

**DIFUSIÓN TECNOLÓGICA, CONVERGENCIA  
Y CRECIMIENTO ECONÓMICO**

*Autores: Lorenzo Escot Mangas*  
Universidad Complutense de Madrid  
*Miguel Angel Galindo Martín*  
Universidad Complutense de Madrid

P.T. Nº 8/98



## RESUMEN

El progreso tecnológico es una de las variables que se contemplan como más favorecedoras del crecimiento económico. En concreto, es de especial relevancia el proceso de su difusión internacional o catch-up tecnológico. El objetivo de este artículo es exponer el papel que juega este proceso de catch-up en el modelo de crecimiento de Solow-Swan , centrándonos fundamentalmente en el análisis de la hipótesis de convergencia que se deriva del mismo una vez introducido en él un proceso de difusión gradual de tecnología.

**Palabras clave:** convergencia, crecimiento, transmisión tecnológica

Categoría: O40



## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
  2. EL *CATCH-UP* TECNOLÓGICO
  3. EL *CATCH-UP* TECNOLÓGICO EN EL MODELO DE SOLOW-SWAN
  4. ANÁLISIS EMPÍRICO
  5. CONCLUSIONES
- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



## 1. INTRODUCCIÓN

Nos encontramos actualmente ante un marco internacional caracterizado por una tendencia hacia la globalización y la integración, es decir, hacia la cohesión económica y social de las diferentes naciones. Desde el punto de vista de la Política Económica esto se traduce, de forma genérica, en la adopción del doble objetivo de la formación de bloques o asociaciones entre naciones que busquen de forma conjunta el máximo bienestar de todos sus componentes, a la vez que la convergencia o la reducción de las diferencias de todo orden entre los distintos países integrantes del mismo.

El objetivo que nos hemos propuesto en este trabajo es el de profundizar en las bases teóricas que sustentan la Política Económica en un entorno global, centrándonos en el objetivo de la convergencia real entre países, es decir, en la aproximación en el tiempo de los niveles de la renta per cápita de los distintos países<sup>1</sup>. Más concretamente, trataremos integrar dos de las fuentes teóricas que justifican la existencia de dicha convergencia. En primer lugar, la hipótesis de *catch-up tecnológico*, es decir, la hipótesis según la cual existe, como consecuencia de la difusión internacional de tecnología, un proceso de acercamiento o aproximación en los niveles de tecnología usados en los distintos países. La segunda, tal y como se desprende de los modelos de crecimiento neoclásicos, sería la existencia de rendimientos decrecientes para los factores acumulables. De esta forma, en primer lugar tratamos de modelizar esa hipótesis de *catch-up tecnológico* a través de un proceso de difusión gradual de tecnología a nivel internacional entre los países tecnológicamente más adelantados y los tecnológicamente más atrasados.

Una vez que hemos modelizado esta difusión gradual de tecnología que incorpora la hipótesis de *catch-up*, la introducimos en uno de los principales modelos de crecimiento neoclásico, el de Solow-Swan. Cuando incorporamos en este modelo el proceso de difusión gradual de tecnología, la convergencia condicional del modelo tradicional neoclásico se ve retardada, existiendo a largo plazo una brecha en los niveles de renta per cápita entre los distintos países.

Para finalizar, realizamos un sencillo ejercicio empírico en el que trataremos de encontrar evidencia de convergencia entre países, ya sea esta explicada por la existencia de rendimientos decrecientes en el capital, o por la difusión gradual de tecnología.

## 2. EL CATCH-UP TECNOLÓGICO

En términos generales, las distintas aportaciones sobre el *catch-up* han venido señalando que la difusión internacional de la tecnología juega un papel fundamental en el crecimiento económico y en los procesos de convergencia entre países. Desde esta perspectiva, la diferencia tecnológica existente entre el país *líder*, que crea tecnología, y el *seguidor*, que la capta e imita, se iría reduciendo. Esta hipótesis de

---

<sup>1</sup> Es bien sabido que la convergencia implica mucho más que el acercamiento en los niveles de renta per cápita, por lo que habría que tener en cuenta otras variables, no sólo de carácter económico sino también social. Sin embargo, también hay que reconocer que la aproximación en términos de renta per cápita permite la obtención de los recursos necesarios para la convergencia en otros aspectos como la educación, sanidad, vivienda, desempleo, etc.

*catch-up* implica, por tanto, que cuanto mayor sea la diferencia tecnológica entre el líder y el seguidor, y gracias a la difusión de la tecnología internacionalmente disponible, mayores serán las mejoras potenciales que se podrán introducir en los procesos productivos del país seguidor, y como consecuencia, mayor será también el crecimiento potencial de éste frente al del país líder<sup>2</sup>. Así pues, y desde el punto de vista de la política económica, sería conveniente facilitar el proceso de difusión tecnológica eliminando cualquier traba o freno al proceso *catch-up* tecnológico efectivo entre líderes y seguidores, ya que, de lo contrario, se frenaría el progreso de los países más pobres y la convergencia entre las naciones<sup>3</sup>.

Con el propósito de concretar el proceso de *catch-up* tecnológico, vamos a considerar<sup>4</sup> que el nivel tecnológico de una economía ( $A$ ) es una relación multiplicativa entre el nivel de tecnología transferido desde el exterior ( $D$ ) y el creado en el interior de la misma ( $N$ ):

$$A = D^c \cdot N^e \quad (1)$$

donde  $c$  y  $e$ , representan las respectivas elasticidades.

Si expresamos (1) en términos de tasas de crecimiento obtendríamos:

$$\frac{\dot{A}}{A} = c \frac{\dot{D}}{D} + e \frac{\dot{N}}{N} \quad (2)$$

Esta formulación del progreso técnico, nos permite introducir la difusión gradual de tecnología y la hipótesis de *catch-up*: la difusión de la tecnología internacionalmente disponible es una función creciente de la distancia relativa entre el nivel tecnológico del país líder y del seguidor, es decir:

$$\frac{\dot{D}}{D} = m \left( 1 - \frac{A_s}{A_l} \right) \quad (3)$$

donde el parámetro  $m$  está recogiendo todos aquellos factores que influyen en la realización efectiva de esa potencial difusión tecnológica en el país seguidor, lo que Abramovitz denomina *social capability*<sup>5</sup>.

Suponiendo que el progreso técnico propio viene dado exógenamente, es decir, que lo único que podemos decir sobre la acumulación de tecnología propia es que depende del nivel de tecnología en

2 Entre estos planteamientos cabe destacar los de Veblen (1915), Gerschenkron (1962), Nelson y Phelps (1966), Gomulka (1971), Abramovitz (1986 y 1989), Baumol (1986), Abramovitz y David (1996) y Barro y Sala-i-Martin (1997).

3 Respecto a las limitaciones sociales, institucionales, educativas, estructurales y de otros tipos que condicionan el proceso de *catch-up*, vid los trabajos de Nelson y Phelps (1966), Horvat (1974), Findlay (1976), Abramovitz (1986), Pérez y Siete (1988), Dosi y Fabiani (1994) y Galindo y Escot (1998).

4 Aquí seguimos básicamente uno de los trabajos pioneros en la modelización del proceso de difusión tecnológica, el de Nelson y Phelps (1966), combinado con la especificación del proceso de difusión relativa de Fagerberg (1988).

5 Esta vendrá dada, entre otros, por los siguientes factores socio-económicos: la estructura productiva, el nivel educativo de la población, la organización empresarial, la acumulación de capital, las posibilidades de expansión de demanda (sobre todo cuando la innovación requiere de producciones a gran escala), las condiciones financieras y políticas, el grado de apertura internacional, el grado de movilidad de factores productivos, y en general el desarrollo socio-económico y el ánimo social ante la incorporación de nuevas tecnologías en el país receptor-seguidor (Abramovitz 1986, págs. 395-396). Sobre todas estas limitaciones vid los trabajos señalados en la nota 3.



cada momento ( $\dot{N}/N = x$ ), tendríamos que para cada país seguidor, el ritmo de progreso técnico vendrá dado por (2) y (3):

$$\frac{\dot{A}_s}{A_s} = cm \left( 1 - \frac{A_s}{A_l} \right) + ex_s \quad (4)$$

Es fácil comprobar que para el país líder el progreso técnico vendrá dado por:

$$\frac{\dot{A}_l}{A_l} = ex_l \quad (4')$$

Podemos representar la dinámica de este modelo mediante el gráfico1. La tasa de progreso técnico para el país seguidor es decreciente con respecto al ratio  $A_s/A_l$ , ya que cuanto menor sea el nivel tecnológico con respecto al del líder mayor será la posibilidad de imitar o adquirir tecnología. Como se observa en el gráfico, el proceso de *catch-up* tecnológico se encuentra autolimitado, y el nivel tecnológico relativo del país seguidor converge a largo plazo al ratio:

$$\left( \frac{A_s}{A_l} \right)^* = 1 - \frac{e(x_l - x_s)}{cm}$$

y ya que  $1 \geq \frac{A_s}{A_l} > 0$  entonces  $cm \geq e(x_l - x_s)$

La dinámica hasta dicho estado estacionario a largo plazo es fácil de entender si acudimos al análisis gráfico. Cuando el ratio  $A_s/A_l$  es menor que  $(A_s/A_l)^*$  entonces la tasa de progreso técnico del país seguidor es mayor que la del país líder por lo que el nivel tecnológico relativo del país seguidor aumentará. Este proceso se repetirá hasta llegar al estado estacionario. Lo contrario sucederá cuando  $A_s/A_l$  es mayor que  $(A_s/A_l)^*$ , por lo que esta solución es estable<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Un análisis adicional de esta formulación del proceso de difusión gradual de tecnología puede encontrarse en Galindo y Escot (1997)

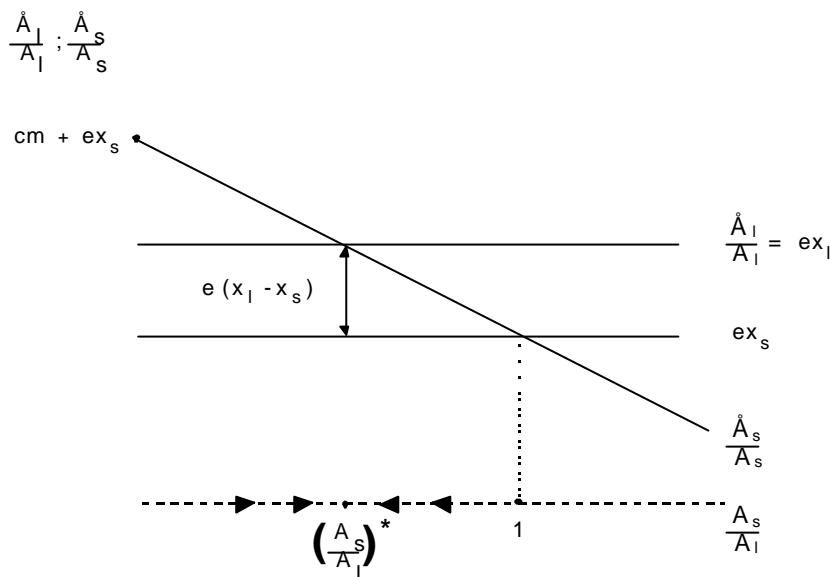


Gráfico 1. Progreso tecnológico exógeno y *catch-up*

### 3. EL *CATCH-UP* TECNOLÓGICO EN EL MODELO DE SOLOW-SWAN

Una vez que hemos delimitado el comportamiento del *catch-up* tecnológico en el apartado anterior, vamos a introducir dicha modelización en el modelo de crecimiento neoclásico<sup>7</sup>. En términos generales hay que considerar el hecho de que en los modelos neoclásicos se considera que la tecnología presenta un comportamiento exógeno y su difusión se supone instantánea y generalizada. Para analizar como la introducción del *catch-up* tecnológico y la difusión gradual de tecnología cambian los resultados de éste modelo, supondremos la existencia en la función de producción del tipo Cobb-Douglas de un progreso técnico neutral en el sentido de Harrod. Junto a este supuesto añadimos otros dos característicos de este enfoque, rendimientos constantes a escala y decrecientes para cada uno de los factores acumulables. De esta manera la producción de cada país  $i$  será:

$$Y_{it} = (A_{it}L_{it})^a K_{it}^b$$

donde por rendimientos constantes a escala  $a+b=1$ , y por rendimientos decrecientes para el capital  $b < 1$ , y siendo:  $K_{it}$ , factores productivos susceptibles de ser acumulados (capital físico, capital humano,...);  $L_{it}$ , factores productivos que *no* pueden ser acumulados (trabajo, tierra, energía). Suponemos que  $i/L=n$ , es constante y viene determinada exógenamente;  $Y_{it}$ , producto homogéneo que se puede *consumir* y/o *ahorrar*. El producto no consumido se transforma automáticamente en  $K_{it}$ ;  $A$ , Nivel de *tecnología*;  $s$ , proporción de la renta que se destina al ahorro, que suponemos constante<sup>8</sup>.

<sup>7</sup> Esta modelización del *catch-up* tecnológico también puede introducirse en los modernos modelos de crecimiento endógeno. Ver Escot y Galindo (1997).

<sup>8</sup> A pesar de que la mayoría de los modelos de corte neoclásico parten del comportamiento optimizador de una función de utilidad intertemporal para determinar la tasa de ahorro, pensamos que el supuesto sobre la tasa de ahorro constante aquí adoptado permite alcanzar de manera sencilla los objetivos propuestos en el presente trabajo.

Si tenemos en cuenta los supuestos sobre los rendimientos constantes a escala, podemos escribir la anterior expresión en términos per cápita como:

$$y_{it} = A_{it} k_{it}^b$$

donde  $y = Y/L$  es la producción por trabajador, y  $k = K/(AL)$ , es el capital por trabajador medido en unidades de eficiencia. De esta forma la dinámica de la renta per cápita vendrá dada por:

$$\frac{\dot{y}_{it}}{y_{it}} = \frac{\dot{A}_{it}}{A_{it}} + b \frac{\dot{k}_{it}}{k_{it}} \quad (5)$$

es decir, por el progreso técnico de cada economía y por la dinámica del stock de capital por trabajador eficiente. Las ecuaciones (4) y (4') nos proporcionan la dinámica del progreso técnico en la que hemos introducido la hipótesis de *catch-up* tecnológico. Por su parte el proceso de inversión, que utiliza el ahorro para acumular capital se puede escribir:

$$\frac{\dot{k}_{it}}{k_{it}} = s k_{it}^{(b-1)} - \left( d + \frac{\dot{A}_{it}}{A_{it}} + n \right) \quad (6)$$

donde  $\delta$  es la tasa de depreciación y la tasa de crecimiento de la población es constante e igual a  $n$ . La ecuación (6) nos indica que el stock de capital por trabajador eficaz aumentará en el tiempo si el ahorro por trabajador es mayor que el que resulta necesario para mantener constante en el tiempo a  $k$ , teniendo en cuenta el efecto negativo que sobre esta variable tiene la depreciación del capital, el aumento del factor trabajo y el progreso técnico.

La solución a largo plazo del sistema dinámico formado por (4), (4') y (6) se resume a continuación considerando que existe un proceso efectivo de transmisión tecnológica ( $m \neq 0$ ):

- La tasa de crecimiento a largo plazo del stock de capital por trabajador eficiente es nula tanto para el *líder* como para el *seguidor*:

$$\left( \frac{\dot{k}_s}{k_s} \right)^* = \left( \frac{\dot{k}_l}{k_l} \right)^* = 0 \quad (7)$$

- La tasa de progreso técnico para el *seguidor* y para el *líder* coincide, y viene determinada por el de éste último:

$$\left( \frac{\dot{A}_s}{A_s} \right)^* = \left( \frac{\dot{A}_l}{A_l} \right)^* = ex_l \quad (8)$$

- El nivel del stock de capital por trabajador eficiente a largo plazo es el mismo e igual a:

$$k_s^* = k_l^* = \frac{(\dot{A}/A)^* + n + d}{s} \frac{1}{(b-1)} \quad (9)$$

- La diferencia tecnológica a largo plazo entre el líder y seguidor converge a largo plazo al ratio:

$$\frac{A_s}{A_l} = 1 - \frac{e(x_l - x_s)}{cm} \quad (10)$$

y ya que  $1 < (A_s/A_l) < \infty$  entonces  $cm < e(x_l - x_s)$ . Además, siempre que el esfuerzo innovador autóctono del seguidor sea inferior al del líder,  $(x_l - x_s) > 0$ , ese ratio es distinto de la unidad, es decir, existe un gap o retraso tecnológico a largo plazo que es imposible eliminar por completo. Este retraso tecnológico se deriva a su vez del retraso en la incorporación de la tecnología del líder, por tanto, sólo podrá disminuirse aumentando el parámetro  $m$ , es decir, mejorando la *social capability*.

Como consecuencia de estos resultados y dada la ecuación (5), la tasa de crecimiento a largo plazo de la renta per cápita de ambos países coincide:

$$\frac{\dot{y}_l}{y_l} = \frac{\dot{y}_s}{y_s} = ex_l \quad (11)$$

Es decir, aunque inicialmente el país seguidor crezca a una tasa mayor que el líder como consecuencia del *catch-up* tecnológico y de la existencia de rendimientos decrecientes de capital, se produce un proceso de convergencia en términos de tasa de crecimiento. La dinámica hacia el estado estacionario supone que el país seguidor con unos niveles menores de tecnología y de stock de capital iniciales, crece más rápidamente hasta alcanzar a largo plazo la convergencia en términos de capital por trabajador eficiente, de tecnología en términos relativos y de tasas de crecimiento de la renta per cápita. Sin embargo, como ya hemos comentado, el nivel de tecnología relativo del seguidor en términos del líder converge, en general, a un estado distinto de uno. Eso implica que aunque el mayor crecimiento inicial de la renta per cápita del seguidor acorta la brecha o el dualismo entre países medido en términos de renta per cápita, este no se elimina por completo. Existe un gap hacia el que se converge a largo plazo y que va a venir dado por la brecha tecnológica en el estado estacionario, es decir, ya que  $(A_s/A_l) < 1$  y que  $k_s^* = k_l^* = k^*$ , entonces<sup>9</sup>:

$$y_l^* = A_l^* k^{*b} > y_s^* = A_s^* k^{*b} \quad (12)$$

<sup>9</sup> Estamos suponiendo aquí que el resto de la estructura económica de los dos países es idéntica, es decir, las elasticidades  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $e$ , la tasa de crecimiento de la población,  $n$ , y las preferencias de los consumidores representadas por la tasa media de ahorro de la economía,  $s$ , coinciden. En caso contrario la brecha en términos de renta per cápita a largo plazo podría ser mayor y dependería también de estos factores.

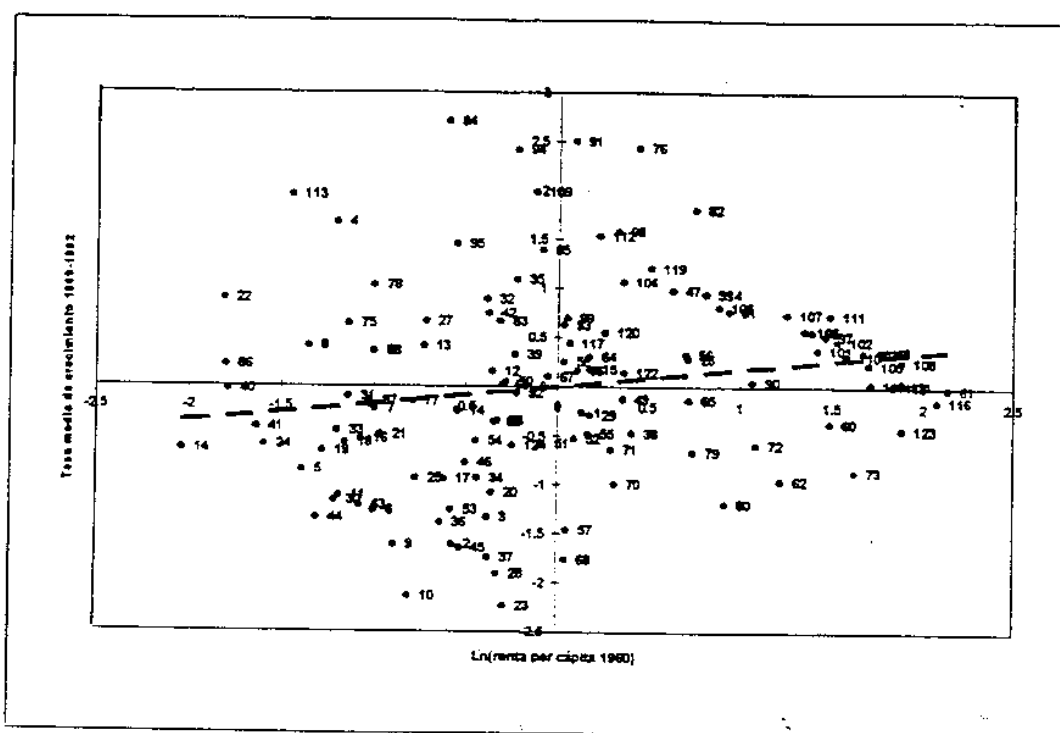


Gráfico 2. Convergencia Absoluta  
Fuente: Penn World Table, Mark 5.6

#### 4. ANÁLISIS EMPÍRICO

Muchos son los estudios que basándose en las propiedades de estos modelos de crecimiento neoclásicos y de los modernos de crecimiento endógeno han intentado encontrar evidencia empírica sobre la convergencia<sup>10</sup>. La idea que subyace en ellos es que debido a que en los modelos de crecimiento exógeno se predice convergencia condicional, debe existir una relación negativa entre las tasas de crecimiento y los niveles iniciales de renta per cápita de economías homogéneas. En caso de no observarse empíricamente dicho resultado, esto sería utilizado como evidencia a favor de los modelos de crecimiento endógeno. Igualmente, han sido también numerosos los estudios que han intentado encontrar evidencia sobre el *catch-up* tecnológico<sup>11</sup>. Todos estos trabajos encuentran de manera más o menos clara la evidencia de convergencia entre países con estructuras socioeconómicas homogéneas, debido o a la existencia de rendimientos decrecientes para los factores acumulables, o a la existencia de procesos de *catch-up* tecnológico. Dicha convergencia en términos de renta per cápita se muestra de manera clara en los gráficos 2 y 3, en los que hemos representado la tasa media de crecimiento de la renta durante el período 1950 a 1992 en el eje de ordenadas, y la renta inicial en logaritmos en el de abscisas para un conjunto de países representativos de la economía mundial. El primer resultado que se observa en el gráfico 2 es la ausencia de convergencia absoluta entre todos los países considerados, ya que no aparece una relación negativa

<sup>10</sup> Entre otros podemos encontrar: Barro, y Sala-i-Martin (1992), Mankiw, Romer y Weil (1992), Ortiguera y Santos (1994) y, Andrés, Doménech y Molinas (1996a).

<sup>11</sup> Se pueden citar entre otras, las aportaciones de: Gomulka, y Sylvestrowicz (1976), Abramovitz (1986 y 1988), Baumol (1986), Fagerberg (1988), Dowrick y Nguyen (1989), Wolff (1991), Verspagen (1991), Van Ark y Crafts (1995) y Abramovitz y David (1996).

clara entre las variables consideradas. Sin embargo, si contemplamos esta relación entre grupos de países homogéneos como en el gráfico 3 aparece una correlación negativa entre tasa de crecimiento y renta per cápita inicial. Tal y como hemos comentado anteriormente, esta evidencia a favor de la hipótesis de convergencia condicional se desprende según las distintas aportaciones, de la existencia de rendimientos decrecientes para los factores acumulables o de la hipótesis de *catch-up* tecnológico. A continuación trataremos de contrastar cuál ha sido la aportación al proceso de convergencia de cada uno de esos factores. Para ello procederemos a la estimación de una ecuación típica de convergencia que recoja, siguiendo el modelo de crecimiento neoclásico, la correlación negativa entre el stock de capital inicial y la tasa de crecimiento de la renta<sup>12</sup>. Junto a esta relación, incluimos también un efecto positivo del retraso tecnológico sobre la tasa de crecimiento de la renta per cápita, tal y como se desprende de la hipótesis de *catch-up* analizada en el apartado 2.

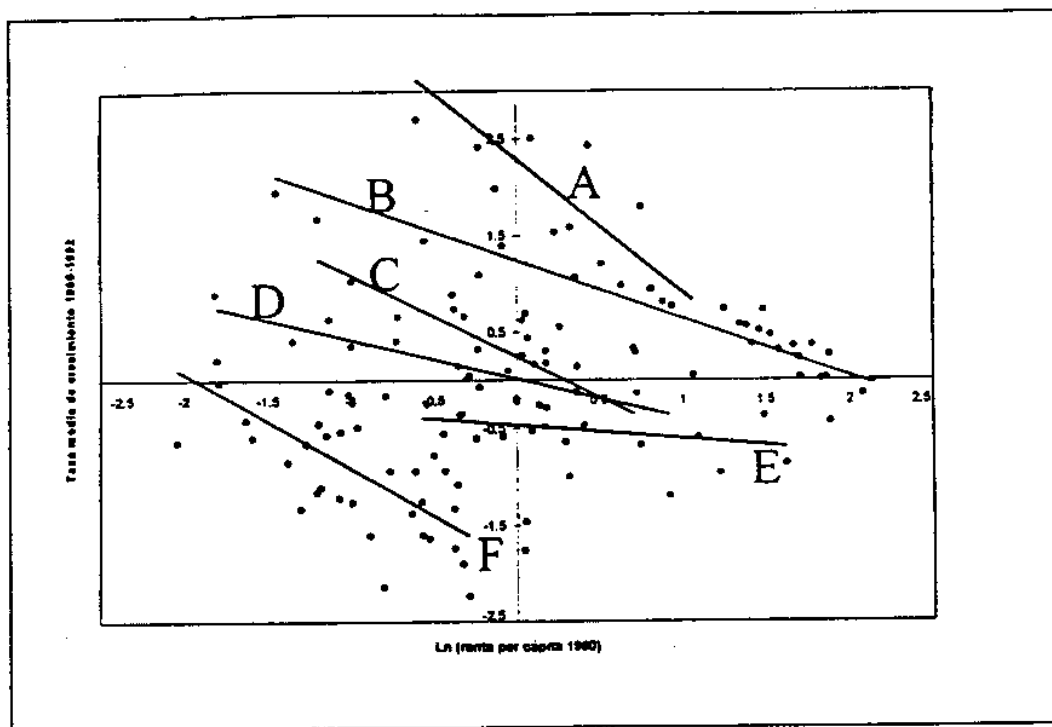


Gráfico 3. Convergencia Condicional. A: Países Asiáticos con Alto Crecimiento; B: Países de la OCDE; C: Países Africanos con Renta Media; D: Resto de Países Asiáticos; E: Países del Centro-Sur de América; F: Países Africanos con Renta Baja  
Fuente: Penn World Table Mark 5.6

Para llegar a la ecuación final a estimar partimos de la tasa de crecimiento de la renta per cápita, que como se desprende de la ecuación (5), se puede expresar como:

$$\frac{d \ln y_i}{dt} = \frac{d \ln A_i}{dt} + b \frac{d \ln k_i}{dt} = \frac{d \ln(A_i / A_i)}{dt} + \frac{d \ln(A_i)}{dt} + b \frac{d \ln k_i}{dt}$$

12 Ver por ejemplo Barro y Sala-i-Martin (1995 cap. 11). Este tipo de estimación de convergencia condicional, conocida también como *b-convergencia*, se enfrenta a una serie de críticas o problemas. Una de ellas, que es aplicable en alguna de nuestras estimaciones y en el análisis gráfico desarrollado anteriormente, está relacionada con la selección muestral. Sobre estos problemas ver De Long (1988).

Si tenemos en cuenta que la tasa de progreso tecnológico del país líder,  $d \ln(A_i)/dt$ , es una constante igual a  $ex_i$  (ecuación (4')), y realizando una aproximación log-lineal de  $d \ln(A_i/A_i)/dt$  y  $d \ln k/dt$  en torno a los valores de estado estacionario,  $\ln(A_i/A_i)^*$  y  $\ln(k)^*$  respectivamente, obtenemos que:

$$\frac{d \ln y_i}{dt} = a \left[ \ln \left( \frac{A_i}{A_i} \right) - \ln \left( \frac{A_i}{A_i} \right)^* \right] + ex_i - r \left[ \ln(k_i) - \ln(k_i)^* \right]$$

donde interpretamos  $a = [cm - e(x_i - x_i^*)] > 0$  como el indicador de convergencia para la tecnología<sup>13</sup> y  $r = (1 - b) \left[ (\dot{A}/A)^* + n + d \right]$  el indicador tradicional<sup>14</sup> de convergencia derivado de los rendimientos decrecientes del capital.

De esta forma la ecuación que estimamos, si tenemos en cuenta la anterior expresión y los valores para el estado estacionario, y aproximando la tasa media de crecimiento como  $d \ln(y)/dt @ (\ln y_T - \ln y_0) / T$ , será:

$$\begin{aligned} \frac{\ln(y_i)_T - \ln(y_i)_0}{T} &= \frac{\ln(A_i/A_i)_T - \ln(A_i/A_i)_0}{T} + ex_i + b \frac{\ln(k_i)_T - \ln(k_i)_0}{T} = \\ &= ex_i + \frac{1 - \exp(-aT)}{T} \ln(A_i/A_i)^* - \frac{1 - \exp(-aT)}{T} \ln(A_i/A_i)_0 + b \left[ \frac{1 - \exp(-rT)}{T} \ln(k_i)^* - \frac{1 - \exp(-rT)}{T} \ln(k_i)_0 \right] = \\ &= ex_i + \frac{1 - \exp(-aT)}{T} \ln \left( \frac{a}{cm} \right)^* - \frac{1 - \exp(-aT)}{T} \ln(A_i/A_i)_0 + \frac{b}{(b-1)} \frac{1 - \exp(-rT)}{T} \ln \left( \frac{ex_i + n + d}{s} \right) - b \frac{1 - \exp(-rT)}{T} \ln(k_i)_0 \end{aligned}$$

que puede aproximarse de forma más sencilla por la siguiente ecuación lineal, que será la que utilizamos para nuestra estimación:

$$\frac{\dot{y}}{(y)_{t_0 T}} = c - a \ln \left( \frac{A_i}{A_i} \right)_{t_0} - b \left[ \ln(k_i) \right]_{t_0} - m \ln \left( \frac{ex_i + n + d}{s} \right) + u_i$$

donde los parámetros  $a$  y  $b$  recogen la convergencia en tecnología y capital respectivamente y donde hemos introducido una variable aleatoria  $u_i$  que representa el error de ajuste.

Para realizar la estimación hemos supuesto que  $e=1$ , y siguiendo a Mankiw, Romer y Weil (1992, pág. 413) que  $x_i=0.02$  y  $d=0.03$ . Los datos utilizados para el resto de variables se han tomado de Summers y Heston (1991) para el período 1965-1992: la tasa de ahorro,  $s$ , se ha aproximado por el porcentaje medio del período que supone la inversión sobre el producto total, y la tasa de crecimiento de

13 Concretamente es la tasa a la que cae la diferencia tecnológica relativa:

$$\frac{\frac{A_i}{A_i}^* - \frac{A_i}{A_i}_t}{\frac{A_i}{A_i}_t} = \frac{\frac{A_i}{A_i}^* - \frac{A_i}{A_i}_b}{\frac{A_i}{A_i}_b} \exp(-bt)$$

14 Vid Mankiw, Romer y Weil (1992, pág. 422).

la población,  $n$ , como la media del período considerado. Para encontrar una *proxy* del nivel tecnológico en el instante inicial hemos procedido a la estimación de la función de producción propuesta en el modelo neoclásico para cada país, utilizando la serie temporal completa, obteniendo el nivel tecnológico como el residuo de Solow.

Los resultados alcanzados en la estimación, utilizando mínimos cuadrados ordinarios para los datos de sección cruzada, y tomando como país líder a los Estados Unidos, se muestran en las tablas 1 y 2. En la tabla 1, se ha realizado la estimación considerando sólo los países desarrollados. Los resultados muestran que los parámetros presentan el signo esperado y resultan significativos, pudiéndose concluir por tanto, que entre este conjunto de países que podríamos considerar homogéneos, la convergencia se debe en parte a la existencia de rendimientos decrecientes del capital, y en parte a la difusión de tecnología. Los parámetros asociados para la velocidad de convergencia en capital ( $\alpha$ ) y en tecnología ( $\beta$ ), resultan aproximadamente 2% y 1% respectivamente. Igualmente, en las estimaciones A.2 y B.2 hemos tratado de aproximar el gap tecnológico a largo plazo,  $\ln(A_i/A_j)^*$ , utilizando dos indicadores de la *social capability*, el grado de apertura internacional y el stock de capital humano. Igualmente, y como esa brecha tecnológica depende de la diferencia entre el progreso autóctono del país respecto al seguidor ( $x_i - x_j$ ), hemos introducido como otra variable *proxy* la diferencia relativa entre seguidor y líder en cuanto a gastos en I+D. Los parámetros para estas variables resultan significativos y con el signo esperado. Podemos concluir por tanto, que la potenciación de la *social capability* y los esfuerzos en I+D ayudan a alcanzar la convergencia al facilitar la difusión de tecnología y a reducir a largo plazo la brecha tecnológica. En la tabla 2 hemos realizado la estimación para el conjunto de países menos desarrollados, y finalmente, para toda la muestra de países. Los resultados reducen en estas muestras la importancia tanto de la existencia de rendimientos decrecientes como de la difusión tecnológica en los procesos de convergencia condicional. Igualmente el grado de apertura parece significativa como indicador de la *social capability*, y no el peso de la agricultura en la producción total, siendo éste otro de los indicadores propuestos en la literatura teórica sobre la hipótesis de *catch-up*. La velocidad de convergencia en capital ( $\alpha$ ) y en tecnología ( $\beta$ ) disminuyen en este caso hasta aproximadamente 0,6% y 0,4% respectivamente, indicando esto la necesidad de llevar a cabo reformas estructurales importantes en estos países y de potenciar la difusión y asimilación de tecnología si se pretende alcanzar el objetivo de la convergencia.



**TABLA 1**

Variable Dependiente: Tasa media de crecimiento de la renta per cápita (1965-1992)					
Variables	Muestra A : 16 Europa, USA y Japón <sup>a</sup>			Muestra B : 24 OCDE <sup>a</sup>	
	A.1	A.2	A.3	B.1	B.2
Constante	-0.155695 (0.05700)	-0.216813 (0.072089)	-0.223227 (0.070060)	-0.159500 (0.045497)	-0.160128 (0.048544)
Ln(A <sub>t</sub> /A <sub>t<sub>0</sub>})</sub>	-0.009079 (0.00381)	-0.010391 (0.003949)	-0.008668 (0.004042)	-0.007727 (0.002697)	-0.009495 (0.003353)
Ln(k <sub>t</sub> )	-0.011230 (0.00222)	-0.013282 (0.002612)	-0.011191 (0.002981)	-0.010185 (0.001857)	-0.011424 (0.002303)
Ln(ex <sub>t+n+δ</sub> ) - ln(s)	-0.027901 (0.00927)	-0.032231 (0.009770)	-0.031439 (0.009492)	-0.028747 (0.007342)	-0.027029 (0.007668)
Ln HK <sup>c</sup>	—	0.016695 (0.011834)	0.021655 (0.012065)	—	0.005535 (0.008267)
Ln Open <sup>d</sup>	—	0.003144 (0.003019)	0.002517 (0.002965)	—	0.002729 (0.002604)
Ln (x <sub>t</sub> /x <sub>t</sub> ) <sup>e</sup>	—	—	-0.003863 (0.002907)	—	—
R <sup>2</sup> -Ajustado	0.6269	0.6314	0.6535	0.5776	0.5592
Error Estándar	0.005457	0.005424	0.005258	0.005577	0.005698
Estadístico F	10.52152 (0.00069) <sup>b</sup>	6.825331 (0.00311) <sup>b</sup>	6.345016 (0.00429) <sup>b</sup>	11.48764 (0.00013) <sup>b</sup>	6.836648 (0.00097) <sup>b</sup>
Grados de Libertad	14	12	11	20	18
α asociado	1.04%	1.22%	0.99%	0.87%	1.09%
ρ asociado	2.66%	3.57%	2.38%	2.08%	2.88%

Desviación típica entre paréntesis

<sup>a</sup> Los países integrantes de cada muestra se muestran en el Apéndice 1

<sup>b</sup> Probabilidad del estadístico F

<sup>c</sup> HK: Capital Humano, número medio de años de escolarización de la fuerza de trabajo estimado. Andrés, Doménech y Molinas (1996b), Tabla 9.1, pp. 355.

<sup>d</sup> Open: Grado de Apertura Internacional (Exportaciones + Importaciones)/ PIB Nominal. Summers y Heston (1991). Penn World Table (Mark 5.6)

<sup>e</sup> x<sub>t</sub>/x<sub>t</sub>: Diferencia Relativa entre el Total de gastos en I+D como porcentaje del PIB en relación al líder (USA). Verspagen (1996), Table 5.2, pp 220.

TABLA 2

Variable Dependiente: Tasa media de crecimiento de la renta per cápita (1965-1992)						
Variables	Muestra C : 61 Países <sup>a</sup>			Muestra D: Países con renta Mediana y Baja <sup>a</sup>		
	C.1	C.2	C.3	D.1	D.2	D.3
Constante	-0.105237 (0.022913)	-0.115415 (0.028549)	-0.099446 (0.028532)	-0.105003 (0.028856)	-0.091416 (0.028347)	-0.116693 (0.036563)
$\ln(A_t/A_{t_0})$	-0.004622 (0.001789)	-0.006619 (0.002115)	-0.004253 (0.002523)	-0.003056 (0.002424)	-0.002685 (0.002374)	-0.005262 (0.002684)
$\ln(k_t/k_{t_0})$	-0.004569 (0.001747)	-0.006607 (0.002117)	-0.004211 (0.002495)	-0.003022 (0.002424)	-0.002636 (0.002325)	-0.005311 (0.002682)
$\ln(e_{t+n+\delta}) - \ln(s)$	-0.020809 (0.003632)	-0.021523 (0.004895)	-0.020604 (0.004206)	-0.021787 (0.004721)	-0.020711 (0.004543)	-0.022284 (0.006381)
$\ln \text{Open}^d$	—	0.007148 (0.003423)	0.006555 (0.004336)	—	0.010183 (0.004869)	0.010088 (0.004902)
$\ln \text{Hk}^c$	—	0.004296 (0.005422)	—	—	—	0.007294 (0.007265)
$\ln (\text{Agr})^e$	—	—	-0.000066 (0.003867)	—	—	—
R <sup>2</sup> -Ajustado	0.351127	0.333273	0.363034	0.334015	0.391082	0.355650
Error Estándar	0.013807	0.013295	0.014430	0.016574	0.015848	0.015578
Estadístico F	11.82269 (0.00004) <sup>b</sup>	6.598486 (0.00008) <sup>b</sup>	5.901515 (0.00039) <sup>b</sup>	7.51996 (0.000496) <sup>b</sup>	7.262015 (0.000228) <sup>b</sup>	4.974044 (0.001853) <sup>b</sup>
Grados de Libertad	57	51	38	36	35	31
$\alpha$ asociado	0.49%	0.73%	0.45%	0.32%	0.28%	0.57%
$\rho$ asociado	0.64%	1.11%	0.57%	0.37%	0.32%	0.78%

Desviación típica entre paréntesis

<sup>a</sup> Los países integrantes de cada muestra se muestran en el Apéndice 1

<sup>b</sup> Probabilidad del estadístico F

<sup>c</sup> HK: Capital Humano, media estimada de años de escolarización del total de población. Barro y Lee (1996).

<sup>d</sup> Open: Grado de Apertura Internacional (Exportaciones + Importaciones)/ PIB Nominal. Summers y Heston (1991). Penn World Table (Mark 5.6)

<sup>e</sup> Agr: Participación de la Agricultura en la producción total 1970. OCDE, Informe sobre el desarrollo mundial.

## 5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo hemos modelizado la hipótesis de *catch-up* tecnológico según la cual los países mas atrasados tecnológicamente tenderán a converger en sus niveles de renta per cápita con los países inicialmente más adelantados, gracias a la difusión internacional de tecnología. Dicha modelización supone una difusión gradual de tecnología entre países líderes y seguidores, que puede ser introducida en el modelo de crecimiento neoclásico de Solow-Swan para relajar el supuesto de difusión instantánea y generalizada presente en el mismo. Como resultado de la anterior hemos encontrado que se rompe la hipótesis de convergencia que se deriva en este modelo de los rendimientos decrecientes del capital, ya que a largo plazo, existe una brecha en los niveles de renta per cápita que está explicada básicamente por la existencia de un *gap* tecnológico a largo plazo, y que sólo puede ser reducido eliminando todos aquellos obstáculos a la difusión y asimilación de tecnología en el país seguidor, y potenciando su progreso tecnológico autóctono.

En el análisis empírico hemos estimado una ecuación típica de convergencia en la que aparecen las dos fuentes posibles para dicha convergencia, es decir, los rendimientos decrecientes de capital, y la difusión gradual de tecnología. Las estimaciones realizadas muestran que aunque el proceso de transmisión internacional de tecnología y de movimientos de capitales, está ayudando de manera significativa a alcanzar la convergencia entre los países más desarrollados, cuando consideramos también a los más atrasados, se evidencia que el ritmo de convergencia decae como consecuencia de una ausencia efectiva de ambos factores.

Las implicaciones de política económica que se derivan de nuestro ejercicio se pueden resumir en las siguientes: para alcanzar el objetivo de la convergencia, además de llevar a cabo todo el conjunto de medidas propuestas por el enfoque neoclásico, esto es, acercar las estructuras socioeconómicas de los países, sus tasas de crecimiento de la población y las preferencias de los consumidores, es necesario prestar una especial atención al progreso técnico, no sólo al que puede generarse dentro del país, sino también el que puede importarse desde el exterior. Es por esto último que debe incentivarse no sólo la inversión de recursos en actividades generadoras de mejoras técnicas, sino que se ha de potenciar todo el proceso de difusión a nivel internacional, y facilitar su incorporación efectiva en los países tecnológicamente más atrasados, mejorando todos aquellos factores que determinan la *social capability*.



## APÉNDICE 1



**MUESTRA DE PAÍSES PARA EL GRÁFICO 2 Y 3**

1 ALGERIA	32 REUNION	63 BOLIVIA	94 TAIWAN
2 ANGOLA	33 RWANDA	64 BRAZIL	95 THAILAND
3 BENIN	34 SENEGAL	65 CHILE	96 AUSTRIA
4 BOTSWANA	35 SEYCHELLES	66 COLOMBIA	97 BELGIUM
5 BURKINA FASO	36 SIERRA LEONE	67 ECUADOR	98 CYPRUS
6 BURUNDI	37 SOMALIA	68 GUYANA	99 CZECHOSLOVAKIA
7 CAMEROON	38 SOUTH AFRICA	69 PARAGUAY	100 DENMARK
8 CAPE VERDE IS.	39 SWAZILAND	70 PERU	101 FINLAND
9 CENTRAL AFR.R.	40 TANZANIA	71 SURINAME	102 FRANCE
10 CHAD	41 TOGO	72 URUGUAY	103 GERMANY, WEST
11 COMOROS	42 TUNISIA	73 VENEZUELA	104 GREECE
12 CONGO	43 UGANDA	74 BANGLADESH	105 ICELAND
13 EGYPT	44 ZAIRE	75 CHINA	106 IRELAND
14 ETHIOPIA	45 ZAMBIA	76 HONG KONG	107 ITALY
15 GABON	46 ZIMBABWE	77 INDIA	108 LUXEMBOURG
16 GAMBIA	47 BARBADOS	78 INDONESIA	109 MALTA
17 GHANA	48 CANADA	79 IRAN	110 NETHERLANDS
18 GUINEA	49 COSTA RICA	80 IRAQ	111 NORWAY
19 GUINEA-BISS	50 DOMINICAN REP.	81 ISRAEL	112 PORTUGAL
20 IVORY COAST	51 EL SALVADOR	82 JAPAN	113 ROMANIA
21 KENYA	52 GUATEMALA	83 JORDAN	114 SPAIN
22 LESOTHO	53 HAITI	84 KOREA, REP.	115 SWEDEN
23 MADAGASCAR	54 HONDURAS	85 MALAYSIA	116 SWITZERLAND
24 MALAWI	55 JAMAICA	86 MYANMAR	117 TURKEY
25 MAURITANIA	56 MEXICO	87 NEPAL	118 U.K.
26 MAURITIUS	57 NICARAGUA	88 PAKISTAN	119 U.S.S.R.
27 MOROCCO	58 PANAMA	89 PHILIPPINES	120 YUGOSLAVIA
28 MOZAMBIQUE	59 PUERTO RICO	90 SAUDI ARABIA	121 AUSTRALIA
29 NAMIBIA	60 TRINIDAD&TOBAGO	91 SINGAPORE	122 FIJI
30 NIGER	61 U.S.A.	92 SRI LANKA	123 NEW ZEALAND
31 NIGERIA	62 ARGENTINA	93 SYRIA	124 PAPUA N.GUINEA

**MUESTRA DE PAÍSES UTILIZADOS EN LA ESTIMACIÓN**

BOTSWANA	CANADA* b	HONG KONG	AUSTRIA * a b	AUSTRALIA * b
IVORY COAST	DOMINICAN REP.	INDIA	BELGIUM * a b	NEW ZEALAND * b
KENYA	GUATEMALA c	IRAN c	DENMARK * a b	
MADAGASCAR	HONDURAS	ISRAEL c	FINLAND * a b	
MALAWI	JAMAICA	JAPAN * a b	FRANCE * a b	
MAURITIUS	MEXICO	KOREA, REP.	GERMANY(WEST) * a b	
MOROCCO	PANAMA	PHILIPPINES	GREECE a b	
NIGERIA	U.S.A.* a b	SRI LANKA	ICELAND * a b c	
SIERRA LEONE	ARGENTINA	SYRIA c	IRELAND * a b c	
SWAZILAND c	BOLIVIA	TAIWAN c	ITALY * a b	
ZAMBIA	CHILE	THAILAND	LUXEMBOURG * a b c	
ZIMBABWE	COLOMBIA		NETHERLANDS * a b c	
	ECUADOR		NORWAY * a b	
	PARAGUAY		PORTUGAL a b c	
	PERU		SPAIN * a b c	
	VENEZUELA		SWEDEN * a b c	
			SWITZERLAND * a b c	
			TURKEY b	
			U.K. * a b	
			YUGOSLAVIA c	

Todos los países están en la muestra C excepto aquellos con c en la estimación C.2.; a :Países en la muestra A; b :Países en la muestra B; \*. Países con renta per cápita alta



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abramovitz, Moses (1986): *Catching Up, forgoing Ahead, and falling behind*. Journal of Economic History, vol.46 no.2, Junio, págs. 385-406.
- (1988): *Following and leading* en Hanusch, H. (ed): Evolutionary economics. Applications of Scumpeter's ideas. Cambridge, Cambridge University Press, págs. 323-341.
- (1989): *Thinking about growth and other essays on economic growth and welfare*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Abramovitz, M y David, P.A. (1996): *Convergence and Deferre Catch-up: Productivity Leadership and the Waning of American Exceptionalism*, en Landau, R. ; Taylor, T. y Wright, G. (1996): *The Mosaic of Economic Growth*. Stanford, CA, Stanford University Press, págs. 21-62.
- Andrés, J.; Doménech, R. y Molinas, C. (1996a): *Macroeconomic Performance and Convergence in OECD Countries*. Documento de trabajo 96-02. Departamento de Análisis Económico, Universidad de Valencia.
- (1996b): *Growth and convergence in OECD countries: a closer look*, in Van Ark and Crafts(1996), pp.347-387.
- Barro, R.J. y Sala-i-Martin, X. (1995): *Economic Growth*. New York, McGraw-Hill.
- (1997): *Technological Diffusion, Convergence and Growth*, Journal of Economic Growth, vol 2, no. 1, pp. 1-26.
- (1992): *Convergence*. Journal of Political Economy, vol.100 no.2, pag 223-251.
- Barro, R.J. y Lee, J.W. (1996): *International Measures of Schooling Years and Schooling Quality*. American Economic Review, Papers and Proceedings, vol.86, no.2, Mayo, pag.218-223.
- Baumol, W (1986): *Productivity growth, convergence and welfare: What the long-run data-show*. American Economic Review, vol.76 no.5, págs. 1072-1085.

- De Long, J.B. (1988): *Productivity Growth, Convergence and Welfare: Comment*. American Economic Review, no. 78, Diciembre, pags. 1138-1154.
- Dosi, G.(1988): *The nature of innovate process* en Dosi, G. et. al. (eds.): *Technical Change and Economic Theory*. Pinter Publishers, London, pp. 221-230.
- Dosi, G; Freeman, C.; Nelson, R.; Silverberg. G; y Soete, L.(eds.) (1988): *Technical Change and Economic Theory*. Londres, Pinter Publishers.
- Dosi, G. y Fabiani, S.(1994): *Convergence and Divergence in the Long-term Growth of Open Economies* en Silverberg y Soete (1994), pags. 119-153
- Dowrick, S. y Nguyen, D.T. (1989): *OECD comparative economic growth 1950-1985: Catch-up and convergence*. American Economic Review, vol.70 no.5, Diciembre, pags. 1010-1031
- Escot, L. y Galindo, M.A. (1997): *Difusión tecnológica y modelos de crecimiento*. Documento de Trabajo 9705. Facultad CC.EE. y EE. Universidad Complutense de Madrid.
- Fagerberg, J. (1988): *Why growth rates differ* en Dosi, G et. al.(1988), pags.432-457
- Findlay, R (1976): *Relative backwardness, direct foreign investment, and the transfer of technology: a simple dynamic model*. Quarterly Journl of Economics vol.92 no.1, Febrero, 1-16.
- Galindo, M.A. y Escot, L. (1997): *The technological catch-up effects on the convergence hypothesis of the growth models*, Research Studies Series no 116, University of York, Toronto, Canada.
- (1998): *La transmisión internacional de tecnología: ventajas y problemas*, Revista ICADE (en prensa).
- Gerschenkron, Alexander (1962): *Economic Backwardness in Historical Perspective*. Cambridge, Mass, Harvard University Press.
- Gomulka, S. y Sylvestrowicz, J.D. (1976): *Imported growth: theory and estimation*. En Altman et. al. (ed): *On the Measurement of Factor Productivities: Theoretical Problems and Empirical Results*. Göttingen, Vendenhoeck and Ruprecht.
- Gomulka, S. (1971): *Inventive Activity, Diffusion, and the Stages of Economic Growth*. Aarhus, Institute of Economics.
- Horvat,B.(1974): *Welfare and the common man in various countries*. World Development, vol.2 no.7, pags. 29-39.
- Mankiw, G.; Romer, D y Weil,D (1992): *A contribution to the empirics of economic growth*. Quarterly Journal of Economics, no. 107, Mayo, pags 407-437.

- Nelson, R.P. y Phelps, E.S. (1966): *Investment in humans, technological diffusion, and economic growth*. American Economic Review, vol.56 no.2, Mayo, pags. 69-75.
- Ortiguera, S. y Santos, M.(1994): *On Convergence in endogenous growth models*, Working Paper 94-54, Economics Series 26, Diciembre, Universidad Carlos III de Madrid.
- Perez, C. y Soete, L.(1988): *Catching up in technology: entry barriers and windows of opportunity* en Dosi, G et. al.(1988) pags. 458-479.
- Silverberg, G y Soete, L.(1994) : *The Economics of Growth and Technical Change. Technologies, Nations, Agents*. Aldershot, Edward Elgar.
- Solow, R.M.(1956) : *A Contribution to the Theory of Economic Growth*. Quarterly Journal of Economics, vol.70 no.1 pags. 65-94.
- Summers, R. and Heston, A(1991): *The Penn World Table (Mark5): An Expanded set of International Comparasions, 1950-1988*. The Quarterly Journal of Economics, vol. 106 no.2, mayo, pags 327-368.
- Swan, T.W.(1956): *Economic Growth and Capital Acumulation*. Economic Record, no.32, pags. 334-361.
- Van Ark, B. and Crafts, N. (eds) (1995), *Catch Up and Convergence in Post War Europe: Quantitative Aspects*. Cambridge, Cambridge University Press.
- Veblen, Thorstein (1915): *Imperial Germany and the Industrial Revolution*. Londres, Macmillan.
- Verspagen, B (1991): *A new Empirical Approach to catching up or Falling Behind* en Estructural Change and Economics Dynamics, no.2, pags. 359-380.
- (1996): *Technology indicators and economic growth in the European area: some empirical evidence*, in Van Ark and Crafts (1996), pp. 215-243
- Wolff, E (1991): *Capital formation and productivity convergence over the long term*. American Economic Review, vol.81 no.3, Junio, pags 565-579.