

# Difusión de tecnologías y capital humano: perspectivas de análisis del crecimiento económico desde los países en desarrollo

*Technological diffusion and human capital:  
Possibilities for analyzing economic growth from developing countries*

Francisco Reyna Salazar

Facultad de Economía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM, México)

Correo electrónico: [franciscors@economia.unam.mx](mailto:franciscors@economia.unam.mx)

(Recibido: 16/05/2019. Aceptado para publicación: 03/02/2020)

DOI: [10.22201/fe.24484962e.2021.10.16.2](https://doi.org/10.22201/fe.24484962e.2021.10.16.2)

## RESUMEN

El presente trabajo expone las bondades del uso de la teoría de la difusión de tecnologías para el análisis del crecimiento económico, en especial para los países en desarrollo. Además, se discute la idea de que utilizando conjuntamente los marcos analíticos de la difusión tecnológica y de la teoría del capital humano se posibilita el análisis tanto de economías con altas dotaciones de capital y capacidad de generación de tecnologías propias como de aquellas con bajas dotaciones de capital y dependientes de los procesos de difusión tecnológica. La parte final del texto propone algunas vías para el abordaje de estos temas durante las labores docentes, de acuerdo con los planes de estudio existentes en la Facultad de Economía de la UNAM.

**Palabras clave:** difusión de tecnología, crecimiento económico, capital humano, productividad.

**Clasificación JEL:** O33.

## ABSTRACT

This paper exposes the benefits of using technological diffusion theory for the analysis of economic growth, especially for developing countries. Furthermore, this work set the idea that jointly using the analytical frameworks of technological diffusion and the human capital theory makes it possible to analyze both economies with high capital endowments and developed technological capabilities, as well as those with low endowments of capital and dependent on technological diffusion processes. The final part of the text proposes some ways to address these topics during our teaching tasks, in accordance with the existing syllabus at the UNAM School of Economics.

**Keywords:** Technological diffusion, economic growth, human capital, productivity.

**JEL Classification:** O33.

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo expone las bondades del uso de la teoría de la difusión de tecnologías para el análisis del crecimiento económico, en especial para los países en desarrollo. Además, se propone que la conjunción del marco analítico de la difusión de tecnologías con la teoría del capital humano posibilita el análisis tanto de las economías con altas dotaciones de capital y capacidad de generación de tecnologías propias, como de aquellas con bajas dotaciones de capital y dependientes de los procesos de difusión tecnológica.

En la segunda sección se presenta un panorama general de la teoría de la difusión de tecnologías para el análisis del crecimiento económico, basada en los postulados teóricos de Nelson y Phelps (1966), para discutir en la tercera sección las bondades del uso de dicho instrumental teórico y las posibles implicaciones en el análisis de los países en desarrollo.

En la cuarta sección se discute en torno a cómo se ha abordado, teórica y empíricamente, el concepto de capital humano a la par de analizar la importancia de esta variable en el análisis del crecimiento económico. En la quinta sección se argumenta que el uso del marco analítico de la difusión de tecnologías no es excluyente con la teoría moderna del capital humano; bajo este postulado se presenta una propuesta de cómo conjugar ambas teorías.

En la sexta sección se muestra cómo estos tópicos pueden tener implicaciones para la actualidad mexicana y se proponen algunas vías para el abordaje de estos temas durante las labores docentes, de acuerdo con los planes de estudio existentes en la Facultad de Economía de la UNAM. Para finalizar, en la séptima sección se presentan las conclusiones y algunas reflexiones finales.

## 2. LA TEORÍA DEL CRECIMIENTO Y LA CUESTIÓN ENDÓGENA

Con la publicación de los trabajos de Solow (1956 y 1957), los análisis en torno al estudio de los determinantes del crecimiento económico aumentaron considerablemente, tanto en número de publicaciones como en diversidad de enfoques. En este contexto, Nelson y Phelps (1966) presentan un modelo basado en dos críticas a la teoría del crecimiento neoclásica; la primera en torno a la concepción exógena del residuo de Solow; la segunda muestra un descontento por la consideración del factor L de una función de producción como único indicador del nivel de empleo, dado que se presta a suponer una sustitución perfecta entre trabajadores calificados y no calificados.

Para lidiar con la cuestión de la exogeneidad, los autores dan por ciertos los planteamientos de Gerschenkron (1962) en cuanto a la existencia de *spillovers* entre países dadas las ventajas del atraso y la industrialización tardía; de esta manera, plantean el concepto de la frontera tecnológica, establecida por la(s) economía(s) con el nivel más alto de productividad originado por el más alto nivel tecnológico vigente y del cual, dados los *spillovers* mencionados, los países menos desarrollados podrían beneficiarse por los procesos de difusión tecnológica. Nelson (1959) y Arrow (1962) conciben a la tecnología y el conocimiento como bienes públicos, por ende, son la base teórica para establecer que la tecnología podría fluir desde los países desarrollados hacia aquellos con productividades relativamente bajas.

La frontera tecnológica postula intrínsecamente la existencia de una brecha entre países, dada la distancia entre el nivel de productividad de cada economía respecto al del líder tecnológico. Según Nelson y

Phelps (1966), la convergencia entre niveles de productividad, que implica el cierre de esta brecha, depende del aprovechamiento de las ventajas del atraso que en el modelo que ellos proponen son función del capital humano:

$$g_{A_i} = \theta(h) \cdot \left( \frac{A_m - A_i}{A_i} \right)$$

donde el crecimiento de la productividad del país  $i$ ,  $g_{A_i}$ , está explicada por la brecha tecnológica  $((A_m - A_i)/A_i)$  que está en función del capital humano ( $h$ ) y que está compuesta por  $A_m$  que es el nivel de productividad en la frontera tecnológica y  $A_i$  que es el nivel tecnológico del país que se esté analizando.

El capital humano, aunque en principio no definido del todo por Nelson y Phelps, juega un doble papel, dado que es también utilizado para lidiar con la segunda crítica planteada en el modelo, pues los autores no lo consideran un factor dentro de la función de producción, sino que se establece como un determinante de la difusión de tecnologías, del residuo de Solow y, por ende, del crecimiento económico.

Así, el crecimiento económico de los países está mediado por el aumento de la productividad, el cual sucede a través de la difusión de tecnologías y, por tanto, los países más alejados de la frontera tecnológica tienen perspectivas altas de crecimiento económico dadas las ventajas del atraso.

Posteriormente, Benhabib y Spiegel (1994) dan continuidad a la propuesta de Nelson y Phelps con un modelo en esencia similar. El planteamiento general versa en torno a que los países con productividades cercanas a la frontera tecnológica pueden tener capacidad de generar tecnologías propias, en otras palabras, el crecimiento de sus productividades no depende únicamente de los procesos de

convergencia tecnológica. Entonces, la capacidad de innovación interna se suma al aprovechamiento de las ventajas del atraso, postulando dos mecanismos para el cierre de la brecha tecnológica y el aumento de la productividad, ambos nuevamente en función de la variable capital humano:

$$g_{A_i} = \tau(h) + \rho(h) \cdot \left( \frac{A_m - A_i}{A_i} \right)$$

La incorporación de la capacidad de innovación interna  $\tau(h)$  dentro de la función explicativa de la productividad tiene considerables consecuencias teóricas, por ejemplo, establece la posibilidad de que los países seguidores del líder tecnológico y que cuenten con una gran dotación de capital humano puedan superar la frontera tecnológica vigente, es decir, convertirse en los nuevos líderes.

Benhabib y Spiegel (2005) presentan en el *Handbook of Economic Growth* una ampliación de la propuesta teórica anterior, en la cual matizan algunos de sus postulados al incorporar una idea que parecía haber pasado desapercibida en los modelos de frontera tecnológica que plantean únicamente ventajas para los países que se encuentran comparativamente lejos de los líderes; los autores aceptan escenarios en los cuales la adopción de tecnologías es lenta o casi imposible para los países con productividades sumamente bajas. Existe entonces una desventaja en el atraso, postulado que en principio se contraponen a las ideas de Gerschenkron (1962), sustento del texto de Nelson y Phelps (1966).

Con la incorporación de un pequeño cambio en la forma funcional del modelo, Benhabib y Spiegel (2005) consiguen aumentar la capacidad explicativa de su teoría respecto a lo realizado en 1994. El modelo puede especificarse de la siguiente manera:

$$g_{A_i} = \tau(h) + \rho(h) \cdot \left( \frac{A_i}{A_m} \right) \cdot \left( \frac{A_m - A_i}{A_i} \right)$$

donde el crecimiento de la productividad del país  $i$ ,  $g_{A_i}$ , está explicado por dos factores:  $\tau$  que representa la capacidad de innovación nacional y  $\rho$  que es la posibilidad de adoptar tecnologías, ambas variables en función del capital humano ( $h$ ). Además,  $\rho$  interactúa tanto con la brecha tecnológica propuesta por Nelson y Phelps (1966) como con  $(A_i/A_m)$  que es un parámetro que muestra las dificultades de adoptar tecnologías si la diferencia entre  $A$  y  $T$  es muy grande, haciendo que el aporte de  $\rho(h)$  sea muy pequeño.

En el fondo, la segunda propuesta de Benhabib y Spiegel (2005) plantea un debate acerca de la difusión de tecnologías diferenciada entre países dependiendo de la distancia con la brecha tecnológica. Un pequeño cambio en la forma funcional abre la posibilidad de discutir teóricamente algunos fenómenos en torno al crecimiento económico.

### 3. EL ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO Y LA CUESTIÓN DE LOS PAÍSES EN DESARROLLO

Hablar de generación y difusión de tecnologías presupone el entendimiento de estos procesos como fenómenos dinámicos y realizados en sistemas abiertos (Lundvall, 2017). Esto tiene repercusiones en el uso de los modelos de frontera tecnológica para el análisis del crecimiento de los países, pues puede representar algunas bondades frente al análisis del crecimiento desde la economía *mainstream*. La mención de dos aspectos puede sintetizar esta idea.

El primero se refiere a la cuestión de la temporalidad y el entendimiento del fenómeno de generación y difusión de tecnolo-

gías como un proceso dinámico. El concepto de frontera tecnológica, desde su aparición en el pensamiento económico, hace referencia a un proceso acumulativo y dinámico, por ende, el análisis del crecimiento desde esta perspectiva está completamente alejado de cualquier noción de equilibrio estático.

Por otra parte, la concepción de estos fenómenos dentro de un sistema abierto implica el entendimiento de la frontera tecnológica y la difusión de tecnologías como conceptos y fenómenos globales. Lo anterior implica que los modelos basados en el análisis de la frontera tecnológica se desmarcan del uso del nacionalismo metodológico que está inserto en los modelos neoclásicos diseñados para economías donde para poder igualar al ahorro con la inversión se precisa de una economía sin sector externo ni gobierno; en este tipo de modelos, el fenómeno del crecimiento económico de una economía no queda limitado a lo que se realiza internamente.

Además, las ventajas en el uso de este instrumental teórico parecen aún mayores cuando nos referimos específicamente a los países en desarrollo. El marco analítico propuesto por los autores ofrece la posibilidad de analizar desde esta perspectiva tanto a economías con altos niveles de productividad (en la frontera tecnológica o cercanos a la misma), de países en procesos de convergencia, como a economías en trampas de pobreza ocasionadas por bajos niveles de productividad; con el modelo de Benhabib y Spiegel (2005) es posible conceptualizar fenómenos como la no convergencia de países de renta baja con los países de renta alta que describen Basu y Weil (1998), algo que en principio escapa a las propuestas teóricas de Nelson y Phelps (1966) y Benhabib y Spiegel (1994).

Para el análisis del crecimiento de los países de renta media-baja, la teoría de la

difusión de tecnologías y el crecimiento económico se presenta como una alternativa frente a la teoría ortodoxa del crecimiento que plantea la convergencia de largo plazo y también frente a las propuestas de la llamada teoría del crecimiento endógeno (los modelos de Romer, 1986 y Lucas, 1988, por ejemplo), pues ambas suelen ofrecer descripciones precisas de países de renta alta o media-alta, con características específicas, como mayor productividad respecto a los países en desarrollo, sistemas de investigación y desarrollo consolidados y altas dotaciones de capital.

#### 4. LA CUESTIÓN DEL CAPITAL HUMANO

El modelo de Benhabib y Spiegel (2005) presentado en la sección anterior incluye un ejercicio empírico en el cual muestran, a través de un modelo logit, cuál es la dotación crítica de capital humano a partir de la cual los procesos de convergencia en la productividad pueden o no ocurrir; el stock de esta variable se estima únicamente mediante los años de estudio promedio de la población mayor a 25 años. Aunque en esencia la variable proxy “años de estudio” es cercana a las nociones seminales de capital humano propuestas por Nelson y Phelps (1966), su uso implica algunas contradicciones teóricas e inconsistencias con la evidencia empírica.

En principio, como ya se mencionó, la propuesta de la difusión de tecnologías para el análisis del crecimiento económico debate con la aceptación de la homogeneidad en las habilidades de los trabajadores al utilizar el factor  $L$  en una función de producción. Si se sigue esta misma lógica, al tomar a los años de estudio como único indicador del nivel de capital humano se asume que un año de estudio es equivalente a otro en cualquier institución; en concreto, se supone una ho-

mogeneidad entre las estructuras y los niveles educativos en todo el mundo. Por otra parte, aunque se dejara de lado la contradicción con la lógica argumentativa de Nelson y Phelps (1966), la homogeneidad entre los niveles educativos de los países no encuentra sustento en la evidencia empírica,<sup>1</sup> por lo cual es un supuesto por demás endeble.

La evidencia empírica es clara al mostrar la relación entre el logro educativo y el crecimiento económico, los estudios de Barro (1991) y Barro y Lee (1993) señalan una correlación positiva entre el acervo de capital humano (medido por los años de estudio promedio de la población) y el crecimiento económico. La cuestión es que además de este tipo de mediciones relacionadas con el logro educativo, existe un amplio cúmulo de estudios que, utilizando otras variables proxy, muestran la influencia del capital humano en el crecimiento económico, por lo que se puede inferir que estas variables pueden ser usadas de manera conjunta con el logro educativo.

Por ejemplo, el mismo Barro (2013) distingue entre la variable “cantidad de educación”, medida por los años de estudio promedio en distintos niveles académicos, y la variable “calidad educativa”, en la cual incorpora resultados de pruebas estandarizadas que, de acuerdo con el análisis del autor, tiene correlación positiva con el crecimiento económico. Otros autores llegan a conclusiones

.....  
<sup>1</sup> El Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos (PISA, Programme for International Student Assessment) de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) ha mostrado durante varios años las grandes diferencias existentes entre los niveles educativos de los países analizados. Más aún, los resultados de la misma prueba muestran que, incluso dentro de las mismas economías, si se divide a los países por zonas, no puede hablarse de una homogeneidad total entre la calidad educativa de las distintas instituciones existentes.

similares, por ejemplo, Hanushek y Kimko (2000), Coulombe, Tremblay y Marchand (2004), Hanushek y Wößmann (2007) y Hall (2017), ofrecen un sustento más sólido de la relación entre los resultados de las pruebas estandarizadas de calidad educativa y el desempeño económico.

Además de las variables estrictamente relacionadas con la educación, existen algunas otras características que podrían ser incorporadas en el análisis del crecimiento económico a través del capital humano. Según lo que Stiglitz y Greenwald (2015) postulan como *determinantes del aprendizaje*, existen algunas otras características atribuibles al stock de capital humano y que podrían influir en la difusión (y generación) de tecnologías. Por ejemplo, analizada desde diversos enfoques, la estructura etaria puede influir en el stock de capital humano. Primero, como plantean Stiglitz y Greenwald (2015), una población relativamente joven podría tener mayores capacidades y disposición para adoptar nuevo conocimiento. Si bien la “disposición” puede ser un tanto subjetiva, puede asumirse que las capacidades de aprendizaje son mayores en poblaciones más jóvenes, y que es factible asumir que poseen mayor propensión a la adquisición de conocimientos. Se puede llegar a este postulado por distintas vías, que se abordan brevemente a continuación.

Por un lado, algunos estudios como el de Craik y Byrd (1982) abren la posibilidad de que no sólo el envejecimiento biológico sino el alejamiento de las actividades más productivas puedan mermar las capacidades cognitivas de las personas. Este enfoque también es usado por Hultsch *et al.* (1999). Por otro lado, desde un punto de vista puramente económico, la propuesta de Becker (1964) postula que las personas, ante una incertidumbre sobre sus ingresos futuros, deciden realizar una inversión en educación,

pensando en la posibilidad de obtener mayores rendimientos en el largo plazo; en este sentido, las personas jóvenes podrían tener un mayor periodo de retorno de inversión respecto a las personas mayores.

Otro punto que puede considerarse es la obsolescencia de capacidades cognitivas, conocimientos y habilidades, que ha sido analizada desde varios enfoques, donde resaltan el texto de Gorlich y de Grip (2007), quienes estudian la depreciación del capital humano por cuestiones familiares y de envejecimiento, y el trabajo de Alders (2005), que propone que el capital humano sufre una depreciación a una determinada tasa que tiene origen en la generación de nuevas tecnologías.

Dejando atrás la estructura etaria, la salud de la población también podría ser tomada en cuenta para medir el stock de capital humano; la buena condición física de las personas podría influir en sus capacidades dentro de la actividad productiva y su papel en la adopción de tecnologías.

En la literatura comúnmente se han utilizado las variables proxy de esperanza de vida y de mortalidad infantil para medir la variable “salud”. El trabajo de Barro (1996) nos ayuda a entender la importancia de dicha variable en el desempeño económico, además de enfatizar que usar cualquiera de los dos proxys ya mencionados puede arrojar resultados similares.

## 5. ¿UNA PROPUESTA TEÓRICA CONJUNTA?

Nelson (2005) divide a los modelos teóricos de crecimiento que utilizan al capital humano como variable explicativa en dos categorías, las teorías de la acumulación y las teorías de la asimilación. Las primeras conciben un efecto directo del capital humano en la productividad del trabajo, lo

que implica que la inversión que se realiza en dicha variable es un detonante del crecimiento económico. Dentro de esta categoría pueden encontrarse los modelos neoclásicos de crecimiento y algunas de las propuestas de la teoría del crecimiento endógeno.

En la segunda categoría convergen dos ideas fundamentales; por una parte, la concepción schumpeteriana de la innovación tecnológica como un proceso de índole económica y la importancia del conocimiento para la generación de nuevos productos y mercados; por otra, las propuestas teóricas relacionadas con las derramas de conocimiento y tecnologías que pueden darse desde los países considerados líderes tecnológicos hacia economías menos desarrolladas. Las teorías de la difusión tecnológica ya mencionadas son ejemplo de esta segunda categoría.

Ahora bien, la mayoría de los estudios que utilizan variables proxy distintas al logro educativo para medir el stock de capital humano se realizan bajo la lógica de las teorías de la acumulación, según la taxonomía de Nelson. Sin embargo, ya se mostró que las teorías de la asimilación, y en específico la teoría de la difusión de tecnologías, pueden ofrecer distintas alternativas de análisis que se ajustan de mejor manera a las problemáticas de los países en desarrollo. Por lo tanto, la incorporación de distintas mediciones de capital humano, bajo el marco de análisis de Benhabib y Spiegel (2005) puede brindar profundidad teórica y certeza empírica a nuevos análisis de crecimiento económico.

En estricto sentido, esto último se ha desarrollado desde el plano empírico. Ahmed y Messinis (2009), por ejemplo, muestran que existe un desfase entre la amplitud teórica del modelo propuesto por Benhabib y Spiegel y la simpleza existente en el uso de los años de estudio como único concepto para comprender al capital humano, por ello,

mediante un ejercicio de datos panel, incorporan resultados de pruebas estandarizadas para referirse a la calidad de la educación y, cuando intentan referirse a las capacidades cognitivas de una economía, realizan investigación bibliométrica con variables como producción de libros e investigación científica por país.

El aporte de Ahmed y Messinis (2009) muestra que empíricamente es posible incorporar conceptualizaciones de capital humano más robustas dentro del marco de análisis de la difusión de tecnologías; en el presente texto se profundiza la cuestión al argumentar que la discusión debe y puede iniciar incluso desde el plano teórico, dado que los supuestos básicos del modelo lo permiten y la formulación matemática del mismo no impide la incorporación de nuevas variables.

En específico, la utilización de concepciones alternas de capital humano no altera las condiciones de largo plazo resultantes del modelo. Benhabib y Spiegel (2005) plantean la siguiente ecuación:

$$\frac{\dot{A}_i}{A_i(t)} = \tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t)) \left( \frac{A_i(t)}{A_m(t)} \right) \left( \frac{A_m(t) - A_i(t)}{A_i(t)} \right)$$

que es la ecuación diferencial que corresponde a la forma funcional ya presentada.

Ahora, para obtener la solución de la ecuación anterior es necesario establecer cada uno de los  $H_i$ 's como fijos,<sup>2</sup> con la única condición de que se verifique que  $H_m > H_i$  lo que evidentemente es consistente con la

.....

<sup>2</sup> Aun cuando a los  $H_i$  fueran también función del tiempo, podría encontrarse una solución a la ecuación diferencial, sin embargo, este proceso sería mucho más complejo; deberían usarse métodos computacionales y un cambio de variable, como muestran Benhabib y Spiegel (2005).

teoría. La solución de la ecuación anterior nos lleva a:<sup>3</sup>

$$A_i(t) = \frac{A_i(0)e^{(\tau_i + \rho_i)t}}{\left( \left( 1 + \frac{A_i(0)}{A_m(0)} \right) - \left( \frac{\rho_i}{\rho_i + \tau_i - \tau_m} \right) \left( e^{(\rho_i + \tau_i - \tau_m)t} - 1 \right) \right)}$$

Al llegar aquí es posible dividir a los países analizados en dos categorías haciendo una comparación con la capacidad de generación de tecnologías propias del líder tecnológico  $\tau_m$ : aquellos que tienen un aporte a la productividad desde el *catching-up*  $\tau$  que, sumado a la capacidad de generación de tecnologías propias  $\rho$ , es mayor a  $\tau$ , es decir,  $\rho_i + \tau_i - \tau_m > 0$ ; y un segundo grupo de países que se encuentran en la situación contraria, tal que  $\rho_i + \tau_i - \tau_m < 0$ . En concreto, los países que sí generan y adoptan más tecnología que la generada por el líder y los que no.

Ya establecidos los dos grupos de países es posible resolver el  $\lim_{t \rightarrow \infty} A_i(t)/A_m(t)$  haciendo las sustituciones para cada caso y así encontrarse las condiciones de largo plazo para cada desigualdad;<sup>4</sup> la convergencia o el estancamiento.

Sin embargo, debemos recordar que Benhabib y Spiegel (2005) asumen a los  $H_i$ 's (e implícitamente  $\tau$  y  $\tau$  también) como fijos, aunque, para el análisis de las condiciones de largo plazo y en la búsqueda de un stock específico de capital humano que permita la difusión tecnológica, esto ya no es estrictamente necesario y puede proponerse un cambio.

Como se mostró, la evidencia empírica muestra que los años de estudio importan en el desempeño económico de largo plazo, tal como lo hace la calidad educativa, la edad y la salud de las personas, dadas las implicaciones relacionadas con la adopción de tecnologías y el aprendizaje. Por ende, puede proponerse un índice de capital humano, distinto al  $H_i$  fijo de Benhabib y Spiegel (2005), para analizar la difusión de tecnologías. Por ejemplo:

$$H_i = \alpha_i \cdot \left( \frac{C_i}{C_q} \right) \cdot \left( \frac{E_r}{E_i} \right)$$

donde  $\alpha_i$  sea la escolaridad promedio de las personas del país  $i$ , que se encuentra multiplicado por  $(C_i/C_q)$ , que describe la relación comparativa entre la calidad educativa del país de análisis  $i$ , y el país con mayor calidad educativa  $q$ . A su vez,  $(E_r/E_i)$  representa una comparación entre la estructura etaria del país de análisis  $i$  y el país con población más joven  $r$ .<sup>5</sup>

La ecuación inicial,

$$\frac{\dot{A}_i}{A_i(t)} = \tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t)) \left( \frac{A_i(t)}{A_m(t)} \right) \left( \frac{A_m(t) - A_i(t)}{A_i(t)} \right)$$

donde  $H_i$  queda fijo, queda inalterada en principio, pero, contrario a lo que podría inferirse al utilizar el marco de análisis de Benhabib y Spiegel (2005), al realizar el análisis de largo plazo y plantear el capital hu-

<sup>3</sup> Benhabib y Spiegel (2005) dan por obvia la resolución de la ecuación, sin embargo, para el entendimiento de la discusión total del texto, se anexa la resolución detallada de la misma en un apéndice final.

<sup>4</sup> En el caso de que  $\rho_i + \tau_i - \tau_m = 0$ , la evaluación del límite nos lleva a cero, por ello el acotamiento de  $\rho_i + \tau_i - \tau_m < 0$  y  $\rho_i + \tau_i - \tau_m > 0$  en la resolución de la ecuación.

<sup>5</sup> Sabiendo que la edad promedio de las personas ofrece información tanto de la capacidad de aprendizaje como de la obsolescencia del stock de conocimientos, se utiliza el supuesto de que la variable de la estructura etaria puede arrojar la información necesaria contenida en aquella de la salud de las personas; de esta manera, y apelando a la parsimonia, sólo se utiliza la primera.



mano de esta forma, dos países con niveles de productividad similares y con poblaciones con los mismos años de estudio promedio, no necesariamente encontrarán los mismos niveles de crecimiento en el largo plazo.

Esta conceptualización teórica del capital humano da pie a explicar algunos fenómenos del proceso económico de especial importancia para los países en desarrollo. Por ejemplo, podría explicarse cómo es que países con intensos procesos de alfabetización e incrementos en las matrículas escolares (no necesariamente respaldados por esfuerzos enfocados en la calidad de la enseñanza) no han registrado procesos de crecimiento económico sostenido. Por otra parte, es posible ofrecer argumentos en torno a cómo el bono demográfico de las economías puede verse mermando dada la estructura, cuantitativa y cualitativa, de la educación del país en cuestión.

## 6. ¿POR QUÉ Y CÓMO INCLUIR ESTOS TÓPICOS EN NUESTROS CURSOS?

El análisis del estancamiento económico en México (en términos del crecimiento del producto) de las últimas tres décadas es posiblemente uno de los temas más importantes dentro de la agenda de investigación del economista (y estudiante de economía) mexicano.

Una parte de la evidencia empírica da sustento a la postura de Ros (2013), sobre que el capital humano no juega un papel importante en el estancamiento mexicano, dado que la población ocupada actual, que en su mayoría forma parte de la generación con mayor logro educativo (años de estudio promedio) en la historia de México, ha conseguido un crecimiento económico casi nulo durante tres décadas.

Entonces, el modelo aquí propuesto cobra relevancia en el contexto económico actual, dado que puede ofrecer conjeturas teóricas

en torno a la paradoja del capital humano mexicano dado que, si bien el componente del logro académico dentro del índice propuesto es importante, al no postular la unicidad del mismo dentro de la descripción de la variable, una población ocupada con una mayor escolaridad, no tiene por qué verse reflejada siempre e inequívocamente en altas tasas de crecimiento económico.

La propuesta de teoría que brinde fundamento a la discusión de la realidad observable posibilita la formulación de preguntas de investigación y la construcción de ejercicios empíricos. A su vez, la contrastación empírica de los postulados teóricos aquí propuestos puede desencadenar en propuestas de política para incentivar el crecimiento de los países en desarrollo.

Específicamente, con la teoría aquí presentada pueden establecerse debates en torno a la calidad del sistema educativo mexicano, la heterogeneidad de la educación en las escuelas en todas las regiones del país y las implicaciones de lo anterior en el crecimiento económico mexicano a través de la difusión (o dificultad para la difusión) de tecnologías; esta discusión cobra relevancia en el marco de los procesos de reforma y contrarreforma educativa de la última década.

En este sentido, resulta recomendable el acercamiento de los tópicos de tecnología, conocimiento y difusión a los alumnos de la Facultad de Economía, en principio, por las implicaciones para el caso mexicano. Además, lo anterior resulta aún más necesario por la importancia de estos temas en la actualidad de la ciencia económica. Paul Romer recibió en 2018 el Premio en Ciencias Económicas en memoria de Alfred Nobel por sus aportes en torno a la discusión del progreso tecnológico como un componente endógeno al proceso económico, además, el análisis de la tecnología y el *aprendizaje* relacionados

con el crecimiento económico es cada vez más una constante en la agenda de investigación de los economistas de diferentes corrientes teóricas (Stiglitz y Greenwald, 2015).

Una manera de incorporar estos temas en primeros semestres es mediante la discusión en torno a si el conocimiento y la tecnología son “bienes públicos”. En ese nivel, el alumno promedio conoce los conceptos de *rivalidad* y *exclusión* desde primer semestre y puede, desde este punto, comenzar a conceptualizar la forma en que estos dos elementos intervienen en el proceso productivo. En este mismo sentido, el concepto de *rendimientos decrecientes* aparece también en la mayoría de los cursos de Introducción a la Teoría Económica, lo cual posibilita presentar al conocimiento como un insumo que, bajo algunas condiciones, podría enfrentar *rendimientos crecientes*. De esta manera, el estudiante puede conceptualizar la importancia del conocimiento en el proceso productivo, además de que la exposición de conceptos teóricos opuestos facilita la asimilación de ideas complejas.

Estas dos discusiones pueden extrapolarse a los últimos semestres del núcleo terminal, por ejemplo, al estudiar formas funcionales puede discutirse si en determinado cúmulo de países o regiones la tecnología se difunde de manera exponencial (tipo Gerschenkron) o más bien de manera logística (a la Abramovitz).

Para los semestres finales, en las asignaturas de corte macroeconómico, o que hagan referencia a la teoría del crecimiento, habrá una mención obligada a los orígenes de esta rama de la economía con los textos seminales de Robert Solow. Estas sesiones podrían ir seguidas de la mención del análisis del residuo de Solow y los intentos por hacerlo explicarlo; uno de ellos, la teoría de la difusión tecnológica.

Ninguna de estas tres menciones se aparta de los temas de los planes de estudio y, si se lleva con cuidado, los conocimientos que los alumnos debiesen tener hasta ese punto serán suficientes para entender la generalidad de la discusión y, más aún, comenzar a reconocer al progreso tecnológico como lo que hasta hoy se sabe que es: un proceso endógeno, el motor del crecimiento económico y, posiblemente, el fenómeno de estudio más relevante de la época.

## 7. CONCLUSIONES

Dado que se mostró que la teoría de la difusión de tecnologías no es excluyente con el uso de distintas propuestas teóricas y mediciones de la variable capital humano; entonces, la propuesta formulada encuentra fundamentos teóricos sólidos. Libradas las cuestiones teóricas, la parte matemática no presenta dificultad alguna por el tipo de solución utilizada. Con estos dos elementos, es válido proponer un cambio en la forma funcional del modelo para explicar otro tipo de fenómenos.

Al recapitular el desarrollo de la teoría de la difusión de tecnologías puede constatare la forma en que pequeños cambios dentro de la forma funcional de los modelos explican fenómenos cada vez más complejos. A la propuesta seminal de Nelson y Phelps (1966), que planteaba el crecimiento de la productividad a través de *spillovers*, se añadió el término  $\tau$  para analizar también la generación de tecnologías propias. En un modelo posterior, con la introducción del componente  $A_i/A_m$  se viabiliza la explicación de la no adopción tecnológica y del estancamiento.


De allí la importancia de la propuesta acerca de concebir al stock total de capital humano como  $H_i = \alpha_i \cdot (C_i/C_q) \cdot (E_r/E_i)$ , dado que permite formular hipótesis para

responder a fenómenos que en principio no encuentran respuesta bajo la lógica de la difusión tecnológica.

Iniciar el análisis y las conjeturas desde el plano teórico abstracto puede dar mayor certeza a posteriores ejercicios empíricos e hipótesis propuestas. Lo anterior es de vital importancia para los países en desarrollo, el caso mexicano incluido, dado que el grueso del análisis del crecimiento (y estancamiento) económico se fundamenta en el uso de teorías diseñadas desde (y para) economías con altas dotaciones de capital y algunas otras peculiaridades no siempre presentes en los países de renta media o baja.

Es plausible esperar que, al utilizar bases teóricas más cercanas a los procesos de crecimiento de los países en desarrollo, los ejercicios empíricos resultantes sean más ciertos. En este sentido, los análisis empíricos posteriores motivados por este texto podrán validar la existencia de fenómenos de *catching-up* diferenciados entre países, esta vez en función del stock total de capital humano.

La validación de estos postulados es de especial relevancia para los países en desarrollo, dado que puede dar luz en torno a trampas de pobreza que tienen origen en la tecnología y el capital humano; el entendimiento de estos fenómenos puede traducirse en propuestas de política en la búsqueda del crecimiento sostenido.

Por último, el abordaje de estos tópicos dentro de las aulas en la Facultad de Economía se encuentra acotado casi por completo al nivel posgrado, específicamente para estudiantes cuyo tema de investigación los lleva a estar adscritos al área terminal de Economía de la Tecnología y, en específico, al Seminario de Economía y Administración de la Ciencia y la Tecnología. Existe, entonces, una real necesidad de incorporar estas temáticas a nuestra labor académica, dado que la relevancia del tema lo demanda y los elementos existentes en los planes de estudio (el vigente y el que se encuentra en proceso de aprobación) así lo posibilitan. 

## REFERENCIAS

- Ahmed, A. y Messinis, G. (2009). *Human capital, innovation and technology diffusion* [CSES Working Paper no. 43]. Disponible a través de: SSRN, <<https://ssrn.com/abstract=1487951>>.
- Alders, P. (2005). Human capital growth and destruction: The effect of fertility on skill obsolescence. *Economic Modelling*, 22(3), pp. 503-520. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2004.09.001>
- Arrow, K. (1962). Economic welfare and the allocation of resources for invention. En: R. Nelson (ed.), *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors* (pp. 609-625). Estados Unidos: Princeton University.
- Barro, R. (1991). Economic growth in a cross section of countries. *The Quarterly Journal of Economics*, 106(2), pp. 407-443.
- Barro, R. (1996). *Determinants of economic growth: A cross-country empirical study* [NBER Working Paper no. w5698]. National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.
- Barro, R. (2013). Education and economic growth. *Annals of Economics and Finance*, 14(2), pp. 301-328.

- Barro, R. y Lee, J. (1993). International comparisons of educational attainment. *Journal of Monetary Economics*, 32(3), pp. 363-394.
- Basu, S. y Weil, D. (1998). Appropriate technology and growth. *Quarterly Journal of Economics*, 113(4), pp. 1025-1054. <https://doi.org/10.1162/003355398555829>
- Becker, G. (1964). *Human capital: A theoretical and empirical analysis with special reference to education*. Nueva York: National Bureau of Economic Research.
- Benhabib, J. y Spiegel, M. (1994). The role of human capital in economic development: Evidence from aggregate cross-country data. *Journal of Monetary Economics*, 34, pp. 143-173.
- Benhabib, J. y Spiegel, M. (2005). Technological diffusion and economic growth. En: P. Aghion y S. Durlauf (eds.), *Handbook of Economic Growth*. Amsterdam: Elsevier.
- Coulombe, S., Tremblay, J. y Marchand, S. (2004). *Literacy scores, human capital and growth across fourteen OECD countries*. Ottawa: Statistics Canada.
- Craik, F. y Byrd, M. (1982). Aging and cognitive deficits. En: F.I.M. Craik y S. Trehub (eds.), *Aging and Cognitive Processes* (pp. 191-211). Boston, MA: Springer.
- Gerschenkron, A. (1962). *Economic Backwardness in Historical Perspective*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Gorlich, D. y de Grip, A. (2007). *Human capital depreciation during family-related career interruptions in male and female occupations* [Kiel Working Paper no. 1379]. Kiel Institute for the World Economy, Alemania. <https://doi.org/10.26481/umaror.2007007>
- Hall, J. (2017). Educational quality matters for development: A model of trade, inequality, and endogenous growth. *Eastern Economic Journal*, 43(1), pp. 128-154. <https://doi.org/10.1057/eej.2015.40>
- Hanushek, E. y Kimko, D. (2000). Schooling, labor-force quality, and the growth of nations. *American Economic Review*, 90(5), pp. 1184-1208. [en línea] Disponible a través de: JSTOR, <<https://www.jstor.org/stable/2677847>>.
- Hanushek, E. y Wößmann, L. (2007). *The role of school improvement in economic development* (NBER Working Paper no. w12832). National Bureau of Economic Research, Cambridge, MA.
- Hultsch, D., Hertzog, C., Small, B. y Dixon, R. (1999). Use it or lose it: Engaged lifestyle as a buffer of cognitive decline in aging? *Psychology and Aging*, 14(2), pp. 245-263. <https://doi.org/10.1037//0882-7974.14.2.245>
- Lucas, R. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22, pp. 3-42.
- Lundvall, B.A. (2017). *The Learning Economy and the Economics of Hope*. Nueva York, NY: Anthem Press. [en línea] Disponible a través de: JSTOR, <<http://www.jstor.org/stable/j.ctt1hj9zjd>>
- Nelson, R. (1959). The simple economics of basic scientific research. *Journal of Political Economy*, 67(3), pp. 297-306.
- Nelson, R. (2005). *Technology, Institutions and Economic Growth*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

- Nelson, R. y Phelps, E. (1966). Investment in humans, technological diffusion and economic growth. *American Economic Review*, 56, pp. 69-75. [en línea] Disponible a través de: JSTOR, <<https://www.jstor.org/stable/1821269>>.
- Romer, P. (1986). Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 94, pp. 1002-1037. [en línea] Disponible a través de: JSTOR, <<https://www.jstor.org/stable/1833190>>.
- Ros, J. (2013). *Algunas tesis equivocadas sobre el estancamiento económico de México*. México: El Colegio de México AC.
- Solow, R. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70(1), pp. 65-94. <https://doi.org/10.2307/1884513>
- Solow, R. (1957). Technical change and the aggregate production function. *Review of Economics and Statistics*, 39, pp. 312-320. <https://doi.org/10.2307/1926047>
- Stiglitz, J. y Greenwald, B. (2015). *La creación de una sociedad del aprendizaje*. México: Crítica.

## APÉNDICE

El crecimiento en el tiempo de la productividad  $\dot{A}_i$  se explica con la siguiente ecuación:

$$\frac{\dot{A}_i}{A_i(t)} = \tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t)) \left( \frac{A_i(t)}{A_m(t)} \right) \left( \frac{A_m(t) - A_i(t)}{A_i(t)} \right)$$

Que análogamente puede ser visto como:

$$\frac{\dot{A}_i}{A_i(t)} = \tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t)) \left( \frac{A_i(t)}{A_m(t)} \right) \left( \frac{A_m(t)}{A_i(t)} - 1 \right)$$

Para despejar  $\dot{A}_i$  multiplicamos el lado izquierdo de la función por  $A_i(t)$ :

$$\dot{A}_i = \tau(H_i(t))A_i(t) + \rho(H_i(t)) \left( 1 - \frac{A_i(t)}{A_m(t)} \right) A_i(t)$$

Desarrollando con álgebra simple:

$$\dot{A}_i = ((\tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t)))A_i(t)) - \left( \frac{\rho(H_i(t))}{A_m(t)} \right) A_i^2(t)$$

Y restando  $\tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t))A_i(t)$  en ambos lados:

$$\dot{A}_i - ((\tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t)))A_i(t)) = - \left( \frac{\rho(H_i(t))}{A_m(t)} \right) A_i^2(t)$$

Para darnos cuenta de que es una ecuación diferencial no lineal con una posible solución de Bernoulli. Por ello se divide ambos lados entre  $A_i^2(t)$  para poder linealizar. Esto nos lleva a:

$$\frac{\dot{A}_i}{A_i^2(t)} - ((\tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t)))A_i(t)) = - \left( \frac{\rho(H_i(t))}{A_m(t)} \right)$$

Usando el cambio de variable. Sea:

$$\mu = \frac{1}{A_i(t)}$$

Y tomando la primera derivada:

$$\frac{d\mu}{dt} = \frac{A_i(t)}{A_i^2(t)}$$

Y sustituyendo en la ecuación anterior:

$$-\frac{d\mu}{dt} - ((\tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t)))\mu) = - \left( \frac{\rho(H_i(t))}{A_m(t)} \right)$$

Y multiplicando por  $-1$  en cada lado:

$$\frac{du}{dt} - ((\tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t)))u) = \left( \frac{\rho(H_i(t))}{A_m(t)} \right)$$

Y usando el método de factor integrante para ecuaciones diferenciales exactas:

$$e^{\int [\tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t))] dt}$$

Verificando que:

$$\left[ e^{\int [\tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t))] dt} u \right]' = \left( \frac{\rho(H_i(t))}{A_m(t)} \right) e^{\int [\tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t))] dt}$$

Lo cual resulta ser:

$$e^{\int [\tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t))] dt} u = u_0 + \int \frac{\rho(H_i(t))}{A_m(t)} e^{\int [\tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t))] dt} dt$$

Y llegando a la solución:

$$u = u_0 + \int \frac{\rho(H_i(t))}{A_m(t)} e^{\int [\tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t))] dt} dt \cdot e^{-\int [\tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t))] dt}$$

Que resolviendo tanto la integral como la multiplicación y recordando el cambio de variable  $u = 1/A_i(t)$ , nos lleva a la solución de la ecuación logística de difusión de tecnologías:

$$A_i(t) = \frac{A_i(0)e^{(\tau_i + \rho_i)t}}{\left( \left( 1 + \frac{A_i(0)}{A_m(0)} \right) - \left( \frac{\rho_i}{\rho_i + \tau_i - \tau_m} \right) \left( e^{(\rho_i + \tau_i - \tau_m)t} - 1 \right) \right)}$$