

Teoría de crecimiento semi-endógeno vs Teoría de crecimiento completamente endógeno: una valoración sectorial.

Sara Barcenilla Visús, Carmen López-Pueyo, Jaime Sanaú
Universidad de Zaragoza

0. Introducción

La década de los noventa fue prolífica en el desarrollo de modelos teóricos capaces de determinar las causas del crecimiento económico. La variedad de modelos explicativos desarrollados bajo diversos supuestos mantenía, no obstante, un planteamiento común: la existencia de *inputs* productivos- como la tecnología y el capital humano- que bajo el supuesto de rendimientos no decrecientes a escala garantizaban el crecimiento económico a largo plazo. Concretamente, la primera generación de modelos de crecimiento endógeno aseguraba que el crecimiento sostenido de dichos *inputs* garantizaría la aceleración de la productividad total de los factores (*PTF*) y, por tanto, del *output* per cápita.

La inclusión de las “ideas” en la explicación del crecimiento, tal y como precisa Jones (2005), traía consigo la alteración de tres supuestos básicos: a diferencia de los *inputs* tradicionales las ideas son un *input no rival*, lo que conlleva la existencia de *rendimientos crecientes a escala* en la producción de bienes finales y, por tanto, la necesidad de plantear modelos de *competencia imperfecta*. La vinculación lógica entre no rivalidad y rendimientos crecientes a escala ha hecho que el estudio del denominado “efecto escala” en los modelos de crecimiento haya centrado buena parte del esfuerzo investigador en los últimos años.

En la primera generación de modelos de crecimiento [Romer (1990), Grossman y Helpman (1991) y Aghion y Howitt (1992)], el supuesto de rendimientos constantes a escala en el sector de I+D, permitía derivar la existencia del denominado “efecto escala” en su forma “fuerte”: el crecimiento de la *PTF* y del *output* per cápita a largo plazo era una función creciente del crecimiento del stock de conocimiento que, a su vez, era una

función creciente de la escala de la economía, aproximada por el tamaño de la población.¹ A largo plazo, por tanto, bastaba con aumentar el *nivel* de recursos de dedicados a la I+D para incrementar la *tasa de crecimiento* de la *PTF*².

Mientras los esquemas teóricos parecían ofrecer una explicación solvente al crecimiento económico, la realidad económica avanzaba contradiciendo la prescripción teórica. En efecto, dos evidencias empíricas cuestionan la validez del esquema teórico imperante. Por una parte, en influyentes trabajos, Jones (1995a, 1995b) planteó una nueva paradoja empírica al señalar que históricamente el crecimiento de la *PTF* en las economías desarrolladas y más concretamente en los EE.UU se ha mantenido constante – o incluso decreciente- a pesar del continuado incremento de los gastos en I+D y del número de científicos e ingenieros. Por otra parte, y más recientemente, diversos estudios empíricos (véase, por ejemplo, Stiroh and Botsch, 2007) demuestran que la productividad estadounidense experimentó una aceleración continua al comienzo del actual milenio, pese a que la inversión en tecnologías de la información se había reducido claramente³.

La que cabría denominar “paradoja de Jones” dio lugar al desarrollo de nuevos planteamientos teóricos que introducen ciertas alteraciones en los supuestos básicos del modelo tradicional endógeno. Por una parte, la teoría de crecimiento semi-endógeno⁴ inicialmente planteada por el propio Jones (1995b), Kortum (1997) y Segerstrom (1998) presupone la existencia de rendimientos decrecientes a escala en la producción de

¹ En estos primeros modelos, la tasa de crecimiento de la *PTF* viene dada por la expresión $\frac{\dot{A}}{A} = dL_A$, siendo *A* la *PTF*, y L_A el volumen de empleo en el sector de I+D. Bajo el supuesto de que la proporción de trabajadores que se dedica a la producción de conocimiento se mantiene constante, el incremento en la tasa de crecimiento de la productividad será proporcional al crecimiento de la fuerza de trabajo. Este razonamiento se mantiene en otros modelos en los que el *input* de I+D no es el número de investigadores sino, por ejemplo, el capital humano, como en el caso de Romer (1990).

² Obsérvese que el efecto de escala fuerte implica que a largo plazo, un crecimiento positivo de la población conduciría a un incremento exponencial en la renta per cápita que deviene infinito en el equilibrio del estado estacionario. Se trata de una predicción claramente irrealista que también impulsó la supresión del efecto escala en los modelos schumpeterianos de crecimiento.

³ Por el contrario, sí parece existir consenso en torno al papel decisivo del crecimiento en las TIC en la aceleración de la productividad de Estados Unidos desde mediados de los noventa. El debate, en este caso, se centra en determinar cuál de las diversas manifestaciones de este crecimiento- “capital deepening in ICT sectors”, fuerte incremento en la productividad en “ICT-producing sectors” y también el observado en “ICT-using sectors”, es el determinante más decisivo del incremento en la productividad. Véase, por ejemplo, Basu y Fernald (2007).

⁴ Jones (1995b) propone esta denominación para un modelo que es endógeno en el sentido de que el impulsor del crecimiento a largo plazo es el progreso técnico, y éste a su vez está impulsado por la inversión en I+D que hacen agentes económicos maximizadores de su beneficio, pero, en contra de los modelos de crecimiento endógeno de Romer, Grossman y Helpman o Aghion y Howitt, no reconoce la influencia de los cambios en la política económica sobre el crecimiento. En un reciente trabajo Dinopoulos y Sener (2007) parecen alejarse de esta denominación, al calificar a los citados modelos de Jones, o Segerstrom como “Exogenous –Schumpeterian-Growth Models without Scale Effects”.

conocimiento, que justificarían por qué a pesar de haberse observado un crecimiento continuado en el *input* tecnológico, la productividad no se ha acelerado. Bajo este supuesto, el desarrollo del modelo de crecimiento semi-endógeno establece que, a largo plazo, el *incremento* de la productividad dependerá en exclusiva del *incremento* observado en la población, por ser esta variable la que en última instancia limita la tasa de crecimiento del empleo dedicado a la I+D. Si ha de observarse una aceleración permanente de la productividad, se requerirá por tanto un crecimiento, también continuado, de la tasa de crecimiento población. Desde esta perspectiva, el efecto escala adopta su forma débil: es el nivel de renta per capita de una economía –y no su crecimiento –el que es una función creciente del tamaño de ésta.⁵

El desarrollo de la teoría de crecimiento semi-endógeno se produce paralelamente al de otra corriente de investigación de corte schumpeteriano, también llamada *Fully-Endogenous growth theory*,⁶ planteada inicialmente en los trabajos de Aghion y Howitt (1998, ch.12), Dinopoulos and Thompson (1998) y Peretto (1998) quienes mantienen el supuesto de rendimientos constantes a escala en la producción de conocimiento, pero admiten la existencia de un proceso de diferenciación sectorial - vertical y horizontal - asociado al crecimiento económico. Dicho proceso hace que la efectividad del ‘*input* I+D’ se diluya entre un mayor número de sectores, lo que permite explicar por qué el crecimiento de la *PTF* puede mantenerse constante a pesar de haber crecido continuamente el *input* de I+D⁷. La diferenciación de producto evita que el

⁵ Es evidente que la prescripción del efecto escala débil tampoco se cumple en la actualidad, dado el nivel de pobreza de naciones con las más altas tasas de crecimiento de la población. Ahora bien, tal y como precisa Jones (2005), es necesario ajustar, valorar y tener en cuenta otras diferencias, sobre todo de naturaleza institucional, para poder hacer la valoración. En esta investigación, no parece necesaria esta precisión, toda vez que trabajamos con países desarrollados en los que las diferencias de corte institucional o el grado de apertura no son tan llamativas como para condicionar los resultados.

⁶ Dinopoulos y Sener (2007) denominan a estos modelos “Endogenous Scale-Invariant Schumpeterian Growth Models” y distinguen dentro de ellos los modelos de diferenciación de producto horizontal y, otra corriente más novedosa basada en las actividades de protección de rentas (RPA) inspirada en los modelos de escalera de calidad. En tal caso la supresión del efecto escala tiene su origen en la inversión efectuada por los monopolistas para mantener sus rentas ante la llegada de nuevos competidores dispuestos a reemplazarles con inversiones en I+D que les permitan obtener un producto de mayor calidad. La inversión del monopolista “compensa” así el incremento en la inversión en I+D de los competidores, evitando el efecto escala, al igual que lo hace el incremento en el número de variedades en los modelos de diferenciación horizontal.

⁷ Madsen (2006), no obstante, interpreta el supuesto de proliferación de producto como una “tendencia a la existencia de rendimientos decrecientes a escala en el stock de I+D”. En realidad, los schumpeterianos efectivamente reconocen el efecto pernicioso de la creciente complejidad de la investigación sobre la productividad de la I+D, si bien admiten que existen otros mecanismos compensatorios de tal efecto como es el “capital deepening”, resultado del incremento de la productividad, y el “labour augmenting technological progress” que, al igual que en el sector manufacturero, hace a los trabajadores más eficientes en el sector de I+D. Son estos mecanismos compensatorios los que permiten mantener el supuesto de rendimientos constantes a escala en el stock de I+D.

tamaño de la población tenga el efecto escala sobre el crecimiento a largo plazo propio de la primera generación de modelos. Además, a largo plazo, los rendimientos constantes a escala en la producción de conocimiento, aseguran que el crecimiento de la productividad dependa de factores económicos susceptibles de ser impulsados por medidas de política económica, lo que marca la diferencia crucial con el modelo de crecimiento semi-endógeno.

El trabajo de Ha y Howitt (2007) fue el primer estudio que trató de valorar las dos teorías de crecimiento endógeno de segunda generación de forma simultánea, sobre una misma base datos de Estados Unidos durante el periodo 1950-2000. Para hacerlo, los autores aplican test de raíces unitarias y de cointegración obteniendo evidencia que apoya la hipótesis schumpeteriana. A partir de esta propuesta se desarrolló el completo y ambicioso trabajo de Madsen (2008)⁸ donde se explota la variación temporal y transversal de los datos para una muestra de 21 países desarrollados durante el período 1965-2004 (con datos de I+D), o 1898-2004 (con datos de patentes). El autor estima distintas especificaciones de las teorías de crecimiento de la segunda generación con la intención de valorar el cumplimiento a largo plazo de las mismas, omitiendo influencias procíclicas o periodos de transición, y realizando un completo análisis de sensibilidad con diversas alteraciones en la medición de la distancia a la frontera, el deflactor de la I+D, la medición de los *spillovers* tecnológicos internacionales y la introducción de rupturas estructurales, además de realizar un test de causalidad de Granger. En esencia, los resultados demuestran que el esquema schumpeteriano explica el comportamiento de las series temporales de datos, no así la evidencia empírica transversal.

Nuestro trabajo se inspira en estas aportaciones y será el primero en este campo de investigación en el que se desciende en la desagregación transversal a un nivel sectorial, lo que permite contrastar la validez de las citadas teorías para 10 sectores productivos de 6 países desarrollados para los que se dispone de información homogénea, durante 22 años, 1979-2000.

El artículo se estructura como sigue. En primer lugar, tras esta introducción se realiza, en el epígrafe 1, una breve revisión de las implicaciones analíticas de los distintos modelos de crecimiento endógeno; en el segundo, se trasladan dichas formulaciones al terreno empírico, se describen las variables y fuentes de datos y se

⁸ Madsen (2008) señala como una limitación seria del trabajo previamente citado el período temporal al que hacen referencia, en el que la PTF se mantuvo prácticamente constante, y el hecho de que no exploten la variación transversal de los datos.

analiza la validez de las citadas teorías en dos fases: en primer lugar, mediante la aplicación de test de raíces unitarias y de cointegración adecuados a los distintos modelos de datos de panel y en segundo lugar, mediante el planteamiento de un modelo explicativo del incremento de la productividad; finalmente, en el epígrafe 3 se comentan las principales conclusiones.

1. Planteamiento básico de los modelos de crecimiento endógeno

Siguiendo a Ha y Howitt (2007) es posible sintetizar la propuesta de cada una de las tres teorías citadas de crecimiento partiendo de la idea central y común a las distintas versiones de que la función explicativa del crecimiento de la productividad es equivalente a la función de creación de conocimiento, y ambas por tanto dependen de un *input* tecnológico y de otros *inputs*. Así, a partir de una expresión común, podemos contrastar los distintos modelos teóricos planteando distintas hipótesis nulas sobre los parámetros.

$$g_A = I \left(\frac{X}{Q} \right)^\sigma A^{f-1} \quad 0 < f \leq 1, I > 0 \quad (1)$$

Q a L^β en el estado estacionario

donde g denota tasa de crecimiento; A la productividad (conocimiento)⁹; X es una variable representativa del denominado “*input* tecnológico” –gastos de I+D, patentes o número de investigadores – en los modelos de crecimiento semi-endógeno o del “*input* tecnológico ajustado por la productividad” en los modelos de crecimiento schumpeterianos, Q una variable que recoge la proliferación de productos y L el factor trabajo.¹⁰ El parámetro λ denota la productividad de la investigación, σ es el denominado parámetro de duplicación (0 si todas las innovaciones son duplicados y 1 si no hay duplicaciones), ϕ denota el grado de rendimientos a escala en la producción de conocimiento, y β es el coeficiente de proliferación de producto.

⁹ En este trabajo no se pretende ahondar en el eterno y complejo debate en tono a la definición de PTF y de progreso técnico. Conscientes, sin embargo, de lo simplificado del modelo, Ha y Howitt (2007, p. 736, n.9) reconocen: “*For brevity, but in violation of convention, we define productivity in labour augmenting terms and refer it as TFP*”.

¹⁰ Y puesto que $g_A = \frac{\lambda}{A}$, despejando de los distintos modelos el valor de λ , es posible conocer los factores determinantes de la función de producción de conocimiento.

Las principales diferencias entre las diversas teorías se basan en el valor que se asigna a dos de los parámetros que aparecen en la expresión anterior: ϕ y β ¹¹.

Así, la **primera generación de modelos de crecimiento endógeno** prevé la existencia de rendimientos constantes a escala en la producción de conocimiento es decir, $\phi=1$ ¹²; es el caso de inexistencia de efectos externos, en que la tasa de generación de nuevas ideas es independiente del stock de conocimiento. Además, no se plantea la proliferación de productos es decir, $\beta=0$, de modo que el crecimiento de la productividad viene dado por la siguiente expresión

$$g_A = \lambda X^s \quad (2)$$

En este modelo, con *spillovers* de conocimiento de grado uno, basta un crecimiento positivo en el *input* para que se observe una aceleración de la productividad lo que implica el efecto escala en su forma fuerte: el crecimiento económico es proporcional al tamaño de la población.

Por el contrario, la **teoría de crecimiento semi-endógeno** asume que hay rendimientos decrecientes a escala en la producción de conocimiento $\phi < 1$. Este es el supuesto conocido en la literatura como “fishing out”, e implica que la tasa de innovación decrece con el stock de conocimiento porque las ideas más relevantes surgen inicialmente y, conforme se incrementa el stock de conocimiento, cada vez es menor la probabilidad de que se descubra una nueva idea. Adicionalmente, se mantiene el supuesto de *no product-proliferation effect*, es decir, $\beta=0$ ¹³. En definitiva el incremento de la productividad viene dado por la siguiente expresión:

$$g_A = \lambda X^s A^{f-1} \quad f < 1 \quad (3)$$

de modo que, la existencia de rendimientos decrecientes en el stock de conocimiento resuelve el problema del efecto escala propio de la primera generación

¹¹ El parámetro ϕ sólo es relevante en la medida en que permite distinguir los modelos endógenos del modelo neoclásico tradicional en el que dicho parámetro adopta un valor nulo, lo que supone aceptar la exogeneidad del progreso técnico.

¹² En palabras de Jones (1995b, p 766, n.8), “se trata de un supuesto completamente arbitrario e imprescindible para garantizar la endogeneidad del crecimiento en el sentido tradicional del término”.

¹³ Nada impide, sin embargo, plantear un modelo de crecimiento semi-endógeno ampliado [Jones (1999)], en el que se una a la existencia de rendimientos decrecientes a escala en la producción de conocimiento, la proliferación de producto imperfecta, con $\beta < 1$. Tal caso se plantea en los modelos empíricos existentes y en el epígrafe 2.3. de esta investigación.

que ahora adopta una expresión “débil”: el incremento de la tasa de crecimiento de la productividad exige un incremento continuado en la tasa de crecimiento del *input* tecnológico X no sólo de su nivel. En última instancia la tasa de crecimiento del *output* per cápita a largo plazo es proporcional a la tasa de crecimiento de la población, tradicionalmente considerada exógena¹⁴.

Finalmente la denominada **teoría de crecimiento completamente-endógeno** mantiene el supuesto de rendimientos constantes a escala en la producción de conocimiento propio de la primera generación ($\phi=1$), pero asume que la efectividad del esfuerzo inversor en tecnología disminuye conforme la variedad de productos se incrementa, $\beta=1$.

$$g_A = I \left(\frac{X}{Q} \right)^s \quad (4)$$

Como consecuencia, la proliferación de producto evita el efecto escala del incremento en el *input* de I+D sobre el crecimiento de la productividad, de modo que en último término, el incremento del *output* per cápita a largo plazo es proporcional al aumento de la intensidad de la investigación X/Q , y no al mero incremento de X .

2. Contrastación empírica de los modelos de crecimiento endógeno

2.1 Planteamiento del modelo empírico.

Con objeto de validar empíricamente el modelo, Ha y Howitt (2007) transforman (1) con una aproximación log-lineal, representativa de un modelo de corrección del error:

$$\ln \left(\frac{A_t}{A_t} \right) = \ln I + s \left[\ln X_t - \ln Q_t + \left(\frac{f-1}{s} \right) \ln A_t \right] + e_{1,t} \quad (5)$$

válida para contrastar las dos teorías de modo que si efectivamente $\left(\frac{A_t}{A_t} \right)$ es estacionaria, la expresión incluida en el paréntesis

¹⁴ Aunque con frecuencia se hace referencia al crecimiento de la población como factor explicativo del crecimiento determinado exógenamente, ya Jones (1995b) cita a Kremer (1993) como ejemplo de modelo en el que el crecimiento de la población viene endógenamente determinado por un proceso maltusiano.

$$E_t = \left[\ln X_t - \ln Q_t + \left(\frac{f-1}{s} \right) \ln A_t \right] \quad (6)$$

debe ser estacionaria también.

Teniendo en cuenta las diferencias paramétricas que caracterizan a las dos teorías, seguidamente se delimitan las expresiones analíticas y las exigencias econométricas de ambas propuestas.

Teoría del crecimiento semi-endógeno. Puesto que en los modelos de crecimiento semi-endógeno $\beta=0$, Q es constante, y, por tanto, la estacionariedad del término entre paréntesis exige que,

$$E_t = \left[\ln X_t + \left(\frac{f-1}{s} \right) \ln A_t \right] \quad (7)$$

sea estacionaria. Siguiendo a Ha y Howitt (2007), la estacionariedad de (7) supone que $\ln X$ y $\ln A$ sean integradas del mismo orden y, si no son estacionarias, que exista una relación de cointegración entre ellas con un vector de cointegración $[1, \left(\frac{f-1}{s} \right)]$ donde como consecuencia de suponer $\phi < 1$, el segundo término es estrictamente negativo.

Teoría del crecimiento completamente endógeno. La propuesta schumpeteriana mantiene el supuesto de rendimientos constantes a escala ($\phi=1$) pero reconoce el efecto pernicioso de la proliferación de producto, $\beta=1$. La combinación de ambas restricciones implica que la expresión

$$E_t = \ln X - \ln Q \quad (8)$$

representativa del *input* de conocimiento ajustado por la proliferación de producto, deberá ser estacionaria.

Tal y como indica Madsen (2008), el siguiente modelo de cointegración, es capaz de anidar las dos versiones anteriores:

$$\ln X_t = m \ln Q_t + k \ln A_t + e_{2,t} \quad (9)$$

siendo $k = (1-f)/s$. La teoría schumpeteriana presupone $k=0$ y $m=1$, mientras que la teoría de crecimiento semi-endógeno supone que $k>0$ y $m=0$, siendo $e_{2,t}$ el término de error estacionario. La aplicación de test de cointegración a esta expresión permitiría valorar a cuál de las dos propuestas se ajusta mejor a los datos, si bien, como señala Madsen (2008) la existencia o no de una relación de cointegración entre las variables A , X y Q , es condición necesaria pero no suficiente a la hora de afirmar que el crecimiento de la *PTF* se explica por cualquiera de los dos modelos.

Por ello, se han planteado distintas especificaciones de la ecuación representativa del crecimiento de la *PTF* que complementa, siguiendo a Madsen, el análisis de la adecuación de los modelos de segunda generación a los datos:

$$\Delta \ln A_t = \tau \ln \left(\frac{X_t}{Q_t} \right) + \left(\frac{s}{1-f} \right) \Delta \ln X_t + \alpha \left(\frac{A_{t-1}^{\max} - A_{t-1}}{A_{t-1}^{\max}} \right) + e_t \quad (10)$$

donde A^{\max} representa, para cada sector, el valor de la *PTF* del país líder tecnológico en cada uno de los años considerados. La ecuación (10) anida los modelos de crecimiento schumpeteriano y semi endógeno, añadiendo además la “gravitación” de la *PTF* en torno a la tecnología líder. Como es sabido, la teoría de crecimiento schumpeteriana prevé que $\tau>0$ y $\xi >0$, mientras que la teoría de crecimiento semi-endógeno, presupone que $\tau=0$ y $\sigma/(1-\theta)>0$.

Seguidamente, tras exponer, en el epígrafe 2.2. la descripción de las variables y fuentes de datos, se procede en el epígrafe 2.3 a la estimación empírica de estos modelos

2.2. Variables y fuentes de datos

Los datos empleados en este artículo son fruto de un intenso esfuerzo destinado a mejorar el cálculo de la *PTF* y obtener medidas comparables tanto entre sectores como entre países. De ahí que el análisis empírico sólo se realice para la manufactura industrial de los únicos países desarrollados para los que se ha dispuesto de información suficientemente detallada y homogénea. Este condicionante, lógicamente, ha de tenerse en cuenta al interpretar los resultados que se exponen en los apartados siguientes.

En conjunto, se ha reunido una muestra de 1.320 observaciones. Los datos corresponden al periodo 1979-2000 y comprenden diez agregaciones sectoriales de la

manufactura y seis países. Los sectores considerados fueron: “Productos de alimentación, bebidas y tabaco” (sectores 15-16 de la ISIC Rev. 3); “Textil” (17-19); “Papel, artículos de impresión y publicidad” (21-22); “Química y productos químicos” (24); “Caucho y productos plásticos” (25); “Otros productos de minerales no metálicos” (26); “Productos de metales básicos y productos de fabricados metálicos” (27-28); “Maquinaria y equipos (n.c.o.p.)” (29); “Equipos eléctricos y ópticos” (30-33) y “Equipos de transporte” (34-35). A su vez, los países analizados fueron Finlandia, Francia, Italia, Estados Unidos, Canadá y España.

Como variable endógena se ha considerado el logaritmo de la *productividad total de los factores* (A) –es decir, del cambio en el *output* no explicado por modificaciones en el uso de los *inputs*- expresado en forma de índice:

$$\ln A_{rz} = (\ln V_z - \ln V_r) - \left[\frac{1}{2}(\hat{s}_z + \bar{s})(\ln L_z - \overline{\ln L}) + \left[\left(1 - \frac{1}{2}(\hat{s}_z + \bar{s})\right)(\ln K_z - \overline{\ln K}) \right] \right. \\ \left. - \frac{1}{2}(\hat{s}_r + \bar{s})(\ln L_r - \overline{\ln L}) - \left[\left(1 - \frac{1}{2}(\hat{s}_r + \bar{s})\right)(\ln K_r - \overline{\ln K}) \right] \right] \quad (11)$$

donde V es el valor añadido bruto; r, z son dos observaciones distintas (por ejemplo, el sector-país r y el sector-país z en el mismo año o el mismo sector-país en dos años diferentes); L es el factor trabajo; \hat{s} una estimación de la participación de las rentas del trabajo en el VAB; \bar{s} , la media de las participaciones de las rentas del trabajo en el

VAB; K , el *stock* de capital físico; y $\overline{\ln X} = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \ln X_n$, siendo M el número total de

observaciones.

Los datos de VAB, empleo y formación bruta de capital fijo se han tomado de la base de datos STAN de la OCDE. Los índices elaborados toman base 100 en 1997 para cada individuo, al haber elegido dicho año para expresar las magnitudes monetarias en términos reales.

Los datos de VAB se han expresado en unidades monetarias de 1997 utilizando los índices de volumen de la STAN, salvo en el sector *Equipos eléctricos y ópticos* para el que se han empleado índices de precios hedónicos. Las cifras de VAB expresadas en unidades monetarias de 1997 se han transformado a dólares USA de 1997, utilizando las *ratios* de valor unitario (*RVUS*) que facilita el *Groningen Growth and Development*

Centre (GGDC). Asimismo, el *VAB* se ha ajustado por *output gap* del sector manufacturero para tener en cuenta la diferente posición de los países en el ciclo y facilitar las comparaciones internacionales. Todos los ajustes se explican de forma detallada en <http://estructuraehistoria.unizar.es/personal/clopez/index.html>.

El *stock* de capital físico (K) de cada sector-país se ha calculado por el procedimiento de inventario permanente, partiendo de los flujos de inversión de la base *STAN*, expresados en unidades reales de 1997 y convertidos a dólares USA del citado año, utilizando la PPA de la formación bruta de capital fijo de los distintos países calculada por la OCDE.

Finalmente, el factor trabajo (L) se ha aproximado por el número de horas trabajadas en las ramas de la manufactura de los países analizados, información publicada por el *GGDC*.

Al igual que la variable endógena, las variables explicativas se han expresado en forma de índice con base 100 en 1997 para cada individuo. Se han considerado dos variables representativas del input conocimiento. De una parte, el logaritmo de los gastos en I+D empresarial (R), tomados de la base *ANBERD* de la OCDE y deflactados con el índice de precios del productor de manufacturas de la OCDE. Y de otra, el logaritmo del cociente entre los gastos en investigación y desarrollo y la productividad total de los factores (RA), variable empleada en los modelos schumpeterianos para reconocer la creciente complejidad asociada al proceso innovador.

Como medidas representativas de la proliferación de producto se han incorporado dos variables: $\ln(AL)$ esto es, *PTF* ajustada por las horas trabajadas, y $\ln V$, el valor añadido bruto ajustado por el ciclo de cada sector¹⁵. De manera que la variable denominada en la literatura *research intensity* con objeto de valorar el efecto de la proliferación de producto sobre la eficiencia del esfuerzo inversor en tecnología se medirá mediante las variables $\ln(R/AL)$ y $\ln(RV)$.

¹⁵ En general, tal y como señalan Ha y Howitt (2007), Q depende de cualquier variable que en el largo plazo crezca a la misma tasa que la población. Ya en su modelo de comercio internacional de 1989, Krugman aproximó la proliferación de producto mediante el PIB; posteriormente, los modelos schumpeterianos se han inclinado por el empleo [Aghion y Howitt (1998, cap.12), Ha y Howitt 2007] y, recientemente se ha utilizado variables más específicas como el stock de marcas comerciales (Madsen, 2007)]. La perspectiva sector-país que adopta nuestro trabajo, hace necesario recurrir a las dos únicas variables para las que se dispone de información, $\ln(AL)$ y $\ln V$. Con esta última variable se pretende definir a nivel sectorial, una variable utilizada en la literatura empírica para medir la diferenciación a nivel nacional, el cociente entre los gastos de I+D y el PIB nacional.

Finalmente, los *spillovers* del propio sector procedentes de los países con los que se comercia se han aproximado con las variables R_{LP}^F y R_{CH}^F . La primera variable considera, tal como se detalla en López-Pueyo, Barcenilla y Sanaú (2008), que los *spillovers* que un país j recibe de un país h serán mayores cuanto mayores sean las importaciones que j efectúa a h . En consecuencia, la variable se ha calculado –para cada sector i – como la suma ponderada de los gastos tecnológicos que los distintos países realizan anualmente, utilizando como factor de ponderación el porcentaje de las ventas del país h que se dirigen hacia el país j .

Para calcular la segunda variable, el gasto tecnológico anual de los distintos países se acumula ponderando con el porcentaje de importaciones de productos del sector i que, procedentes del país h , llegan al país j ¹⁶ y, posteriormente, se multiplica por la tasa media de apertura del país j durante el período.

Se ha empleado, por último, una variable que mide la distancia a la frontera tecnológica y que para cada individuo se define como un cociente cuyo numerador es la diferencia entre el valor de la *PTF* de cada sector-país y el valor de la *PTF* del líder en el año $t-1$ y cuyo denominador es el valor de la *PTF* del líder en el período anterior¹⁷.

2.3. Una primera aproximación: resultados de los test de raíces unitarias y cointegración.

Como se ha señalado en el epígrafe 2.1, un primer paso para contrastar el ajuste de los modelos de segunda generación de crecimiento endógeno a los datos, es analizar si las variables implicadas en las distintas versiones son estacionarias y, en el caso de que no lo sean, si existe una relación de cointegración entre ellas.

Conforme a lo expuesto en el apartado 2.1, para contrastar el **modelo de crecimiento semi-endógeno**, se ha planteado un modelo de cointegración que, asumiendo la estacionariedad del crecimiento de la *PTF*, se ajusta a la expresión teórica (7) pudiendo adoptar la variable X el valor dado por R (estimación 12a) o, alternativamente, R/A (estimación 12b)

$$\ln A_{ijt} = \alpha_{0ij} + \alpha_1 \ln X_{ijt} + \epsilon_{ijt} \quad (12)$$

¹⁶ Este porcentaje se calcula sobre el total de importaciones de productos del sector i que llegan al país j .

¹⁷ Con esta última variable se pretende definir a nivel sectorial, una variable utilizada en todos los casos en la literatura empírica para medir la diferenciación a nivel nacional, el cociente entre los gastos de I+D y el PIB nacional

Partiendo de esta expresión, en la que i denota el sector y j el país, y el resto son las variables conocidas, la predicción del modelo de crecimiento semi-endógeno es que $\alpha_1 > 0$ y el término de error sea estacionario.

Adicionalmente, siguiendo a Madsen (2008), se ha planteado un **modelo de crecimiento semi-endógeno ampliado** mediante la inclusión de dos variables representativas de la proliferación de producto - Q - . Se trata de la variable productividad ajustada por el trabajo, AL (estimación 13a), y la variable V , que mide el VAB de cada sector (estimación 13b).

$$\ln A_{ijt} = b_{0,ij} + b_1 \ln X_{ijt} + b_2 \ln Q_{ijt} + e_{ijt} \quad (13)$$

De ser cierta la hipótesis de la teoría de crecimiento semi-endógeno, se espera que $\beta_1 > 0$ y $\beta_2 = 0$.

Finalmente, la traslación de la expresión teórica de la **hipótesis schumpeteriana** (8) al ámbito aplicado se ha planteado mediante la siguiente expresión:

$$\ln X_{ijt} = c_{0,ij} + c_1 \ln Q_{ijt} + e_{ijt} \quad (14)$$

donde de nuevo como variable representativa del *input* de conocimiento se utilizará el flujo de gastos de I+D+D+R- y como variable representativa de la proliferación de producto dos: la productividad ajustada por el empleo AL (estimación 14a) y el valor añadido sectorial V (estimación 14b). La predicción, en este caso se concreta en que $c_1 = 1$ y el término de error sea estacionario.

Todos los modelos se estimaron con datos de los seis países y diez sectores descritos en el apartado 2.2 tomando como periodo temporal el 1979-2000. La técnica utilizada fue Dynamic Ordinary Least Squares (DOLS) desarrollada por Stock and Watson (1993) que tiene en cuenta, y corrige, la existencia de los sesgos de endogeneidad y correlación serial. Los resultados se recogen en el Cuadro 1.

Como es sabido, el test de Im, Pesaran y Shin (IPS) (2003) que se utiliza con más frecuencia en las aplicaciones empíricas para valorar la estacionariedad de las series, presupone independencia de las distintas unidades transversales de la muestra. Este supuesto ha sido muy discutido, especialmente cuando se trabaja con una muestra de

países desarrollados en los que cabe suponer la existencia de influencias comunes a todos los miembros del panel. Tal dependencia es el resultado lógico del fenómeno de globalización que en las últimas décadas se observa a nivel mundial¹⁸, el cual genera un grado de interrelación importante en los paneles de datos, especialmente en las regresiones en las que se trabaja con un conjunto de países. Por ello, en este trabajo el análisis de estacionariedad se efectuó en dos pasos. En primer lugar para valorar previamente si existe dependencia transversal entre los individuos (sector-país) que conforman nuestra muestra, se aplicó el Cross Dependence test-CD- test-desarrollado por Pesaran (2004)-; en segundo lugar, se aplican los test de raíces unitarias apropiados al resultado.

18 La dependencia transversal puede tener su origen en la existencia de factores comunes inobservables que forman parte del término de error, en la dependencia espacial, o en la dependencia *pair-wise* idiosincrásica de las perturbaciones.

Cuadro 1. Planteamiento básico de los modelos de crecimiento endógeno de segunda generación

<i>Estimación</i>	<i>CD Pesaran</i>	<i>ADF Kao</i>	<i>Ecuación</i>
(12a)	-1.96 (0.16)	-0.08 (0.46)	Modelo c° semi-endógeno $\ln A_{it} = \alpha_{0,i} + 0.15 \ln R_{it} + \varepsilon_{it}$ (5.58)
(12b)	0.42 (0.41)	0.42 (0.33)	Modelo c° semi-endógeno $\ln A_{it} = \alpha_{0,i} - 0.07 \ln R/A_{it} + \varepsilon_{it}$ (-2.07)
(13a)	3.42 (0.04)	-2.70 (0.00)	Modelo c° semi-endógeno ampliado $\ln A_{it} = \alpha_{0,i} + 0.05 \ln R_{i,t+} + 0.67 \ln AL_{i,t} + \varepsilon_{it}$ (3.19) (17.96)
(13b)	2.21 (0.13)	-2.40 (0.00)	Modelo c° semi-endógeno ampliado $\ln A_{it} = \alpha_{0,i} + 0.15 \ln R_{i,t+} + 0.01 \ln V_{i,t} + \varepsilon_{it}$ (9.20) (0.26)
(14a)	-1.64 (0.20)	-2.88 (0.00)	Modelo c° schumpe teriano $\ln R_{it} = \alpha_{0,i} + 0.49 \ln AL_{i,t} + \varepsilon_{it}$ (3.67)
(14b)	-2.25 (0.12)	-3.02 (0.00)	Modelo c° schumpe teriano $\ln R_{it} = \alpha_{0,i} + 0.04 \ln V_{i,t} + \varepsilon_{it}$ (0.43)

A denota la *PTF*, *R* los gastos de I+D, *R/A* los gastos de I+D ajustados por la productividad, *AL* la *PTF* ajustada por el factor trabajo, y *V* el valor añadido sectorial.

El cuadro 1, en su segunda columna, presenta los resultados del test de dependencia transversal aplicado a las distintas estimaciones planteadas. Como puede observarse, la hipótesis nula de independencia transversal tan sólo se rechaza en la estimación (13a). Para el resto de especificaciones, el *p-value* adopta un valor superior a 0.12 en todos los casos, lo que impide rechazar la hipótesis de independencia transversal, garantizando así la validez de los tests tradicionalmente aplicados para valorar la estacionariedad de las series. Por ello, el cuadro 2 recoge los resultados del test de Im, Pesaran y Shin (2003) para todas las variables y adicionalmente, para las incluidas en la especificación (13a) se presentan los resultados del test de Pesaran (2007) propuesto para aquellos casos en los que existe dependencia transversal¹⁹. Adicionalmente, se ha

¹⁹ En ambos casos se presentan las versiones de los índices con tendencia temporal.

incluido el test de Pesaran para la variable V, la cual como se verá, plantea ciertos problemas en el posterior análisis de cointegración.

Cuadro 2. Test de Raíces unitarias: Im, Pesaran y Shin (2003), Pesaran (2007)

Variable	IPS(2003)	Decisión	Variable	Pesaran (2007)	Decisión
lnA	-0.84 (0.19)	I(1)	lnA	-1.97 (-1.97)	I(1)
Δ lnA	-12.36 (0.00)	I(0)	Δ ln A	-3.06 (-3.06)	I(0)
lnR	0.30 (0.38)	I(1)	lnR	-1.98 (-1.98)	I(1)
Δ lnR	-10.37 (0.00)	I(0)	Δ ln R	-2.93 (-2.93)	I(0)
lnR/A	0.57 (0.28)	I(1)			
Δ lnR/A	-10.91 (0.00)	I(0)			
lnR/AL	0.82 (0.20)	I(1)			
Δ lnR/AL	-13.24 (0.00)	I(0)			
lnR/V	0.67 (0.24)	I(1)			
Δ lnR/V	-12.99 (0.00)	I(0)			
LnAL	3.65 (0.00)	I(0)	LnAL	-2.06 (-2.06)	I(1)
Δ LnAL	-11.56 (0.00)	I(0)	Δ ln AL	-3.11(-3.11)	I(0)
Ln V	2.50 (0.00)	I(0)	Ln V	-2.00(-2.00)	I(1)
Δ LnV	-14.19 (0.00)	I(0)	Δ LnV	-3.11(-3.11)	I(0)

Los resultados del test IPS cuando se contrasta con tendencia temporal no permiten rechazar la hipótesis nula de existencia de raíz unitaria para la variable representativa del logaritmo de la productividad, lnA, resultado que se confirma cuando el test aplicado es el de Pesaran (2007) bajo el supuesto de dependencia transversal. La variable que concentra el mayor interés entre los estudiosos, el crecimiento de la productividad (Δ lnA), presenta un resultado también inequívoco, pues siempre se rechaza la hipótesis nula de existencia de raíz unitaria con un p-value de 0.00. Este es, en sí mismo, un resultado relevante de nuestra investigación: al igual que se observa con otros estudios realizados con datos más agregados, la variable “PTF growth” calculada a nivel sector país resulta estacionaria para el período 1979-2000, lo que supone admitir *la constancia en las tasas de crecimiento de la PTF de la muestra considerada*.

¿Cuál ha sido el comportamiento de las variables tecnológicas entre tanto? ¿muestran asimismo una constancia en sus tasas de crecimiento o, por el contrario tienden a acelerarse? Para ello planteamos la aplicación del test en torno a dos variables

representativas del *input*. La primera $\ln R$ recoge los gastos en I+D realizados por cada sector productivo en la correspondiente nación, mientras que la segunda, $\ln R/A$ se refiere a los gastos de I+D ajustados por la productividad, una medida con la que algunos modelos de crecimiento (i.e., Aghion y Howitt, 1998) reconocen la creciente complejidad del proceso de innovación científica que exige un crecimiento acelerado del gasto en I+D con objeto de mantener la misma tasa de innovación²⁰

Como se puede observar, los resultados son idénticos para ambas y también paralelos a los que muestra la *PTF*. Valoradas en niveles, las variables representativas del *input* tecnológico resultan $I(1)$ mientras que la estimación en diferencias permite rechazar con claridad la hipótesis nula de existencia de raíz unitaria con los dos test de estacionariedad planteados.

Admitida la no estacionariedad de las variables implicadas en el modelo, la validez del esquema semi-endógeno exige demostrar que existe una relación de cointegración entre ambas variables. Para ello, se ha aplicado el test *ADF* desarrollado por Kao (1999) cuyos resultados, reflejados en la segunda columna del cuadro 1, demuestran que no se rechaza la hipótesis nula de inexistencia de una relación de cointegración entre las variables, hipótesis que invalida la propuesta de crecimiento semi-endógeno tal y como se plantea en las especificaciones 13a y 13b.

La invalidez del modelo de crecimiento **semi-endógeno** también se observa en los estudios empíricos que realizan estimaciones paralelas a las realizadas aquí. Tanto Ha y Howitt (2007) como Madsen (2008) obtienen resultados diversos con origen en el uso de distintas variables representativas del *input* tecnológico. Ha y Howitt (2007) consideran evidencia suficiente para rechazar el esquema semi-endógeno la imposibilidad de rechazar, al 5%, la hipótesis de existencia de raíz unitaria en las variables de *input* tecnológico expresadas en niveles²¹ En cualquier caso, y bajo el supuesto de que sean $I(1)$, posteriormente, el test de cointegración de Johansen impide rechazar la hipótesis nula de no cointegración. Tampoco Madsen (2008) advierte una

²⁰ Los modelos que incorporan esta precisión, pertenecen a la primera generación de crecimiento endógeno que, como es sabido, no renuncian al supuesto de rendimientos constantes a escala en la producción de conocimiento. Cuando la variable representativa del *input* de I+D está ajustada por la productividad, se supone que el efecto negativo que la creciente complejidad tiene sobre el impacto en la tasa de crecimiento de la productividad es compensado por el efecto positivo de otros factores como el capital deepening asociado a la innovación la mayor eficiencia del factor trabajo.

²¹ Concretamente HH(2007) comprueban que el test ADF rechaza al 10% la hipótesis nula de existencia de raíz unitaria en $\ln X$ para dos variables representativas del *input* de I+D (trabajadores de I+D en G5, gastos en I+D ajustado por la productividad, mientras que no se rechaza para una tercera variable, trabajadores de I+D en EE.UU y para el $\ln A$. En diferencias, la hipótesis nula de existencia de raíz unitaria se rechaza en todos los casos.

relación de cointegración entre el logaritmo del gasto de I+D o las patentes, por un lado y el de la *PTF*, por otro, utilizando el test *DF* de Kao.

Respecto al modelo de crecimiento **semi-endógeno ampliado**, dado que los resultados del test *CD* en la versión 13a rechazaban la hipótesis nula de independencia transversal, el test de raíz unitaria aplicado fue el test CIPS propuesto por Pesaran (2007), cuyos resultados reflejan en todos los casos la imposibilidad de rechazar la hipótesis nula de existencia de raíz unitaria. El test de Kao demuestra, además, que se rechaza la hipótesis nula de inexistencia de cointegración entre $\ln A$ y las dos variables explicativas $\ln R$ y $\ln AL$. Ambas resultan significativas al 1%, con unas elasticidades respectivas de 0.05 y 0.67.

Por el contrario, en la especificación 13b en la que la proliferación de producto se valora mediante el VAB sectorial-*V*- no aporta buenos resultados. En principio, la variable parece estacionaria según los resultados del test IPS (2003). Y aun cuando se admite que la variable es $I(1)$ -tal y como se deduce del test de Pesaran- y que mantiene una relación de cointegración con $\ln A$, la variable no resulta significativa.

La evidencia, por tanto, rechaza la validez del modelo de crecimiento semi-endógeno simple, pero admite la del modelo ampliado, cuando se incorpora la proliferación de producto- variable de naturaleza eminentemente schumpeteriana- mediante la proxy $\ln AL$.

Finalmente, según el criterio de Ha y Howitt (2007) dada la ausencia de parámetros, basta demostrar la estacionariedad de estas variables, $\ln R/AL$ y $\ln R/V$ para demostrar el cumplimiento de la hipótesis **schumpeteriana**. En nuestro caso, tal y como se observa en el cuadro 2, ni la variable R/AL ni la variable R/V son estacionarias. A la vista de este resultado, el siguiente paso, en línea con la propuesta de Madsen (2008) es valorar si la variable tecnológica R y la variable representativa de la proliferación son integradas del mismo orden y, si lo son, si existe una relación de cointegración entre ellas.

Este planteamiento de la propuesta **schumpeteriana** tal y como se recoge en las expresiones 14a y 14b debe interpretarse con cautela, pues se realiza bajo el supuesto de que las variables $\ln AL$ y $\ln V$ son variables $I(1)$, algo que sólo puede admitirse según los resultados del test de Pesaran (2007), no así según IPS(2007). La existencia de una relación de cointegración se confirma en ambas especificaciones, si bien la variable representativa de la proliferación de producto sólo resulta significativa en el modelo 14a. Por tanto, los resultados sugieren la validez del esquema schumpeteriano cuando la

variable representativa de la diferenciación de producto es AL , al igual que ocurre en el análisis de Ha y Howitt (2007) realizado con 7 variables proxy de la diferenciación de producto y en el realizado con tres variables diferentes por Madsen (2008) con independencia de que la variable representativa del *input* tecnológico sea el I+D o las patentes. No obstante, el coeficiente de la variable representativa de la proliferación de producto- AL - aunque significativamente distinto de 0 no significativamente distinto de 1, tal y como exige el estricto cumplimiento de la hipótesis schumpeteriana. Madsen (2008) también obtiene este resultado, pero no considera que esta evidencia sea suficiente para negar la validez del modelo de crecimiento completamente endógeno, dada la dificultad de captar con las variables utilizadas la proliferación de producto en toda su extensión.

En resumen, el análisis de estacionariedad y cointegración realizado hasta el momento, permite negar la validez del modelo de crecimiento semi-endógeno, admitir la validez de un modelo híbrido, en el que la existencia de rendimientos decrecientes fuera acompañada de proliferación de producto, y sugerir la validez de la propuesta schumpeteriana con ciertas limitaciones pues la diferenciación de producto no arroja el coeficiente cercano a la unidad esperado.

2.4. Modelo explicativo del crecimiento de la PTF

La existencia o no de una relación de cointegración entre las variables A , X y Q tal y como se ha valorado en el epígrafe 2.2, es condición necesaria pero no suficiente a la hora de afirmar que la PTF se explica por cualquiera de los dos modelos.

Por ello, en el presente epígrafe se ha estimado mediante OLS la versión estocástica de la ecuación (10), planteando distintas especificaciones de la ecuación representativa del crecimiento de la PTF y complementando así, el análisis de la adecuación de los modelos de segunda generación a los datos. Siguiendo a Saxena *et al* (2008) tal posibilidad permite además incorporar factores explicativos adicionales que enriquecen sin duda el modelo: a) la adquisición de tecnología a través de los *spillovers* tecnológicos internacionales que se transmiten a través del comercio u otras vías y cuya capacidad de explicar el crecimiento económico ha sido sobradamente reconocida en la abundante literatura que siguió a la publicación del trabajo de Coe y Helpman (1995); b) la capacidad de absorción generada internamente, directamente relacionada con el esfuerzo realizado en la inversión en tecnología a nivel sector-país; y, finalmente c) la

capacidad autónoma para crecer, para acercarse a los líderes, relacionada con el efecto *catching-up* e independiente de las relaciones económicas internacionales que se establecen vía inversión extranjera directa o comercio internacional. Griffith *et al* (2004) ofrecen evidencia a favor de la existencia de estos dos últimos efectos.

Así, la expresión (15) anida los dos modelos de crecimiento de segunda generación, e incluye dos factores explicativos adicionales, el incremento en los *spillovers* tecnológicos internacionales, dados por la variable X^f y la distancia a la frontera tecnológica medida tal y como aparece en el penúltimo sumando²².

$$\Delta \ln A_{ijt} = \mathbf{b}_{0,ij} + \mathbf{b}_1 \Delta \ln X^d_{ijt} + \mathbf{b}_2 \Delta \ln X^f_{ijt} + \mathbf{b}_3 \ln \left(\frac{X^d}{Q^d} \right)_{ijt} + \mathbf{b}_4 \left(\frac{A^{\max}_{t-1} - A_{t-1}}{A^{\max}_{t-1}} \right)_{ij} + e_{ijt}$$

(15)

La predicción schumpeteriana es que $\beta_1 = \beta_2 = 0$, mientras que $\beta_3, \beta_4 > 0$; por su parte, la hipótesis de crecimiento semi-endógeno prevé $\beta_1, \beta_2 > 0$, mientras que $\beta_3 = \beta_4 = 0$.

Las estimaciones se realizaron con las tasas de crecimiento de las variables calculadas como diferencias quinquenales, con objeto de eliminar así las influencias cíclicas, la dinámica transaccional, sobre el crecimiento de la *PTF*. Concretamente, tales cálculos afectan a la variable *R* representativa de la inversión en tecnología del propio país y a dos variables representativas del incremento de los *spillovers* foráneos que se ajustan a las propuestas de Coe y Helpman (1995) -*Rch*- y Lichtenberg y Pottelsberghe de la Potterie (1998)-*Rlp*-.

La intensidad investigadora (X/Q) se calculó como la media quinquenal del valor que adopta esta variable para cada individuo- sector-país- de nuestra muestra y la distancia a la frontera tecnológica toma como referencia el comienzo del periodo sobre el cual se calculan las diferencias. La muestra queda reducida así a 240 observaciones correspondientes al periodo 1979-1999. Los resultados de la estimación mediante la técnica OLS de las distintas versiones del modelo vienen recogidos en el cuadro 3, en el que se comprueba que, a diferencia de lo que ocurría en la estimación en niveles, la estimación en diferencias muestra en todos los casos dependencia transversal. Este es un resultado novedoso en la investigación aplicada: en nuestra muestra de países

²² Las variables están explicadas con detalle en el epígrafe 2.2.

desarrollados son las tasas de crecimiento de las variables, y no sus niveles, las que aparecen interrelacionadas.

Cuadro 3. Modelo explicativo del crecimiento de la TFP

$D\ln A_{ijt} = a_{0,ij} + b_1 D\ln X_{ij,t}^d + b_2 D\ln X_{ij,t}^f + b_3 \ln(X/Q)_{ij,t} + b_4 DF + e_{ijt}$								
Estimación	CD Pesaran	$X^d=R$	$X^f=Rch$	$X^f=Rlp$	$X/Q=R/AL$	$X/Q=R/V$	DF	R^2
(15a)	38.43 (0.00)	0.02* (1.48)	0.01** (1.74)		-0.08*** (-6.81)		0.361*** (8.10)	0.21
(15b)	38.14 (0.00)	0.02** (1.79)	0.01** (1.86)			-0.10*** (-7.33)	0.63*** (8.61)	0.23
(15c)	36.82 (0.00)	0.02** (1.77)		0.02 (1.11)	-0.08*** (-6.63)		0.62*** (8.04)	0.21
(15d)	36.45 (0.00)	0.03** (2.09)		0.02 (1.24)		-0.09*** (-7.13)	0.63*** (8.33)	0.22

A denota la *PTF*, *R* los gastos de I+D, *Rch* y *Rlp* son distintas especificaciones de los stocks tecnológicos foráneos, *AL* la *PTF* ajustada por el factor trabajo, *V* el valor añadido sectorial y *DF* la distancia a la frontera tecnológica.

*, ** y *** denotan que la variable resulta significativa al 10, 5 y 1% respectivamente

El primer resultado evidente es el efecto positivo y significativo que tiene el incremento en la inversión en tecnología efectuado dentro del propio país-variable *R*-sobre el crecimiento de la productividad. Este resultado, confirma la relevancia de la capacidad de absorción o, en palabras de Howitt y Mayer-Foulkes (2005), de la capacidad de “implementación” de la tecnología foránea, a la hora de explicar el crecimiento de la *PTF* y las distintas trayectorias de crecimiento de los países y ofrece un apoyo a la teoría de crecimiento semi-endógeno que no se observaba con los test efectuados en el epígrafe 2.3. El crecimiento de las importaciones de tecnología foránea -variables *Rch* y *Rlp*-como reflejo de los *spillovers* tecnológicos internacionales ejerce también una influencia positiva en todas las estimaciones, si bien con una significatividad más clara en el caso de la variable *Rch*, lo que confirma de nuevo el planteamiento de la propuesta semi-endógena.

Los resultados obtenidos para la variable representativa del cociente entre el *input* de I+D y la proliferación de producto, *X/Q*, resultan sorprendentes, pues dicha variable resulta claramente significativa, pero lo es con un signo -negativo- contrario al esperado. No obstante, en la todavía escasa evidencia empírica disponible en torno a

este tema, no es la primera vez que aparece este resultado. Concretamente Saxena *et al* (2008) obtienen este mismo signo para una variable representativa de la intensidad investigadora de la India, medida como el cociente entre patentes y fuerza de trabajo. Parece necesario, por tanto, profundizar en el análisis de este resultado, que puede tener su origen en algún problema de multicolinealidad o bien, en alguna interpretación teórica todavía no planteada en la literatura.

Finalmente, el coeficiente que acompaña a la variable *proxy* de la distancia a la frontera tecnológica es, sin duda, el que ofrece resultados más contundentes, con una influencia claramente positiva y significativa sobre el crecimiento de la *PTF*, lo que indica de la existencia de convergencia entre las naciones consideradas. Tal coeficiente es representativo tal y como señalan Griffith *et al* (2003) de la influencia de las instituciones, la política gubernamental, el nivel de capital humano o la apertura comercial entre otras variables. El modelo schumpeteriano de Howitt y Mayer-Foulkes (2005) asume que es el progreso técnico el principal determinante del crecimiento de la productividad a largo plazo y que la transferencia de tecnología depende de las “*effective skills*”, que a su vez dependen de el grado de desarrollo del país en relación con la frontera tecnológica. En este esquema la tendencia converger con el líder dependerá de la capacidad para implementar las modernas tecnologías desarrolladas por los países situados en la frontera, únicos con cualificación suficiente para desarrollar el denominado “*modern I+D*”. Nuestra muestra de países, como se recordará, desarrollados, puede considerarse integrante del grupo de naciones capaces de absorber tecnología foránea; esto les distingue de los países rezagados en los que las insuficientes condiciones de partida van erosionando la capacidad de absorción y alejando a las naciones de las tasas de crecimiento de las situadas en la frontera tecnológica.

En definitiva, el modelo aquí planteado muestra unos resultados similares a los obtenidos en otros estudios que no concluyen de forma clara a favor de ninguna de las propuestas de la segunda generación de modelos de crecimiento endógeno. El modelo explicativo del incremento de la productividad ha mostrado un apoyo limitado a la hipótesis semi-endógena, y un apoyo, también limitado, a la hipótesis schumpeteriana, lo que invita a ahondar en el planteamiento de modelos híbridos en los que factores explicativos de ambas propuestas se consideran simultáneamente.

3. Conclusiones

En esta investigación se ha llevado a cabo, a nivel desagregado, una valoración del ajuste de los modelos de crecimiento de la segunda generación a los datos de diez sectores productivos de seis economías desarrolladas durante el periodo 1979-2000.

Al igual que se observa en otros análisis empíricos, los resultados sugieren la constancia de las tasas de crecimiento de la *PTF* acompañadas de una tendencia creciente en las series temporales de los diversos *inputs* tecnológicos. Esta evidencia, como es sabido, contradice las prescripciones de los modelos de la primera generación e invita a valorar cuál de las dos propuestas de segunda generación se ajusta con mayor precisión a la evidencia empírica. Un primer análisis, centrado en la aplicación de test de dependencia transversal permitió comprobar la existencia de dependencia transversal entre las naciones consideradas sólo en las estimaciones en diferencias, no así en las de niveles, lo que sugiere que son las tasas de crecimiento de la *PTF* y no su nivel lo que muestra una clara interrelación entre los países considerados. A la vista de los resultados de test de raíces unitarias y cointegración, la evidencia empírica parece demostrar la validez de un esquema teórico híbrido, que añade una variable representativa de la proliferación de producto al esquema semi-endógeno simple.

La estimación de modelos econométricos tampoco ofrece resultados más nítidos. La evidencia empírica apoya el modelo de crecimiento de la productividad cuando éste se hace depender de la tasa de crecimiento del *input* tecnológico nacional y foráneo, el grado de proliferación de producto y la distancia a la frontera tecnológica. La elevada significatividad de esta última variable, de naturaleza eminentemente schumpeteriana, aconseja profundizar en el análisis de la distancia a la frontera tecnológica y los determinantes de la capacidad de implementación como factores explicativos últimos del crecimiento económico en clara alusión al papel del capital humano y de las instituciones capaces de adoptar medidas de política económica promotoras de la productividad.

En puridad, ninguno de los dos modelos ofrece una explicación solvente del crecimiento económico, lo que sugiere la conveniencia, si duda enriquecedora, de combinar ambos esquemas teóricos en un único modelo. En palabras de unos de los creadores de estas teorías, Dinopoulos y Sener (2007, pág. 14) :”..another important step towards a unified growth theory that combines the robustness and empirical

relevante of the neoclassical growth model and the schumpeterian mechanism of creative destruction...More work in this exciting and important direction is needed”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aghion, P. y P. Howitt (1992): “A model of Growth Through Creative Destruction”, *Econometrica*, vol. 60, nº 2, págs. 323-351.

Aghion, P. y P. Howitt (1998): *Endogenous Growth Theory*, Cambridge (Mass.): The MIT Press.

Basu, S. y J. Fernald. (2007): "Information and Communications Technology as a General Purpose Technology: Evidence from U.S. Industry Data" *The German Economic Review*, vol. 8, nº 2, págs. 146-173.

Coe, D. y E. Helpman (1995) “International R&D spillovers”, *European Economic Review*, vol. 39, nº 5, págs. 859–887.

Dinopolus, E. y P. Thompson (1998): “Schumpeterian Growth without Scale Effects”, *Journal of Economic Growth*, vol 3, nº 4, págs. 313-335.

Dinopoulos, E. y F. Sener (2007): “New Directions in Schumpeterian Growth Theory” in Hanusch, H. and A. Pyka (eds): *Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics*, Cheltenham: Edward Elgar, capítulo 42, págs. 688-704.

Griffith, R., S. Redding y J. van Reenen (2003). "R&D and Absorptive Technology: Theory and Empirical Evidence." *Scandinavian Journal of Economics* vol. 105, nº 1, págs. 99-118.

Griffith, R., S. Redding y J. van Reenen (2004):. "Mapping the Two Faces of R&D: Productivity Growth in a Panel of OECD Industries." *Review of Economics and Statistics* vol. 86, nº 4, págs. 883-895.

Grossman, G. y E. Helpman (1991): *Innovation and Growth in the Global Economy*, Cambridge (Mass.): The MIT Press.

Ha, J. y P. Howitt (2007): “Accounting for Trends in Productivity and R&D: A Schumpeterian Critique of Semi-Endogenous Growth Theory”, *Journal of Money, Credit and Banking*, vol. 39, nº 4, págs. 733-774.

Howitt, P. y D. Mayer-Foulkes (2005): “R&D, implementation and stagnation: a Schumpeterian theory of convergence clubs.” *Journal of Money, Credit and Banking*, vol. 37, nº 1, págs. 147-177.

Im, K., M. Pesaran y Y. Shin (2003): “Testing for unit roots in heterogeneous panels”, *Journal of Econometrics*, 2003, vol. 115, nº 1, págs. 53-74.

Jones C. I. (1995 a): “Time Series Test of Endogenous Growth Models”, *Quarterly Journal of Economics*, vol. 110, nº 2, págs. 495-525.

Jones C. I. (1995 b): “R&D Based Models of Economic Growth”, *Journal of Political Economy*, vol. 103, nº 4, págs. 759-784.

Jones C. I. (1999) "Growth: With or Without Scale Effects?" *American Economic Review Papers and Proceedings*, vol. 89, nº 2, págs.139-144

Jones C. I. (2005): "Growth and Ideas" en Aghion, P. y S. N. Durlauf (eds.): *Handbook of Economic Growth*, volumen 1B, Amsterdam: Elsevier, págs., 1063-1111.

Kao, C. (1999): “Spurious Regression and Residual-Based Test for Cointegration in Panel Data”, *Journal of Econometrics*, vol. 90, nº 1, págs. 1-44.

- Kortum, S. (1997): "Research, Patenting, and Technological Change", *Econometrica*, vol. 65, n° 6, págs. 1389-1419.
- Kremer, M. (1993): "The O-ring theory of economic development", *Quarterly Journal of Economics*, vol. 108, n° 3, págs. 551-575.
- Krugman, P. (1989): "Differences in Income Elasticities And Trends in Real Exchange Rates", *European Economic Review*, vol. 33, n° 5, págs. 1031-1049.
- Lichtenberg, F. y B. van Pottelsberghe de la Potterie (1998): "International R&D spillovers: A comment", *European Economic Review*, vol. 42, n° 8, págs. 1483-1491.
- López-Pueyo, C., S. Barcenilla-Visús y J. Sanaú (2008): "International R&D spillovers and manufacturing productivity: A panel data analysis", *Structural Change and Economic Dynamics* (en prensa, disponible en <http://www.sciencedirect.com>).
- Madsen, J. (2006): "Are there Diminishing Returns to R&D?", *EPRU Working Paper Series 06-05, Economic Policy Research Unit (EPRU)*, Universidad de Copenhague.
- Madsen, J. B. (2008): "Semi-endogenous versus Schumpeterian growth models: testing the knowledge production function using international data", *Journal of Economic Growth*, vol. 13, n° 1, págs. 1-26.
- Peretto, P. (1998): "Technological Change and Population Growth", *Journal of Economic Growth*, vol. 3, n° 4, págs. 283-311.
- Pesaran, H. M. (2007): "A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence," *Journal of Applied Econometrics*, vol. 22, n° 2, págs. 265-312.
- Romer, P.M. (1990): "Endogenous Technological Change", *Journal of Political Economy*, vol. 98, n° 5, págs. S71-S102.
- Saxena, S., Madsen, J.B, J. Ang (2008): Which Second-Generation Endogenous Theory Explain Long Run Growth of Developing Economics?, *Working Paper, Department of Economics*, Monash University.
- Segerstrom, P. S. (1998): "Endogenous Growth Without Scale Effects", *American Economic Review*, vol. 88, n° 5, págs. 1290-1310.
- Stiroh, K. J. y M. Botsch (2007): "Information Technology and Productivity Growth in the 2000s. *The German Economic Review*, vol. 8, n° 2, págs. 255-280.
- Stock, J. y M. Watson (1993): "A Simple Estimator of Cointegrating Vectors in Higher Order Integrated Systems" *Econometrica*, vol. 61, n° 4, págs. 783-820.
- Zachariadis, M. (2003): "R&D, innovation, and technological progress: a test of the Schumpeterian framework without scale effects", *Canadian Journal of Economics*, vol. 36, n° 3, págs. 566-586.
- Zachariadis, M. (2004): "R&D-induced Growth in OECD?", *Review of Development Economics*, vol. 8, n° 3, págs. 423-439.