad media del trabajo es inmediato a través de la ecuación (14), de la que obtenemos:

$$\hat{Y} - \hat{L} = \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} \right) (\hat{K} - \hat{Y}) + \hat{\ell}_Y + \hat{h} + \hat{A} \quad (24)$$

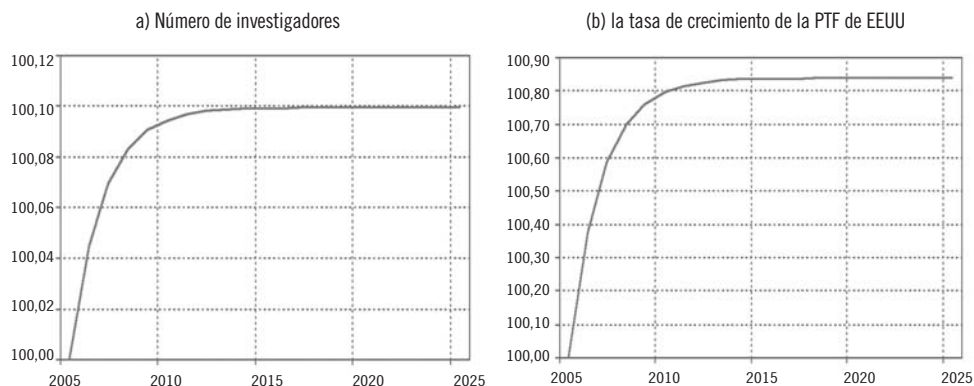
Puesto que a largo plazo no es previsible un aumento sostenido y permanente de la ratio capital producto, ni de la ratio de trabajadores no científicos respecto al total, sólo quedan como fuentes de un crecimiento sostenido de la PMeL el aumento del capital humano individual (la educación) y el aumento de la PTF. Las variaciones permanentes de la PTF (las ideas, según la interpretación de nuestro modelo) vendrán fundamentalmente del aumento continuado del número de científicos. Por tanto, podemos resumir en el **Cuadro 4** las dos fuentes principales de crecimiento y su efecto estimado en la economía española.

Cuadro 4. Efectos a largo plazo sobre la productividad.

Educación (aumento permanente de 0,1 años en el nivel de educación medio)	1,0%
Investigadores (aumento permanente de un 10%)	1,0%

Fuente: Estimaciones propias.

Gráfico 9. Efecto sobre la PTF de un aumento de un punto porcentual en



El resultado indica que, a largo plazo, un aumento anual de un 0,1 años en la educación media de los trabajadores (lo que está muy cerca de la media observada de aumento de la educación en el período 1968–2004) tendrá un efecto del 1% de crecimiento anual de la productividad. Adicionalmente, si se aumenta el número de investigadores a un ritmo del 10% anual se consigue otro 1% anual de incremento de la productividad. Evidentemente, aunque en el pasado el número de científicos ha aumentado al 8% de media anual, no es previsible que aumente a ese ritmo indefinidamente, sino que disminuya hasta el ritmo de aumento de la población, lo que indica que el 2% de crecimiento anual es el techo del crecimiento de la productividad en el futuro.

5. Conclusiones

En este artículo se ha estimado una función de producción de ideas para la economía española. El soporte de esta función es un modelo de crecimiento endógeno en el que los motores del crecimiento son la acumulación de capital físico y humano y la acumulación de conocimientos científico-técnicos (las ideas). Para medir esto último usamos la productividad total de los factores como el residuo que queda después de eliminar el efecto de la acumulación de capital físico y humano. La generación de nuevas ideas depende, en primer lugar, del desplazamiento de la frontera del conocimiento (medido en nuestro caso como la PTF de EEUU) gracias a los comprobados efectos de *spillover* internacionales. En segundo lugar, depende del *stock* de conocimientos ya consolidados dentro del país y, finalmente, depende del número de científicos empleados en I+D.

6. Referencias

- ABDIH, Yasser y Frederick JOUTZ (2005), «Relating the Knowledge Production Function to Total Factor Productivity: An Endogenous Growth Puzzle», *IMF Working Paper* 05/74.
- BENHABIB, Jess y Mark SPIEGEL (1994), «The Role of Human Capital in Economic Development: Evidence from Aggregate Cross-country Data», *Journal of Monetary Economics* 34, Octubre, págs. 143–73.
- BERNSTEIN, Jeffrey y Xiaoyi YAN (1997), «International R&D Spillovers Between Canadian and Japanese Industries», *Canadian Journal of Economics* 30 (2), págs. 276–294.
- BLAKE, David y Les MAYHEW (2006), «On the sustainability of the UK state pension system in the light of population ageing and declining fertility», *Economic Journal* 116, págs. F286–F305.
- COE, David y Elhanan HELPMAN (1995), «Internacional R&D spillovers», *European Economic Review* 39 (5), págs. 859–887.
- COE, David; Elhanan HELPMAN y Alexander HOFFMAISTER (1997), «North–South R&D Spillovers», *Economic Journal* 107 (440), págs. 134–49.
- COMÍN, Diego (2004), «R & D: A Small Contribution to Productivity Growth», NBER WP 10625.
- CONGRESSIONAL BUDGET OFFICE (2005), «R&D and productivity growth: A background paper».
- CPE – Comité de Política Económica (2006), «The impact of ageing on public expenditure: projections for the EU25 Member States on pensions, health care, long term care, education and unemployment transfers (2004–2050)», *European Economy*, Special Report 1/2006.
- DE LA FUENTE, Ángel (2003), «Human capital in a global and knowledge-based economy. Part II: assessment at the EU country level», *Final report for DG Employment and Social Affairs*, European Commission.
- DE LA FUENTE, Ángel (2005), «Educación y crecimiento: un panorama», Documento de Trabajo de la DG de Presupuestos, Ministerio de Economía y Hacienda.
- DE LA FUENTE, Ángel y Rafael DOMÉNECH (2002), «Educational attainment in the OECD, 1960–90», CEPR Discussion Paper 3390.
- DE LA FUENTE, Ángel y Rafael DOMÉNECH (2006), «Capital humano, crecimiento y desigualdad en las regiones españolas», *Moneda y Crédito* n.º 222, págs. 13–78.

- DENIS, C.; K. McMORROW y W. RÖGER (2004), «An analysis of EU and US productivity developments», European Commission, Economic Papers 208.
- ENGLBRECHT, Hans-Jürgen (1997), «International R&D Spillovers, Human Capital and Productivity in OECD Economies: An Empirical Investigation», *European Economic Review* 41, págs. 1479–88.
- FRAUMENI, Barbara y Sumiye OKUBO (2005), «R&D in the National Income and Product Accounts: A First Look at Its Effect on GDP» in Corrado et al (eds) *Measuring Capital in the New Economy*, NBER and the University of Chicago Press.
- ISLAM, Nazrul (1995), «Growth Empirics: A Panel Data Approach», *Quarterly Journal of Economics* 110, nov, págs. 1127–70.
- JONES, Charles (2002), «Sources of US Economic Growth in a World of Ideas», *American Economic Review* 92 (1), págs. 220–239.
- JONES, Charles (2003), «Human Capital, Ideas and Economic Growth», en L. Paganetto y E. S. Phelps (eds.) *Finance, Research, Education and Growth*, Palgrave, New York.
- MANKIW, N. Gregory; David ROMER y David WEIL (1992), «A Contribution to the Empirics of Economic Growth», *Quarterly Journal of Economics* 107, mayo, págs. 407–37.
- MAS, M.; F. PÉREZ; E. URIEL; L. SERRANO y A. SOLER (2005), *Metodología para la estimación de las series de capital humano 1964–2001*, Bancaja.
- MILES, David (1999), «Modelling the impact of demographic change upon the economy», *The Economic Journal*, vol 109, n.º 452.
- MONTANINO, A.; B. PRZYWARA y D. YOUNG (2004), «Investment in Education: the implications for economic growth and public finances», European Commission, Economic Papers 217.
- MYRO, Rafael y Patricio PÉREZ (2001), «Crecimiento en Europa y EEUU: los determinantes del progreso técnico», *Moneda y Crédito* n.º 214, págs. 215–64.
- OLIVEIRA, Joaquim; Frederick GONAND; Pablo ANTOLIN; Christine de la MAISONNEUVE; Kwang_YEOL YOO (2005), «The impact of ageing on demand, factor markets and growth», OECD, Economics Department WP 2005/7.
- ROMER, Paul (1990), «Endogenous Technological Change», *Journal of Political Economy* 98 (5), págs. S71–S102.
- TEMPLE, John (1998), «Equipment Investment and the Solow Model», *Oxford Economic Papers* 50, págs. 39–62.
- VAN BIESEBROECK (2003), «Revisiting some productivity debates», NBER WP 10065.
- VAN BIESEBROECK (2004), «Robustness of Productivity Estimates», NBER WP 10303.
- VAN POTTELSBERGHE, Bruno y Frank LICHTENBERG (2001), «Does Foreign Direct Investment Transfer Technology Across Borders?», *Review of Economic and Statistics* 83 (3), págs. 490–7.
- XU, Bin y Jianmao WANG (1999), «Capital Goods Trade and R&D Spillovers in the OECD», *Canadian Journal of Economics* 32 (5), págs. 1258–74.

Apéndice: fuentes estadísticas utilizadas

Los datos de I+D de España y los datos de investigadores equivalentes a tiempo completo proceden del INE (algunos años para los que no ofrece datos han sido interpolados).

El empleo total equivalente a tiempo completo procede de la base de datos AMECO de la Comisión Europea desde 1980, y para datos anteriores (usamos desde 1967) se han tomado de la OCDE.

Los datos de años de escolarización media los hemos calculado a partir de Mas *et al.* (2005) hasta el 2001, como se explica en el epígrafe 3.1, y para el 2002–04 hemos aplicado los incrementos según datos de la EPA.

Los datos de PIB y de *stock* de capital provienen de AMECO.

Para calcular la PTF de EEUU hemos tomado los datos de Jones (2002) hasta 1993. A partir de 1994 los hemos calculado directamente a partir de las siguientes fuentes: *Bureau of Economic Analysis* (PIB); *Groningen Data Base* (Horas trabajadas); *Censos de Población* (Años de escolarización) y *Base de Datos AMECO* (*Stock* de Capital), OCDE (Número de científicos y empleo total en el G5: EEUU, Japón, Reino Unido, Francia y Alemania).