

# CRÍTICA A LA TECNOLOGÍA DE LA TEORÍA NEOCLÁSICA DE CRECIMIENTO ECONÓMICO

Laura María Iñiguez Ladines<sup>1</sup>

## RESUMEN

El estudio de la crítica a la teoría neoclásica y su teoría de crecimiento es un requisito indispensable para la formación de los economistas. Este trabajo presenta una revisión teórica del tratamiento de la tecnología en los principales modelos de crecimiento económico del enfoque neoclásico, la cual se realiza a través del estudio de los planteamientos de los modelos y de sus implicaciones para la explicación del crecimiento económico. El resultado al que se llega es que la tecnología es una variable que se usa como un mecanismo teórico y se ajusta a los planteamientos de la teoría neoclásica para llegar a los resultados que proponen.

**PALABRAS CLAVE:** tecnología, crecimiento económico, teoría neoclásica.

**CLASIFICACIÓN JEL:** E13.

## I. INTRODUCCIÓN

La teoría de crecimiento neoclásica se fundamenta en los postulados de la “mano invisible” y de la teoría de la producción, basada en la productividad marginal. En cuanto a su formalización y la modelización, usualmente se utiliza la función de producción agregada Cobb-Douglas ya que se adapta a la descripción de la tecnología con la que se producen los bienes mediante distintas combinaciones de dos factores –trabajo y capital– y que cumple con los supuestos fuertes de la teoría neoclásica –competencia perfecta y rendimientos decrecientes de los factores–.

Esta teoría del crecimiento tiene dos tipos de modelos: 1) los exógenos, en donde el crecimiento

no se explica dentro del modelo debido a que la tecnología es considerada como un factor exógeno al sistema económico y 2) los endógenos, en donde el crecimiento se explica dentro del modelo gracias a la tecnología. Dentro de los modelos endógenos, existen dos subcategorías: los modelos de primera generación y los modelos de segunda generación –o comúnmente conocidos como los modelos de la nueva teoría de crecimiento–. (Barro & Sala-i-Martin, 2004).

Según la secuencia cronológica de los modelos, inicialmente los postulados que explicaban el crecimiento económico en los modelos con tecnología exógena incluyen la definición específica de que la tecnología es un factor de producción que

<sup>1</sup> Maestra y doctorante en Ciencias Económicas por la Universidad Autónoma Metropolitana. [liniguez.economia@gmail.com]

es pagado por su producto marginal (Solow, 1957, pág. 312)<sup>2</sup>. Sin embargo, los resultados de estos modelos fueron decepcionantes debido a que el crecimiento no puede ser explicado, sino que es supuesto mediante la variable tecnología la cual es exógena. En una segunda etapa, este problema despierta el interés del estudio de la tecnología en muchos economistas neoclásicos para explicar el crecimiento de manera endógena.

A partir de la literatura revisada se encuentra que la tecnología dentro de la teoría del crecimiento neoclásico ha tenido distintos papeles, los cuales se relacionan con la aparición de cada modelo y la modificación de cada uno de los supuestos fuertes que fundamenta la teoría de crecimiento neoclásica. El objetivo del trabajo es analizar los distintos papeles que cumple la tecnología como variable para explicar el crecimiento económico en los modelos exógenos y los modelos endógenos de primera y segunda generación.

El método de investigación aplicado en este trabajo para cumplir con este objetivo es el analítico-deductivo, tomando en consideración las advertencias de los neoclásicos, así como las críticas ya realizadas por autores de otros enfoques. La contribución que se busca entregar está dirigida hacia la crítica a la teoría neoclásica de crecimiento económico. Esta crítica está enfocada desde el estudio de la tecnología, dejando de lado los planteamientos de los debates de Cambridge sobre la función de producción, la medición del capital y la teoría de la selección de técnicas. El recurso empleado para esta contribución es la revisión de la literatura en libros de texto y artícu-

los académicos. Además, se presentan los modelos más simples, teniendo en cuenta que estos no distan de aquellos más complejos, y se desarrolla la formalización en forma general sin entrar en las especificaciones realizadas por cada autor, pero se incluye una breve descripción de sus características principales.

Este trabajo se organiza de la siguiente manera: primero, para explicar que la tecnología se considera como otro factor de producción se revisan dos modelos de crecimiento económico exógeno: Solow-Swan y Ramsey-Cass-Koopmans. Segundo, para explicar que la tecnología se supone una externalidad se presentan dos modelos de la primera generación de crecimiento endógeno: el AK y el de capital humano. En tercer lugar, para mostrar que la tecnología se entiende como una actividad de producción se estudian dos modelos de la segunda generación de crecimiento endógeno: el de variedad de productos y el de escaleras de calidad. Finalmente, se realiza un análisis de las implicaciones del tratamiento de la tecnología en la teoría neoclásica y se presentan las conclusiones.

### La tecnología como factor de producción

Los modelos neoclásicos de crecimiento exógeno establecen inicialmente que el crecimiento económico se debe a la acumulación de capital. La acumulación de capital se explica por los aumentos del stock de capital, los cuales se expresan a través de los aumentos de la tasa de ahorro gracias al supuesto de economía cerrada. El supuesto que caracteriza a este modelo concierne a la tecnología, la cual es considerada como un factor de producción exógeno.

<sup>2</sup> Solow (1956, pág. 66), en su artículo "Una contribución a la teoría de crecimiento económico", define inicialmente dos factores de producción: capital y trabajo y las posibilidades tecnológicas son representadas por la función de producción neoclásica. Luego, en el apartado "Extensiones" define al cambio tecnológico como un factor que multiplica al capital y al trabajo con el fin de incrementar su escala. Al año siguiente, Solow (1957, pág. 312), en su artículo "Cambio tecnológico y la función de producción agregada", indica que se añade el supuesto de que los factores –incluida la tecnología– son pagados por su producto marginal con el objetivo de separar las variaciones de la producción per cápita debido al cambio técnico de las que se deben al capital disponible per cápita. En los libros de texto se encuentra esta especificación del supuesto. En el siguiente apartado se estudian las complicaciones que este supuesto genera a la teoría de crecimiento neoclásica.

La contribución más importante a esta teoría fue la formalización de los modelos de Solow-Swan (1956, 1957) y de Ramsay-Cass-Koopmans (1965). Solow y Swan desarrollaron la base de la fundamentación matemática del modelo neoclásico, plasmándolo esencialmente en la función de producción agregada neoclásica que se combina con una regla de tasa de ahorro constante bajo el supuesto de que no existen familias ni mercados. Su contribución principal es la estabilidad del equilibrio general del crecimiento neoclásico en términos de un mecanismo de ajuste sumamente sencillo, lo que lo hace muy atractivo (Sen, 1970, pág. 21) (Barro & Sala-i-Martin, 2004, págs. 12, 13 y 14).

Cass y Koopmans introdujeron al anterior modelo la optimización del consumidor y de la empresa a partir del análisis de Ramsey (1928). En este modelo –conocido como el modelo neoclásico de crecimiento económico– la tasa de ahorro se determina endógenamente. Además del empleo de la función de producción agregada neoclásica, se caracteriza por usar fundamentos microeconómicos, es decir, tiene una estructura de un modelo de equilibrio general: las familias maximizan su utilidad sujeta a una restricción presupuestaria y las empresas maximizan sus beneficios (Barro & Sala-i-Martin, 2004, págs. 85-86).

Estas características lo hacen superior al modelo de Solow-Swan. No obstante, a pesar de la endogenización de las decisiones de ahorro, las características generales del crecimiento son iguales a las del modelo de Solow-Swan y llega a los mismos resultados.

La producción y el crecimiento económico se expresan frecuentemente bajo la expresión matemática de la función de producción agregada neoclásica Cobb-Douglas, la cual tiene la siguiente forma:

$$Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}, 0 < \alpha < 1 \quad [1]$$

Donde  $Y_t$  es la producción generada por  $A_t$  que es la tecnología,  $K_t$  que es el capital,  $L_t$  que es el trabajo y  $\alpha$  que es una constante que representa la contribución del capital en la producción, por lo que  $1 - \alpha$  es la contribución del trabajo a la producción<sup>3</sup>. Esta función cumple con las propiedades económicas y matemáticas de la función de producción neoclásica postulada a nivel microeconómico: 1) Los factores de producción son perfectamente sustituibles. Matemáticamente, esto implica que la función es continua y derivable en todos sus puntos. 2) La productividad marginal de todos los factores es positiva pero decreciente, es decir, matemáticamente la primera derivada parcial de la función de producción con respecto a cada factor es mayor a cero y las segundas derivadas parciales son negativas. 3) Presenta rendimientos constantes a escala, es decir, si se dobla la cantidad de los factores, se dobla la cantidad de producto. Esta es la propiedad matemática de homogeneidad de grado 1. 4) En el modelo de Solow, la función de producción cumple con las condiciones Inada, donde la productividad marginal de cada factor se aproxima a cero, la cantidad del factor tiende a infinito y cuando esta cantidad se aproxima a cero, tiende a infinito.

Siguiendo el desarrollo analítico del modelo de Solow-Swan, si se supone que la tecnología es constante, es decir:  $A_t = A$  y que la población es equivalente a la cantidad de trabajadores, la función de producción Cobb-Douglas en términos per cápita es:

$$\frac{Y}{L} = \frac{1}{L} A K^\alpha L^{1-\alpha} = A \left(\frac{K}{L}\right)^\alpha \left(\frac{L}{L}\right)^{1-\alpha} = A k^\alpha (1)^{1-\alpha} = A k^\alpha \quad [2]$$

Donde  $k$  es el capital per cápita. Por tanto, para analizar la tasa de crecimiento del PIB per cápita a largo plazo, es necesario analizar la tasa de crecimiento del capital per cápita, explicada a su vez

<sup>3</sup> A su vez, estas proporciones representan la remuneración de los factores en el marco del equilibrio general competitivo neoclásico.

por la tasa de inversión, que se supone constante e igual a la tasa de ahorro, al ser una economía cerrada. Considerando que la inversión representa el aumento del stock de maquinaria disponible para la producción futura –que es la inversión neta– y el reemplazo de las máquinas que se deterioran con el proceso productivo –que es la inversión de reposición de la depreciación–. Siendo  $s$  la tasa de ahorro y  $\delta$  la tasa de depreciación, entonces la variación del capital se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{K}_t = sF(K_t, L_t, A_t) - \delta K_t \quad [3]$$

Asumiendo que la población crece a una tasa exógena y constante  $n \equiv \frac{\dot{L}}{L}$ , la tasa de crecimiento del capital por persona se calcula derivando esta variable en el tiempo:

$$\dot{k} = \left(\frac{\dot{K}}{L}\right) = \frac{\partial(K/L)}{\partial t} = \frac{\dot{K}_t L_t - L_t \dot{K}_t}{L_t^2} = \frac{\dot{K}_t}{L_t} - \frac{L_t \dot{K}_t}{L_t L_t} = \frac{\dot{K}_t}{L_t} - nk_t \quad [4]$$

Sustituyendo la ecuación de la variación del capital [3] en [4], se llega a la siguiente expresión, conocida como la ecuación fundamental del modelo:

$$\dot{k}_t = sf(k_t, A) - \delta k_t - nk_t = sf(k_t, A) - (\delta + n)k_t \quad [5]$$

Asumiendo la función de producción Cobb-Douglas, la ecuación fundamental del modelo Solow-Swan es:

$$\dot{k}_t = sAk_t^\alpha - (\delta + n)k_t \quad [6]$$

La anterior ecuación indica el incremento del stock del capital per cápita a través del tiempo  $\dot{k}_t$ , con la que también conocemos la evolución del producto. Esta ecuación indica que el stock de capital por persona aumenta gracias a un mayor ahorro, es decir, una mayor inversión, y decrece debido a la depreciación del capital y el aumento del número de personas. La economía alcanza un punto en que los incrementos del stock de capital compensan la depreciación del stock de capital y el crecimiento de la población, es decir, el capital per cápita se mantiene a un nivel constante y la economía ya no crece, lo que se conoce como estado estacionario. En otras palabras, el crecimiento económico a largo plazo se convierte en nulo a pesar del ahorro e inversión. Por lo tanto, la acumulación de capital no puede explicar el crecimiento a largo

plazo en un modelo neoclásico exógeno como se plantea inicialmente en los modelos exógenos (Sala-i-Martin, 2000, pág. 37).

En la modelización del crecimiento económico se busca comprobar tres hipótesis: 1) el estado estable, 2) la convergencia y 3) el crecimiento a largo plazo. Los modelos exógenos logran demostrar el estado estable y la convergencia<sup>4</sup>. En cuanto a la hipótesis del crecimiento a largo plazo, que era necesaria comprobar por lo observado en el comportamiento de la economía de los países, no es posible demostrarla. Debido a este problema, se relaja el supuesto de la tecnología, generando que el modelo exógeno sea compatible con el crecimiento continuado únicamente si se supone que  $A$  no es constante. Si la tecnología  $A$  aumenta a una tasa de crecimiento  $x$ , el stock de capital del estado estacionario aumentará a esa misma tasa  $x$ , por lo que la tasa de crecimiento de la economía en el estado estacionario, en términos per cápita, será positiva e igual a  $x$ . Por lo tanto, la tasa de crecimiento per cápita a largo plazo es positiva cuando la tecnología mejora de forma continuada.

Por otro lado, para que exista el estado estacionario, se asume que la tecnología debe multiplicar el factor trabajo, esto es, la

tecnología provoca que el trabajo sea más eficiente:  $\hat{L} = L_t A_t$ , donde  $\hat{L}$  es la eficiencia del trabajo y crece a un ritmo  $n+x$ . Bajo este supuesto, se analiza el modelo de forma intensiva, mediante el capital por unidad de trabajo eficiente ( $\hat{k}$ ):

$$\hat{k} = \frac{K}{\hat{L}} = \frac{K}{LA} = \frac{K}{L} \frac{1}{A} = \frac{k}{A} \quad [7]$$

Como  $F(\cdot)$  presenta rendimientos constantes a escala, se cumple:

$$\frac{F(K, \hat{L})}{\hat{L}} = F\left(\frac{K}{\hat{L}}, \frac{\hat{L}}{\hat{L}}\right) = F(\hat{k}, 1) = F(\hat{k}) \quad [8]$$

Dividiendo los dos lados por  $\hat{L}$ :

$$\frac{\dot{\hat{k}}}{\hat{L}} = sf(\hat{k}) - \partial \hat{k} \quad [9]$$

Y derivando  $\hat{k}$  con respecto al tiempo se obtiene la ecuación fundamental del modelo para este caso:

$$\frac{\partial \hat{k}}{\partial t} = \frac{\partial(K/LA)}{\partial t} = \frac{KLA - KLA - KLA}{(LA)^2} = \frac{\dot{K}}{LA} - \frac{\dot{L}}{L} \frac{K}{LA} - \frac{\dot{A}}{A} \frac{K}{LA} = \frac{\dot{K}}{L} - (n+x)\hat{k} \quad [10]$$

$$\frac{\partial \hat{k}}{\partial t} = sf(\hat{k}) - (\partial + n + x)\hat{k} \quad [11]$$

Bajo estas condiciones, en el estado estacionario, el capital y el PIB per cápita crecerán al mismo ritmo que la tecnología  $x$ . Por consiguiente, la teoría neoclásica indica que el PIB per cápita ( $\frac{Y}{L}$ ) no crecerá a largo plazo a menos que se asuma que la variable  $A$  crece través del tiempo.

De esta manera, una vez que la tecnología deja de ser constante, el modelo tiene crecimiento continuado debido a que los aumentos de la tasa de crecimiento per cápita en el estado estacionario son a la misma tasa que los aumentos de la tasa de crecimiento de la tecnología. Así, la tasa de crecimiento a largo plazo del modelo se da cuando existen mejoras continuadas en la tecnología, por lo que el crecimiento económico se explica directa y exclusivamente por la tecnología. Debido a esto, el crecimiento económico y el progreso tecnológico tienen una relación confusa en los modelos exógenos.

Entre los planteamientos iniciales en los modelos exógenos se indica que la tecnología es un factor de producción más. Es decir, constituye un recurso necesario para la producción de bienes, la

cual está definida por medio de la variable  $A$ . Para Solow (1957, pág. 312), la tecnología que está en la función de producción significa la explicación de cualquier movimiento en esta función, incluyendo las mejoras en la educación de los trabajadores. Sin embargo, el modelo no es capaz de explicar las mejoras en el factor de producción “tecnología” que se dan con el paso del tiempo, aunque esta definición es *ad hoc* en el modelo por el planteamiento de la exogeneidad. Ello se debe al supuesto inicial de competencia perfecta y es el que genera el problema para incluir a la tecnología como un factor de producción.

La función de producción agregada neoclásica debe satisfacer los supuestos principales de la teoría neoclásica: la competencia perfecta y los rendimientos decrecientes de los factores. Tomando en consideración que la función de producción debe tener rendimientos constantes a escala, según el teorema de Euler, la función homogénea de grado 1 tiene la propiedad que se describe como:

$$F(K, L, A) = K \frac{\partial F}{\partial K} + L \frac{\partial F}{\partial L} \quad [12]$$

Por la competencia perfecta, cada factor de producción recibe producto marginal. Siendo  $\omega$  el salario del trabajo y  $R$  la renta del capital, los precios de los factores cumplen:

$$\omega = \frac{\partial F}{\partial L}, R = \frac{\partial F}{\partial K} \quad [13]$$

<sup>4</sup> Plantea la convergencia de la tasa de crecimiento asumiendo la tecnología y gustos similares, y por la función de producción Cobb-Douglas supone rendimientos decrecientes del factor, por lo que logra demostrar teóricamente la hipótesis de la convergencia.



Por lo tanto:

$$F(K, L, A) = KR + L\omega \quad [14]$$

El producto total es igual a la cantidad de capital multiplicada por su precio más la cantidad de trabajadores multiplicada por el salario que cobra cada uno de ellos. Entonces, en una economía neoclásica no se pueden dedicar recursos a la financiación del progreso tecnológico, ya que no hay parte del producto que sea asignado para retribuir a este factor de producción, por lo que debe ser obligadamente exógeno (Sala-i-Martin, 2000, págs. 42-43).

A pesar de que en este grupo de modelos de crecimiento no se explica cómo se forman las mejoras tecnológicas dentro del modelo, la restricción de la exogeneidad del cambio tecnológico por motivo de los propios supuestos implica que el progreso tecnológico es independiente de las fuerzas económicas. Por lo tanto, si el crecimiento económico es explicado directamente por la tecnología, a largo plazo, este no dependerá de condiciones económicas, esto es, la política económica no afectará la tasa de crecimiento a largo plazo.

Es por esto por lo que la tecnología se debe imponer como un supuesto exógeno y es un mecanismo necesario que sirve para cumplir con los supuestos teóricos. Sin embargo, tal mecanismo es una traba para demostrar uno de los resultados de la teoría: el crecimiento económico a largo plazo. Teóricos neoclásicos como Solow, Swan y Arrow fueron quienes reconocieron entre las décadas de 1950 y 1960 esta deficiencia: todo el crecimiento a largo plazo se debe a los aumentos no explicados y no explicables de la variable tecnología. La solución al problema se orientó por abandonar algunos de los supuestos principales: o la función de producción debe dejar de ser neoclásica o se elimina el supuesto de competencia perfecta.

### La tecnología como externalidades

Por la incapacidad de explicar el crecimiento económico, excepto de manera exógena mediante el cambio tecnológico, el primer paso que se da

para que el cambio tecnológico sea una variable endógena es la sustitución de la función de producción neoclásica por la función de producción con coeficientes fijos. Es decir, hay un cambio en el tipo de función de producción con la que se relacionan los factores. Esta alteración permite que el crecimiento económico sea explicado dentro del propio modelo al resolver el problema de los rendimientos decrecientes de los factores, abriendo paso a la construcción de la primera generación de los modelos endógenos.

Estos modelos incorporan la función de producción de coeficientes fijos, dando el salto de la función de producción neoclásica a la función de producción AK. Hay dos tipos de modelos que realizan este procedimiento: los modelos AK, propuestos por Frankel (1962), Romer (1986) y Rebelo (1991) y el modelo de capital humano, propuesto por Uzawa (1965) y Lucas (1988).

Los modelos AK suponen que el cambio tecnológico se explica como un efecto indirecto de la inversión de capital físico, es decir, existen externalidades asociadas a la acumulación de capital, las cuales se expresan mediante los mecanismos del “aprendizaje por la práctica” y del “desbordamiento del conocimiento” (Sala-i-Martin, 2000, pág. 6 y 147). Arrow (1962) explicó que el fenómeno de aprendizaje por la práctica es la adquisición de conocimientos por parte de las empresas –el aprendizaje–, la cual está vinculada a la experiencia. Esto supone que hay una estrecha interacción entre la experiencia acumulada y los aumentos de productividad. Por otro lado, el fenómeno del desbordamiento del conocimiento supone que el conocimiento y el nivel tecnológico son bienes “públicos”, los cuales una vez que son inventados se esparcen por toda la economía sin que la empresa inventora pueda evitarlo, es decir, el cambio tecnológico ya no pertenece solo a la empresa, sino a toda la economía (Aghion & Howitt, 2009, pág. 48).

El modelo de capital humano redefine al trabajo como una forma de capital, al considerar que la inversión en educación, salud y alimentación del trabajador mejora su productividad. En otras

palabras, el trabajo deja de ser un factor de producción y se entiende como capital humano (Sala-i-Martin, 2010, pág. 157-158).

De esta manera, los modelos AK y los de capital humano logran demostrar la hipótesis de crecimiento a largo plazo. Sin embargo, el modelo AK solo explica el estado estable, mas no la convergencia (Sala-i-Martin, 2010, pág. 55). Por otro lado, en cuanto a la tecnología, para que esta tome la forma de AK, las externalidades deben ser “muy grandes” y la suma del exponente de la externalidad y del capital debe ser igual a 1, por lo que necesita que la externalidad sea igual a la productividad del trabajo, lo que resulta arbitrario (Sala-i-Martin, 2000, págs. 59-60). El paradigma AK indica también que para sostener tasas de crecimiento positivas hay que ahorrar una fracción del PIB, el cual encontrará una manera de financiar grandes tasas de progreso tecnológico y, como resultado, se tendrá un rápido crecimiento (Aghion & Howitt, 2009, pág. 13). En estos modelos, el marco neoclásico puede ser conservado para determinar la tasa de equilibrio del avance tecnológico, pero esta tasa de crecimiento generada no llegaría al óptimo de Pareto<sup>5</sup>, por lo que significaría que deben abandonar la teoría del bienestar.

En el caso del modelo de capital humano, “la importancia de los dos parámetros de productividad depende del tamaño relativo de las participaciones de los dos tipos de capital  $\alpha$  y  $\eta$  (físico y humano) en la producción”, por lo que, al igual que en los modelos AK, resulta arbitrario. Y, aunque se llega al óptimo de Pareto, no hay estado estable, sino un periodo de transición (Sala-i-Martin, 2010, pág. 164-165).

De esta manera, la incorporación de la función AK resuelve dos problemas que tienen los mo-

delos exógenos: se puede explicar la tecnología dentro del modelo y se demuestra el crecimiento a largo plazo. Esto se debe a que en la función de producción con tecnología AK, al ser un modelo lineal, no existen los rendimientos decrecientes y viola las condiciones de Inada (Sala-i-Martin, 2010, pág. 52). A pesar de los problemas de los modelos de la primera generación, estos son la base de los modelos endógenos, aunque como indica Sala-i-Martin (2010), “la mayor parte de los modelos de crecimiento endógeno esconden, en alguna parte, algún supuesto que hace que la tecnología relevante tome la forma AK” (p.55).

Además de estos problemas –en cuanto a la demostración del estado estable y la convergencia–, existe una dificultad más grave: el crecimiento económico continúa siendo explicado por medio de la variable tecnología, independientemente del supuesto que la respalde y la explique. Es decir, el crecimiento económico no se fundamenta en la acumulación de capital, el cual es el objetivo de la demostración del modelo de crecimiento neoclásico en general. En el caso de los modelos AK, la tecnología  $A$  crece de forma paralela a la inversión en  $K$ , por lo que  $A$  toma la forma de  $k$ , que es el capital agregado, siendo esta variable la que explique el crecimiento del modelo, como ocurre en el modelo de Romer (1986) (Sala-i-Martin, 2010, pág. 56). En el caso del modelo de capital humano, la función AK toma la forma de  $BH$  en el sector productor de capital humano, donde  $B$  es el sector educativo y la variable que explica el crecimiento del modelo. Esta es la limitación de la primera generación de los modelos de crecimiento endógeno (Sala-i-Martin, 2010, pág. 164).

Esta limitación se debe a que no hacen una distinción implícita entre la acumulación del capital y el progreso tecnológico. Se entiende que la

<sup>5</sup> Barro y Sala-i-Martin explican que se debe a que: “una función de producción a nivel agregado con rendimientos constantes puede reflejar aprendizaje por la práctica y desbordamiento del conocimiento. Este tipo de tecnología puede ‘sostener’ el crecimiento endógeno, pero los resultados no son óptimos de Pareto porque el desbordamiento constituye una forma de externalidad.” (Barro & Sala-i-Martin, 2004, pág. 205).

acumulación de capital existe si es generada por el conocimiento aprendido que se acumula cuando existe progreso tecnológico (Aghion & Howitt, 2009, pág. 66). Por esto, el crecimiento económico no es explicado por la acumulación del capital, sino por el progreso tecnológico. Sin embargo, el progreso tecnológico es planteado bajo el supuesto *ad hoc* de que es una externalidad de la inversión o que el trabajo es un tipo de capital, por lo que el progreso tecnológico sigue sin ser explicado dentro del modelo.

La causa del problema para realizar la endogenización de la tecnología en este grupo de modelos endógenos se sigue derivando del supuesto de la competencia perfecta, al no existir retribución a la tecnología demostrado por el teorema de Euler. Esto obliga a que la tecnología siga siendo tratada fuera del modelo y manejada como una externalidad.

El tratamiento de la tecnología como externalidad se deriva del supuesto de que la tecnología es un bien no rival, es decir, que el conocimiento es un bien público, por lo que es libre, gratuito y está al alcance de todos. Este supuesto inicial también genera que las actividades que producen el conocimiento no puedan ser explicadas dentro del modelo. De igual manera, Romer (1990, pág. 75-76) señala que, manteniendo los supuestos neoclásicos de competitividad, una empresa que produce con bienes no rivales  $A$  no puede sobrevivir si es tomadora de precios, ya que si se pagara el valor del producto marginal de todos los insumos, la empresa sufriría pérdidas. Por esto, el sector privado no tiene incentivos para invertir en conocimiento. Una forma de explicar la inversión en conocimiento es considerar que se trata de un aporte público proporcionado por el gobierno, pero aun así el factor  $A$  no recibe compensación.

De esta manera, la construcción de los siguientes modelos endógenos se caracteriza en explicar la tecnología endógenamente, eliminando el supuesto de competencia perfecta, por lo que abandonan el otro supuesto fuerte de la teoría neoclásica. Pero, sobre todo, se busca resolver los

problemas en la demostración del estado estable y la convergencia que presentan la primera generación de modelos endógenos.

### La tecnología como una actividad de producción

El desarrollo de la segunda generación de los modelos endógenos se basa en el objetivo de solucionar el problema de la explicación de la tecnología como externalidades y continuar con la demostración del crecimiento a largo plazo, el estado estable y la convergencia. Para lograr esto, se vuelven a alterar los supuestos iniciales de la teoría neoclásica de crecimiento económico en cuanto a la premisa de la generación del crecimiento económico.

Tomando como referencia los resultados de los modelos anteriores y de la observación de la realidad, la segunda generación de los modelos endógenos se fundamenta en el supuesto inicial de que la variable tecnológica es la que permite explicar el crecimiento a largo plazo y, por lo tanto, este se debe a la acumulación del conocimiento y ya no a la acumulación de capital físico (Romer, 1990, pág. 72). Este supuesto conlleva a la idea de que la producción de bienes finales se genera por la producción del conocimiento y las ideas, por lo que el progreso tecnológico es considerado como una actividad de producción de un bien intermedio, el cual es un factor de producción de los bienes finales.

De esta manera, el cambio tecnológico es visto como una actividad de producción que genera el conocimiento y las nuevas ideas dentro del sector de investigación y desarrollo I+D. Sin embargo, como se vio en la primera generación de los modelos endógenos, este sector necesita incentivos para producir conocimiento. Por esto, se deja de lado el supuesto de competencia perfecta y se lo sustituye por la competencia imperfecta, además de introducir la idea de que los avances tecnológicos que se generan en las actividades I+D ahora son explicados por la compensación de un poder de monopolio *ex post*, es decir, las innovaciones son generadas por un monopolista innovador.

Bajo estos supuestos, existen los incentivos para la inversión en el sector de conocimiento; aunque la creación de nuevas ideas es costosa, ahora es un bien no rival parcialmente excluible. De esta manera, se resuelve también el problema generado por la competencia perfecta sobre la retribución a la tecnología, demostrado por el teorema de Euler (Romer, 1990, pág. 72). Así, los modelos endógenos de segunda generación superan a los de la primera en el sentido de que se introduce la inversión en las actividades I+D y, por tanto, el cambio técnico está explicado dentro del modelo.

Los modelos tienen, además del sector productor de bienes finales, un sector de investigación y desarrollo (I+D) que produce nuevo conocimiento e ideas y, por ende, nuevas tecnologías. La producción de estas nuevas ideas genera el crecimiento de la tecnología  $A$  y depende del capital y el trabajo comprometido en la investigación y en el nivel previo de tecnología (Romer D., 2006, págs. 101-102).

Sala-i-Martin (2010, pág. 172) indica que se puede percibir la producción del conocimiento e ideas en la producción de bienes finales mediante dos formas: 1) por medio del aumento del número de productos disponibles como factores de producción, como lo ha desarrollado Romer (1987, 1990) en su modelo de variedad de productos, así como Grossman y Helpman (1991) y Barro y Sala-i-Martin (1995); y 2) por medio del mejoramiento de la calidad de un número limitado de productos, como lo han desarrollado Aghion y Howitt (1992, 1998) en su modelo de escaleras de calidad o modelo schumpeteriano, así como Grossman y Helpman (1991) y Barro y Sala-i-Martin (1994).

El modelo de Romer (1987, 1990) usa una función AK para explicar la producción de bienes finales, donde  $A$  mide la eficiencia de la empresa e indica el aumento constante de un número de factores que son producidos como bienes intermedios en el sector I+D. Por otro lado, la producción de tales bienes en este sector se encuentra bajo la estructura de la competencia imperfecta, donde las empresas se respaldan bajo el monopolio y

un precio fijo que dura para siempre para cualquier cantidad de producción. En este modelo, la mayor variedad de productos lleva a la economía a su producción potencial, porque permite al stock de capital repartirse en muchos usos, cada uno de los cuales muestra rendimientos decrecientes. El crecimiento en este modelo proviene de la especialización de los productos intermedios y cada producto tiene emparejado una serie de costos irre recuperables, que se asocian a la investigación y al desarrollo de su diseño.

El modelo de escaleras de calidad de Aghion y Howitt (1992, 1998) se fundamenta en la innovación basada en la idea de Schumpeter de destrucción creativa y surge de la teoría de la organización industrial moderna. Se enfoca en la mejora de calidad de la innovación que hace obsoletos a los viejos productos. En este modelo, el crecimiento es el resultado de las innovaciones, las cuales incrementan la productividad del parámetro  $A$  por medio de las mejoras de calidad de los productos intermedios (Aghion & Howitt, 2009, págs. 15-16 y 87-86). En estos dos tipos de modelos se demuestra el crecimiento a largo plazo y el óptimo de Pareto. Sin embargo, la convergencia no se logra demostrar.

En el caso del modelo de escaleras de calidad, la tasa promedio de crecimiento es igual a la frecuencia de innovaciones multiplicada por el tamaño de la innovación (Aghion y Howitt, 2009, pág. 90). A pesar de que su limitación es la ausencia del capital fijo y el supuesto de que existen mercados financieros perfectos, lo cual no se ajusta con la realidad (Aghion & Howitt, 2009, págs. 99-100), la importancia del resultado de los modelos de segunda generación es la relevancia de la inversión en la educación, en especial, la de alto nivel.

A pesar de esto, la segunda generación de los modelos endógenos mantiene problemas en cuanto a la explicación del crecimiento económico. Según Sala-i-Martin (2010, pág. 186), en el modelo de Romer (1990) la externalidad en el sector I+D es lo que permite el crecimiento en el largo plazo

para un nivel de salarios. Esto se debe a que los costes en I+D disminuyen a medida que aumentan los bienes ya inventados<sup>6</sup>. Esta es la limitación del modelo, en donde al igual que en la primera generación de los modelos endógenos, los modelos AK, la tecnología como actividad productiva del sector I+D sigue siendo una externalidad. Y según Aghion y Howitt (2009, pág. 99), en el caso del modelo schumpeteriano, la limitación es la ausencia del capital, por lo que se aleja del criterio inicial de la existencia del capital como factor de producción y como uno de los “ingredientes” de la tecnología.

Si los modelos inician por el supuesto de que la tecnología es el motor del crecimiento económico y la construcción de los modelos se centra en explicar la tecnología, por obviedad, el resultado seguirá siendo que el crecimiento a largo plazo se genera por la tecnología (ya sea por variedad de productos o especialización de productos). La idea de Romer (1990, pág. 72) es que el cambio tecnológico da el incentivo para la acumulación continuada de capital, y la acumulación de capital y el cambio tecnológico permiten el incremento del producto por hora trabajada. Por esto, ya sea que se aumente la cantidad de variedad de productos o la calidad de estos, en la segunda generación de los modelos endógenos el crecimiento económico es el resultado de las innovaciones. Y aunque la tecnología sea asumida como una actividad de producción, en el caso del modelo de Romer (1990), sigue siendo una externalidad. Y en el caso del modelo de capital humano, según Jones (1995), la predicción de que el crecimiento económico se genera por el capital humano es contrafactual, ya que los resultados empíricos demuestran lo contrario: para el periodo de 1950 en Estados Unidos, aumenta el número de investigadores sustancialmente pero el crecimiento del país fue del 2% (Aghion y Howitt, 2009, pág. 74).

Por esto, los modelos endógenos de segunda generación continúan explicando el crecimiento económico por el cambio tecnológico, mas no por la acumulación del capital. También arrastran la deficiencia de los modelos de la primera generación al tratar el crecimiento económico y el cambio tecnológico en un único fenómeno debido a que, como indican Aghion y Howitt (2009, pág. 109), en los modelos no se puede separar la influencia de la innovación sobre la acumulación de capital.

La causa de tomar la idea de la tecnología como motor del crecimiento económico es la obstinación por demostrar el crecimiento económico a largo plazo, el estado estable y la convergencia. Aunque la evidencia empírica indica que no existe convergencia, esta hipótesis no proviene de la observación de la realidad, sino de un resultado teórico. Lo peculiar en estos modelos es que la coincidencia de la no demostración de la convergencia es lo que da validez a los modelos endógenos o, por lo menos, los mantiene en boga.

## II. IMPLICACIONES DEL TRATAMIENTO DE LA TECNOLOGÍA EN LA TEORÍA Y MODELOS NEOCLÁSICOS

Como se ha indicado, la tecnología en la teoría de crecimiento neoclásica es tratada de tres maneras: 1) como factor de producción en los modelos exógenos, 2) como una externalidad en la primera generación de los modelos endógenos y 3) como una actividad de producción en la segunda generación de los modelos endógenos. Estas formas de definir a la tecnología tienen como objetivo apoyar los planteamientos de la teoría neoclásica como la competencia perfecta y los rendimientos decrecientes de los factores, además de los resultados de la teoría de crecimiento: el estado estable y la convergencia, pero principalmente el crecimiento económico a largo plazo. Por esto, la manera en cómo se introdu-

ce la tecnología en los modelos y cómo va cambiando la definición conlleva a entender que esta es un mecanismo usado para demostrar tales planteamientos.

Por otro lado, aunque la tecnología es usada como un mecanismo, los modelos no logran explicar el crecimiento económico coherentemente al contrastar los planteamientos iniciales con los resultados. Esto se debe a que, en el caso de los modelos exógenos, la función de producción Cobb-Douglas se usa porque respalda matemáticamente los supuestos teóricos de la economía neoclásica. Pero, al no lograr demostrar el crecimiento a largo plazo, se modifica el supuesto de la tecnología y se llega al resultado esperado. Sin embargo, el supuesto de competencia perfecta constriñe el modelo, ya que la tecnología como factor de producción no tiene lugar dentro del sistema económico.

Luego, en el caso de la primera oleada de los modelos endógenos, aparentemente la modificación inicial del tipo de técnica usada para la producción –cabe recalcar que no está explicado el porqué de este cambio dentro del modelo– permite incluir a la tecnología y, por lo tanto, explicar el crecimiento económico dentro del enfoque neoclásico. Además de esto, se cambia la percepción de la tecnología al ser una externalidad, debido al supuesto de la no rivalidad y no exclusividad del conocimiento. Aun así, el supuesto de competencia perfecta no permite que la tecnología tenga participación en el modelo.

En la segunda oleada de modelos endógenos, además de que se cambia el supuesto de no rivalidad por uno parcialmente excluyente, se deja de lado el supuesto de competitividad y se introduce un mercado de competencia imperfecta para lograr de manera efectiva la endogeneidad del cambio tecnológico. También se da un cambio en la perspectiva de la teoría neoclásica, al empezar por la idea de que la tecnología es el corazón del crecimiento económico, como señala Romer (1990, pág. 74): “el crecimiento es conducido fundamentalmente por la acumulación

de un factor no rival parcialmente exclusivo”, lo que genera la complicación de que no se puede separar la influencia de la innovación sobre la acumulación de capital (Aghion & Howitt, 2009, pág. 109).

Por lo tanto, el resultado del crecimiento económico que se explica por medio del progreso tecnológico, generando que ambos fenómenos tengan un mismo comportamiento –y, por ende, sean lo mismo–, es un problema en los modelos exógenos y de la primera generación de los modelos endógenos y es lo que invalida a estos modelos. Esto se debe a que este resultado contradice el planteamiento de que el crecimiento económico es generado por la acumulación de capital. Sin embargo, en la segunda generación de los modelos endógenos, este resultado e inconveniente de los modelos exógenos y de la primera generación de los endógenos es un planteamiento inicial. De esta manera, la nueva teoría de crecimiento neoclásica no explica el crecimiento económico a partir de sus propios conceptos, sino que ajusta sus supuestos según las deficiencias de los modelos realizados, aunque se justifique como una adaptación de la teoría de crecimiento de acuerdo con lo observado.

## III. CONCLUSIONES

Este estudio de evolución del tratamiento de la tecnología dentro de la teoría del crecimiento neoclásico indica que la definición de la tecnología como variable en los modelos no se deriva de los propios fundamentos de la teoría, sino que se la define según las necesidades teóricas de los modelos para explicar el crecimiento económico. En el recorrido de la revisión de los modelos se encuentra que la definición de la tecnología se va modificando y tiene distintos papeles en la modelización. La teoría neoclásica introduce la tecnología en sus modelos de crecimiento explicándola de manera exógena –bajo la definición de factor de producción–, o endógena –como externalidad o actividad de producción por medio del aprendizaje por la práctica o inversiones en I+D–. Así, se cumple el objetivo planteado en este trabajo y se concluye que la tecnología es un me-

<sup>6</sup> En el modelo de Romer (1990) simplificado presentado por Sala-i-Martin (2010), el crecimiento a largo plazo es generado debido al supuesto de que el salario es igual al crecimiento.



canismo teórico para explicar el crecimiento económico y no tiene una definición precisa.

Por otro lado, el crecimiento económico neoclásico no es realmente explicado por las variables que inicialmente se plantearon –capital y trabajo–, sino que la tecnología es la variable que explica finalmente el crecimiento económico. Es evidente que las mejoras tecnológicas y la innovación producen mayor cantidad de bienes y, efectivamente, son las que impulsan el crecimiento económico, pero la tecnología no es la única que lo explica, tal como el resultado de los modelos lo indican.

Además, entendiendo que el crecimiento económico es el aumento en la producción de los bienes y servicios, y la tecnología está definida dependiendo del escenario planteado por los supuestos, la definición del crecimiento económico al estar subordinada por la definición de la tecnología, genera una confusión sobre el comportamiento de las dos variables. Es por esto que la teoría neoclásica del crecimiento económico no brinda una explicación útil para entender cuál es el papel de la tecnología dentro del crecimiento económico y cuál es la relación entre ambos fenómenos. Es más, lo particular en el tratamiento de la tecnología en los modelos es que las definiciones son usadas como vía de escape para llegar a los resultados planteados en la teoría.

Hay que tener en consideración que la teoría de crecimiento neoclásica brinda una aproximación al razonamiento del comportamiento del crecimiento económico mediante un método matemático amigable. Por esto, si el análisis del crecimiento económico bajo el lente neoclásico es tratado con cuidado, es decir, tomando en cuenta las críticas de coherencia interna y de consistencia, así como las advertencias de los mismos autores, puede ser útil para el inicio del estudio del crecimiento económico por la homogeneidad de su método y, sobretodo, para comprender los estudios realizados bajo esta teoría y las políticas económicas que son respaldadas por ella.

## BIBLIOGRAFÍA

### Referencias directas

- Aghion, P., & Howitt, P. (2009). *The economics of growth*. Princeton University Press.
- Barro, R., & Sala-i-Martin, X. (2004). *Economic Growth*. Inglaterra: MIT Press.
- Bidard, C., & Klimosvky, E. (2014). *Capital, salario y crisis*. México: Siglo XXI.
- Blaug, M. (1973). Cambio técnico y economía marxista. En D. Horowitz, *Marx y la economía moderna* (págs. 233-249). Barcelona: Laia.
- Cámara, S. (2008). Bienestar, actividad económica y cuentas nacionales. Reflexiones en torno al concepto de trabajo productivo. *Política y Sociedad*, 45(2), 151-167.
- Cámara, S. (2010). Producción, explotación, acumulación y reproducción. Un modelo macroeconómico básico de la teoría laboral del valor. En J. Mateo, & R. Molero, *Otra teoría económica es posible. Ensayos críticos de economía política* (págs. 257-289). Madrid: Popular.
- Heertje, A. (1984). *Economía y progreso técnico*. México: Fondo de Cultura Económica FCE.
- Romer, D. (2006). *Advanced Macroeconomics*. McGraw-Hill.
- Romer, P. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economic*, 71-102.
- Sala-i-Martin, X. (2000). *Apuntes de crecimiento económico*. España: Antoni Bosch Editor.
- Sen, A. (1970). *Economía de crecimiento*. México: Fondo de Cultura Económica .
- Solow, R. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.
- Solow, R. (1957). Technical change and aggregate production function. *The review of economics and statistics*, 312-320.

### Referencias indirectas

- Aghion, P., & Howitt, P. (1992). A model of growth through creative destruction. *Econometrica*, 323-351.
- Arrow, K. (1962). The economic implications of learning by doing. *Review of Economic Studies*, 155-173.
- Cass, D. (1965). Optimum growth in an aggregative model of capital accumulation. *Review of Economic Studies*, 233-240.

- Domar, E. (1946). Capital expansion, rate of growth and employment. *Econometrica*, 137-147.
- Grossman, G., & Helpman, E. (1991). *Innovation and growth in the global economy*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Harrod, R. (1939). An essay in dynamic theory. *Economic Journal*, 14-33.
- Koopmans, T. (1965). *On the concept of optimal economic growth*. Amsterdam.
- Lucas, R. (1988). On the mechanics of development planning. *Journal of monetary economics*, 3-42.
- Ramsey, F. (Dic., 1928). A mathematical theory of saving. *The Economic Journal*, 543-559.
- Rebelo, S. (Jun., 1991). Long-run policy analysis and long-run growth. *The Journal of Political Economy*, 500-521.

- Robinson, J. (1965). *Teoría económica y economía política*. España: Martinez Roca, S.A.
- Romer, P. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 1002-1037.
- Sheshinski, E. (1967). Optimal accumulation with learning by doing. En K. Shell, *Essays on the theory of optimal economic growth* (págs. 31-52). Cambridge, MA.: MIT Press.
- Swan, T. (1956). Economic growth and capital accumulation. *Economic Record*, 334-361.
- Uzawa, H. (1961). Neutral inventions and the stability of growth equilibrium. *Review of Economic Studies*, 18-31.
- Young, A. (1928). Increasing returns and economic progress. *Economic Journal*, 527-542.