

CRECIMIENTO ECONÓMICO E INNOVACIÓN: UN BREVE APUNTE ACERCA DE LA EVIDENCIA EMPÍRICA

RAFAEL MYRO

Universidad Complutense de Madrid

Recibido: 24 de junio de 2010

Aceptado: 26 de julio de 2010

Resumen: Este artículo estudia las relaciones entre progreso técnico y esfuerzo tecnológico propio en los países más desarrollados, un aspecto central para su política económica, y por ello sujeto a un permanente debate. A pesar de los notables avances que se han producido en la teoría del crecimiento durante más de dos décadas, que han logrado situar la innovación en su centro, y a pesar de la proliferación de los contrastes empíricos, que han tendido a confirmar las hipótesis centrales, enriqueciendo notablemente el campo de análisis, aún no se conocen bien los factores que transforman un esfuerzo tecnológico dado en innovación, y después en ganancias de productividad. En este artículo se apuntan algunas hipótesis a la luz de los datos más recientes.

Palabras clave: Crecimiento económico / Progreso tecnológico / Innovación / Políticas de I+D.

ECONOMIC GROWTH AND INNOVATION: A SHORT NOTE ABOUT THE EMPIRICAL EVIDENCE

Abstract: This paper explores the links between technical progress and R&D effort in developed countries, a key issue for its economic policy and so open to a permanent debate. In spite of notable advances in the economic growth theory, bringing innovation to a central place, and the spread of empirical contrasts confirming its central hypothesis and widening this analytical field, the factors that transform R&D effort in innovation and then in productivity gains are not well known yet. In this paper some hypothesis are formulated in face to the more recent data.

Keywords: Economic growth / Technical progress / Innovation / R&D policy.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos veinte años, el análisis de las relaciones entre crecimiento económico e innovación ha experimentado un considerable avance, impulsado sobre todo por los trabajos de Romer (1986, 1987, 1990), que hicieron suya la preocupación mostrada ya en el decenio de 1960 por algunos otros economistas destacados, como Arrow (1962), Phelps (1966), Nelson y Phelps (1966) o Nordhaus (1969), por ampliar el marco analítico limitado por los supuestos de un progreso tecnológico exógeno y rendimientos constantes de escala. Las posteriores aportaciones de otros autores, entre los que se debe citar a Lucas (1989), Aghion y Howit (1992), Grossman y Helpman (1993), Mankiw (1995), Barro y Sala-i-Martin (1997), Basu y Weil (1998), Jones (1995, 1998, 2005) y Acemoglu (2002), han logrado situar hoy la innovación en el centro de la teoría del crecimiento. Este cambio de paradigma es visible en el nuevo enfoque de los libros de texto de macroeconomía o de los de crecimiento. El manual de Weil (2006) es, quizá, la mejor expresión de esta reciente línea. Esto no quiere decir que ya se disponga de una teoría suficientemen-

te robusta, y menos aún que esta haya alcanzado el desarrollo suficiente para ofrecer muchas pautas de orientación a quienes diseñan y aplican políticas de crecimiento.

También en el terreno empírico, los estudios de corte macroeconómico sobre innovación y progreso tecnológico han recibido un gran impulso, en gran parte como consecuencia directa de los nuevos desarrollos teóricos, por lo que también destacan en esta faceta los autores ya mencionados, aunque junto a otros muchos con contribuciones también apreciables. Sin embargo, las predicciones que emanan de la nuevas teorías no siempre aparecen claramente corroboradas por los hechos, lo que sin duda es, por una parte, consecuencia de las dificultades habituales en el contraste empírico y, por otra, la expresión de algunas insuficiencias en el marco teórico construido. Este punto dificulta que algunas de las recetas más claras y contundentes que emanan de la teoría, como el papel clave del esfuerzo tecnológico propio en el crecimiento económico, sean de utilidad general sin más matizaciones.

En realidad, el aval empírico encontrado para los desarrollos teóricos difiere sensiblemente de unos estudios a otros, lo que no facilita una visión suficientemente clara del estado de los conocimientos en este terreno, ni el establecimiento de un programa claro de tareas pendientes o el diseño de líneas concretas de actuación en el ámbito de la política económica.

Por esta razón resulta conveniente reflexionar acerca del contraste entre lo que se espera que ocurra desde el ámbito de la teoría y lo que parecen avalar los datos, siendo este, precisamente, el objeto de las páginas que siguen, en las que la exposición se ordena de la siguiente manera: a este primer apartado introductorio le sigue otro en el que se señalan algunas de las principales predicciones de la nueva teoría del crecimiento económico acerca de las relaciones entre innovación y progreso técnico; a continuación se examinan algunos datos centrales; el artículo se cierra con algunas consideraciones finales.

2. CRECIMIENTO ECONÓMICO Y ESFUERZO TECNOLÓGICO. ALGUNAS PREDICCIONES FUNDAMENTALES

A partir de los desarrollos teóricos aludidos en la introducción de este artículo, se espera que el progreso tecnológico (la famosa *A* de los modelos de crecimiento), que empíricamente suele aproximarse por la Productividad Total de los Factores (PTF), una variable calculada habitualmente como un residuo contable, dependa al menos de los siguientes cinco factores:

- El esfuerzo tecnológico, que puede medirse por el número de investigadores o por el capital acumulado en I+D, ambos en valores absolutos o relativizados por alguna magnitud de tamaño como la población, el empleo o el PIB.
- El avance tecnológico exterior, que amplía las posibilidades de imitar tecnologías y resulta tanto más importante cuanto más atrasada se encuentra una economía.

Tanto el comercio exterior como la inversión extranjera, de creciente relieve en un mundo más global, son vehículos fundamentales en la importación de la tecnología producida en el exterior.

- El coste de la tecnología producida o importada a través de la imitación, medido por el esfuerzo en término de investigadores o de gasto de I+D necesario para mantener un ritmo dado de incremento del progreso técnico. Este coste podría ser superior en las economías desarrolladas, es decir, en aquellas con un mayor capital tecnológico acumulado, por cuanto, de una parte, el coste de la imitación se haría mayor en ellas, dado que el espacio de imitación se reduce y sofisticada, y el coste de innovar también, por cuanto las mejores ideas tienden a obtenerse primero.
- El nivel de capital humano, que parece influenciar decisivamente la tasa de difusión de las nuevas tecnologías creadas o imitadas.
- El marco institucional de protección de la innovación y de estímulo de la difusión de conocimientos y aplicaciones.

En el equilibrio a largo plazo cabría esperar una relación positiva entre las variaciones en el esfuerzo tecnológico y en el progreso tecnológico. Sin embargo, a la vista de la diversidad de determinantes enumerados, no se puede esperar que tal relación sea muy estrecha. La razón es que, aún suponiendo un marco institucional estable, con el tiempo podría requerirse un esfuerzo tecnológico proporcionalmente mayor para sostener una misma tasa de avance tecnológico, si, como ya se ha apuntado con anterioridad, la imitación y la innovación tendieran a hacerse paulatinamente más caras. El avance en el capital humano que acompaña al crecimiento económico será, por el contrario, un factor que favorezca la relación entre ambas variables.

Con todo, si se limita el análisis a las economías más desarrolladas, aquellas situadas muy cerca de la frontera tecnológica, a las que puede suponerse muy limitadas posibilidades de imitación de tecnologías exteriores, la relación entre esas dos variables –esfuerzo tecnológico y progreso técnico– debería ser mayor, sobre todo cuando sus marcos institucionales y de desarrollo del capital humano son similares, lo que tiende a ocurrir en espacios integrados como la UE.

Por el contrario, en economías con un bajo nivel de desarrollo, bastante alejadas de la frontera tecnológica, el progreso técnico debería estar más fundamentado en la imitación que en el esfuerzo tecnológico propio, de forma que podría esperarse que sus niveles de avance tecnológico fueran comparativamente superiores a sus niveles de esfuerzo tecnológico.

Esta expectativa se deduce de que, en el equilibrio a largo plazo, las tasas de avance del progreso técnico de las economías situadas más cerca de la frontera tecnológica tienden a igualarse a las de aquellas otras más alejadas. Pero, mientras en las primeras se consiguen a través de un esfuerzo tecnológico *per capita* mayor, en

las segundas se alcanzan mediante un elevado nivel de imitación de tecnologías foráneas (Weil, 2006).

Finalmente, las economías en desarrollo que experimentan un crecimiento sostenido a largo plazo de su PTF sensiblemente superior a la media deberían mostrar un avance más notable en el esfuerzo tecnológico y en la acumulación de capital humano.

3. ALGUNOS RESULTADOS EMPÍRICOS EN LAS RELACIONES ENTRE PTF Y ESFUERZO TECNOLÓGICO

Una parte importante de la literatura empírica sobre innovación y desarrollo tecnológico ha tratado de distinguir el impacto sobre la PTF de cada país del esfuerzo tecnológico doméstico y del avance tecnológico logrado en los demás países, sobre todo a partir del influyente artículo “*International R&D Spillovers*” (Coe y Helpman, 1995). Para ello se ha hecho depender la captación de tecnología exterior del stock tecnológico acumulado en los países con los que se comercia, matizando su impacto según la importancia que ese comercio posee. El cuadro 1 sintetiza algunos de los principales resultados obtenidos. En general, estos estudios trabajan con paneles de datos correspondientes a países miembros de la OCDE. Las diferencias en las muestras de países, el período temporal, las variables consideradas (las ventas o el valor añadido como variable dependiente, etc.), los métodos de estimación adoptados (OLS, DOLS, efectos fijos, efectos aleatorios, etc.), los criterios utilizados para calcular el stock de los conocimientos o los flujos bilaterales de comercio generan efectos distorsionadores que hay que tener en cuenta.

No obstante, el resultado común es el de una elasticidad positiva del producto con respecto al esfuerzo tecnológico propio y al realizado en otros países, así como de una elevada tasa de retorno en la inversión en I+D, que tiende a superar a las que se obtienen con la inversión en capital físico. Sin embargo, en los trabajos recogidos no quedan claros ni los mecanismos de recepción de las externalidades asociadas al stock de conocimiento exterior, ni aquellos que capacitan a las empresas locales para absorber ese conocimiento. Dicho de otra forma, aunque el comercio exterior parece erigirse en un buen mecanismo para la difusión de ideas y tecnologías, se desconoce con precisión su relación con los *spillovers* internacionales generados por el I+D (Keller, 2002)¹, así como los mecanismos que facilitan la imitación y la adaptación del conocimiento externo. Por otra parte, el papel de la inversión exterior directa, que se supone fundamental, está aún en una gran medida por explorar.

¹ En el trabajo más reciente de Coe, Helpman y Hoffmeister (2008) se ensayan diferentes medidas de stock tecnológico exterior, no encontrándose una diferencia muy apreciable entre las que ponderan por el comercio exterior y aquellas otras que simplemente recogen la evolución de ese stock en los demás países, a modo de evolución de la frontera general de conocimientos a la que un país puede acceder.

Cuadro 1.- Principales resultados del análisis del impacto y de la rentabilidad de la inversión en I+D

Trabajo	Muestra	Período de observación	Variable de ponderac. del stock tecnológico exterior	I+D doméstica		I+D externa	
				Elasticidad del output	Tasa de retorno	Elasticidad del output	Tasa de retorno
Mohnen (1990)	Canadá	1965-1983	Importaciones alta tecnología	0,01 (0,10)	20%	0,13 (0,09)	29%
Mohnen (1992)	OCDE 5 países	1964-1985	Stock de I+D foráneo		Entre el 6% y el 9%		Entre el 4% y el 18%
Lichtenberg (1993)	53 países	1960-1985	Ninguna		0,07 pooled 0,07 within		0,004 pooled 0,0 within
Coe y Helpman (1995)	22 países	1971-1990	Importaciones	0,22 (G7) 0,09 (otros)	123% (G7) 85% (otros)	0,06 (G7 a mundo)	32% (G7 a mundo)
Nadiri y Kim (1996)	7 países	1964-1991	Importaciones		14% to 16% 6%		6% to 11%
Coe, Helpman y Hoffmaister (1997)	22 países norte 77 países sur	1971-1990	Importaciones de maquinaria y equipo		0,06 (0,02) (norte a sur)		
Kao <i>et al.</i> (1999)	22 países OCDE	1971-1990	Importaciones	0,20 (G7) 0,09 (otros)	120% (G7) 79% (otros)	0,04 (G7 a mundo)	29% (G7 a mundo)
Keller (1997)	22 países OCDE	1971-1990	Importaciones	0,13 (G7) 0,035 (otros)		0,05 (G7 a mundo)	
van Pottelsberghe y Lichtenberg (2001)	13 países OCDE	1971-1990	Importaciones Flujos de IED recibidos y enviados	0,05 (0,02) 0,08 (0,02) 0,06 (0,02)	68% (G7) 15% (otros)	0,067 (0,013) 0,006 (0,004) 0,039 (0,009)	
Madsen (2005)	13 países OCDE	1883-2002	Importaciones	0,046 (4,49)	0,023 (1,99)	0,137 (10,9)	0,041(8,98)

Entre paréntesis figura el error estándar o los valores del estadístico *t*. Cuando se ofrece un rango es el obtenido considerando las diversas industrias.

FUENTE: Hall, Maires y Mohnen (2010).

Abandonando el terreno de los *spillovers*, que aún requiere de una mayor elaboración y concreción, a continuación vamos a centrar la atención en el aspecto crucial de las relaciones entre la PTF y el esfuerzo tecnológico propio en algunas de las economías más desarrolladas, para las que se dispone de información más abundante y en las que *a priori* cabe otorgar un papel menos destacado a la tecnología recibida del exterior, es decir, a los *spillovers* exteriores, cualquiera que pudiera ser su importancia.

Se busca tan sólo realizar un ejercicio simple y de carácter descriptivo del contraste aparente entre los datos y las predicciones que emanan de la teoría disponible en este aspecto, que es crucial para los países más maduros, y por ello centra la atención de los *policy makers*, pues con frecuencia se comprueba la dificultad de impulsar el esfuerzo tecnológico de las empresas a la vez que se observan diferencias en las respuestas obtenidas al gasto público en I+D según regiones y sectores.

El esfuerzo tecnológico se mide aquí a través de la ratio de intensidad investigadora definida por Jones (2002), obtenida a través de la división entre el número de investigadores y el número total de trabajadores. Se trata de una ratio que la

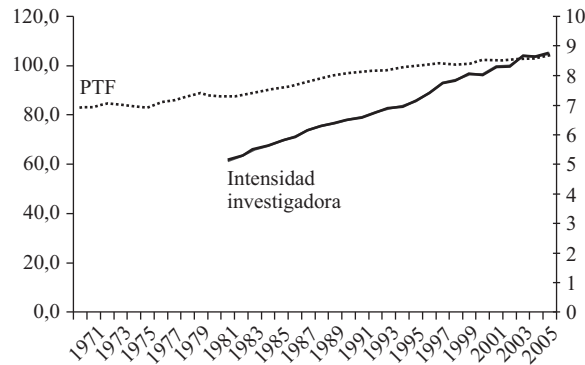
OCDE ofrece ya en sus estadísticas para los países pertenecientes a esta organización (Factbook. 2009). Para la comparación entre países, esta ratio podría ser más aconsejable que el capital tecnológico acumulado, frecuentemente usado y construido a partir de las inversiones en I+D mediante el método del inventario permanente (Coe, Helpman y Hoffmeister, 2008). La razón se encuentra en que este último está influido por las diferencias en los salarios de los investigadores entre países, que resultan tan abultadas que difícilmente pueden atribuirse a diferencias en la eficiencia que estos poseen en su trabajo. Así, EE.UU. posee un capital tecnológico por investigador muy inferior al de Alemania (Myro, Pérez y Colino, 2008).

Por otra parte, los datos disponibles de la PTF son sus tasas de variación y han sido obtenidos de la base de datos EUKLEMS. El periodo de referencia para el que se cuenta con datos completos de ambas variables es 1981-2005.

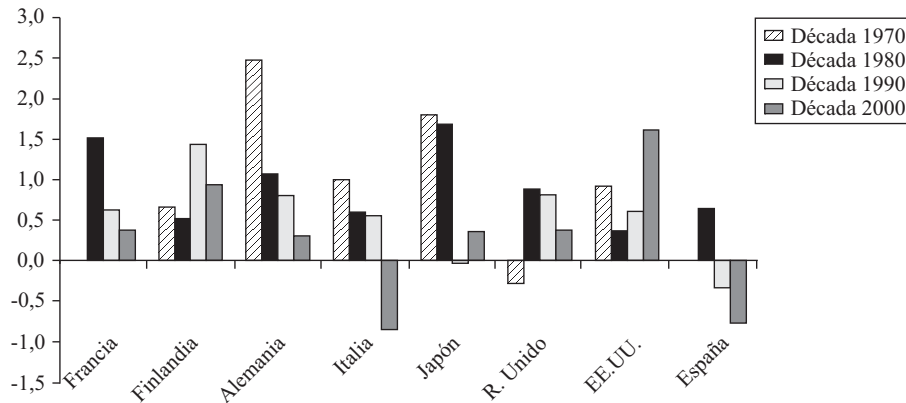
Si elegimos el grupo formado por los líderes en investigación, tal y como los define Jones (2002), integrado por cinco países –EE.UU., Alemania, Francia, Japón y Reino Unido–, que denominaremos G5, siguiendo al citado autor, se puede suponer que, al encontrarse muy cerca de la frontera tecnológica, sus posibilidades de imitación de tecnologías foráneas son muy reducidas, de forma que se podría esperar una relación más estrecha entre las dos variables que se estudian aquí. De hecho, el efecto de la distancia tecnológica con EE.UU., que se introduce como una variable explicativa en Myro, Pérez y Colino (2008), apenas adquiere relevancia a partir del año 1975, aunque aumenta ligeramente en los primeros años del actual decenio, quizá como consecuencia de la aceleración del crecimiento de la PTF en EE.UU.

Pues bien, para el conjunto del grupo mencionado, la PTF no muestra una aceleración desde el año 1981 en adelante (gráfico 1), ni siquiera en los últimos años, aunque el agregado esconde importantes diferencias entre países que más adelante se estudiarán. Sin embargo, la ratio de intensidad investigadora –medida en el eje derecho de dicho gráfico– no deja de crecer, pues pasa de 5,11 investigadores por 1.000 trabajadores a 8,75. En función de las predicciones teóricas, ese ascenso debería justificarse por el incremento en el coste de la innovación, al no reflejarse en incrementos en el ritmo de avance de la PTF. A este resultado remiten, precisamente, las estimaciones realizadas por Jones (2000) y por Myro y Pérez (2002), que explican el incremento anual de la PTF en función del número de investigadores y de la PTF conseguida en el año anterior y obtienen un coeficiente negativo para esta última variable.

Con todo, antes de dar por buena esta explicación, resulta aconsejable observar de forma separada lo ocurrido en los países considerados. El gráfico 2 recoge las tasas de evolución de la PTF en ellos y también en algunos otros menos desarrollados, incluida España, con el objeto de ampliar ligeramente la perspectiva. Se toman también las tasas del período 1970-1980 para disponer de una referencia temporal comparativa más amplia. Por lo demás, las correspondientes al decenio de 2000 recogen la media desde este año hasta el año 2005.

Gráfico 1.- PTF e intensidad investigadora para los países líderes del G5

FUENTES: EUKLEMS y OECD.

Gráfico 2.- Evolución de la PTF. Media de tasas anuales

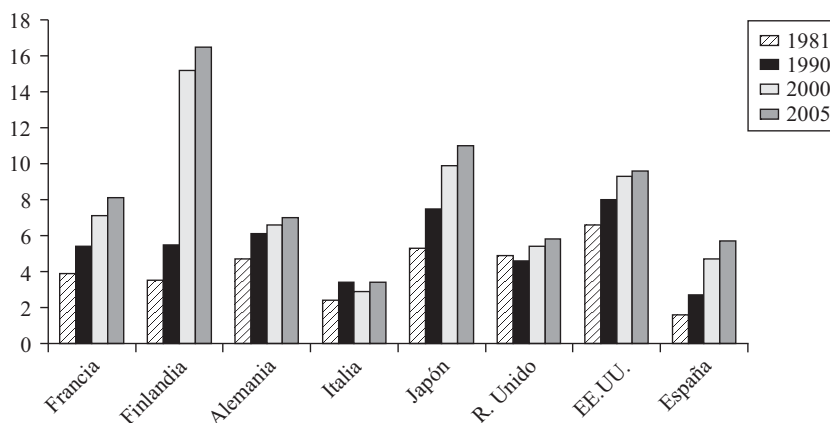
FUENTE: EUKLEMS.

Pues bien, se observará que dentro del G5 el ritmo de evolución de la PTF es ascendente sólo en EE.UU. Por otra parte, de los tres países adicionales considerados –Finlandia, Italia y España–, sólo en el primero de ellos esta variable muestra un comportamiento no descendente. España, por el contrario, se revela como el país con un peor comportamiento, con descensos en la variable considerada que no resultan fáciles de explicar.

Estas evoluciones contrastan vivamente con las registradas en el número de investigadores por trabajador, recogidas en el gráfico 3. En efecto, dentro del grupo G5, todos los países muestran un incremento apreciable del porcentaje de trabajadores que son investigadores. Este ascenso es notable en EE.UU., pero es sobresa-

liente en Francia y Japón, dos países con desaceleraciones claras en el ritmo de avance de la PTF. Tampoco es despreciable en Alemania, donde es, asimismo, visible la falla en la conexión entre el esfuerzo investigador y la PTF, aunque en este caso podría atribuirse al cambio que tiene lugar con la unificación. De los otros tres países considerados adicionalmente, España muestra ascensos significativos en el número de investigadores que contrastan con reducciones en la PTF, mientras que Finlandia parece conseguir el mayor aumento en el progreso técnico durante la década de 1990 mediante la multiplicación de casi por 3 de la ratio de intensidad investigadora, que hoy alcanza el nivel más alto: 16,5 investigadores por cada 1.000 empleados.

Gráfico 3.- Intensidad investigadora (investigadores por cada 1.000 trabajadores)



FUENTE: OECD.

Las evoluciones mostradas parecen avalar la idea adelantada ya de que la aceleración en el avance de la PTF en los países líderes en innovación ha sido proporcionalmente más costosa en los últimos años, en términos de esfuerzo investigador. En función de ello, algunos países en el que la ratio de intensidad investigadora ha crecido menos, como Italia o Reino Unido, o incluso Alemania, muestran ritmos bajos de avance en la PTF.

Pero esta no parece ser justificación suficiente para explicar lo que ha ocurrido, pues otros países han mostrado avances importantes en su esfuerzo investigador sin un mejor desempeño en términos de PTF. Forzoso es concluir también que son los marcos institucionales de los países considerados los que limitan la eficiencia del esfuerzo tecnológico realizado, según los hallazgos de diversos autores, entre ellos Coe, Helpman y Hoffmaister (2008). Si dejamos aparte a Japón –sumido en una larga y compleja crisis– y a Alemania –aún recuperándose de su proceso de unifi-

cación— nos quedan los casos de Francia y España que, dentro del marco legal tipo francés, que al parecer se revela menos eficaz, se caracterizarían por elevadas dificultades para hacer negocios y por una baja calidad de la educación terciaria².

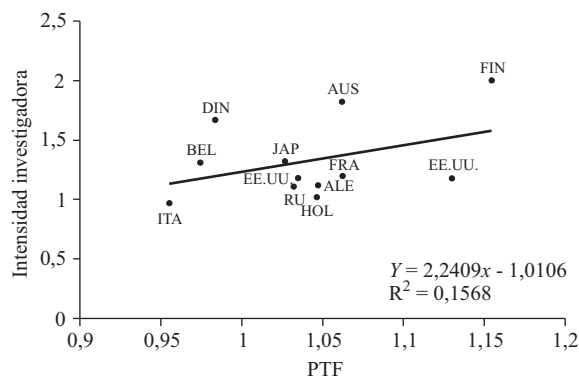
Sin duda, la comparación con EE.UU. y Finlandia induciría a reclamar para los demás países contemplados un sensible aumento en el esfuerzo tecnológico, salvo para Japón, un país que alcanza valores muy altos en la ratio de intensidad investigadora. Pero no parece que esta política por sí sola pudiera atajar el débil pulso de la PTF sin cambios importantes en el marco institucional. Aparte de los aspectos de este a los que se ha hecho referencia anteriormente —los definidos por Coe, Helpman y Hoffmaister (2008)—, la discusión actual en el ámbito de la política tecnológica se centra en la relevancia de los denominados sistemas de innovación como garantes de la eficiencia de un determinado esfuerzo tecnológico. Tales sistemas resaltan los vínculos que se establecen entre empresas, universidades y otras entidades públicas y privadas de apoyo a la innovación y a la calidad en la educación. La creación de esos vínculos, por lo demás, requiere empresas muy abiertas a la investigación básica y universidades implicadas en la cooperación con empresas y en mecanismos eficaces de transferencia de conocimientos (Cassiman, 2009).

Con todo, es inevitable que a la vista de los datos expuestos se suscite la sospecha de que faltan más elementos en el modelo teórico. Esa sospecha queda avalada por el examen del gráfico 4, en el que las variables que se están considerando se comparan para los países de la OCDE más homogéneos en renta *per capita* y para los años más recientes (1995-2005), en los que su similitud en desarrollo económico es mayor. El coeficiente de correlación no es muy elevado, lo que indica la relevancia de otras muchas variables explicativas.

Entre tales variables explicativas se podrían contar, desde luego, la captación de tecnología exterior y el capital humano. La primera de ellas habrá desempeñado, sin duda, cierto papel en el período considerado, caracterizado por la explosión de las TIC, pero en la medida en que los países considerados se incorporaron finalmente a esta revolución tecnológica iniciada en EE.UU. a lo largo del citado período, se puede presumir que este no ha debido ser muy importante. La segunda aún es más difícil que haya poseído un gran relieve, pues el rango de variación de los años medios de estudio de la población trabajadora entre los países considerados es muy pequeño, pues oscila entre 8,4 y 10 en el año 2000, con dos valores extremos: el de Italia, con un 7, y el de EE.UU., con un 12,25. La exclusión de estos valores, de hecho, mejora ligeramente el coeficiente de correlación obtenido entre las variables estudiadas.

² Coe, Helpman y Hoffmaister (2008) distinguen cuatro tipos de instituciones de compleja medición, que en su análisis empírico ofrecen los resultados esperados: la facilidad para hacer negocios, la calidad de la educación terciaria, la fortaleza de los derechos de propiedad y los orígenes del sistema legal en Alemania o en Inglaterra favorecen la eficacia del esfuerzo tecnológico propio y de la captación de tecnología exterior, medidas a través de sus efectos sobre la PTF.

Gráfico 4.- Crecimientos en intensidad investigadora y en PTF en el período 1995-2005 (niveles en el año 2005/niveles en el año 1995)



NOTA: ITA: Italia; BEL: Bélgica; DIN: Dinamarca; AUS: Austria; FIN: Finlandia; JAP: Japón; EE.UU.: Estados Unidos; FRA: Francia; ALE: Alemania; RU: Reino Unido; HOL: Holanda.

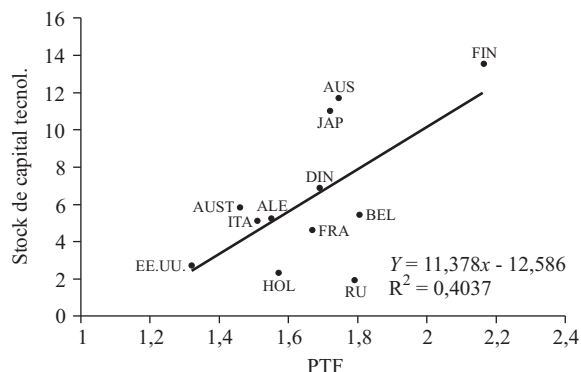
FUENTES: EUKLEMS y OECD.

En todo caso, se cumple la expectativa de que, remontándose hacia atrás en el tiempo, hacia etapas algo anteriores en el desarrollo económico, el peso de las variables omitidas es mayor y, por ende, la relación entre ambas variables es más oscura. En efecto, el coeficiente de correlación entre las evoluciones de la PTF y la intensidad investigadora se reduce a algo más del 5% para todo el período considerado: el comprendido entre los años 1981 y 2005.

Una forma adicional de comprobar la relevancia de estas variables omitidas se obtiene examinando la correlación entre la PTF y el stock de capital tecnológico que ofrecen Coe, Helpman y Hoffmeister (2008) para esos mismos países, aunque ello extiende nuestro análisis aún más hacia atrás en el tiempo, pues el período por ellos elegido es 1971-2004. El resultado se presenta en el gráfico 5.

Sorprendentemente, ampliando el período hasta situar su inicio en el año 1971, obtenemos una mejor correlación entre las variables estudiadas, con un coeficiente de 0,40, que parecería indicar, de una parte, que nuestras precauciones acerca de la importancia de las variables omitidas eran excesivas y, de otra, que los datos de intensidad investigadora no son los mejores para buscar relaciones con la PTF. Este último resultado podría esperarse si el mayor coste que ha requerido la consecución de una tasa dada de aumento en la PTF se ha reflejado en investigadores más caros y dotados con mayor capital físico y con mayor cantidad de inputs intermedios, aunque, como ya se advirtió con anterioridad, el capital tecnológico por investigador se revela inferior en EE.UU., dato que conduce a pensar que su mayor nivel no siempre refleja un esfuerzo tecnológico proporcionalmente mayor.

Gráfico 5.- Crecimientos del stock de capital tecnológico y de la PTF (1971-2004). Nivel en el año 2004/Nivel en el año 1971



NOTA: EE.UU.: Estados Unidos; ITA: Italia; AUST: Australia; ALE: Alemania; HOL: Holanda; RU: Reino Unido; FRA: Francia; BEL: Bélgica; DIN: Dinamarca; JAP: Japón; AUS: Austria; FIN: Finlandia.

FUENTE: Coe, Helpman y Hoffmeister (2008).

Pero también parece existir un problema con los datos disponibles. Para empezar, cuando se usan los datos de PTF que ofrece EUKLEMS en lugar de los que ofrecen Coe, Helpman y Hoffmaister (2008), para aquellos países en los que la información ofrecida por la citada base se extiende hasta el año 1971 –que sólo son Finlandia, Alemania, Italia, Reino Unido y EE.UU.–, se observan grandes diferencias, siempre en el mismo sentido de que los datos ofrecidos por Coe, Helpman y Hoffmaister (2008) son superiores, y esas diferencias se acentúan para Finlandia y Reino Unido. De hecho, cuando se sustituyen los datos de estos países por los que ofrece EUKLEMS, se obtiene un coeficiente de correlación entre el aumento del stock de capital tecnológico y el de la PTF de sólo un 13%, que es un resultado más acorde con la importancia que habría de otorgarse a las variables omitidas.

Naturalmente, no hay razón *a priori* para preferir unos datos frente a otros. Sin embargo, EUKLEMS podría ofrecer más fiabilidad en las estimaciones referidas a los países europeos, en los que se encuentran las mayores diferencias por lo que respecta a la medición de la PTF. Por otra parte, dentro de los datos utilizados por los tres autores citados, reproducidos en el cuadro 2, suscita cierta desconfianza el enorme crecimiento del stock de capital tecnológico doméstico que se ofrece para algunos países en desarrollo al comienzo del período –entre ellos España–, que apenas tiene correlato en términos de PTF. Estos países tampoco parecen enfrentarse a una captación del stock de tecnología exterior menor a los restantes (la variable *SKTex*), salvo en el caso de España, que no puede dejar de sorprender a la vista del crecimiento económico logrado.

Cuadro 2.- Crecimientos de la PTF y del stock de capital tecnológico (nivel en el año 2004/nivel en el año 1971)

	PTF	SKT _{dom}	SKT _{ex}	Capital humano
Australia	1,46	5,83	2,71	1,07
Austria	1,74	11,67	3,76	1,30
Bélgica	1,8	5,48	2,63	1,07
Canadá	1,35	7,8	2,85	1,30
Dinamarca	1,69	6,92	2,35	1,17
Finlandia	2,16	13,58	2,75	1,56
Francia	1,67	4,59	2,17	1,48
Alemania	1,55	5,26	2,53	1,21
Grecia	1,31	119,54	3,17	1,68
Islandia	2,09	3.632,56	2,93	1,44
Irlanda	3,72	13,48	3,85	1,40
Israel	1,18	52,59	2,46	1,22
Italia	1,51	5,1	1,95	1,40
Japón	1,72	10,99	2,05	1,42
Corea	3,39	4.660,24	2,93	2,17
Holanda	1,57	2,3	3,24	1,24
Nueva Zelanda	1,15	4,88	3,09	1,21
Noruega	2,42	9,91	2,85	1,60
Portugal	1,83	3,15	1,6	2,08
España	1,44	22,46	1,19	1,67
Suecia	1,54	7,39	2,13	1,50
Suiza	1,1	2,17	2,91	1,28
Reino Unido	1,79	1,9	2,75	1,24
Estados Unidos	1,32	2,69	6,26	1,25

FUENTE: Coe, Helpman y Hoffmaister (2008).

En fin, como se desprende de lo expuesto, no se puede extraer mucha claridad de la información empírica disponible acerca de las relaciones entre la PTF y el esfuerzo tecnológico. Aparentemente esta relación es más débil de lo que se desprende de la teoría elaborada, lo que da pie a la idea de que otros factores de orden institucional inciden de manera decisiva en la capacidad de conversión de un determinado esfuerzo tecnológico en ganancias de PTF. Se podría añadir que, con el desarrollo económico y con la proximidad de los países a la frontera tecnológica, estos factores institucionales parecen cobrar más relieve. En todo caso, observando la evolución temporal de la relación estudiada en cada país, todo parece indicar que el progreso tecnológico en el mundo se ha ido haciendo más caro, es decir, que el logro de la misma tasa de avance parece haber exigido un esfuerzo creciente en términos de número de investigadores *per capita* y, quizá aún más, de acumulación de stock tecnológico.

Desde la perspectiva mencionada, las naciones desarrolladas deben enfrentarse al reto de aumentar sensiblemente el número de investigadores de los que disponen a la vez que mejoran la eficiencia de sus sistemas tecnológicos con un desarrollo institucional de relieve, que conecte mejor el esfuerzo tecnológico con la innovación y el progreso técnico.

4. CONCLUSIONES

En las páginas anteriores se ofrece un sencillo ejercicio descriptivo de contraste de las principales predicciones de la teoría económica acerca de las relaciones entre esfuerzo tecnológico y crecimiento del progreso técnico o, más concretamente, de la productividad total de los factores, con datos agregados referidos a un conjunto de países que figuran entre los más desarrollados. La elección de estos se basa en la predicción de que las diferencias entre ellos en la senda de avance de la PTF deben responder, precisamente, más a diferencias en el esfuerzo tecnológico propio, toda vez que su posición más próxima a la frontera tecnológica deja menos espacio a la acción de otras variables, como la imitación de tecnología exterior o el capital humano.

La evolución de las dos variables estudiadas en los países seleccionados no guarda la relación esperada. De una parte, la consecución de una determinada tasa de avance de la PTF parece haberse hecho más costosa a lo largo del tiempo en términos de número de investigadores y de los medios económicos utilizados por estos. De otra, la comparación entre países parece indicar la existencia de respuestas muy dispares a un mismo esfuerzo tecnológico, lo que remite a la importancia crucial del marco institucional en la eficiencia del gasto público y privado en I+D. Dentro de ese marco, la calidad de la educación media y superior, la ausencia de restricciones a la competencia en los diferentes mercados y la estrecha cooperación entre empresas y universidades podrían ser aspectos claves, entre otros muchos. El énfasis que las políticas tecnológicas ponen actualmente en los sistemas nacionales y regionales de tecnología, en las bases territoriales que deben sustentar su desarrollo y en la estrecha cooperación entre universidades y empresas parecería recibir un aval desde esta óptica.

BIBLIOGRAFÍA

- ARROW, K.J. (1962): "Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention", en R.R. Nelson [ed.]: *The Rate and Direction of Inventive Activity*, pp. 609-625. Princeton, NJ: Princeton University Press (NBER).
- AGHION, P.; HOWITT, P. (1992): "A Model of Growth Through Creative Destruction", *Econometrica*, 60 (2), pp. 323-351.
- AGHION, P.; HOWITT, P. (1998): *Endogenous Growth Theory*. Cambridge, MA: MIT Press.
- BARRO, R.J.; SALA-I-MARTIN, X. (1997): "Technological Diffusion, Convergence and Growth", *Journal of Economic Growth*, 1, pp. 1-26.
- BASU, S.; WEIL, D.N. (1998): "Appropriate Technology and Growth", *Quarterly Journal of Economics*, 113 (4) (November), pp. 1025-1054.
- BENHABIB, J.; SPIEGEL, M. (2005): "Human Capital and Technology Diffusion", en P. Aghion e S. Durlauf [ed.]: *Handbook of Economic Growth*. Elsevier.
- CASSIMAN, B. (2009): "Complementariedades en las estrategias de innovación y el vínculo con la ciencia", *Els Opuscles del CREI*, núm. 23. Centre de Recerca en Economia Internacional.

- COE, D.T.; HELPMAN, E. (1995): "International R&D Spillovers", *European Economic Review*, 39 (5) (May), pp. 859-887.
- COE, D.T.; HELPMAN, E.; HOFFMAISTER, A. (1997): "North-South R&D Spillovers", *Economic Journal*, 107, pp. 134-149.
- COE, D.T.; HELPMAN, E.; HOFFMAISTER, A. (2008): *International R&D Spillovers and Institutions*. (IMF Working Paper, WP/08/104).
- GROSSMAN, G.M.; HELPMAN, E. (1991): *Innovation and Growth in the Global Economy*. Cambridge, MA: MIT Press.
- HALL, B.H.; MAIRESSE, J.; MOHNEN, P. (2010): *Measuring the Returns to R+D*. (Working Paper Series, 2010-006). United Nations University.
- HELPMAN, E. (1993): "Innovation, Imitation, and Intellectual Property Rights", *Econometrica*, 61, pp. 1247-1280.
- JONES, C.I. (1995): "R&D-Based Models of Economic Growth", *Journal of Political Economy*, 103 (4), pp. 759-784.
- JONES, C.I. (2002): "Sources of U.S. Economic Growth in a World of Ideas", *American Economic Review*, 92 (1), pp. 220-239.
- JONES, C.I. (2005): "Growth and Ideas", en P. Aghion y S. Durlauf [ed.]: *Handbook of Economic Growth*. Elsevier
- KAO, C.M.; CHIANG, B.CH. (1999): "International R&D Spillovers: An Application of Estimation and Inference in Panel Cointegration", *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 61, pp. 691-709.
- KELLER, W. (1997): "Are International R&D Spillovers Trade-Related? Analyzing Spillovers among Randomly Matched Trade Partners", *European Economic Review*, 42, pp. 1469-1481.
- KELLER, W. (2002): "Trade and the Transmission of Technology", *Journal of Economic Growth*, 7 (1), pp. 5-24.
- LICHTENBERG, F.R. (1993): "R&D Investment and International Productivity Differences", en H. Siebert [ed.]: *Economic Growth in the World Economy*, pp. 89-110. Tübingen: J.C.B. Mohr (Paul Siebeck).
- LUCAS, R.E. (1988): "On the Mechanics of Economic Development", *Journal of Monetary Economics*, 22 (1), pp. 3-42.
- MADSEN, J.B. (2005): *Technology Spillover through Trade and TFP Convergence: 120 Years of Evidence for the OECD Countries*. (EPRU Working Paper Series). University of Copenhagen, Institute of Economics.
- MOHNEN, P. (1990): "New Technologies and Interindustry Spillovers", *OECD STI Review*, 7, pp. 131-147.
- MOHNEN, P. (1992): "International R&D Spillovers in Selected OECD Countries", *Cahier de Recherche*, núm. 9208. Montreal: UQAM, Dept. des Sciences Economiques.
- MYRO, R.; PÉREZ, P. (2002): "Crecimiento en Europa y EE.UU.: los determinantes del progreso técnico", *Moneda y Crédito*, 2ª época, núm. 214, pp. 215-242.
- MYRO, R.; PÉREZ, P.; COLINO, A. (2008): "Economic Growth in a World of Ideas: The US and the Leading European Countries", *Applied Economics*, vol. 40, núm. 22, pp. 2901-2909.
- NADIRI, M.I.; KIM, S. (1996): *R&D, Production Structure and Rates of Return in the U.S., Japanese and Korean Manufacturing Sectors: A Non-Sector Model*. (NBER Working Paper, 5506).

- NELSON, R.R.; PHELPS, E.S. (1966): "Investment in Humans, Technological Diffusion, and Economic Growth", *American Economic Review*, 56, pp. 69-75.
- NORDHAUS, W.D. (1969): "An Economic Theory of Technological Change", *American Economic Review Papers and Proceedings*, 59 (May), pp. 18-28.
- PHELPS, E.S. (1966): "Models of Technical Progress and the Golden Rule of Research", *Review of Economic Studies*, 33 (2), pp. 133-145.
- ROMER, P.M. (1986): "Increasing Returns and Long-Run Growth", *Journal of Political Economy*, 94 (October), pp. 1002-1037.
- ROMER, P.M. (1987): "Growth Based on Increasing Returns to Specialization", *American Economic Review Papers and Proceedings*, 77 (May), pp. 56-62.
- ROMER, P.M. (1990): "Endogenous Technological Change", *Journal of Political Economy*, 98 (5), pp. 71-102.
- VAN POTTELSBERGHE, B.; LICHTENBERG, F. (2001): "Does Foreign Direct Investment Transfer Technology Across Borders?", *Review of Economics and Statistics*, 83 (3), pp. 490-497.
- WEIL, D.N. (2006): *Crecimiento económico*. Madrid: Pearson / Addison Wesley.