

Autor(es): **Lorenzo Escot Mangas ; Miguel Angel Galindo Martín**

Título: **Difusión tecnológica y modelos de crecimiento**

Resumen: El progreso tecnológico es una de las variables que se consideran 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 los modelos de crecimiento más representativos, esto es, el de Solow-Swan y el de crecimiento endógeno, centrándonos fundamentalmente en el análisis de la hipótesis de convergencia que se deriva de los mismos una vez introducido en ellos un proceso de difusión gradual de tecnología.

---

## RESUMEN

El progreso tecnológico es una de las variables que se consideran 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 los modelos de crecimiento más representativos, esto es, el de Solow-Swan y el de crecimiento endógeno, centrándonos fundamentalmente en el análisis de la hipótesis de convergencia que se deriva de los mismos una vez introducido en ellos un proceso de difusión gradual de tecnología.

PALABRAS CLAVE: *Catch-up*, crecimiento, convergencia

## ABSTRACT

The technological progress is one of the variables that shows a more positive influence on the economic growth of nations. More precisely, the process of international diffusion or technological catch-up is of special relevance. The goal of this paper is to observe the role that this catch-up process plays in the most representative growth models, this is, the Solow-Swan and the endogenous growth models. We will focus our attention in the analysis of the convergence hypothesis that is derived from those, once a gradual diffusion process of technology has been introduced in them.

KEY TERMS: *catch-up*, growth, convergence.

## 1.- Introducción

Tras un lapso temporal en el que los aspectos relacionados con el crecimiento dejaron de ser materia de interés para los economistas, este ámbito ha vuelto a ocupar un cierto protagonismo desde la década de los ochenta. La aparición de la denominada teoría del crecimiento endógeno, permitía a los teóricos escapar de las limitaciones expuestas por el modelo de Solow(1956)-Swan(1956), proporcionando mayor margen de maniobra. También los avances en lo que se refiere al tratamiento de los datos y la aparición de fuentes estadísticas con una información más amplia han favorecido este proceso de vuelta al estudio del crecimiento.

De una forma simplificada, se puede afirmar que la polémica en este campo se centra en los modelos de crecimiento exógeno versus los de crecimiento endógeno. En el fondo lo que se debate es si se acepta la existencia de la convergencia entre las naciones, es decir, que los países más ricos crezcan actualmente a un ritmo menor que los más pobres, resultando así, que estos últimos alcanzarán en algún momento los niveles de los primeros.

Este planteamiento es el defendido por los modelos de corte neoclásico, en los que el decisor político poco puede hacer para conseguir que el país alcance un mayor nivel de crecimiento de equilibrio a largo plazo, ya que éste queda determinado fuera del modelo por el comportamiento del progreso tecnológico que se supone exógeno. Dos son los supuestos en los que se basa esta teoría del crecimiento neoclásica: la existencia de comportamientos perfectamente competitivos y rendimientos decrecientes para los factores acumulables. Igualmente, podríamos añadir que en estos modelos el progreso técnico se comporta como un bien público puro y con una difusión instantánea y generalizada de las mejoras tecnológicas a nivel internacional. Es decir, la tecnología se trata como si estuviese compuesta por una información que es aplicable con generalidad a todas las actividades, siendo fácil su reproducción y reutilización. De esta forma se supone que tanto la tecnología como sus mejoras exógenas se comportan como algo que está libremente disponible para todas las empresas a nivel nacional y mundial

El relajamiento de la idea de que el progreso técnico se comporta como un bien público puro, considerando por ejemplo que parte del conocimiento técnico y sus mejoras sí pueden considerarse como públicas (a través de publicaciones científicas y técnicas, etc), pero suponiendo que existe otra parte que constituye una información privada, tácita (protegidas a través del secreto) o explícitamente (protegidas por instrumentos legales como patentes y otra serie de derechos de propiedad), unido al hecho de que normalmente existen otra serie de dificultades tanto en términos de costes como de posibilidades sociales para la incorporación de esas mejoras técnicas procedentes del exterior, supondrá la difusión gradual (y no instantánea y generalizada) de la tecnología, con lo que el proceso de convergencia entre países podría verse ralentizado y retardado.

En contraposición a este enfoque tradicional neoclásico, y gracias a la existencia de rendimientos no decrecientes para los factores productivos acumulables, en los modelos de

crecimiento endógeno, se obtiene un crecimiento positivo a largo plazo, sin necesidad de recurrir a ninguna variable determinada fuera del modelo. La principal contribución de estos modelos es la de sugerir distintas situaciones en las que pueden aparecer tales rendimientos no decrecientes en los factores acumulables, proporcionando así una base para la actuación del decisor político, que ahora sí podrá afectar a la marcha de la economía actuando favoreciendo la aparición de dichas situaciones generadoras de crecimiento. De esta manera, no cabe suponer que exista convergencia entre las naciones, ni se hace necesaria la difusión instantánea de tecnología para alcanzar un crecimiento positivo en el largo plazo.

A lo largo de los siguientes apartados vamos a exponer los elementos esenciales del proceso de difusión internacional de tecnología o *catch-up* tecnológico y el papel que juega en los modelos de crecimiento, fundamentalmente en lo que se refiere a la hipótesis de convergencia que de los mismos se deriva. Supondremos que dicha difusión es un proceso gradual con lo que, por una parte, la convergencia condicional del modelo tradicional neoclásico se verá retardada, existiendo a largo plazo una brecha en los niveles de renta per cápita de los distintos países. De otro lado, dicha difusión de tecnología introducirá la posibilidad de convergencia en los modelos de crecimiento endógeno, fundamentalmente en aquellos que recurren a la endogeneización del progreso tecnológico, por ejemplo mediante actividades de I +D, para explicar la existencia de tasas de crecimiento positivas en el largo plazo.

## 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 *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 por tanto mayor será también el crecimiento potencial de éste frente al del país líder.

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.

Con el propósito de concretar el proceso de *catch-up* tecnológico, vamos a considerar un modelo en el 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 ( $M$ ):

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

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

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

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

Esta formulación del progreso técnico, nos permite tener en cuenta la difusión internacional 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:

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

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*, y que 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, pags. 395-396. Sobre todas estas limitaciones vid los trabajos señalados en la nota 4).

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 propio nivel

Install Equation Editor and double-

de tecnología en cada momento (click here to view equation. ), tendríamos que para cada país seguidor el ritmo de progreso técnico vendrá dado por (2) y (3):

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

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

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

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 1, el proceso de catch-up tecnológico se encuentra autolimitado, y el nivel tecnológico relativo del país seguidor converge a largo plazo al ratio:

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

y ya que  $\frac{dA_s}{A_s} > \frac{dA_l}{A_l}$  entonces  $\frac{A_s}{A_l} < \left(\frac{A_s}{A_l}\right)^*$   $\frac{dA_s}{A_s} < \frac{dA_l}{A_l}$

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.

Podemos destacar ahora tres resultados importantes que se obtienen a largo plazo:

A) Cuando existe difusión tecnológica, es decir,  $\frac{dA_s}{A_s} = \frac{dA_l}{A_l}$  :

1) Las tasas de progreso técnico en el estado estacionario para ambos países coinciden:



Solow (1956) y Swan (1956). Para analizar como la introducción del *catch-up* tecnológico cambia los resultados de éste modelo, supondremos la existencia de un progreso técnico neutral en el sentido de Harrod, esto es, aquel que potencia al factor trabajo, en una tecnología del tipo Cobb-Douglas. 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:

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---



---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

donde por rendimientos constantes a escala  $a+b=1$ , y por rendimientos decrecientes para el capital  $b < 1$ . Siendo:  $K_t$ , factores productivos susceptibles de ser acumulados (capital físico, capital humano,..);  $L_t$ , factores productivos que *no* pueden ser acumulados (trabajo, tierra,

energía). Suponemos que  $\dots$ , es constante y viene determinada exógenamente;  $Y_t$ , producto homogéneo que se puede *consumir y/o ahorrar*. El producto no consumido se transforma automáticamente en  $K_t$ ;  $A$ , Nivel de *tecnología*;  $s$ , proporción de la renta que se destina al ahorro, que suponemos constante.

Si dividimos ambas partes de la igualdad por  $L$  obtendremos la expresión para la renta per cápita:

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

donde  $k=K/(AL)$ , es decir capital por trabajador medido en unidades de eficiencia. Si tenemos en cuenta ahora los supuestos sobre los rendimientos constantes a escala, podremos escribir la anterior expresión como:

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

con lo que la dinámica de la renta per cápita vendrá dada por:

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

es decir, por el progreso técnico de cada economía y por la dinámica del stock de capital por trabajador eficiente.

Las ecuaciones (4) y (5) nos proporcionan la dinámica del progreso técnico en el 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:

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

De esta forma, y teniendo en cuenta que

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

la dinámica del stock de capital por trabajador eficiente vendrá dada por:

---



Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

Install Equation Editor and double-

click here to view equation.

es la tasa de depreciación y la tasa de crecimiento de la población es constante e igual a  $n$ . De esta forma la tasa de crecimiento del capital por trabajador eficaz será:

---

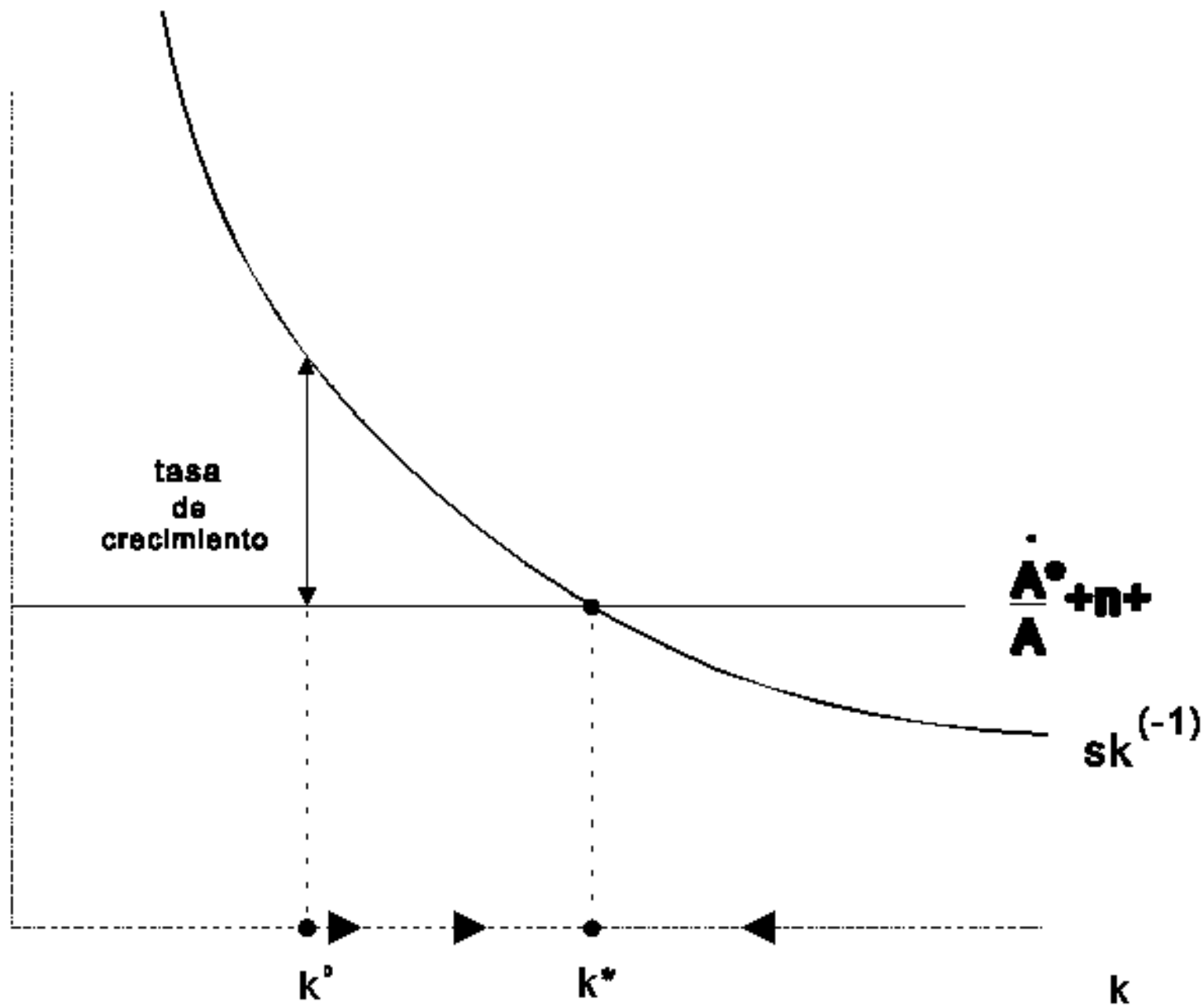
Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

que 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.

Gráficamente, y suponiendo que el progreso técnico ha alcanzado el estado estacionario, el proceso de acumulación de capital quedaría tal y como se ilustra en el gráfico 2.

---



La solución a largo plazo supone una tasa de crecimiento nula para el stock de capital por trabajador eficiente, y en el estado estacionario  $k$  es el mismo para el país líder y el país seguidor:

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

Dados estos resultados, y sabiendo que la dinámica de la renta per cápita según (7) viene dada por (4), (5) y (8), en el estado estacionario la renta per cápita de ambos países crece a la misma tasa, dado que entonces tanto líder como seguidor tienen la misma tasa de progreso técnico (6), y que una vez alcanzado dicho estado el stock de capital por trabajador eficaz permanece constante para ambos según (9):

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

Es decir, aunque inicialmente el país seguidor crezca a una tasa mayor que el líder, se produce un proceso de convergencia en términos de tasa de crecimiento. ¿Existe convergencia en los niveles de renta per cápita?. 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. Como vimos en el apartado 2, 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 el gap tecnológico de estado estacionario: ya que  $(A_s/A_l)^* < 1$  y que  $k_s^* = k_l^* = k^*$ , entonces:

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

Podemos destacar ahora alguno de los resultados obtenidos:

A) Cuando existe difusión de tecnología, es decir, Install Equation Editor and double-click here to view equation. :

1) Las tasas de progreso técnico en el estado estacionario para ambos países coinciden:

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

2) Existe convergencia en los niveles de capital por trabajador eficiente y en sus tasas de crecimiento:

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

3) Como consecuencia de lo anterior, se obtiene también convergencia en términos de tasas de crecimiento de la renta per cápita:

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

4) Se produce un proceso de convergencia hacia  $\frac{As}{A}$ , con lo que:

Si  $k_s^* = k_l^* = k^*$ ;  $\frac{As}{A} < 1$  y  $k_s^* = k_l^* = k^*$ .

Como  $(As/A)^* < 1$  y  $k_s^* = k_l^* = k^*$ , entonces:

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

Es decir, con proceso de difusión internacional de tecnología, y siempre que  $x_s < x_f$ , no se producirá la convergencia hacia los mismos niveles de renta per cápita, existirá por el contrario un gap que vendrá dado por la brecha tecnológica, y que, por tanto, sólo podrá disminuirse aumentando el parámetro  $m$ , es decir, eliminando todas aquellas trabas a la difusión tecnológica.

Si  $(A_s/A_f)^* = 1$  y  $k_s^* = k_f^* = k^*$ , entonces:  $(A_s/A_f)^* = 1$  y  $k_s^* = k_f^* = k^*$ , es decir no existe brecha tecnológica.

En este caso, como  $(A_s/A_f)^* = 1$  y  $k_s^* = k_f^* = k^*$ , entonces:

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

(En el caso de que la tasa autóctona de progreso técnico del país seguidor coincida con la del líder, lo que significa que el país seguidor es realmente un país líder en cuanto a esfuerzo innovador, no existe brecha tecnológica, y, por tanto, tampoco diferencias en los niveles de renta per cápita. Este resultado se obtiene aunque inicialmente el país seguidor partiese de un nivel tecnológico y de renta per cápita inferior. Aumentando el parámetro  $m$ , conseguiríamos que la convergencia en niveles de renta per cápita se acelerase).

B) Cuando no existe difusión de tecnología, es decir,  $(A_s/A_f)^* < 1$  y  $k_s^* < k_f^* = k^*$ :

5) - Si  $(A_s/A_f)^* < 1$  y  $k_s^* < k_f^* = k^*$ , entonces:  $(A_s/A_f)^* < 1$  y  $k_s^* < k_f^* = k^*$ , (Divergencia tecnológica)

Además, el stock de capital por trabajador eficiente ( $k$ ) tiende a un estado estacionario distinto ( $k_s^* < k_f^*$ ), por lo que el modelo predice un proceso de divergencia en los niveles de renta per cápita (la tasa de crecimiento a largo plazo del líder es mayor que la del seguidor):

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation. Install Equation Editor and double-click here to view equation.

El progreso tecnológico es idéntico en ambos países por lo que  $k$  tiende al mismo estado estacionario, sin embargo la brecha tecnológica inicial permanece constante por lo que a pesar de que la renta per cápita crece a largo plazo a la misma tasa no se reducen las diferencias iniciales.

Una vez analizado el modelo de Solow-Swan, en los próximos apartados introduciremos la modelización del *catch-up* tecnológico en dos modelos de crecimiento económico. Comenzaremos con el modelo con tecnología  $Ak$  (Rebelo 1991), en el que se mantiene los supuestos neoclásicos de competencia perfecta y rendimientos constantes a escala, y se relaja el de rendimientos decrecientes para el capital. Posteriormente, analizaremos el modelo de crecimiento que separándose de los comportamientos perfectamente competitivos, supone junto a los rendimientos no decrecientes para los factores acumulables, rendimientos crecientes a escala en la producción.

#### 4.- Catch-up y el modelo AK (Rebelo, 1991)

Estudiaremos ahora el modelo de crecimiento endógeno en el cual los rendimientos del factor capital se igualan a 1 (esto es posible si consideramos la introducción de capital humano o del capital público dentro de los factores acumulables, Sala-i-Martin 1994, caps 5 y 6) en su versión más sencilla: la tecnología  $Y=AK$ . En este modelo, dado que el crecimiento a largo plazo constante y positivo de la renta per cápita se deriva de la inexistencia de rendimientos decrecientes para los factores acumulables, no es necesario suponer progreso técnico exógeno, de hecho, y para evitar situaciones de crecimiento explosivo, supondremos que  $x_s = x_l = 0$ . Los dos países en este caso se diferenciarán por sus respectivos niveles iniciales de capital por trabajador y de tecnología (menor para el seguidor).

La renta per cápita ( $y$ ) en este modelo para cada país  $i$ , se puede obtener a partir de la tecnología:

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

siendo  $k = (K/L)$ , el capital per cápita. Por tanto, la tasa de crecimiento de la renta por trabajador vendrá dada por:

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

donde por (4) y (5):

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

y de manera análoga a (8):

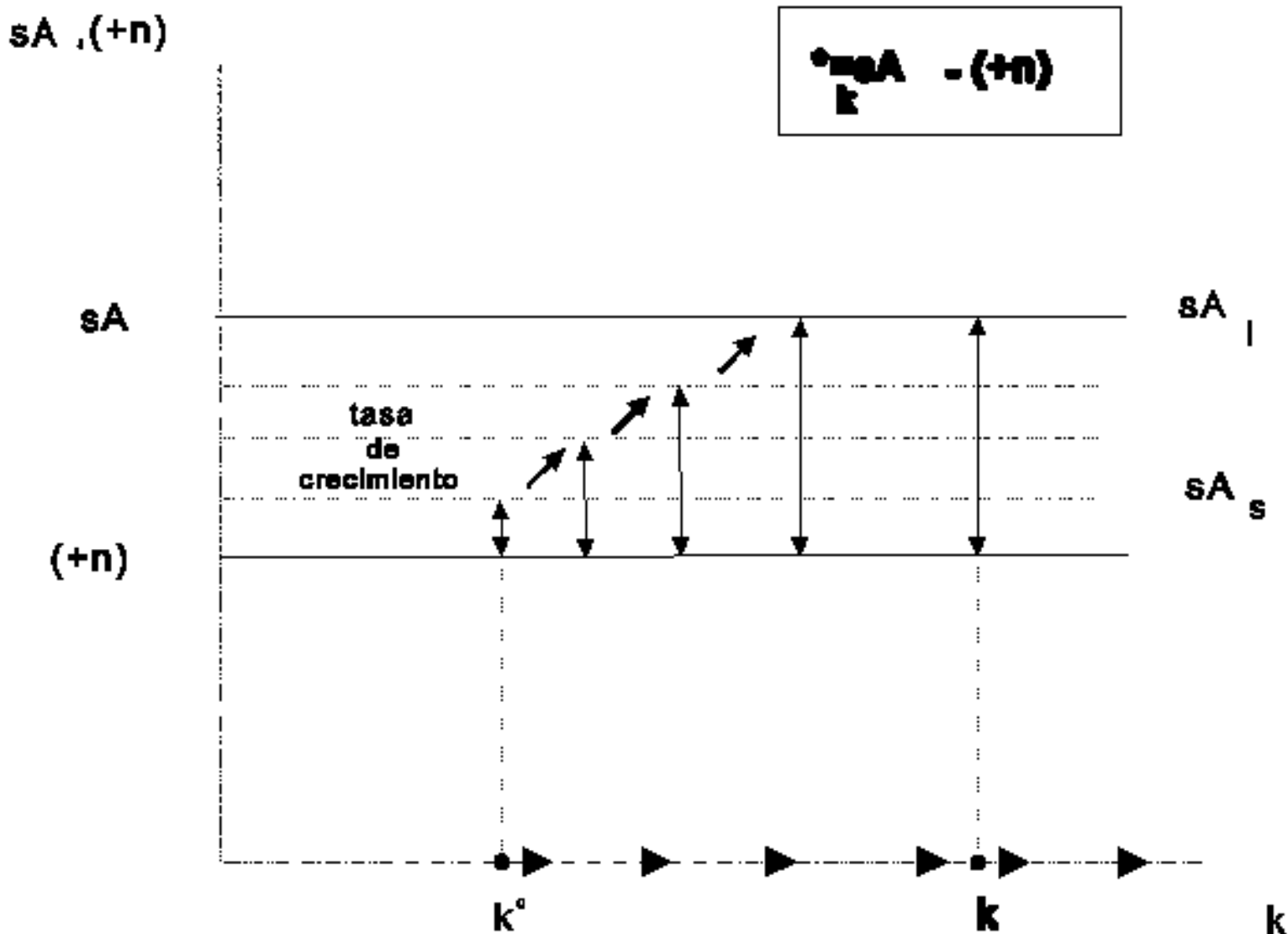
---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

Es fácil comprobar que como  $x_s = x_l = 0$ , entonces  $(A_s/A_l)^* = 1$ . Ello implica que se elimina por completo la brecha tecnológica siempre que  $m$  y  $c$  sean distintos de cero, y que, por tanto, a largo plazo el progreso tecnológico de ambos países tiende a cero, por lo que la dinámica de la renta per cápita estará gobernada por la dinámica del capital por trabajador. Además, siempre que  $sA > (n+d)$  habrá un crecimiento a largo plazo idéntico en ambos países que será constante y positivo sin necesidad de introducir mejoras tecnológicas determinadas fuera del modelo. Gráficamente la dinámica del modelo se puede representar mediante el gráfico 3.

---



En definitiva, y en función de los que acabamos de de comentar, los aspectos más relevantes en este modelo son los siguientes:

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

A) Cuando existe difusión tecnológica, es decir, :

1) Dados nuestros supuestos sobre el progreso técnico ( $x_s = x_l = 0$ ), las tasas de progreso técnico en el estado estacionario para ambos países coinciden:

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

2) Debido a la transferencia internacional de tecnología se obtiene convergencia en tecnología



y en términos de tasas de crecimiento de la renta per cápita:

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

3) Como inicialmente y hasta que se alcanza la convergencia tecnológica el país seguidor está creciendo a una tasa menor que la del país líder, este modelo predice una *divergencia inicial* en los niveles de renta per cápita. Una vez que ambos países alcancen la misma tecnología crecerán a la misma tasa, con lo que la brecha en términos de renta per cápita existente en ese momento se mantendrá constante a largo plazo.

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

B) Cuando no existe difusión tecnológica :

4) No existe convergencia tecnológica por lo que la tasa de crecimiento del líder es mayor que la tasa de crecimiento del seguidor y el proceso de divergencia en términos de renta per cápita se perpetúa a largo plazo (la renta del seguidor es cada vez menor en relación a la del líder).

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

## 5.- Modelos de crecimiento endógeno con rendimientos crecientes a escala y competencia imperfecta.

En este apartado, trataremos de ver como afecta a los modelos de crecimiento que endogeanizan el progreso técnico, la hipótesis de *catch-up* tecnológico. Seguiremos básicamente y de manera muy simplificada la aportación de Barro y Sala-i-Martin (1995, caps 6 y 8). La idea básica en la que se apoya el crecimiento en estos modelos es que debido a los rendimientos crecientes a escala y al supuesto de competencia imperfecta, el producto no se agota con la remuneración de factores, quedando rentas excedentarias que se podrán destinar a proyectos de I+D, actividades éstas que supondrán una mejora de la tecnología. La difusión de tecnología que permite cumplir en este modelo con la hipótesis de *catch-up*, se basa en el

hecho de que las actividades de innovación resultan más caras que las de imitación de tecnología foránea, con una misma cantidad de recursos el país seguidor alcanzará un mayor progreso técnico.

En este modelo, la diferencia tecnológica entre dos países estará en función del número o variedad de inputs intermedios que utilizan. El progreso técnico se entenderá por tanto como el aumento en el número de dichos inputs, y generará crecimiento sostenido porque *no existen rendimientos decrecientes en el número de bienes de capital*, es decir, las empresas dedicadas a I+D, siempre desean descubrir nuevos productos.

En este caso la función de producción podrá escribirse:

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

donde  $X_{it}$  es la cantidad utilizada del bien intermedio de capital  $i$  que además presentará rendimientos decrecientes ( $b < 1$ ),  $A$  es un parámetro tecnológico constante,  $N(t)$  es el número total de inputs de capital distintos existentes en el instante  $t$ , y el resto de variables se definen como siempre. Si suponemos que en cada instante del tiempo el número de bienes de capital es igual para todos ellos, es decir,  $X_i = X$  para todo  $i$ , podemos ver como efectivamente esta tecnología presenta rendimientos decrecientes para los bienes intermedios de capital  $X_t$  y constantes para el número total de los mismos  $N_t$ , ya que la función de producción podrá escribirse:

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

o teniendo en cuenta el total de bienes de capital, que seguirá presentando rendimientos decrecientes,

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

observándose así como se introducen los rendimientos crecientes de escala, junto con otros decrecientes respecto a los factores productivos y constantes respecto al número de bienes de capital, condiciones éstas que necesitábamos para que se pudiese observar crecimiento endógeno en este tipo de modelos.

En términos de renta per cápita tendríamos

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

donde  $x=X/L$ . A partir de ahora supondremos, para simplificar el análisis, al igual que Barro y Sala-i-Martin, que la población permanece constante, y que, ante ausencia de depreciación, se

Install Equation Editor and double-

click here to view equation.

cumple que . Ello significa, que la solución óptima implica que una vez descubierto un nuevo bien de capital se produce una determinada cantidad del mismo ( $X_i = X$ ), y que en períodos posteriores, no se volverá a producir más de ese tipo de bien, de forma que la tasa de crecimiento de cada bien de capital es nula una vez descubierto y producido inicialmente.

De esta forma, la dinámica de la renta per cápita en este modelo vendrá dada por

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

lo que nos indica que en cada país la tasa de crecimiento de la renta dependerá únicamente del progreso técnico, que en este modelo se refleja en un aumento en el número de bienes de capital.

Para explicar cuál es la dinámica de la renta necesitamos saber cómo se determina la tasa de crecimiento del número de bienes de capital. Para ello y dado el supuesto de competencia imperfecta, supondremos que existe una proporción de la renta que se puede destinar a financiar actividades de I+D, y que suponen la aparición de nuevos bienes de capital. A esta fracción de la renta la llamaremos  $s$ . Supondremos, por otra parte que el coste de inventar nuevos bienes de capital es también una proporción constante  $h$  de la renta, y que el coste de imitación de los bienes intermedios de capital producidos en el exterior es también una proporción constante  $q$  de la renta, con la particularidad de que  $h > q$ , es decir, resulta más barato imitar que innovar.

De esta forma y siempre que exista un proceso de difusión tecnológica que permita la imitación de bienes de capital inventados en el exterior, la cantidad total de recursos que se destinan a financiar actividades aumentadoras del número de bienes intermedios de capital podrá representarse siguiendo nuestra ecuación de progreso técnico (4) mediante las siguientes expresiones:

A) Para el país líder:

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

donde  $\gamma$  es la tasa de crecimiento del número de bienes de capital inventados en el país líder. Sustituyendo en esta ecuación y teniendo en cuenta (10), obtenemos:

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

que nos indica que la renta per cápita crece a una tasa constante y positiva.

B) Para el país seguidor:

---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

---

donde se está considerando que existe una parte de los recursos que se destina a la imitación y el resto a la innovación. De esta forma la innovación propia del país seguidor la obtendremos despejando de la anterior ecuación:

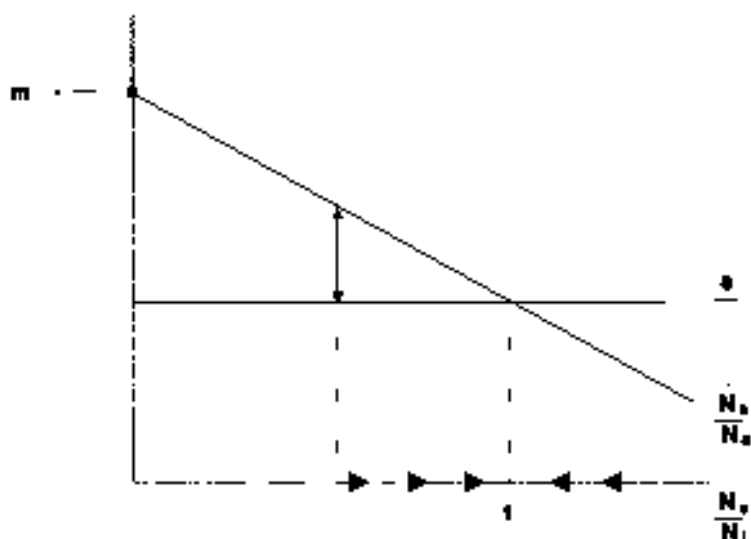
---

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

Así pues, la tasa de crecimiento de la renta per cápita del país seguidor será:

Install Equation Editor and double-click here to view equation.

tasa de crecimiento que será mayor que la del país líder siempre que exista una brecha tecnológica entre ambos ( $N_s < N_l$ ), y siempre que  $m$  sea lo suficientemente alto ( $m > q/h$ ).



Tal y como se aprecia en el gráfico 4, existe en este modelo tanto convergencia en los niveles de renta per cápita y en sus tasas de crecimiento, como convergencia tecnológica. En este modelo, la intervención pública en la economía a través de la fijación de los mecanismos de licencias, royalties y otros derechos de propiedad, supondrán por tanto un mayor estímulo al crecimiento tanto de los países líderes como de los seguidores. Igualmente será beneficioso para éstos, la eliminación de las limitaciones tanto de carácter social como económico al proceso de *catch-up* y al encarecimiento innecesario de los procesos de imitación de mejoras tecnológicas foráneas.

## 6.- Conclusiones.

A lo largo del trabajo hemos expuesto la importancia que juega la difusión tecnológica a la hora de favorecer el progreso técnico, lo que a su vez propicia el crecimiento de las economías más atrasadas y por tanto la convergencia entre naciones, como afirmaban los trabajos originarios en este campo.

Dentro de este ámbito, Greiner (1996, pág. 188) destaca la relevancia que tiene para el crecimiento la incorporación de nuevas tecnologías. Desde su punto de vista, dicha incorporación favorece más el crecimiento que las medidas tendentes a reducir impuestos sobre la renta o aquellas destinadas a conceder subsidios a la inversión. Así pues, las medidas de carácter público deben tender a potenciar la introducción de esa nueva tecnología en los procesos productivos, evitando la trabas a la misma o bien ayudando a la elaboración de proyectos de I+D.

Por su parte, Helliwell y Chung (1995, pág.75) señalan que las transferencias internacionales del conocimiento juegan un papel crucial en la convergencia, ya que permite a los países más pobres crecer de una manera más rápida que los más ricos.

Al introducir un proceso de difusión gradual de tecnología en el modelo de crecimiento neoclásico de Solow-Swan, se observa que ante la existencia de distinto progreso tecnológico autóctono de los países, se retrasa el proceso de convergencia condicional que se deriva del supuesto sobre los rendimientos decrecientes para los factores acumulables, apareciendo una brecha en los niveles de renta per cápita a largo plazo que sólo podrá disminuirse aumentando la *social capability* del país receptor de tecnología.

En los otros modelos considerados, la introducción de un proceso de difusión de tecnología da lugar a que aparezca la posibilidad de algún tipo de convergencia condicional a pesar de los rendimientos no decrecientes para los factores acumulables. Así, en el modelo de crecimiento endógeno con competencia imperfecta, la difusión de la tecnología permite la convergencia total en niveles y tasas de crecimiento de la renta per cápita. Por su parte en los modelos de crecimiento del tipo  $Ak$ , la transmisión de la tecnología sólo permite frenar el proceso de divergencia. Para alcanzar mayores niveles de renta per cápita resulta imprescindible el aumento de capital tanto físico como humano.

## Referencias Bibliográficas

Abramovitz, M. (1986): «Catching Up, forging Ahead, and falling behind». *Journal of Economic History*, vol.46 no.2, Junio, pp. 385-406.

Abramovitz, M. (1989): *Thinking about growth and other essays on economic growth and welfare*. Cambridge, Cambridge University Press.

Abramovitz, M. (1988): «Following and leading» en Hanusch, H. (ed): *Evolutionary economics. Applications of Schumpeter's ideas*. Cambridge, Cambridge University Press, pp. 323-341.

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, pp. 21-

62.

Amable, B.(1994):«Endogenous Growth Theory, Convergence and Divergence» en Silverberg y Soete.(1994) pp. 20-44.

Ark, B. van and Grafts, N. (eds) (1995), *Catch Up and Convergence in Post War Europe: Quantitative Aspects*. Cambridge, Cambridge University Press.

Barro, R.J. y Sala-i-Martin, X. (1995):*Economic Growth*. New York, McGraw-Hill.

Baumol, W (1986):«Productivity growth, convergence and welfare: What the long-run data-show». *American Economic Review*, vol.76 no.5, pp. 1072-1085.

De la Fuente, A. (1995):«Inversión, 'catch-up' tecnológico y convergencia real». *Papeles de Economía Española*, no. 63, pp. 18-34.

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), pp. 119-153

Fagerberg, J. (1988):«Why growth rates differ» en Dosi, G et. al.(1988), pp.432-457

Findlay, R (1976):«Relative backwardness, direct foreign investment, and the transfer of technology: a simple dynamic model». *Quarterly Journal of Economics* vol.92 no.1, Febrero, pp. 1-16.

Gerschenkron, Alexander (1962): *Economic Backwardness in Historical Perspective*. Cambridge, Mass, Harvard University Press.

Gomulka, S. (1971):*Inventive Activity, Diffusion, and the Stages of Economic Growth*. Aarhus, Institute of Economics.

Gould, D.M. y Gruben, W.C.(1996): «The role of intellectual property rights in economic growth», *Journal of Development Economics*, vol.48 , pp. 323-350.

Greiner, A. (1996), *Fiscal policy and economic growth*, Aldershot, Avebury.

Helliwell, J.F. Y Chung, A. (1995), «Convergence and growth linkages between North and South», en D. Vines y D. Currie (Eds.), *North-South linkages and international macroeconomic policy*, Cambridge, Cambridge University Press.

Horvat,B.(1974):«Welfare and the common man in various countries». *World Development*, vol.2 no.7, pp. 29-39.

- Jones, L.E. y Manuelli, R.E. (1994): «Teoría del crecimiento endógeno: una introducción» en *Cuadernos económicos de ICE*, no. 58, 1994/3, pp. 3-22.
- Mansfield, E.; Schawartz, M. y Wagner, S.(1981): «Imitation Costs and Patents: An Empirical Study», *Economic Journal*, no.91, Diciembre, pp. 907-918.
- Nelson, R.P. y Phelps, E.S. (1966): «Investment in humans, technological diffusion, and economic growth». *American Economic Review*, vol.56 no.2, Mayo, pp. 69-75.
- Ordober, J.A.(1991): «A Patent System for Both Diffusion and Exclusion», *Journal of Economic Perspectives*, vol.5 no.1, Invierno, pp. 43-60.
- Perez, C. y Soete, L.(1988): «Catching up in technology: entry barriers and windows of opportunity» en Dosi, G et. al.(1988) pp. 458-479.
- Rebelo, S.(1991): «Long-Run Policy Analysis and Long-Run Growth». *Journal of Political Economy* vol.99 no.3, pp. 500-521.
- Sala-i-Martin, X.(1994) : *Apuntes de crecimiento económico*. Barcelona, Antoni Bosch Editor.
- 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 pp. 65-94.
- Swan, T.W.(1956): «Economic Growth and Capital Accumulation». *Economic Record*, no.32, pp. 334-361.
- Veblen, Thorstein (1915): *Imperial Germany and the Industrial Revolution*. Londres, Macmillan.