



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE POSGRADO EN ECONOMÍA
FACULTAD DE ECONOMÍA ♦ DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ECONOMÍA DE LA TECNOLOGÍA

Un modelo de crecimiento endógeno: capital humano y difusión de tecnologías.

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

Maestro en Economía

PRESENTA:

Francisco Reyna Salazar

TUTOR:

Dr. Mario Alberto Morales Sánchez

Facultad de Economía, UNAM

MIEMBROS DEL JURADO:

Dra. Seyka Verónica Sandoval Cabrera

Facultad de Economía, UNAM

Dra. Marcela Amaro Rosales

Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM

Dr. Héctor Eduardo Díaz Rodríguez

Facultad de Economía, UNAM

Dr. Santiago Capraro Rodríguez

Facultad de Economía, UNAM

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., octubre de 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos institucionales.

Este trabajo es producto del apoyo recibido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través del Programa de Becas Nacionales del Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC).

Agradezco al Dr. Mario Alberto Morales Sánchez, por la dirección del presente trabajo. Por su disposición sin condiciones, la atención oportuna a cada una de mis dudas y el apoyo en rubros más allá de lo académico.

A los miembros del jurado; a las Dras. Marcela Amaro Rosales y Seyka Verónica Sandoval Cabrera, quienes durante mis estudios de maestría conocieron mi trabajo de investigación, hicieron valiosos aportes e influyeron significativamente en mis concepciones teóricas. A los Drs. Héctor Eduardo Díaz Rodríguez y Santiago Capraro Rodríguez quienes en la parte final del presente trabajo hicieron comentarios y recomendaciones para enriquecer el mismo.

De igual manera este trabajo estuvo apoyado por el Proyecto de Investigación PAPIIT IN307116, "Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional en el sector biotecnológico mexicano", haciendo posible la culminación de este.

Agradecimientos personales.

A mis padres. A mi madre por enseñarme de entereza y valentía y por transmitirme el *amor por los números*. A mi padre por enseñarme que, al igual que la familia, la responsabilidad y la lealtad son invaluableles.

A Toño por ser siempre mi ejemplo y por enseñarme que antes de economista, científico o profesor debía aprender a ser persona. De grande quiero ser como él.

A Paulina por motivarme, quizá sin darse cuenta, a estudiar un posgrado y a amar la vida académica. Por enseñarme a sentirme orgulloso de lo que hago y también por darme el regalo de ser tío.

A Chucky por mostrarme que uno elige lo que quiere ser cada día y que si no sientes pasión por los que haces es mejor no hacerlo. También por darme clases de nobleza y bondad cada que lo veo.

A Nikté por hacerme sonreír cada domingo y por ayudar indirectamente a la formulación teórica de este trabajo, pues mientras yo terminaba una maestría e iniciaba una nueva licenciatura, ella me mostraba que la inteligencia no se mide únicamente con la escolaridad y que siempre hay alguien aprendiendo el doble de cosas que uno, con el triple de curiosidad y con una sonrisa más bonita.

A Silvia y a Fer que fueron como mi familia durante la elaboración de esta tesis y a mis compañeros y amigos de generación, Eva, Kari, Eliana, Pacheco y los miembros del CIT, quienes hicieron que los dos años más arduos de mi vida hayan sido también los más bellos, hasta ahora.

Índice general.

Introducción.....	1
Capítulo 1	5
1. La teoría del crecimiento económico.....	5
1.1 Modelos de crecimiento exógeno.....	5
1.1.1 El modelo Harrod-Domar.....	6
1.1.2 El modelo Solow-Swan.....	7
1.2 Conceptos clave para la teoría del crecimiento endógeno.....	10
1.2.1 Tecnología y conocimiento como un bien.....	11
1.2.2 Capital humano, una primera aproximación.....	13
1.2.3 Neutralidad del cambio técnico.....	15
1.3 Modelos de crecimiento endógeno: capital humano y la investigación y desarrollo como variables explicativas.....	17
1.3.1 El modelo de Nelson y Phelps.....	18
1.3.2 Los aportes de Romer.....	20
1.3.3 El modelo de Lucas.....	22
1.4 Consideraciones finales.....	23
Capítulo 2	26
2. La difusión de tecnologías y el crecimiento económico.....	26
2.1 Los aportes de Benhabib y Spiegel.....	26
2.2 Determinantes del aprendizaje en el capital humano.....	30
2.3 Determinantes del aprendizaje no incluidos en el capital humano.....	38
2.4 Variables para un modelo de capital humano y difusión de tecnologías.....	40
Capítulo 3	43
3. Un modelo de crecimiento endógeno: capital humano y difusión de tecnologías.....	43
Conclusiones y recomendaciones.....	50
Bibliografía.....	54

Introducción.

El presente trabajo tiene como objetivo principal la presentación de un modelo de crecimiento endógeno, en el cual las variables explicativas principales sean el capital humano y la difusión de tecnologías, y que pueda servir como sustento para ejercicios empíricos posteriores.

La teoría de crecimiento económico, desde su aparición formal a partir de la segunda mitad del siglo XX, es una de las ramas de la ciencia económica que ha generado mayor discusión teórica y, por ende, una de las áreas más fértiles para la formación de bases teóricas abstractas que pueden ser traducidas en análisis empíricos y en decisiones de política concretas.

La pregunta clave acerca de las variables que propician el crecimiento económico en el largo plazo ha llevado a la aparición de muchas propuestas teóricas que, aunque con distintos enfoques y preocupaciones específicas diversas, directa o indirectamente intentan responder a la pregunta inicial acerca del ¿cómo generar crecimiento?, tal y como sucede en este trabajo.

La falta de crecimiento significativo en México, en el periodo comprendido desde la década de los ochenta del siglo XX hasta la época actual, parecería razón suficiente para analizar dicho fenómeno desde nuestro territorio. Sin embargo, la justificación de este trabajo es más amplia.

Desde sus albores, la teoría del crecimiento ha sido escrita desde los países más desarrollados. No resulta extraño, la mayor parte de la literatura en economía (y en la mayoría de las ciencias) suele provenir de estos países; sin embargo, a diferencia de algunas otras ciencias donde se abstraen realidades que son válidas en cualquier parte del planeta, en las ciencias sociales las respuestas emanadas de investigaciones con abstracciones propias de la realidad de países desarrollados suelen funcionar mejor, obviamente, en países desarrollados.

Además, el grueso de la teoría del crecimiento está estrechamente relacionado, desde sus orígenes también, con los supuestos de la teoría neoclásica. La cuestión no podría catalogarse de incorrecta *per se*; como se revisará más adelante, la economía neoclásica puede ser útil para la descripción y análisis de economías generadoras de tecnologías y

conocimiento y con grandes stocks de capital. La cuestión es que estas y algunas otras características son de las cuales los países en vías de desarrollo carecen.

Al parecer, la búsqueda de explicaciones para la falta de crecimiento económico mexicano se realiza dentro de una teoría mayormente escrita desde los países desarrollados, con supuestos que se ajustan a otras realidades distantes a la nuestra.

Sin embargo, hay que decir también que no toda la teoría del crecimiento responde solo a la realidad de los países desarrollados y tiene supuestos neoclásicos. Existen algunas líneas de pensamiento que podrían considerarse la heterodoxia del pensamiento y que, aunque no se encuentran en el centro del debate económico, han hecho aportes importantes y que podrían ser parte de la agenda política en países en desarrollo.

Entonces, la generación de teorías desde los países en desarrollo, aunque no es una generalidad, existe y ha llegado a tener repercusión en las decisiones de política. La teoría latinoamericana de la dependencia es una muestra de ello, pues los textos desarrollados desde Latinoamérica, con enfoque en la realidad de los países del área, tuvieron importantes repercusiones en las decisiones de política económica en algunos periodos de la segunda mitad del siglo XX. Teorizar es posible y es necesario.

Para ello la teoría del crecimiento endógeno y la difusión de tecnologías arroja luz a la cuestión. Como se presentará más adelante, su propuesta parece adecuarse tanto a países desarrollados y/o líderes tecnológicos, como a aquellos que no generan tecnología y con bajos stocks de capital y conocimiento. Además, dentro de esta existen líneas teóricas en las cuales se puede profundizar y teorizar.

Entonces, la justificación de fondo del trabajo se resume en dos cuestiones, una teórica-metodológica y otra histórica.

Primero, si la teoría económica actual no responde a las interrogantes y realidades existentes, necesitamos adecuar y trabajar en la misma. Contrario a lo que podría pensarse, no es extraño que los economistas intenten hacer cuadrar a la realidad con la teoría existente, sin embargo, el enfoque de este texto apela a ir en dirección contraria, intentar elegir una teoría que se adapte a la realidad de los países en desarrollo y, si la misma no existe, entonces contribuir al desarrollo de esta.

No es necesario para el caso (ni posible dado el desarrollo y especialización de la economía) proponer una teoría desde cero. La teoría de la difusión de tecnologías es una

opción plausible para los países en desarrollo que no generan tecnología, como México. Pero, dado que esta teoría asume que la formación de capital humano (educación) es cuantitativa y cualitativamente homogénea, deben analizarse sus postulados teóricos pues, aunque la generalidad teórica sea una buena opción, algunas cuestiones específicas distan mucho de la realidad observable, sobre todo para países como el nuestro.

Esa realidad observable es la segunda justificación. Es poco objetable la cuestión de que, en México, tras más de treinta años de crecimiento económico poco menos que magro¹, en vísperas de un cambio de gobierno de una magnitud (al menos en el papel) no vista hace décadas, y con procesos de reforma y contra-reforma educativa aún en discusión, se necesite debatir y teorizar en torno al crecimiento económico con base en el capital humano y con ello analizar el papel de la educación básica.

Este texto entonces es un esfuerzo por generar discusión teórica que aporte un avance en el entendimiento teórico del fenómeno de crecimiento económico y, al mismo tiempo, poder así obtener respuestas y propuestas en temas clave en el momento histórico que atraviesa nuestro país.

Para esto en el primer capítulo se presenta una introducción general a la teoría del crecimiento económico. Por necesidad, teórica y metodológica, la misma tiene su punto de partida en los aportes seminales incluidos en los modelos Harrod-Domar y de Solow- Swan. La primera parte cumple la función de situar a los modelos de crecimiento endógeno dentro de una discusión más general, representada por la teoría del crecimiento.

Además de lo anterior, en el capítulo primero se introducen algunos conceptos teóricos que, si bien no son exclusivos de la teoría del crecimiento, son de utilidad para las conceptualizaciones presentadas posteriormente, específicamente en el capítulo tercero.

En el segundo capítulo se hace énfasis en los modelos de crecimiento endógeno y difusión de tecnologías y en la teoría del capital humano; el mismo se subdivide en dos partes. La primera es una descripción de la teoría del crecimiento endógeno basada en la difusión de tecnologías; partiendo de los aportes realizados por Nelson y Phelps que se describen en el capítulo primero se muestra el desenvolvimiento de esta línea teórica hasta conformar una propuesta amplia y sólida, pero, como se mostrará más adelante, hasta ahora

¹ 2.6% anual en el periodo 1987-2017 según la información de BDINEGI a precios de 2013.

incompleta. Se argumenta que dicha incompletitud radica en las variables *proxies* utilizadas para la abstracción de la variable capital humano.

La segunda parte del capítulo se enfoca en mostrar la existencia de mediciones de la variable capital humano distintas a las empleadas en los modelos de crecimiento basados en la difusión de tecnologías. Se muestra que, aunque las mismas suelen emplearse en análisis de regresión de tipo neoclásico, podrían emplearse también en los modelos de crecimiento endógeno y difusión tecnológica para aumentar la capacidad explicativa de los mismos.

En el tercer capítulo se presenta un modelo de crecimiento endógeno en el cual el capital humano y la difusión de tecnologías juegan un papel trascendental. Se utilizan las variables descritas en el capítulo segundo y se muestran que, en las condiciones de largo plazo y de equilibrio resultantes del modelaje matemático propuesto, el capital humano resulta fundamental.

Posteriormente se presentan las conclusiones emanadas del modelo teórico del capítulo tercero. En ellas se resaltan las implicaciones existentes, en específico aquellas para los países en desarrollo, y se enlistan algunos puntos a tomar en cuenta para la proposición de políticas públicas.

Capítulo 1

1. La teoría del crecimiento económico.

El crecimiento económico ha sido un fenómeno de interés para los economistas desde el origen mismo de nuestra ciencia. Adam Smith se preguntaba qué daba origen a la riqueza de las naciones; los autores clásicos formularon propuestas en torno a esta misma cuestión y teóricos posteriores abundaron aún más acerca del tema.

Y aunque el interés en torno al fenómeno del crecimiento se remonta a los albores de la ciencia económica, puede decirse que la teoría del crecimiento económico es una rama relativamente joven de la economía, ya que surge en la primera mitad del siglo anterior.

Un cúmulo de autores dieron forma a modelos y teorías seminales que intentan describir cómo el crecimiento económico puede darse en el largo plazo; dichas propuestas hoy son la base de la teoría del crecimiento económico. A diferencia de lo que hicieron otros teóricos, como los clásicos, el uso de datos y de ejercicios estadísticos para la comprobación de hipótesis se convirtió en una constante, lo que ocasionó, según Romer (1994, pp. 11), la generación de teorías cada vez más adecuadas para la descripción de la realidad.

A partir de la publicación de los textos pioneros y con el debate teórico y la contrastación empírica de los modelos propuestos se generó un gran cúmulo de conocimientos, que a su vez produjo que esta área de estudio se desarrollara hasta un punto en el que podría considerarse como la rama de la economía más importante desde los años posteriores a la segunda guerra mundial (Stiglitz, 2015, pp.17).

En esta parte se realiza una revisión teórica de las ideas que conforman las bases de la teoría del crecimiento económico; una revisión de la totalidad de ideas que conforman a la teoría del crecimiento económico supondría una meta inalcanzable, al mismo tiempo, elegir teorías y modelos para ser presentados como marco teórico en cualquier texto supone siempre un grado de subjetividad. Lo aquí presentado constituye únicamente la base teórica que sustentará el modelo de crecimiento presentado en el capítulo tercero.

1.1 Modelos de crecimiento exógeno.

Los orígenes de la teoría del crecimiento se remontan a la primera mitad del siglo anterior, en donde el pensamiento económico estaba influenciado de gran manera por ideas keynesianas enfocadas a la macroeconomía de corto plazo. Sin embargo, el fenómeno de

crecimiento económico experimentado por muchos países a partir de la posguerra y que se extendió hasta los años setentas, hizo que el enfoque de estudio se volcara hacia el crecimiento de largo plazo.

De igual manera, las teorías producidas en torno al crecimiento en el lapso mencionado, comprendido desde el fin de la segunda guerra mundial y hasta los años setentas, se relacionan con una visión exógena del fenómeno de estudio. En pocas palabras, aunque comenzaban a conceptualizarse algunos de los determinantes del crecimiento de largo plazo, el desenvolvimiento de estos no siempre se encontraba explicado en el modelo; existían variables que influían en los resultados del modelo, pero los valores de éstas se determinan fuera de la sistematización del modelo, por ello se dice que se consideran como variables exógenas.

Las aportaciones seminales contenidas en el modelo Harrod-Domar y en el modelo Solow-Swan, son muestras del progreso teórico de la época; ambos modelos pertenecen a la llamada visión exógena del crecimiento económico.

1.1.1 El modelo Harrod-Domar.

La visión keynesiana de inestabilidad en el corto plazo y la preocupación por la inflación y el desempleo estaban muy presentes en la teoría económica surgida durante las décadas siguientes a la primera guerra mundial². Evsey Domar (1946) y Roy Harrod (1939), de manera independiente, formularon una primera propuesta teórica que extendía al largo plazo las ideas de Keynes; esta teoría es conocida como el modelo Harrod-Domar y formó parte de la política económica de la posguerra en algunos países industrializados, a la par de ser pionera e incentivar el inicio del estudio del crecimiento económico³.

En dicho modelo, los autores intentaron responder a la cuestión de cuan capaz sería una economía de crecer en un contexto de estabilidad, entendiendo esto como un incremento de la producción y el empleo en forma proporcional y constante, teniendo en cuenta el ahorro y la inversión necesarios para mantener la relación capital-producto fija.

² Es claro que la preocupación no era solamente teórica, los fenómenos de hiperinflación y de desempleo experimentados en algunos países europeos son una clara influencia para el desarrollo teórico de este modelo.

³ Aunque las aportaciones de Ramsey (1928) sobre las cuestiones del ahorro y el análisis inter-temporal son anteriores al modelo Harrod-Domar, su influencia en el pensamiento económico y en la escuela del crecimiento fue tardío, específicamente después de los años cincuenta del siglo pasado, cuando Cass (1965) y Koopmans (1965) retomaron sus aportaciones.

La cuestión de la relación entre capital y trabajo establecida en proporciones fijas no es cuestión menor. Para la época, Leontief (1941) ya había propuesto el uso de funciones con proporciones fijas; emplear esto en un análisis de largo plazo implicaba aceptar que, al variar la relación capital-trabajo, se perdía la estabilidad de la economía desencadenando una situación o de inflación o de desempleo. La economía parecía situarse en un equilibrio extremadamente frágil, donde la acumulación de capital debía corresponderse con el aumento de la población trabajadora de manera perfecta, con el riesgo de caer en periodos de desempleo o inflación.

El modelo puede ser especificado de la siguiente manera:

$$Y = F(K, L) = \min(AK, BL)$$

Donde el ingreso total Y depende de K y L que son el capital y el trabajo, respectivamente y los parámetros $A > 0$ y $B > 0$. Entonces, el factor trabajo y el factor capital, en proporciones fijas, son las variables explicativas del ingreso y, como ya se mencionó, la función de producción utilizada no permite la sustitución entre factores.

Esta propuesta teórica llega a la conclusión de que existe una tasa natural de crecimiento, que depende del aumento de la oferta de trabajo, entendiendo a la misma no sólo como el aumento de trabajadores disponibles sino como la combinación del crecimiento de la población y el aumento del capital y por ende de la capacidad productiva de la población trabajadora.

Si bien la propuesta de Harrod y Domar no se utiliza directamente en la proposición teórica del presente trabajo, dicho modelo es un punto de partida necesario cuando se habla de crecimiento económico; el mismo se convirtió en su tiempo en el estandarte de la naciente teoría del crecimiento por décadas, durante la totalidad del periodo conocido como la *edad de oro del Capitalismo*. Dado el carácter de propuesta seminal, a partir de su publicación se debatieron los alcances e inconsistencias de esta, desencadenando la producción de nuevas ideas.

1.1.2 El modelo Solow-Swan.

Siguiendo las bases del modelo Harrod-Domar, parecería ser que la inestabilidad es la constante en el crecimiento de largo plazo, la estabilidad se plantea como una situación incidental y no como una regularidad. El origen de estas suposiciones, como ya se

mencionó, radica en la influencia de las ideas del corto plazo keynesiano en el planteamiento teórico.

Robert Solow (1956), a la par de Trevor Swan (1956), formuló una propuesta teórica que intentaba mostrar que, al no usar una función de producción con coeficientes fijos o, en otras palabras, que al dejar de lado la suposición de la existencia de una relación capital-trabajo fija en el largo plazo, el crecimiento podía darse de manera estable. La propuesta de Solow resultó ser una de las bases más importantes en la teoría del crecimiento económico hasta nuestros días.

En principio, Solow no estaba convencido de que la relación capital-trabajo mantuviese proporciones fijas a lo largo del tiempo, esto se tradujo en el uso de una función de tipo Cobb-Douglas en lugar de la función Leontief del modelo Harrod-Domar. De esta manera, en el modelo la relación capital-trabajo era proclive de cambio a lo largo del tiempo, ya que los coeficientes eran variables.

La teoría de Solow usa como pilar al modelo Harrod-Domar, aceptando todos los supuestos de dicho modelo salvo la relación capital-trabajo fija. El cambio en cuanto a la posibilidad de sustitución entre capital y trabajo en la producción a lo largo del tiempo hace que las conclusiones del modelo de Solow sean distintas a las del modelo antecesor.

En el fondo el debate de Solow va más allá de la relación entre el capital y el trabajo y el uso de una función de producción distinta; el papel de la demanda efectiva en el crecimiento económico es crucial dentro del modelo planteado por Harrod y Domar; Solow plantea una propuesta enfocada desde el lado de la oferta. El trasfondo puede relacionarse con el debate entre la demanda efectiva keynesiana con la propuesta del lado de la oferta de la teoría neoclásica.

Por ello la propuesta de Solow es conocida como el modelo básico de crecimiento neoclásico, dado que explícitamente el autor reconoce que los supuestos utilizados son “la cara neoclásica de la moneda” (Solow, 1956 pp. 91). A saber, Solow asume rendimientos constantes a escala en la función de producción y rendimientos decrecientes locales. La forma funcional propuesta satisface las condiciones propuestas por Inada (1963) y, además, los factores se pagan por su producción marginal por lo que se puede plantear una situación de pleno empleo en la economía dado que, al asumir precios flexibles, los cambios en el salario real son la variable de ajuste para despejar el mercado del trabajo.

La forma funcional del modelo es:

$$Y = K^\alpha (AL)^{1-\alpha} \text{ con } \alpha < 1$$

Donde Y es el total de producto, explicado por K el stock de capital y por AL que es el insumo de trabajo en unidades efectivas dado que A refleja el estado de la tecnología y L el insumo trabajo en unidades naturales.

Solow analiza las cuestiones relacionadas con el crecimiento en el largo plazo, las dotaciones de capital y del factor trabajo, el estado de la tecnología y los movimientos dinámicos de dichas variables. El análisis parte de una descomposición de la función de producción dividida entre el factor L , para poder establecer relaciones en términos per cápita y así poder analizar de mejor manera las implicaciones de convergencia entre niveles de vida en los países. Lo anterior es válido dadas las condiciones de homogeneidad de grado uno de la función de producción elegida, dado que la división per cápita equivaldría a una multiplicación del factor $\frac{1}{L}$ por la función completa.

Los resultados teóricos obtenidos por Solow muestran que, en el largo plazo, la acumulación de capital no juega un papel trascendental en la consecución de tasas de crecimiento permanentemente crecientes, la misma solamente puede influir en la determinación del nivel de ingreso per cápita alcanzado en el estado estacionario. En otras palabras, el desempeño de largo plazo es independiente de la inversión en capital a través del ahorro mediado por la tasa de interés.

Entonces, el ritmo de crecimiento está determinado por el aumento de la población trabajadora L y el progreso técnico A , ambos presentados como variables exógenas, sin una adecuada argumentación teórica dentro del modelo.

En un trabajo presentado un año después Solow haría uso de los datos y la estadística para intentar validar su teoría. En el ejercicio empírico se muestra que una gran parte del crecimiento económico no es atribuible a la acumulación de factores productivos, por ello el concepto de cambio técnico tomaba una relevancia mayor y sería definido de manera muy amplia, como una expresión que engloba cualquier cambio en la función de producción, por ejemplo, las mejoras en la educación de la fuerza de trabajo (Solow, 1957, pp. 312).

Un lustro después Solow matizaría sus posturas, indicando que la tasa de interés sí tiene efectos benéficos para la economía, aunque en el corto plazo, reivindicando los postulados de Keynes. Sin embargo, en el largo plazo la inversión, aunque necesaria, no es suficiente

(Solow, 1962, pp. 76) para mantener altas tasas de crecimiento. Solow reafirma la importancia del cambio técnico para el incremento constante del ingreso per cápita existente en los países.

La propuesta teórica en cuestión dejó abiertas algunas interrogantes, como cualquier otra propuesta pionera. No solo carecía de una explicación económica plausible para la cuestión del progreso técnico; el análisis de un estado estacionario teórico y no contrastable con los hechos estilizados del desarrollo lucía tan controversial como el planteamiento de la posibilidad de cambios en la relación capital-trabajo, pero no cambios en la proporción del ahorro por parte de los agentes. Estas interrogantes abrieron nuevas líneas de investigación que a su vez generaron un auge en la teoría del crecimiento.

El modelo de Solow pasó a ser uno de los pilares de la teoría del crecimiento a partir de los años setentas y marcó un precedente para la comprobación empírica de teorías económicas. Dejando de lado las críticas en torno a la exogeneidad del modelo y los posibles errores cometidos en el ejercicio empírico atribuibles a las dificultades analíticas existentes en su tiempo, el modelo de Solow es indudablemente el punto de partida de esta y de la mayoría de las discusiones teóricas en torno al crecimiento económico.

En específico, para el presente trabajo es crucial el factor A de la función de producción de Solow, el progreso técnico. A pesar de que en su momento fue presentada como una variable exógena, Solow ya reconocía la importancia de esta en el desempeño económico. El análisis de la variable A , conocida como *residuo de Solow*, y los intentos de hacerla endógena generaron una línea de pensamiento que es analizada más adelante.

1.2 Conceptos clave para la teoría del crecimiento endógeno.

La teoría del crecimiento exógeno fue el principal instrumental de análisis hasta mediados de los años ochenta, a partir de esa década muchas propuestas teóricas argumentaban que el modelo de Solow, si bien era una base teórica importante, estaba lejos de ser una explicación total del fenómeno del crecimiento.

La cantidad de conocimiento generado a partir de la publicación del modelo de crecimiento neoclásico fue considerable; las críticas realizadas poco a poco se transformaron en teorías nacientes y, algunas de ellas, con el paso del tiempo conformarían la teoría del crecimiento endógeno.

Antes de analizar algunos de los modelos que conforman esta rama de la teoría del crecimiento conviene hacer un análisis de conceptos básicos que resultarán útiles para entender de mejor manera las teorías presentadas en la parte final de este capítulo.

1.2.1 Tecnología y conocimiento como un bien.

En la ciencia económica generalmente los bienes pueden clasificarse dependiendo de dos características principales, la rivalidad y el nivel de exclusión del que son susceptibles.

La rivalidad se refiere a si el uso de un bien impide el uso de este por parte de otros agentes. Cuando el uso por parte de un agente sí impide que otros puedan usarlo simultáneamente estamos hablando de un bien rival.

Ahora, el nivel de excluibilidad se relaciona con qué tanto se puede limitar el uso de un cierto bien por parte de los agentes. A diferencia de la rivalidad que es una variable dicotómica (sí rival o no rival), el nivel de excluibilidad suele moverse dentro de un rango, existen bienes con altos niveles de excluibilidad y con bajos niveles de excluibilidad. Lo anterior abre la posibilidad a distintas interpretaciones.

Por ejemplo, la señal satelital de televisión es un bien no rival dado que el uso de una persona no interfiere con el uso por parte de otra, sin embargo, es un bien altamente excluible puesto que, para tener acceso a ella, los agentes deberán hacer una contratación, pagar del servicio, tener un decodificador de señal, etc. Otro ejemplo es el conocimiento matemático, es un bien no rival y con nivel de exclusión bajo; cualquier agente puede usarlo una vez que lo ha aprendido y el hecho de que un agente lo esté usando no implica que otro más no pueda usarlo. En este contexto, la tecnología y los avances en la misma pueden ser concebidos como un bien, por ello es proclive de un análisis bajo los parámetros de rivalidad y el nivel de excluibilidad.

Para esto, el trabajo de Romer (1990a) resulta importante pues muestra a la tecnología como un bien no rival y, al menos, parcialmente excluible. Teóricamente la cuestión de la rivalidad suele no implicar tantas dificultades, es un consenso el hecho de que un avance tecnológico puede usarse en muchos lugares simultáneamente.

En cuanto a la excluibilidad la cuestión no es tan clara. Romer plantea que, para la tecnología, aunque puedan generarse patentes u otros mecanismos de apropiación, el total de las externalidades generadas por la misma no puede ser capturado por quien lo desarrolla por la que no es un bien privado. Al mismo tiempo, no puede plantearse que sea

un bien de libre acceso porque los mecanismos de apropiación sí generan limitaciones al uso y estructuras de competencia imperfecta al menos por un periodo, además de que aun con la ausencia de mecanismos de apropiación, la existencia de costos aprendizaje limita el uso de las tecnologías.

Aunque parezca plausible lo descrito hasta ahora, como ya se mencionó, no existe un consenso en cuanto al nivel de excluibilidad de la tecnología como un bien y la cuestión sigue generando controversia entre los economistas. Autores importantes, como Stiglitz en su texto de 2015, parten de la idea de que la tecnología y el conocimiento son bienes públicos, basándose principalmente en las ideas de Arrow (1962a).

Las características de la tecnología como un bien tienen diversas implicaciones en el análisis económico y algunas de ellas no son menores. Podrían establecerse debates en torno a las variaciones en el tipo de rendimientos globales de la función de producción ocasionadas por la tecnología o podrían generarse formulaciones teóricas acerca de la aparición de mercados de competencia imperfecta como planteaba Schumpeter.

De las distintas implicaciones que podrían mencionarse, para los fines de este texto conviene resaltar dos de ellas pues darán paso a la conceptualización del crecimiento endógeno. Como plantea Ros (2013), la no rivalidad marca una importante diferencia entre las transferencias de tecnología y las de capital, por ejemplo, cuando una máquina es transferida de un país a otro esto aumenta el stock de capital del país receptor a costa de una disminución del stock de la misma variable en la nación que envía. Por el contrario, la transferencia de tecnología, basándose en la no rivalidad, no implica un juego de suma cero.

Ahora, atendiendo al grado de excluibilidad resulta otra implicación importante; cuando una innovación es parcialmente excluible permite al creador de esta capturar al menos un poco de los beneficios emanados de la misma, pero, dado que la excluibilidad no es total, pueden generarse fenómenos de *spillover* y externalidades positivas en los mercados emanados por la innovación de un solo agente, la tecnología puede ser difundida.

La teoría del crecimiento exógena y específicamente el modelo de Solow plantea que la tecnología es un bien no rival y no excluible. La tecnología es presentada como un bien público y exógenamente provisto, con una difusión casi instantánea.

En el presente texto se asume la postura de Romer (1990a), acerca de que en la tecnología existe un cierto nivel de exclusión al menos temporal, por ello, el planteamiento de un

modelo de crecimiento endógeno resulta plausible dada la incompatibilidad de las características de la tecnología como un bien y la teoría del crecimiento exógena.

1.2.2 Capital humano, una primera aproximación.

Aunque la teoría del crecimiento exógeno era dominante en la década de los sesenta, las aportaciones de Schultz (1961) y Becker (1964) introdujeron la idea de que el capital humano⁴ puede ser considerado como una de las fuentes que genera crecimiento económico.

Ahora, si bien hoy en día es aceptada la afirmación de que el capital humano influye en el crecimiento económico de los países, las ideas en torno al cómo se da esa influencia y los mecanismos mediante los cuales puede desencadenarse el crecimiento son variadas y no existe un consenso.

El trabajo de Nelson (2005) divide a los modelos de crecimiento en dos líneas de pensamiento, 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 realizada en dicha variable es un detonante del crecimiento económico.

La segunda línea de pensamiento proviene de conjuntar dos ideas fundamentales. Por una parte, las ideas *schumpeterianas* de la innovación como un proceso de índole económica y la importancia del conocimiento para la generación de nuevos productos y mercados; por otra parte, ideas relacionadas con las derramas de conocimiento y tecnologías que pueden existir desde los países considerados líderes tecnológicos hacia economías menos desarrolladas. Esto se fundamenta en la existencia de fenómenos de *spillover* y de cómo una economía puede tener capacidades de absorción y apropiación.

Estas concepciones en torno al capital humano han sido introducidas en la teoría del crecimiento; un primer modelo que puede ofrecer un acercamiento hacia el capital humano desde las teorías de la acumulación es el presentado por Mankiw, Romer y Weil (1992). Cronológicamente no fueron los primeros autores en incorporar esta variable en un modelo de crecimiento, pero, resulta una buena aproximación dada su estrecha relación con la escuela del crecimiento exógeno que ya ha sido explicada.

⁴ Para ese tiempo concebido como una medida del valor, dentro de una función de producción, de las habilidades profesionales del factor trabajo.

El modelo Mankiw-Romer-Weil es conocido como el modelo de Solow extendido, dado que usa los preceptos básicos del modelo de crecimiento neoclásico incorporando una nueva variable, el capital humano, para obtener mejores resultados al momento de contrastar las predicciones atribuibles al modelo con los datos observables.

La especificación del modelo es la siguiente:

$$Y = K^\alpha H^\beta (AL)^{1-\alpha-\beta} \text{ con } \alpha + \beta < 1$$

Donde la notación es análoga a la usada en el modelo de Solow, K para el capital y L para el trabajo; la única diferencia es que se añade el factor H , capital humano. Lo anterior implica que, a diferencia del modelo de Solow, el aumento en el producto por trabajador no depende solo del cambio tecnológico A , si no también de las habilidades o calificación de los trabajadores medidos por H .

Entonces, el capital humano dentro del modelo es concebido como un factor más de la producción y su similitud teórica con el capital físico tendría como implicación que ambos se deprecien a una misma tasa δ , cuestión controversial en muchos sentidos. Además, tanto H como K dependen del ahorro de la sociedad, pues una fracción del ahorro S será invertida en la formación de capital humano (S_H), mientras que la porción S_K es invertida en capital físico.

Dada la propuesta de una función de producción con rendimientos constantes globales y decrecientes locales, se puede encontrar un estado estacionario en el largo plazo, tal como sucedía con el modelo de Solow, pero con algunas otras implicaciones; por ejemplo, la acumulación de capital humano tiene efectos en el producto por trabajador en el largo plazo y por ende en el estado estacionario, además, tiene una influencia directa en la acumulación de capital físico.

Tal como se planteó el análisis del modelo Solow, más allá de analizar las condiciones de largo plazo resultantes del modelo, para la finalidad de este trabajo, es más importante comentar la importancia otorgada al capital humano, variable que se relaciona con aumentos en la productividad del trabajo, mediante la mejora de la calificación de los trabajadores.

El modelo de Mankiw, Romer y Weil fue publicado en 1992 en un contexto donde resultaba innegable que el crecimiento económico se encontraba influenciado por la calificación de los trabajadores; por ello la incorporación de la variable capital humano puede ser vista

como un aporte que refinaba la capacidad explicativa del modelo de Solow y abonaba a la conceptualización teórica de la realidad por parte de este.

Existen interpretaciones alternas, como la de Destinobles (2005), quien planteó que existía una necesidad por parte de la teoría neoclásica del crecimiento de revalidar sus postulados, ante el incremento en el interés por los modelos de crecimiento endógeno que se revisan más adelante; debían reconfigurarse las hipótesis propuestas por Solow y replantearse aquellas aristas susceptibles de mejora, sobre todo la capacidad de contrastación empírica con los hechos estilizados del desarrollo.

En una posición lo más objetiva posible, se analiza al modelo de Mankiw, Romer y Weil como un antecedente necesario cuando se está hablando de teoría del crecimiento y capital humano, ya que introduce a la variable H en el análisis como un factor más dentro de la función de producción, enmarcado como una de las teorías de la acumulación según la mencionada división de Nelson (2005); el capital humano como factor de la producción es una de las tres principales (no únicas) formas de concebir a esta variable en los modelos de crecimiento.

Las otras dos formas usuales de introducir al capital humano en la teoría del crecimiento serán analizadas cuando se explique la teoría endógena, que como Bernake y Gürkaynak (2001) concluyen al analizar el texto de Mankiw, Romer y Weil, suele ofrecer una explicación más plausible del fenómeno del crecimiento.

Los mismos Mankiw, Romer y Weil, en la parte final de su texto, plantean que las futuras investigaciones debiesen concentrarse en explicar las variables que en su modelo habían quedado como exógenas, para de esa manera lograr un mayor entendimiento de la situación (Mankiw, Romer y Weil, 1992, pp. 433).

1.2.3 Neutralidad del cambio técnico.

La formulación teórica de Solow puso a debate la idea de que el progreso técnico tiene un impacto en el desempeño económico. El ejercicio empírico posterior mostró que la importancia del cambio técnico era crucial. La idea general de que el progreso técnico era fundamental comenzó a ser comúnmente aceptada entre los economistas.

Sin embargo, las formas de medición del cambio técnico, las interpretaciones teóricas del mismo y algunas otras cuestiones no fueron homogéneas. Se desarrolló un debate

interesante en torno a cómo el progreso técnico puede ser introducido dentro de una función de producción para poder lograr una mejor abstracción de este.

Anteriormente se estableció, en términos de Solow, que el progreso técnico o cambio tecnológico puede ser entendido como los cambios que aumentan el resultado dentro de la función de producción, es decir, todo aumento de la cantidad producida sin alterar la cantidad de factores utilizados. Teniendo el supuesto de rendimientos constantes a escala, si la cantidad producida ha aumentado mientras que los factores no lo han hecho, ese cambio deberá estar explicado por el progreso técnico.

La tecnología podría ser entendida entonces como el estado del progreso técnico en un momento determinado mientras que la técnica es la combinación entre factores dentro de la función de producción.

Dicho lo anterior, podría establecerse que el progreso técnico posibilita que se produzca la misma cantidad de producto con menos factores, es decir, menos capital o menos trabajo, y esta porción disminuida es sustituida por la productividad que es el aporte de la tecnología. En este sentido estaríamos hablando de progreso técnico del tipo *capital-saving* o del tipo *labor-saving*, mientras que el progreso técnico que no ahorra una cantidad mayor de uno de los factores respecto al otro, es decir, que mantienen las proporciones de estos, son llamadas neutrales o sin sesgo.

Dentro del progreso técnico neutral o insesgado existen al menos tres posturas para describir al mismo, estas tres principales concepciones tienen su origen en Hicks (1932), Harrod (1942) y Solow (1969).

Atendiendo únicamente al orden cronológico, primero, la neutralidad en el sentido de Hicks se refiere a que no existe cambio en la relación de productos marginales para una relación capital-trabajo dada. Dicha neutralidad podría corresponder a una función:

$$Y = T(t) * F(K, L)$$

Donde T representara el estado de la tecnología y $\dot{T}(t) \geq 0$.

Ahora, para Harrod la neutralidad de progreso técnico se refiere a que las participaciones relativas de los insumos $(K * F_K)/(L * F_L)$ permanecen sin cambios para una proporción capital-producto dada.

Siguiendo la propuesta de Barro y Sala-i-Martin (2004), quienes toman como referencia a Uzawa (1961), puede plantearse que este tipo de neutralidad se representa con una función:

$$Y = F(K, L * T(t))$$

Donde T representa el estado de la tecnología y $\dot{T}(t) \geq 0$. Este tipo de función es comúnmente nombrada *labor augmenting* dado que el progreso técnico puede variar el producto total de igual manera que un aumento en L .

Por último, la neutralidad de una innovación en el sentido de Solow se refiere a que las participaciones relativas de los insumos $(L * F_L)/(K * F_K)$ permanecen sin cambios para una proporción trabajo/producto dada⁵.

$$Y = F(K * T(t), L)$$

Donde T representa el estado de la tecnología y $\dot{T}(t) \geq 0$. Este tipo se conoce como *capital augmenting* dado que el progreso técnico puede variar el producto total de igual manera que un aumento en el stock de capital K , de manera análoga al caso anterior, ambos factores aparecen multiplicándose en la función.

Resta mencionar que la neutralidad en el sentido de Harrod suele ser mayormente usada en la teoría del crecimiento. Una de las ventajas de dicha forma funcional, como demuestra matemáticamente Barro, es que es la más consistente dentro de los modelos de crecimiento que buscan convergencia y estado estacionario (Barro, 2003, pp. 78).

1.3 Modelos de crecimiento endógeno: capital humano y la investigación y desarrollo como variables explicativas.

El planteamiento de un modelo de crecimiento de carácter endógeno en el cual se relacionan el capital humano y la tecnología resulta del hecho de asumir que ambas variables son influenciadas por procesos económicos.

Como plantea Romer (1990b), el proceso de innovación responde a las necesidades de la economía, a la mejora de procesos, el abatimiento de costos, aunque en algunos casos específicos puedan existir científicos que aportan al desarrollo tecnológico por “amor a la

⁵ Debe notarse que la neutralidad de Solow fue propuesta en un trabajo posterior a la presentación del modelo de crecimiento económico del mismo autor. De hecho, la forma funcional usada en el modelo de 56' se asemeja más a la neutralidad en el sentido de Harrod.

ciencia” y no en búsqueda de beneficios. Schumpeter (1944) reconocía ya que el cambio técnico es una variable endógena que lideraba el crecimiento económico, estableciendo una relación de causalidad recíproca entre innovación y crecimiento en la economía. Algunas ideas *neo-schumpeterianas*, al igual que de otras corrientes también establecen que la innovación se origina en la mayoría de las ocasiones de manera premeditada y con decisiones originadas desde el mercado.

Las propuestas teóricas de la endogeneidad del cambio tecnológico y la muestra empírica de la importancia cuantitativa del mismo mostrada en el trabajo de Solow (1957) dan pie a presentar de manera cronológica algunos modelos que hacen endógeno el proceso de crecimiento económico a través del capital humano, desde las perspectivas de la acumulación y de la postura de la asimilación.

1.3.1 El modelo de Nelson y Phelps.

Dentro de las teorías de la asimilación, en un intento de explicar el residuo de Solow, Nelson y Phelps (1966) publicaron un trabajo que partía de la crítica al hecho de que la oferta de trabajo se considerara homogénea. En específico, consideraba que el factor L , como único indicador del nivel de empleo, suponía como sustitutos perfectos a los trabajadores calificados y no calificados. En su concepción, se estaba ignorando el aporte que la educación puede tener en el desempeño económico al crear diferencias entre el nivel de capital humano. Como ya se dijo, en la década de los sesenta se dieron los primeros aportes a la teoría del capital humano.

Nelson y Phelps presentaron un primer modelo que intentaba conjuntar sus dos críticas, que el factor A del modelo de Solow dejase de ser exógeno y resaltar la importancia de las diferencias entre el capital humano.

Las ideas de Gerschenkron (1962) influyeron para que los autores plantearan que existen *spillovers* entre países: los más atrasados pueden beneficiarse de aquellos que crean tecnología y aprovechar las ventajas de los desarrollos ya existentes, por eso se plantea que la tasa de crecimiento de la productividad dependerá de qué tanto se pueda aprender de los líderes tecnológicos.

Para ello se plantea la existencia de una frontera tecnológica (*teoretical level of technology*), que puede conceptualizarse como el más alto nivel tecnológico del cual los países menos desarrollados podrían beneficiarse. La suposición de que ese nivel tecnológico podría ser alcanzable para todos se basa en las ideas de Nelson (1959) y de

Arrow (1962), sobre la tecnología y el conocimiento como un bien público, lo que implicaba que la difusión tecnológica fuera un proceso casi instantáneo; ahora se sabe que la difusión no es tan veloz, pero, para la época, las ideas mencionadas eran dominantes en el pensamiento económico.

La forma sintetizada del modelo se presenta de la siguiente manera:

$$g_A = \theta(h) * \left(\frac{T - A}{A}\right)$$

Donde el crecimiento del nivel tecnológico g_A depende de la diferencia entre la frontera tecnológica T y el nivel de tecnología existente en la economía que se esté analizando, que está representado por A . El “nivel de capital humano” está representado por (h) y θ es solamente un factor multiplicativo.

En pocas palabras, el nivel de (h) y de la distancia relativa con la frontera tecnológica determinan el crecimiento del cambio técnico. Es decir, la lejanía con la frontera tecnológica supondría que hay “mucho por aprender” y por ello se podría crecer de prisa, claro está, con cualquier $(h) > 0$. El ritmo al cual se cierre la brecha $\left(\frac{T-A}{A}\right)$ dependerá del tamaño de esta y del nivel de capital humano.

Debe resaltarse que el capital humano no es un factor dentro de la función de producción ni tampoco forma parte de algunos de los sectores de la economía, como en los modelos que se presentan en seguida; aquí el capital humano es un determinante de la difusión de tecnologías y por ende del crecimiento económico.

Nelson y Phelps plantearon un modelo dinámico en el sentido de que la frontera tecnológica crece a un ritmo exponencial e^γ . Se aceptan las posibilidades de una economía estática donde $\gamma = 0$ y la brecha tecnológica $\left(\frac{T-A}{A}\right)$ tendería a cero en el largo plazo con cualquier $(h) > 0$. Por otra parte, también se acepta el caso de una economía tecnológicamente progresiva donde $\gamma > 0$ en donde habría una brecha de equilibrio para cada γ y cada (h) . La brecha de equilibrio es creciente para γ y decreciente para (h) .

Por ende, los autores no establecen una brecha inamovible en el tiempo, por el contrario, apuestan por movimientos en la economía ocasionados por la tecnología y la educación. La tecnología no era estática para ellos. Lo que podría criticarse es que la brecha puede tender a cero en su modelo, aunque no se plantean escenarios en los cuales esta pueda

cerrarse o incluso donde un país pueda superar al líder e ir más allá de esa frontera tecnológica.

Este modelo, aunque no contiene un ejercicio empírico, ofreció una visión interesante para explicar el factor A , que se toma como exógeno en el modelo básico de crecimiento neoclásico. Además, plantea la discusión de cómo conceptualizar al capital humano en el proceso de asimilación de tecnologías y no directamente como un factor de la producción.

Para Nelson y Phelps la educación no sólo es la forma de aprender a hacer cosas específicas u oficios estandarizados, más bien intentan resaltar el hecho de que en la escuela se enseña a aprender cómo se debe aprender e incorporar conocimientos dentro del quehacer diario.

El trabajo de Rogers (1962), que Nelson y Phelps citan, muestra que en un grupo de agricultores las nuevas tecnologías se adoptaban a distintos ritmos por distintas causas; una de las conclusiones de su investigación fue que los agricultores con estudios al menos básicos adoptaban más rápidamente las nuevas tecnologías que aquellos que no habían estudiado; era claro que los agricultores con estudios no habían aprendido en la escuela el uso de herramientas para la actividad agrícola, habían aprendido a aprender.

Esto dio sustento empírico a los postulados de Nelson y Phelps, el nivel de capital humano no era concebido como un factor más de la producción, para ellos la educación, traducida en el nivel de capital humano, facilitaba la adopción e implementación de nuevas tecnologías y métodos de producción. Por ello la decisión de intentar explicar el crecimiento de la tecnología o residuo de Solow con su modelo, en lugar de incluir al capital humano como un factor dentro de la función de producción.

1.3.2 Los aportes de Romer.

La generación de capital humano ha sido estudiada a través de modelos de producción de dos bienes, los bienes finales y el capital humano. El pionero en estos planteamientos es Paul Romer, quien junto con su mentor Robert Lucas Jr., es considerado uno de los fundadores de la teoría del crecimiento endógeno.

En principio Romer (1986) discute las implicaciones de *spillovers* entre empresas para plantear que no siempre el supuesto de rendimientos constantes es adecuado. Rescata la tradición marshaliana para postular que, si bien los rendimientos pueden ser constantes

para los agentes individuales, a nivel agregado pueden existir interacciones que hagan posibles los rendimientos crecientes.

En una función de producción $Y_j = AK^\alpha L^{1-\alpha} k^n$ se plantea que la producción se origina con capital, trabajo y con una externalidad k^n . De esta manera se abre la posibilidad de que, dependiendo del nivel relativo de la externalidad, la función de producción presente rendimientos crecientes.

No se abordarán las condiciones de largo plazo del modelo ni se discutirá la cuestión de los rendimientos crecientes o constantes de la función de producción. La breve presentación del modelo de 1986 da pie a analizar un segundo texto de Romer (1990b) donde se introduce la variable capital humano, además, como ya se mencionó, el texto de 1986 es un antecedente básico de la teoría del crecimiento endógeno.

Entonces, la propuesta de 1990, Romer extendería su modelo incorporando al capital humano dentro del análisis; se propone una economía en la cual coexisten un sector de investigación y desarrollo (I+D), uno de bienes intermedios y uno de bienes finales. Se usa una función de producción:

$$Y = \Gamma H^\alpha L^\beta K^{1-\alpha-\beta}$$

Donde Γ es la parte del capital humano H que se usa para la producción de bienes finales (la otra parte se usa en el sector de I+D), L es el trabajo y K el capital físico, que a su vez es explicado como $K = \int_0^\infty x(i) di$, donde $x(i)$ representa la cantidad utilizada de cada uno de los insumos intermedios i , provenientes del sector de bienes intermedios que a su vez usa como insumos los diseños producidos por el sector de I+D. Entonces, el aumento del capital físico K se entiende como un aumento en el número de inputs provenientes de la investigación, es decir, de la producción de tecnología.

Lo anterior se basa en la proposición de que, aunque el diseño de un nuevo producto puede ocurrir dentro de la misma empresa, no tiene que ser así siempre, puede ser producido por algún otro agente y posteriormente adquirir los derechos, con una patente, por ejemplo (Romer, 1990b: 79); de esta manera se justifica la existencia de un sector de investigación y desarrollo (I+D) que termina por acrecentar el capital fijo K .

En la primera propuesta de Romer el aumento de la tecnología provenía de la inversión, basada en decisiones de consumo intertemporal, para el texto de 1990 el desarrollo tecnológico se plantea como resultado de un sector específico de la economía, el de I+D.

El modelo de Romer muestra la importancia del capital humano y de las actividades de I+D en el crecimiento de largo plazo, por ende, del modelo emanan algunas recomendaciones de política pública, como que tanto la inversión en educación para acrecentar el capital humano o la subvención a la I+D pueden tener efectos directos en el crecimiento.

1.3.3 El modelo de Lucas.

El modelo de Lucas (1988) intenta de igual manera explicar el crecimiento del ingreso per cápita, planteando un modelo endógeno partiendo de la existencia de rendimientos constantes para la acumulación de capital humano.

A diferencia de Romer, Lucas primaba al capital humano sobre la tecnología como factor de crecimiento dado que partía de las ideas de Arrow, de la tecnología como bien público que puede ser difundido y que es accesible para todos los países; la inversión en capital humano por otra parte, siguiendo las ideas de Becker (1964), se encuentra incorporado en las personas por lo que lo convertiría en un bien rival.

Lucas planteó un modelo de dos sectores, uno de bienes finales y otro de capital humano; el primero donde se usan dos factores para producir el capital físico y el capital humano:

$$Y = K^\alpha (\theta H)^{1-\alpha}$$

En el primer sector la producción Y se explica con K que es el capital físico y con H que es el stock total de capital humano y θ es la fracción de H que se emplea para producir Y . Por otra parte, el segundo sector es aquel que produce capital humano usando también el factor H . Por ello el crecimiento de dicho factor podría ser explicado por:

$$\dot{H} = \vartheta(1 - \theta)H$$

Donde ϑ es entendido como la eficacia (o probabilidad) para producir nuevo capital humano, empleado solamente el capital humano que no es empleado en el sector de bienes finales, es decir $(1 - \theta)$. Por ende, en el largo plazo la tasa de acumulación de capital humano será el factor clave en el crecimiento guiando con ella también al capital físico. El ingreso per cápita crecería continuamente por la acumulación constante de capital humano que dependerá de la inversión que la sociedad haga en el sector que produce el factor H .

Este modelo tiene algunas implicaciones que pueden resultar parecidas a las que se obtienen del modelo básico de crecimiento neoclásico. En ambos se genera un estado estacionario y, en el largo plazo las condiciones serían análogas si la tasa natural de Harrod

para el modelo de Solow y la tasa de acumulación de H para el modelo de Lucas fueran exactamente iguales (Ros, 2013, pp. 92).

El modelo de Lucas sirve como marco de análisis para el presente trabajo por dos cuestiones. Primero porque, aunque Romer ya había planteado un modelo de crecimiento endógeno, Lucas se aproximó al fenómeno por medio del capital humano y no directamente mediante la tecnología; segundo, por reconocer a la educación como un fenómeno social y acumulativo. Se diferencia a la acumulación del capital humano de aquella del capital físico, de hecho, Lucas plantea que el nivel de capital humano alcanzado por una generación de personas será el nivel inicial de la siguiente generación.

Lo planteado en el párrafo anterior ha sido sujeto de críticas en el sentido de que, a pesar de la característica social del fenómeno educativo, no parece ser razón suficiente para establecer que la acumulación de capital humano tiene rendimientos constantes. Es decir, si el sistema educativo transmite casi siempre el mismo conocimiento básico, de generación a generación, en algún punto debiesen encontrarse rendimientos decrecientes, lo que colocaría al modelo en una posición similar a la de Solow (el progreso técnico capturado en el factor A pero que resulta exógeno). Para la época, las cuestiones relacionadas con la posibilidad de asumir rendimientos crecientes ya habían sido descritas por Romer, como se ha especificado anteriormente.

El enfoque de análisis que aquí se planteará difiere de la idea central de Lucas, pero, no cabe duda de que algunas implicaciones de su propuesta teórica son resaltables, por ejemplo, el papel de las decisiones de inversión de la sociedad en el sector de capital humano y cómo éstas tienen un efecto de largo plazo en el crecimiento económico y en la estructura social, dado el stock de conocimiento generado. Claro está, el argumento resulta debatible por la autodeterminación del sector H para producir capital humano con base en capital humano.

1.4 Consideraciones finales.

Como podría inferirse por lo ya escrito, el debatir en torno al porqué de la endogeneidad del modelo resulta vano; el planteamiento de un modelo de carácter endógeno es en sí mismo una necesidad teórica. La escuela del crecimiento endógeno ha desplazado a la teoría exógena, dado que ofrece posturas y teorías más amplias para comprender el fenómeno de crecimiento económico.

En este contexto debe mencionarse el alcance del uso de la palabra *endógeno* para referirse a los modelos presentados con anterioridad. La consideración de endogeneidad de los modelos proviene de al menos dos vertientes. La primera referida a la historia del pensamiento económico, que muestra a la teoría del crecimiento endógeno como una propuesta que rivaliza directamente con la propuesta exógena del crecimiento, de allí la elección del nombre para dar significancia a la misma. La segunda cuestión se relaciona con que la mayoría de las variables, sobre todo aquellas consideradas claves o de control, se encuentran explicadas dentro del mismo modelo, aunque no todas lo estén; en otras palabras, es complejo hablar de un modelo completamente endógeno.

Ahora, el usar al capital humano como la variable explicativa central de un modelo de crecimiento implica una disyuntiva, se han mostrado al menos tres alternativas para visualizar dicha variable dentro de un modelo de crecimiento; la primera, usada por Mankiw, Romer y Weil podría ser descartada, no sólo por sus bases relacionadas con la teoría exógena del crecimiento económico, sino porque tal como Benhabib y Spiegel (1994) argumentan, considerar el capital humano como un factor más de la producción resulta metodológicamente insatisfactorio, dado que al usar tasas de variación para medir el crecimiento económico, las variables proxy que podrían ser usadas para medir al capital humano (tasas de alfabetización y años de estudio promedio, por ejemplo) no tiene cambios significativos en periodos cortos de tiempo, además de que carecen de sustento empírico al contrastarse con la realidad.

Por ello la disyuntiva al emplear al capital humano se centra en dos principales opciones: el capital humano como un sector de la economía (como hace Lucas o Romer) o como determinante de la productividad mediante la difusión de tecnologías y el conocimiento (como hace Nelson y Phelps).

Los modelos de Lucas y Romer, sin desestimar sus aportaciones, explican de gran manera el crecimiento económico de los países productores de conocimiento y tecnologías, aunque sus postulados son debatibles para aquellas economías que no suelen ser líderes tecnológicos. Por ello, pueden ofrecer una visión sesgada, más aún si el presente texto se escribe desde un país en desarrollo.

Por ello la escuela iniciada por Nelson y Phelps, en la que el capital humano explica el aumento de la productividad a través de la difusión de tecnologías, aparece como una visión plausible para analizar el crecimiento desde países que no son líderes tecnológicos.

Ahora, las ideas de Nelson y Phelps no están limitadas a la adopción tecnológica como determinante de la productividad; su teoría se ha ampliado, en específico para discutir la posibilidad de generación de tecnologías de manera doméstica y de las dificultades de la adopción de conocimiento y tecnologías. Por ello en el siguiente capítulo se discuten las ideas de Benhabib y Spiegel, no como ideas terminadas, ya que de cierta manera el objetivo de este trabajo es ampliar lo logrado por esta corriente teórica y enriquecer la capacidad explicativa de la misma.

Por último, tomar las bases teóricas de Nelson y Phelps implica la aceptación de la neutralidad en el sentido de Harrod, aparentemente una decisión poco polémica, dado que dicha forma funcional es matemáticamente consistente dentro de los modelos de crecimiento que tratan temas de convergencia y porque dentro de un análisis de capital humano el uso de una función *labor augmenting* parece justificado.

No obstante, se sabe que recientemente se abren debates en torno a la suficiencia de la propuesta de Harrod para los modelos endógenos, por ejemplo, los planteamientos de Sánchez y Márquez (2018). La discusión en torno a la neutralidad del cambio técnico en los modelos de crecimiento endógeno es un debate en construcción aún incompleto, que una vez tomando más forma podría tener implicaciones en el modelo aquí planteado, pero que actualmente no forman parte de esta discusión.

Entonces, se justifica la proposición de un modelo de crecimiento endógeno que incorpore al capital humano como una variable explicativa, haciendo uso de la teoría de la difusión de tecnologías de Nelson y Phelps. El siguiente capítulo se centra en la discusión de dicha teoría y de los conceptos fundamentales que la integran.

Capítulo 2

2. La difusión de tecnologías y el crecimiento económico.

Las ideas en torno al capital humano, como se muestra en el capítulo anterior, se comenzaban a discutir desde los años sesenta; la discusión teórica se tornó más álgida durante la década de los ochenta con la incorporación de dicha variable en los modelos de crecimiento de la escuela endógena.

Pocos años después, en la década de los noventa, las ideas acerca de la difusión de tecnologías, en específico el modelo de Nelson y Phelps, fueron retomadas; estos autores plantearon en su propuesta original que el capital humano, a través de la difusión de las tecnologías, era un mecanismo mediante el cual se conseguía el crecimiento de la productividad o el residuo de Solow.

Para su propuesta teórica citan el análisis empírico de Roggers (1962) que, al estudiar a un grupo de agricultores, mostró que la educación que las personas recibían influía en la capacidad de estas para la adopción de nuevas tecnologías. Esta forma de concebir el papel del capital humano en las actividades económicas influyó en los economistas estadounidenses Jess Benhabib y Mark Spiegel que trabajaron extendiendo la teoría de Nelson y Phelps.

2.1 Los aportes de Benhabib y Spiegel.

El primer texto de Benhabib y Spiegel (1994) fue utilizado en el capítulo anterior para argumentar que el capital humano, considerado como un factor más de la producción, tiene poca capacidad explicativa si se habla de crecimiento económico. Lo anterior, aunque importante, es solo uno de los resultados del texto, cuyo objetivo principal es presentar una ampliación del modelo de Nelson y Phelps.

En dicha ampliación se discute la visión de Romer (1990b) acerca de que la difusión de tecnologías no es el único mecanismo de apropiación tecnológica que pueden tener los países; cuando una economía se acerca a la frontera tecnológica se abre la posibilidad a la generación de tecnologías propias o domésticas. Lo anterior brinda una visión más amplia en cuanto al cambio técnico y las posibilidades de convergencia entre países.

Incorporando estas nuevas propuestas teóricas, los autores presentan un modelo de crecimiento cuya sistematización podría ser de la siguiente manera:

$$g_A = \Phi(h) + \theta(h) * \left(\frac{T - A}{A} \right)$$

Donde Φ representa la capacidad de innovación doméstica en función del capital humano (h) y el resto de los términos son análogos a los usados por Nelson y Phelps. A pesar de que el cambio parezca mínimo, al realizar el análisis dinámico de largo plazo existen implicaciones importantes.

Una de ellas es que aquellos países seguidores del líder tecnológico, pero que cuenten con una gran dotación de capital humano, podrían superar la frontera tecnológica, es decir, convertirse en los nuevos líderes.

Además, a partir de ahora la función se compone de dos partes separadas por el signo de adición, lo que hace al modelo susceptible de distintos análisis y situaciones hipotéticas que aumentan la capacidad explicativa del mismo; por ejemplo, en el caso de una economía en la cual el factor $\Phi(h)$ predomine frente a $\theta(h)$ (mayor innovación doméstica frente a una menor adopción) se podría hablar quizá de un país de renta media alta, en un proceso de convergencia tecnológica dada su posición relativamente cercana a la frontera tecnológica. El componente $\Phi(h)$ podría describirnos la importancia de la inversión y la formación de sistemas nacionales de innovación (SNI) para propiciar la innovación doméstica. Por otra parte, un país de renta baja con poca capacidad de innovación estaría limitado al aporte de $\theta(h)$ que representa el proceso de *catching-up*.

Aunado al modelo presentado, Benhabib y Spiegel discuten teóricamente otra característica de la acumulación de capital humano. Aunque en una forma funcional *labor augmenting* se plantea una relación directa entre cambio técnico (con el capital humano incorporado siguiendo los postulados de Nelson y Phelps) y factor trabajo, lo anterior no excluiría una posible relación entre el capital humano y el capital físico; aunque no exista una relación directa en la función de producción; un mayor stock de capital humano podría aumentar a su vez el stock de capital físico, al resultar atractivo para las inversiones.

Benhabib y Spiegel plantean que un país con gran stock de capital humano puede resultar un buen destino de inversión de capital físico, por lo que la importancia de la acumulación de capital humano no se vería limitada solamente al aporte relativo de la difusión de tecnologías.

Más de una década después y usando un enfoque similar, ambos autores presentaron en el Handbook of Economic Growth de 2005 una ampliación de la propuesta teórica de 1994. En dicho texto se incorpora una idea que parecía haber pasado desapercibida en los modelos de frontera tecnológica que plantean una ventaja para los países que se encuentran lejos de los líderes.

Si bien no se hace una referencia explícita a Abramovitz (1986), los autores amplían su conceptualización de la difusión tecnológica que en principio solo tomaba en cuenta las ventajas del atraso y la posibilidad de generación de tecnologías propias cuando se está cerca de la frontera tecnológica; a lo anterior se añade la posibilidad de que la adopción de tecnologías sea demasiado lenta y casi imposible para los países que se encuentran más lejos de la frontera tecnológica.

En términos sencillos podría decirse que, si algún país se sitúa a una distancia muy grande respecto del líder tecnológico, podría ni siquiera comenzar a entender lo que se quiere adoptar; habría una desventaja en el atraso, como planteaba Abramovitz.

Por ende, en la segunda propuesta de Benhabib y Spiegel se añade un nuevo componente a la forma funcional del modelo, la cual podría especificarse de la siguiente manera:

$$g_A = \Phi(h) + \theta(h) * \left(\frac{A}{T}\right) * \left(\frac{T-A}{A}\right)$$

Donde la simbología sigue siendo la misma que se usa en los modelos anteriores, la única diferencia la supone la introducción del parámetro $\frac{A}{T}$, donde de igual manera A es el nivel tecnológico del país en cuestión y T se refiere al nivel más alto de conocimiento o tecnología disponible. Por obviedad, un parámetro A mucho menor respecto a T llevará a un valor demasiado pequeño de $\frac{A}{T}$, que al final terminaría por hacer que el fenómeno de difusión tecnológica que se intenta representar con $\theta(h)$ tienda a cero.

Entonces, la segunda propuesta de Benhabib y Spiegel plantea un debate acerca de la difusión de tecnologías diferenciada respecto a la distancia con la brecha tecnológica. Para esto usan un modelo logístico con el que se crean divergencias y, de esta manera, encuentran un valor crítico de años de estudio a partir de los cuales se podría dar o no la adopción de tecnologías.

El modelo de 2005 avanza teórica y metodológicamente, al plantear desventajas y no solamente beneficios provenientes del atraso tecnológico y las implicaciones de estas en la

difusión tecnológica y por ende en el incremento de la productividad a la vez de plantear un ejercicio empírico que incluye datos de varios países.

Mediante esta propuesta teórica pueden conceptualizarse fenómenos como la no convergencia de países de renta baja con los países de renta más alta que Basu y Weil (1998) ya había descrito. Además, el fondo de la propuesta muestra que los primeros años de la vida académica de las personas son los más importantes para propiciar la difusión de tecnologías y por ende el crecimiento económico; esos primeros años que, en su mayoría, son ofertados mediante los sistemas de educación pública. Las conclusiones del modelo de Benhabib y Spiegel reivindican la importancia de la educación, como hacían Nelson y Phelps, y en específico, de los sistemas de educación pública básica.

Además de lo anterior, el modelo de 2005 deja claro que las ideas originales de Nelson y Phelps han pasado de solo ser modelos de frontera tecnológica a ser también modelos de capital humano; (*h*) es la variable más importante del modelo y de la misma depende si cada una de las variables tiene un efecto en el incremento de la productividad.

En el ejercicio empírico los autores miden el “nivel de capital humano” mediante los años de estudio promedio de los trabajadores y, a su vez, plantean que dadas las desventajas del atraso la difusión tecnológica no se da de manera exponencial como se planteaba en los modelos anteriores, sino que se asemeja a una forma logística.

Usando un modelo de tipo *logit* encuentran un punto crítico a partir del cual se pueden crear divergencias en dos sentidos: se adoptan tecnologías o no. Entonces el principal resultado es que existe un cierto nivel de escolaridad a partir del cual la adopción de tecnologías es posible y se pueden aprovechar las ventajas que ofrece la lejanía con la frontera tecnológica, por otra parte, con un nivel de escolaridad menor al encontrado por Behabib y Spiegel la adopción no sería posible y se estarían enfrentando las desventajas del atraso.

Entonces, los autores sitúan al capital humano en el centro de la explicación del crecimiento de la productividad y de la convergencia (o divergencia) entre países. Si seguimos la idea de Abramovitz (1986) de que existen “capacidades sociales” que posibilitan la adopción de tecnologías, Benhabib y Spiegel sitúan a la acumulación de capital humano como la principal de ellas, en la cual debieran enfocarse las economías en la búsqueda del crecimiento económico y el cierre de la brecha tecnológica.

El modelo de 2005 ofrece una amplia visión del fenómeno de difusión de tecnologías, incorporando las ventajas y las limitantes de estas, como una explicación de la

productividad, y, como ya se mencionó, el capital humano aparece como la variable explicativa clave en el modelo.

Benhabib y Spiegel, siguiendo la propuesta original de Nelson y Phelps, no ofrecen una explicación robusta acerca del capital humano, se limitan a relacionarlo con la formación escolar y a medirlo mediante los años promedio de estudio.

Sin embargo, se sabe que existen algunas otras variables que pueden ayudar a entender el fenómeno de difusión tecnológica y que, de incorporarse en los modelos de crecimiento, podrían mejorar la teoría existente y aumentar su capacidad explicativa.

2.2 Determinantes del aprendizaje en el capital humano.

En la teoría económica convencional se ha relacionado a la educación con la acumulación de capital humano; comúnmente se utilizan los años de estudio promedio como una variable proxy para describir la reserva de conocimiento o el stock de capital humano con el que cuenta una sociedad determinada.

La teoría del crecimiento no es la excepción, tanto autores neoclásicos, como Mankiw, Romer y Weil, la descrita línea de pensamiento de Nelson y Phelps y sus subsecuentes extensiones, utilizan la escolaridad de la población o la tasa de matriculación para describir el nivel de capital humano existente.

Más allá del plano teórico existen múltiples estudios que muestran la importancia de los años de estudio promedio en el crecimiento económico; por ejemplo, una multiplicidad de trabajos realizados por Robert Barro (1991 y 1993, por ejemplo) señala una correlación positiva entre el acervo de capital humano, medido por los años de estudio promedio de la población, y el crecimiento económico.

La mayoría de los estudios mencionados tiene matices significativos, por ello resulta conveniente detenerse un poco en el análisis de estos. El primer y más conocido ejercicio empírico de Barro que se acerca a estos tópicos data de 1991; en el mismo plantea que el capital humano puede medirse por la escolaridad promedio de las personas, tomando como base y citando las propuestas teóricas de Nelson y Phelps (Barro, 1991:409).

Una de las principales conclusiones del estudio es que, dado un nivel inicial de Producto Interno Bruto (PIB) per cápita, existe una correlación positiva entre la tasa de crecimiento de este y el nivel inicial de capital humano, por ende, el fenómeno de convergencia para los

países pobres estaría supeditado a la existencia de un nivel alto de capital humano en relación con su PIB per cápita.

En un estudio posterior, Barro (1993) decidió dar una mayor profundidad a la medición del stock de capital humano a través del logro educativo; utilizando solamente la educación promedio de las personas de 25 o más años, a las cuales distingue por sexo, dando así un carácter de aplicabilidad a la educación en el proceso productivo suponiendo que las personas en ese rango de edad suelen estar ocupadas. Además, no utiliza cifras comunes para medir la escolaridad; la propuesta es descomponer la información en subgrupos en función de la cantidad de personas que completaron o no un grado académico.

El reconocimiento de lo anterior es de suma importancia dado que, como planteaba Schumpeter⁶, es necesario conocer la forma en que los datos fueron compilados para entender a profundidad los resultados; una de las conclusiones del ejercicio de Barro en 1993 es que el logro académico promedio de la población, para hombres y mujeres, tiene una correlación positiva con el crecimiento del PIB per cápita, sin embargo, pareciera tener mayor significancia la parte masculina. Lo anterior puede estar relacionado con una mayor tasa de participación masculina latente en la mayoría de los países y en los años comprendidos dentro del estudio.

Resultados similares pueden encontrarse en estudios posteriores del mismo autor y de otros autores que citan las bases de datos que durante años él mismo generó, amplió y actualizó, por ejemplo, el texto de Castelló y Doménech (2000).

Para cerrar esta parte, cuando se refieren estudios que muestren la importancia de la educación en el proceso económico deben mencionarse los trabajos de Psacharopoulos, en específico Psacharopoulos (1994) y Psacharopoulos y Patrinos (2004), en donde se estudian los retornos de la inversión en educación y se resalta la importancia de esta, en mayor medida para los países en vías de desarrollo.

Desde otro enfoque, que fue menos desarrollado, algunos otros estudios (quizá el más citado y ya mencionado texto de Mankiw Romer y Weil (1992) y el de Dowrick y Rogers (2002) que sigue la misma línea de los primeros) plantean, desde una visión neoclásica

⁶ En referencia a *"We need statistics not only for explaining things, but also in order to know precisely what there is to explain... It is impossible to understand statistical figures without understanding how they have been compiled."* (Schumpeter, 1955:14).

usando las bases del modelo Solow-Swan, una correlación positiva entre las tasas de matriculación en distintos niveles educativos y el crecimiento del PIB per cápita.

Sin embargo, la utilización de tasas de matriculación y/o años de estudio como único indicador de capital humano puede implicar ciertas complicaciones. Benhabib y Spiegel (1994:144) comentan que, por ejemplo, las mediciones de años de estudio promedio pueden verse influenciadas por los sesgos de medición hacia las zonas urbanas de los países. Además, es conocida la poca homogeneidad en el tipo de educación que existe entre países independientemente de la duración de los estudios, como se analizará más adelante.

Por otra parte, la utilización de tasas de matriculación tiene aún más dificultades teóricas y empíricas; primero, como plantean Wang y Yao (2001) es muy debatible la idea de que las personas que se encuentran estudiando (tasas de matriculación) tengan una influencia directa en el proceso productivo que es justamente lo que una función de producción teórica intenta capturar. Además, teóricamente también es complejo postular una medida de flujo para la descripción de un stock de capital humano; por último y desde una perspectiva empírica, las tasas de matriculación con el paso del tiempo pierden significancia debido a que, afortunadamente, cada vez más países se acercan a la cobertura educativa total, al menos en nivel básico.

Por ello, uno de los objetivos de este capítulo es establecer un debate acerca de la validez de postular a los años de estudio, dentro del marco analítico de la escuela de Nelson y Phelps, como la única variable proxy que describe el nivel de capital humano de un país.

Si volvemos a la propuesta seminal de dichos autores podríamos establecer que la misma atendía a una inconformidad con la “homogeneización” de la fuerza de trabajo. Para ellos el factor L contenido en la función de producción del modelo de Solow suponía una sustitución infinita entre trabajadores no calificados y calificados.

Al seguir estrictamente la línea de pensamiento arriba planteada, el proponer a los años de estudio como variable proxy del nivel de capital humano, plantea nuevamente una homogeneización, en este caso de las escuelas y métodos de enseñanza a lo largo del mundo; un año de estudio, sin importar donde suceda, es equivalente a cualquier otro.

Este planteamiento resultaría poco descabellado si las diferencias entre los sistemas educativos en el mundo pudieran considerarse similares; pero, salvo la similitud en la

cantidad de años que comprenden cada uno de los niveles de estudio, las diferencias de forma y fondo de la educación en distintos países son considerables.

Lo anterior ha quedado en evidencia dado que desde la segunda mitad del siglo pasado ha existido un interés creciente por las diferencias entre los sistemas educativos en todo el mundo. La aparición de pruebas y exámenes estandarizadas son un ejemplo que ha mostrado que las diferencias educativas a lo largo del mundo son grandes y comparables con las diferencias en niveles de desarrollo de los países.

Basta con revisar una de las pruebas estandarizadas más conocidas, el Informe del Programa Internacional para la Evaluación de Estudiantes (PISA, por sus siglas en inglés), que a pesar de ser susceptible de críticas⁷, como la mayoría de los exámenes estandarizados, puede darnos una idea general de las diferencias en la calidad de la educación a lo largo del mundo.

Esta prueba, en resumen, evalúa cada tres años distintas capacidades (lectura, ciencias o matemáticas) de los alumnos que están por terminar la educación secundaria; esta edad es adecuada para la medición dado que al terminar la secundaria los jóvenes podrían acceder legalmente al mercado laboral o continuar con estudios especializados.

En cada periodo la prueba hace énfasis en una de las tres distintas habilidades, los resultados más recientes son de 2015, año en que se evaluó ciencias y en 2018 se evaluará la capacidad lectora. Comúnmente los resultados pueden ir desde los 300 hasta los 700 puntos, emanados de muestras representativas de entre 4,500 y 10,000 estudiantes por país.

Ahora, siguiendo el informe PISA 2015⁸ puede observarse que, para las ciencias, el país con mejores resultados fue Singapur con 556 puntos, muy lejos del último lugar, ocupado por República Dominicana, que solo obtuvo 332. El promedio en el puntaje para la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) es de 493 y México se sitúa por debajo de esta media con 416 puntos.

⁷ Quizá la crítica más consistente a PISA provenga de Rinderman (2007) quien plantea que, dada la estructura de la prueba y las características de los reactivos, los resultados de la misma podrían relacionarse también con el coeficiente intelectual (IQ) promedio de los habitantes de los países y no necesariamente con la calidad de la educación.

⁸ <https://www.oecd.org/pisa/pisa-2015-results-in-focus-ESP.pdf>

Los resultados para las matemáticas y la habilidad lectora son similares, el país con mayor puntaje no cambia en ninguno de los dos casos y para el país que cierra la lista tampoco cambia en el caso de las matemáticas y sí lo hace para la comprensión lectora.

No debe suponerse que los resultados están sesgados por un tamaño pequeño de la población de Singapur, a la cual sería más “sencillo” ofrecer una educación de calidad. Los países que aparecen en los últimos lugares (República Dominicana dos veces y Kosovo una vez) también tienen poblaciones pequeñas; además, países con poblaciones mucho más grandes, como Japón, aparecen en algunos rubros dentro de los líderes.

Ahora, mediante estas pruebas pueden notarse las diferencias educativas entre países, pero también entre las regiones de estos. Contrario a lo que pudiera pensarse, estas disparidades no son un fenómeno particular de los países menos desarrollados. Por ejemplo, tomando a un país como España, que tiene un puntaje exactamente igual al promedio de la OCDE, podemos observar diferencias no menores entre sus regiones, donde sus mejores registros provienen de las zonas de Castilla y León y de Madrid y casi cuarenta puntos por debajo se sitúan Andalucía y Extremadura.

Quizá las mediciones presentadas en el párrafo anterior (cuarenta puntos de diferencia entre zonas españolas) no parezcan tan abismales como las que existen entre Singapur y República Dominicana, pero ilustran la existencia de una heterogeneidad en el desempeño educativo dentro de un mismo país de renta alta, con diferencias comparables a las que existen entre Estados Unidos y Grecia.

Entonces, dado lo mencionado anteriormente, es muy cuestionable asumir que, al menos en nivel básico, un año de estudio en México sea igual a uno en Singapur, y como ya se mencionó, incluso dentro de los mismos países, sobre todo en aquellos en vías de desarrollo, es difícil establecer que la educación en el medio rural sea comparable con la de las ciudades, la misma educación incluso difiere entre ciudades.

Lo anterior no ha pasado desapercibido en las mediciones del stock de capital humano para estudios de corte económico; algunos autores han intentado incorporar las variables de la calidad de la educación, no solo PISA, en sus mediciones para mostrar que las diferencias en el desempeño educativo pueden tener repercusiones en el crecimiento económico.

Barro (1999) tiene aún más que aportar en estas cuestiones. Dentro de sus ejercicios empíricos ya mencionados, que se enfocan en las estimaciones del stock de capital humano, se dio cuenta que la calidad educativa podría aportar a la explicación del

crecimiento; él encuentra que los resultados en pruebas estandarizadas enfocadas a las ciencias tienen una correlación positiva con el crecimiento económico, por otra parte, si las cifras correspondientes a las ciencias se mantuviesen fijas, los resultados enfocados en la capacidad lectora serían poco significativos. Esto tiene sentido desde un enfoque de difusión de tecnologías, que ya se ha mencionado.

En un siguiente estudio, Barro (2013) es más explícito y uno de sus objetivos es distinguir entre cantidad de educación medido por los años de estudio promedio en distintos niveles académicos y la calidad educativa, variable en la cual incorpora resultados de pruebas estandarizadas. Una de sus conclusiones soporta la idea de Nelson y Phelps de que los países menos desarrollados podrían tener tasas de crecimiento económico más aceleradas; Barro, con base en ejercicio de panel con alrededor de 100 países y con temporalidad de 1960 a 1995, llega a la conclusión de que hay un fenómeno de convergencia condicional; el crecimiento del PIB per cápita está inversamente relacionado con el nivel inicial del mismo, si se mantienen fijas algunas variables como el stock de capital humano.

Ahora, volviendo al plano educativo, en el mismo estudio se siguen sosteniendo algunas de las conclusiones de otros trabajos de Barro ya mencionados acerca de una correlación positiva entre los años de estudio y el crecimiento económico, aparentemente más significativa para los hombres; además, a estas conclusiones se suma el hecho de que los resultados en pruebas estandarizadas tengan también una correlación positiva con el crecimiento económico, acentuada para los resultados en la categoría de ciencias.

Otros autores llegan a conclusiones similares, por ejemplo, Hanushek y Kimko (2000) proponen también el uso de indicadores de calidad educativa para la explicación del crecimiento económico; en su estudio también encuentran que los puntajes de las pruebas internacionales estandarizadas, con énfasis en matemáticas y ciencias, tienen una correlación positiva y significativa con el crecimiento.

Estudios posteriores como los de Coulombe, Tremblay y Marchand (2004) y de Hanushek y Wößmann (2007) y recientemente Hall (2017) dan más sustento a la relación entre los resultados de las pruebas estandarizadas y el desempeño económico.

Vale la pena detenerse en el análisis de Hanushek y Wößmann (2007) pues es uno de los estudios más completos en cuanto a los efectos de la calidad educativa en la economía, no solo en el crecimiento. Los autores mostraron las implicaciones de la calidad educativa,

principalmente en la distribución del ingreso y el crecimiento económico. Su análisis muestra como esos efectos son distintos para países de renta alta y para países en desarrollo.

Además de la parte empírica, su trabajo es también un gran aporte teórico y metodológico. Una parte de su texto intenta mostrar que, dado que no todos los conocimientos empleados en el trabajo provienen de la escuela, la incorporación de la calidad educativa puede ampliar la capacidad explicativa de los modelos pues puede ser una variable proxy de las capacidades cognitivas de las personas, las cuales no son propiamente “conocimiento”, pero pueden ser estimuladas a través de la educación para incentivar el procesamiento de la información, percepción, memoria, resolución de problemas y algunas otras cuestiones que podrían tener relevancia en el proceso productivo y más aún en la difusión de tecnologías.

El texto de Hanushek y Wößmann también aporta al presente trabajo pues discute el cómo poder incorporar teóricamente, mediante un índice, las pruebas estandarizadas para medir la calidad educativa junto con la medición de los años de estudio.

Por último, los autores resaltan la importancia de estos tópicos para los países en vías de desarrollo y, al realizar esto, uno de los ejemplos citados es el de México (Hanushek y Wößmann, 2007:43), dando aún más sustento y relevancia al presente escrito.

Antes de avanzar hacia el análisis de otra de las variables que podría modificar el ritmo de la adopción tecnológica debe mencionarse que, aunque aquí se plantea una causalidad que va de la educación hacia el crecimiento económico, se reconoce que existen debates sobre la direccionalidad o retroalimentación entre desempeño económico y calidad y cobertura educativa. ¿Los países ricos tienen más y mejor educación porque son ricos? O ¿Son ricos porque tuvieron más y mejor educación?

Lo anterior es un debate abierto, susceptible de distintas interpretaciones y variadas formas de medición provenientes de autores de diversas líneas de pensamiento y que no está acotado únicamente a la ciencia económica. Es un problema común al abordar estos tópicos y Benhabib y Spiegel (1994) y Hanushek y Wößmann (2007) abundan en torno a esto. La idea general puede resumirse de manera simple, la educación no influye únicamente en el proceso productivo, antes bien, mediante el proceso educativo se crean algunas otras condiciones que pueden influir en el crecimiento económico

Si bien se reconoce la existencia del debate anterior, para los fines del presente texto, ante la necesidad de tomar postura y siguiendo lo propuesto por la línea de pensamiento de la difusión de tecnologías, se acepta una relación causal de la educación hacia el crecimiento.

Ahora, además de la educación (cantidad y calidad), existen otras características del capital humano que pueden ser determinantes del aprendizaje. Iniciaremos con la edad promedio de las personas que también puede ser un referente de las capacidades cognitivas de las mismas y del tipo de conocimiento que poseen.

Si se sigue el enfoque de la difusión de tecnologías, la estructura etaria podría ser una variable que se incorpore al capital humano dado que, como plantea Stiglitz (2015:113), una población relativamente joven podría tener mayores capacidades y disposición para adoptar nuevo conocimiento.

En cuanto a las capacidades de aprendizaje, es plausible asumir que la población más joven tiene una mayor propensión a la adquisición de conocimientos nuevos. Si se usa un enfoque relacionado con la biología algunos estudios como el de Craik y Byrd (1982) debaten este tópico y abren la posibilidad de que no solo el envejecimiento biológico sino el alejamiento de las actividades más productivas pueda mermar las capacidades cognitivas de las personas. Este enfoque también es usado por Hultsch et al. (1999).

Desde un punto de vista puramente económico podríamos seguir el enfoque de Gary Becker, que desarrolló por años desde la publicación de su conocida obra El Capital Humano de 1964. La cuestión es conocida por la mayoría de los economistas, las personas ante una incertidumbre sobre sus ingresos en el futuro deciden realizar una “inversión en sí mismas” mediante la educación, pensando en los rendimientos posiblemente obtenidos en el futuro. Además, pensando en los retornos a la inversión de la educación, las personas jóvenes podrían tener “más tiempo” para recuperar la inversión realizada, respecto a las personas mayores.

La parte de la “disposición” al aprendizaje de la gente joven es controvertida y con poco sustento empírico dada la subjetividad en la medición de qué tan dispuesta está la gente a aprender; solo podría encontrarse un poco de soporte en la misma teoría de Becker, en lo referido al tiempo de recuperación de la inversión realizada ya mencionado.

Sin embargo, existe un enfoque alternativo relacionado con la edad de las personas que sí podría dar sustento al hecho de que una población mayormente joven podría mejorar la difusión de tecnologías; este se refiere a la obsolescencia de los conocimientos. En un

entorno de desarrollo tecnológico y generación de conocimientos cada vez más veloces las personas que adquirieron conocimientos hace décadas pueden estar desfasados en cuanto a lo que resulta relevante en el presente.

Es claro que la aritmética básica y la lectura siguen siendo las mismas de hace más de un siglo, pero algunas prácticas comunes en el entorno laboral (como es uso de computadoras, *tablets* y el entorno digital en general) resultan más familiares a las personas jóvenes, en la mayoría de los casos. Sobran ejemplos de actividades que hasta hace tres décadas eran rutinarias y hoy en día son parte de la historia; algunos tipos de conocimiento dejan de ser relevantes.

La obsolescencia de capacidades cognitivas, conocimientos y habilidades ha sido analizada desde varios enfoques, donde resaltan los trabajos de Gorlich y Grip (2007), quienes se enfocan en la depreciación del capital humano por cuestiones familiares y de envejecimiento; el trabajo de Alders (2005) por su parte da más sustento a lo aquí propuesto; el autor propone que el capital humano sufre una depreciación donde la tasa de esta tiene un origen en la generación de nuevas tecnologías. De esta manera se muestra la importancia de la inversión para que los trabajadores (actuales y futuros empleados) tengan una mejor adopción de las nuevas tecnologías.

Una última variable que podría ser tomada en cuenta para medir el stock de capital humano es la salud; la buena condición física de las personas podría influir en sus capacidades dentro de la actividad productiva.

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, además de enfatizar que usar cualquiera de las dos variables ya mencionadas puede arrojar resultados similares (1996:15).

2.3 Determinantes del aprendizaje no incluidos en el capital humano.

Stiglitz (2015:101) elabora una taxonomía de aquellas variables que podrían ser detonantes del aprendizaje, algunas de ellas se encuentran mencionados en la sección anterior y algunos más serán mencionados a continuación. Dicha separación de los determinantes del aprendizaje se hace en función de que algunos pueden encontrarse incorporados al capital humano (como los ya descritos) y los otros son variables externas al mismo.

Primero deben mencionarse el acceso al conocimiento y los *contactos*⁹; dada la importancia de la transmisión de conocimiento para la difusión de tecnologías el acceso al mismo y la interacción constante con agentes poseedores de nuevas tecnologías puede facilitar la adopción de estas. Aunque estas variables puedan sonar abstractas, las mismas podrían relacionarse con el comercio exterior y con la recepción de inversión extranjera directa¹⁰ (IED).

En cuanto a esto, diversos autores han estudiado los distintos efectos de la liberalización de los países en el crecimiento económico y de la IED, sin embargo, para el presente texto cobra relevancia el aporte de Hall (2015). El autor intenta analizar los efectos de la calidad de la educación incorporando también variables de comercio exterior y de desigualdad.

Una de las principales conclusiones se refiere a la importancia de la calidad educativa y del cambio tecnológico en los países de menor renta para poder iniciar procesos de convergencia, siempre y cuando esto suceda aparejado con procesos de liberalización comercial. Esto da sustento a pensar en el comercio exterior como un determinante del aprendizaje.

Por último, los trabajos de Acemoglu, Johnson y Robinson (2001 y 2005) dieron pie a múltiples investigaciones en torno al cómo el funcionamiento de las instituciones tenía influencia en el desempeño económico. Dada la importancia de estos aportes, en la taxonomía de Stiglitz, se relaciona a las instituciones con el aprendizaje y por ende con la difusión de tecnologías.

Nuevamente, dos de las categorías utilizadas por Stiglitz podrían resultar abstractas: “marcos cognitivos” y “catalizadores del conocimiento”. Sin embargo, es notorio que en el fondo se refiere a una cuestión institucionalista, refiriéndose específicamente a instituciones que incentiven una correcta asignación de recursos y conocimiento y que incentiven la transmisión de este.

Los planteamientos señalados tienen sustento teórico y empírico que pueden conducir a la aceptación de que las instituciones pueden influir en la difusión de tecnologías y por ende en el crecimiento económico. Nuevamente Hanushek y Wößmann (2007:41) aportan al texto, dado que discuten en torno a si la educación (calidad y cantidad) pudiera ser una

⁹ Es el término exacto utilizado por Stiglitz.

¹⁰ Se sabe que la llegada de IED no siempre implica transferencia tecnológica, pero el análisis de este fenómeno escapa al alcance de este trabajo.

variable relevante si no existieran instituciones que la respaldaran. Para ello se basan en la teoría neoinstitucionalista y dan sustento empírico a sus postulados usando el texto de Murphy, Shleifer y Vishny (1991) que muestra que las instituciones que incentiven una mejor distribución del conocimiento y el talento entre las actividades productivas pueden incentivar el crecimiento económico, esto en el sentido del *trade-off* entre generación de ingresos y actividad innovadora. El texto referido muestra que los países con una mayoría relativa de ingenieros frente a los países con una mayoría relativa de abogados suelen crecer económicamente de manera más veloz.

Por último, es importante mencionar los aportes de Pritchett (2001 y 2006) ya que, desde un enfoque de la economía de la educación, y abordando en específico las capacidades cognitivas mencionadas en el apartado anterior, muestra que dichas capacidades y por ende el stock de capital humano, ante un marco institucional deficiente, podría estar empelado en las actividades menos productivas.

Lo anterior cobra mayor relevancia en el caso de México, donde en el mejor de los casos las personas que no acceden al mercado laboral (suponiendo idealmente que aquellas personas que sí están en el mercado laboral sí usan a plenitud sus capacidades) se emplean en actividades informales pero legales; en el peor de los casos podrían dedicarse a actividades altamente productivas fuera del país o a actividades ilegales. El marco institucional puede influir entonces en la asignación de recursos, el aprendizaje y el crecimiento económico.

2.4 Variables para un modelo de capital humano y difusión de tecnologías.

Como se ha planteado, la inclusión de variables distintas a los años de estudio para medir al capital humano ha sido una constante desde hace más de 20 años en la ciencia económica, sin embargo, estos intentos suelen estar relacionados con regresiones “tipo Barro” o con funciones de producción de tipo neoclásico.

Según lo expuesto en el primer capítulo, las ideas propuestas por la rama de estudio de la difusión de tecnologías se presentan como un marco teórico de mayor amplitud, por lo que conjuntar las variables analizadas en este capítulo con los modelos de difusión tecnológica y capital humano podrían representar un avance teórico importante.

Lo anterior no es completamente nuevo, el trabajo de Ahmed y Messinis (2009) plantea esta necesidad; para estos autores 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.

Los aportes de estos autores son más de corte empírico pues sus modificaciones más significativas a la propuesta de Benhabib y Spiegel se relacionan con la econometría de modelos panel y con el uso de funciones de producción, de sustitución constante (CES) y de tipo translog, distintas a la Cobb Duglass que originalmente se usó; sin embargo, intentan emplear una visión más profunda del capital humano para aplicarla dentro del marco teórico que explica el residuo de Solow a través de la difusión de tecnologías, al cual ellos ven como el más robusto y adecuado para explicar el crecimiento (Ahmed y Messinis, 2009:2).

Los autores referidos utilizan los resultados de pruebas estandarizadas para referirse a la calidad de la educación y, además, para referirse a las capacidades cognitivas de un país realizan investigación bibliométrica con variables como producción de libros e investigación científica por país.

El presente trabajo es de corte más teórico y pretende ser una base sólida para futuros análisis empíricos, como el trabajo referido en párrafos anteriores. Por ello, se eligen variables más generales para ser incluidas en las ecuaciones del modelo presentado en el capítulo siguiente.

Esta discusión no es menor, en la ciencia económica existe una disparidad entre las variables teóricas y las variables proxy u observables. Por ejemplo, es sabido que la variable ingreso (Y) usada en la mayor parte de la teoría económica difiere diametralmente del PIB, pero es lo más cercano que existe.

Lo mismo sucede con el capital humano, el cual puede ser relacionado con una multiplicidad de atributos. Por ello la elección de variables teóricas que posteriormente puedan ser capturadas de la mejor manera en pruebas empíricas es de suma importancia.

Entonces, la propuesta de estas variables debe corresponderse con la naturaleza teórica del concepto original y con el fenómeno económico real. Por ello se eligen sólo tres variables, apelando a la parsimonia y previniendo problemas metodológicos futuros.

Estas variables son robustas en contenido teórico, sustentado con lo antes presentado, por lo que la pequeña cantidad de estas no se contrapone con la capacidad explicativa del conjunto seleccionado.

Tenemos entonces: i) los años de estudio promedio que pueden ofrecer descripción de las capacidades genéricas aprendidas en la escuela, ii) mediciones de la calidad educativa que pueden describir las capacidades cognitivas y con ello la incorporación de nuevo conocimiento y tecnologías y, iii) la estructura etaria de la población que proporciona un aporte en varios sentidos pues describe la vigencia (u obsolescencia) del conocimiento y las capacidades sociales de aprendizaje, las probabilidades de la adquisición de nuevo conocimiento y por ende de la adopción de nuevas tecnologías. Además, esta última variable podría entenderse también como un indicador de *salud*, que, si bien se mide con otras variables proxies ya mencionadas, podría tener un lazo colineal.

Los determinantes del aprendizaje que no están comprendidos o incorporados en el capital humano quedan fuera de la conceptualización de la variable propuesta, aunque no por ello se desestima su aporte ni se descarta su incorporación en pruebas empíricas posteriores. Es una simple cuestión de acotar las variables como se realiza en cualquier propuesta teórica.

Entonces, para la presentación del modelo que se desarrolla en el capítulo siguiente se tiene una variable de conocimiento genérico, una de capacidades cognitivas y una de vigencia del conocimiento y de las capacidades de aprendizaje.

Capítulo 3

3. Un modelo de crecimiento endógeno: capital humano y difusión de tecnologías.

Habiendo elegido las variables se pueden establecer las interacciones de estas, a manera de ecuación matemática.

Suponemos que la productividad de los factores de un país i (residuo de Solow de i) estará denotado por A_i .

Entonces tenemos que el crecimiento en el tiempo de 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:

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

En donde $\tau(H_i(t))$ es el componente de la productividad obtenido por la generación de tecnologías domésticas.

Además, $\rho(H_i(t)) \left(\frac{A_i(t)}{A_m(t)} \right) \left(\frac{A_m(t)}{A_i(t)} - 1 \right)$ es el componente de la productividad obtenido por la difusión de tecnologías desde el líder tecnológico m hacia el país de estudio i .

Desglosando el componente del párrafo anterior, $\left(\frac{A_m(t)}{A_i(t)} - 1 \right)$ es la brecha tecnológica¹¹ existente entre el país de análisis i y el líder tecnológico m . Por otra parte, $\left(\frac{A_i(t)}{A_m(t)} \right)$ es el componente logístico que refleja las desventajas del atraso.

¹¹ Es el mismo concepto del modelo de Nelson y Phelps, que podría ser vista como $\left(\frac{A_m(t) - A_i(t)}{A_i(t)} \right)$ al seguir la propuesta original, pero, para la resolución de la ecuación diferencial resulta mejor la reducción del término. Más adelante, cuando se reescribe la fórmula se usa el paso inverso.

Por último, el factor H , que aparece en los dos componentes anteriores, representa el stock de capital humano que a su vez podría estar descrito por:

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

Donde a_i es la escolaridad promedio de las personas del país i , que se encuentra multiplicado por $\left(\frac{C_i}{C_q} \right)$ 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 $\left(\frac{E_r}{E_i} \right)$ representa una comparación entre la estructura etaria del país de análisis i y el país con población más joven r .

En principio, podemos establecer como constante a la variable H , para observar las implicaciones del stock inicial de capital humano en el largo plazo¹². Al sentar dicha variable como fija, τ y ρ serían constantes también.

Con base en el enunciado anterior, se establece el supuesto inicial de que $H_m > H_i$, cuestión plausible dado que m es el líder tecnológico. Entonces, puede establecerse por transitividad que $\rho H_m > \rho H_i$ para poder iniciar la resolución.

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:

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

¹² Es claro que el stock de capital humano tiene variaciones con el paso del tiempo, sin embargo, esta simplificación responde a dos cuestiones. La primera se relaciona con la cuestión analítica, pues al no ser una variable de flujo, se intenta establecer la importancia del stock inicial en el desempeño económico de largo plazo. La segunda es de cuestión matemático-metodológica, pues para resolver la ecuación diferencial propuesta, en el caso de que $H_i(t)$ sí varíe con el tiempo, la solución de esta se complejiza bastante; y aunque con estimaciones computacionales, al asumir que $B_i = A_i$ y hacer algunas transformaciones de la función propuestas por Benhabib y Spiegel (2005:9) se puede dar solución a la ecuación, el análisis de las implicaciones del resultado es igual de complejo que la búsqueda del resultado mismo.

Si restamos $(\tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t)))A_i(t)$ 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 $A_i(t)^2$ para poder linealizar. Esto nos lleva a:

$$\frac{\dot{A}_i}{A_i^2(t)} - (\tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t)))\frac{1}{A_i(t)} = -\left(\frac{\rho(H_i(t))}{A_m(t)}\right)$$

Para la solución de Bernoulli hacemos un cambio de variable:

$$\text{sea } u = \frac{1}{A_i(t)}$$

Para poder tomar la primera derivada:

$$\frac{du}{dt} = -\frac{\dot{A}_i}{A_i^2(t)}$$

Que sustituyendo en la ecuación anterior nos dejaría en:

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

Que multiplicando por -1 en cada lado nos lleva:

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

Donde pueden usarse los métodos de solución del *factor integrante* para ecuaciones diferenciales exactas, usando:

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

Verificando que:

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

Que entonces resultaría en:

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

Por lo tanto, llegaríamos a una solución:

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

Que resolviendo tanto la integral como la multiplicación y recordando el cambio de variable

$u = \frac{1}{A_i(t)}$, nos lleva a la solución de la ecuación logística de difusión de tecnologías:

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

Ahora, se asume que el resultado de la ecuación es mayor a cero dada la suposición de que la expresión $\rho_i + \tau_i - \tau_m \neq 0$, que en pocas palabras supone que el aporte de la difusión tecnológica más la generación de tecnologías propias para el país i es mayor, en su conjunto que la generación de tecnologías en el país líder m . En caso de que la suma de $\rho_i + \tau_i - \tau_m = 0$, la ecuación de equilibrio resultante quedaría reducida únicamente a $A_i(t) = A_i(0)e^{(\tau_i + \rho_i)t}$.

Para analizar las condiciones de largo plazo, reacomodamos la expresión en:

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

Para poder obtener el $\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{A_i(t)}{A_m(t)}$ que muestra la difusión de tecnologías (mediado por la brecha tecnológica) en el largo plazo:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{A_i(t)}{A_m(t)} = \begin{cases} \frac{\rho_i + \tau_i - \tau_m}{\rho_i} & \text{si } \rho_i + \tau_i - \tau_m > 0 \\ \frac{A_i(0)}{A_m(0)} & \text{si } \rho_i + \tau_i - \tau_m < 0 \\ 0 & \text{si } \rho_i + \tau_i - \tau_m = 0 \end{cases}$$

De los tres posibles resultados, la tercera implicación resulta obvia por la suposición señalada dos párrafos antes, en la que se decía que $\rho_i + \tau_i - \tau_m \neq 0$, por lo que el resultado de $\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{A_i(t)}{A_m(t)}$ se aproxima a cero.

Entonces, la atención se centra en los primeros dos resultados del límite, que son los que efectivamente verifican la suposición de $\rho_i + \tau_i - \tau_m \neq 0$.

En ambos casos, el resultado de $\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{A_i(t)}{A_m(t)}$ implica que en la condición de equilibrio las variables $\rho_i + \tau_i - \tau_m$, es decir las magnitudes, tanto de las capacidades de *catching-up* del país i representadas por ρ_i y del diferencial entre las capacidades de innovación doméstica de i y de m representadas por $\tau_i - \tau_m$, jueguen un papel trascendental y por ende sean aquellas que describan el crecimiento de la productividad a largo plazo.

Este resultado es parcial, pues ahora puede recuperarse la variable H , que se suponía constante únicamente para la resolución de la ecuación diferencial.

Dado que las tres variables son dependientes de H , tal y como se establece en la ecuación inicial, se recupera dicha variable para establecer dos casos siguiendo las desigualdades propuestas:

$$\text{soluciones posibles} \begin{cases} \rho_i(H_i) + \tau_i(H_i) - \tau_m(H_m) > 0 \\ \rho_i(H_i) + \tau_i(H_i) - \tau_m(H_m) < 0 \end{cases}$$

En ambos casos los componentes del crecimiento para i están en función de un H_i , que por supuesto inicial se estableció como $H_i < H_m$.

Sin embargo, para el cumplimiento de la desigualdad en el primer caso, el capital humano de i no debiese ser muy inferior al de m , por cómo están establecidas las condiciones de crecimiento de τ_i y τ_m .

Entonces, en el caso de que $H_i < H_m$ sea relativamente pequeño, se cumple la condición de $\rho_i(H_i) + \tau_i(H_i) - \tau_m(H_m) > 0$ y el país m funciona como un motor de crecimiento y el fenómeno de convergencia es posible en el largo plazo. La teoría original de Nelson y Phelps adquiere una mayor relevancia en este contexto, pues la hipótesis general de la misma se comprueba y describiría la realidad de algunos países de renta media que iniciaron procesos de convergencia con aquellos de renta alta.

Ahora, en el segundo caso la desigualdad $H_i < H_m$ se cumple por un rango más amplio, el capital humano en i es tan inferior al de m que lleva a $\rho_i(H_i) + \tau_i(H_i) - \tau_m(H_m)$ a ser menor que cero. Lo anterior ocasiona que existan divergencias entre países con muy distintos stocks de capital humano y con distintas capacidades de innovación doméstica, aun cuando el fenómeno de difusión tecnológica exista.

Esto podría brindar una explicación de las realidades de los países menos desarrollados, quienes no han podido iniciar los procesos de cierre de brecha tecnológica enfrentando las desventajas del atraso.

Ahora, lo anterior parte de un análisis comparativo estableciendo desigualdades entre distintos stocks de H , sin embargo, dado que se estableció que $H_i = a_i \left(\frac{c_i}{c_q} \right) \left(\frac{E_r}{E_i} \right)$, el análisis puede ampliarse.

En el caso de países que hayan aumentado su nivel educativo a , pero en los cuales la calidad de la educación se encuentre alejada de los estándares más elevados a nivel mundial, el proceso de *cath-up* no está asegurado. De hecho, teóricamente, una diferencia muy grande en la calidad educativa entre el líder en el rubro y el país de análisis podría

resultar en un valor menor de H_i que a su vez provocaría que al evaluar el límite $\lim_{t \rightarrow \infty} \frac{A_i(t)}{A_m(t)}$ obtengamos una cantidad menor al cero, que como ya se postuló, implica la no convergencia.

Un aumento cuantitativo en la educación podría no ser significativo en el incremento de la productividad, de no ser acompañado por un aumento cualitativo. Lo anterior puede explicar la situación de países como México, que como muestra Ros (2015) cuenta con la generación más educada de su historia, cuantitativamente hablando, justo en una de las épocas con menor crecimiento económico.

En un caso menos probable, un país con una alta calidad educativa, pero con un bajo nivel de escolaridad también enfrentaría fenómenos de no convergencia.

Por último, el componente etario de la función descriptiva del stock de capital humano es también importante. Teóricamente la población más joven podría aumentar los fenómenos de *cath-up* y de innovación doméstica, claro está, la situación inversa también está considerada.

Quizá sea aún más abstracto hablar de las implicaciones de este componente, es posible que la importancia de este efecto sea más fácilmente contrastable con la comprobación empírica. Además, el componente endógeno de la población (y por ende la generación de propuestas en torno al tema) es una cuestión propensa al debate¹³.

Sin embargo, como se muestra en el marco teórico, las aristas del análisis y las implicaciones de la estructura etaria en la difusión de tecnologías y conocimiento son varias, por ende, la importancia de la inclusión de dicho componente en la forma funcional del capital humano.

¹³ Si bien es debatible la postura de una población con dinámica completamente endógena (dependiente totalmente del proceso económico), existen trabajos que muestran que el proceso económico sí está relacionado con la dinámica poblacional, al menos parcialmente. Los trabajos de Gary Becker, por ejemplo, Becker, Murphy y Tamura (1990), son muestra de ello.

Conclusiones y recomendaciones.

El modelo presentado en el capítulo tercero es un avance en la comprensión teórica del fenómeno de crecimiento económico, específicamente para los países en desarrollo.

Los resultados emanados de la resolución de la ecuación de crecimiento de la productividad en el largo plazo propuesta parecen adecuarse a la realidad en cuanto a algunas generalidades. Por ejemplo, el modelo hace énfasis en que los procesos de convergencia no están asegurados en el largo plazo para todos los países y en cómo el incremento de la escolaridad promedio de la población no asegura el incremento de la productividad en el largo plazo. Ambas cuestiones son relevantes para países en vías de desarrollo dada la evidencia empírica e histórica.

Las conclusiones del modelo de Benhabib y Spiegel (2005) mostraban la importancia del aumento cuantitativo de la educación para los países en desarrollo, encontrando que existía un mínimo de escolaridad necesario para propiciar la difusión de tecnologías; aquí se muestra que, si bien es importante, un aumento cuantitativo no es suficiente en ausencia de cambios cualitativos, además de que los mismos estarán también en función de la estructura etaria de la población.

El modelo teórico y sus conclusiones tienen al menos dos implicaciones, análogas a las motivaciones mismas del trabajo.

La primera es que el texto muestra cuán importante resulta el incremento cualitativo y cuantitativo de la educación de un país en el crecimiento de la productividad en el largo plazo y, por ende, en el crecimiento económico. Ya se ha argumentado en repetidas ocasiones la falta de crecimiento en México, pero debe hablarse sobre qué pasa con la educación.

La lucha contra el analfabetismo y en pro de la educación básica en nuestro país comenzó hace menos de 100 años. En 1920 el gasto en educación correspondía apenas al 1.3% del PIB y la mayoría de los esfuerzos por disminuir el analfabetismo se realizaban con personas voluntarias (Tello, 2007:121); a partir de tal fecha el incremento del gasto sería constante hasta superar el 10% en la década siguiente.

Cincuenta años después, aún el 35% de la población mayor de seis años carecía de educación formal y un cuarto de la población mayor de 10 años era analfabeta (Tello, 2007:454).

Han pasado otros casi 50 años y en la lucha contra el analfabetismo y el aumento de la escolaridad promedio parecemos llevar ventaja, aunque, en los intentos de homogeneizar la calidad educativa a lo largo del territorio del país no se haya avanzado tanto. En un México de regiones históricamente desiguales, el desglose de los resultados de la prueba PISA y los resultados de pruebas como la Evaluación Nacional de Logros Académicos en Centros Escolares (ENLACE) muestran que existen diferencias más que significativas en la oferta educativa mexicana.

El presente texto resalta que, más allá de ser una decisión de política educativa, el esfuerzo por la homogeneización de la calidad de la educación básica en nuestro país podría ser también una decisión de política económica, al verse estrechamente relacionado con el crecimiento de la productividad y por ende del producto, vía difusión de tecnologías.

Nuevamente, se hace énfasis en la cuestión de la homogeneización de la educación, al menos aquella básica, para países en vías de desarrollo. Puede resultar controvertido, pero, teóricamente pareciera más ventajoso para los países en vías de desarrollo (con un alto componente de difusión de tecnologías) el ofrecimiento de una educación básica homogénea y con mayor cobertura que el ofertar educación superior de primera calidad para unos pocos. Abramos el debate.

Es claro, el reto parece mayúsculo al aceptar que la mayoría de las desigualdades educativas pueden no provenir de cuestiones estrictamente curriculares, el déficit de infraestructura y la cuestión geográfica son solo dos de las variables a tomar en cuenta; sin embargo, las posibles consecuencias de la homogeneización de la calidad educativa son bastante amplias aún si el reto parece grande.

Además, apelando a los orígenes de la teoría de la frontera tecnológica y la difusión, debe recordarse que la educación suele tener impactos más allá de lo económico. El análisis de estos escapa a los fines de este texto, sin embargo, en un México inmerso en un contexto de violencia y descomposición social, los efectos sociales de una política educativa, relacionada con la educación básica y la formación de ciudadanos, podrían ser incluso más benéficos que aquellos directamente relacionados con la difusión de tecnologías.

Para cerrar este punto, es claro que la educación superior y las actividades de innovación doméstica requieren atención; en el largo plazo se aspira a que el componente de la generación de tecnologías propias sea mayor que el de la difusión de tecnologías. Lo que aquí se menciona es la importancia de la educación básica para los países que suelen

adoptar tecnologías; el proceso mediante el cual los países pasan de adoptar tecnologías a generarlas (y la posible existencia de trampas de ingreso media relacionadas con el componente tecnológico) es un fenómeno que también puede ser analizado usando las bases teóricas aquí propuestas. Esto nos lleva al siguiente punto.

La segunda cuestión se relaciona con el tema teórico-metodológico. Puede argumentarse que el modelo propuesto es aún incompleto, dado que hay mucho por discutir y teorizar, por ejemplo, el hecho de si pueden incorporarse en el marco analítico de Nelson y Phelps las ideas y conceptos relacionados con nuevas teorías de la frontera tecnológica.

En cierto sentido esta aseveración es cierta, casi cualquier teoría económica está incompleta o podría actualizarse pues el sistema económico cambia de manera constante; en la economía los ejercicios empíricos y los estudios de caso ocupan el grueso de la literatura actual, sin embargo, la labor teórica no debe detenerse. Por suerte las verdades o teorías absolutas en nuestra ciencia son la minoría; siempre habrá espacio para el debate teórico y más aún si viene desde lugares donde no es común la realización de teoría.

En este sentido, el presente texto debe entenderse como un avance teórico que, aunque pequeño, no debe tomarse como poco significativo, pues intenta motivar ejercicios empíricos posteriores, para validar sus propuestas teóricas contrastándolas con los datos existentes. La amplitud explicativa y la lógica-matemática de este y de cualquier modelo serían de poca utilidad si no se traducen en pruebas y análisis empíricos para el establecimiento de propuestas concretas; con base en lo aquí expuesto pueden proponerse diversos ejercicios de este tipo.

Por ejemplo, aunque en el modelo H esté definido como un factor multiplicativo en donde las tres variables tienen importancia semejante ($H_i = \alpha_i \left(\frac{C_i}{C_q} \right) \left(\frac{E_r}{E_i} \right)$), un ejercicio empírico podría llevarnos a la propuesta de ponderaciones exactas para cada una de las variables y así poder medir su importancia relativa.

Además, con la estructura del modelo podría contrastarse los impactos de cambios constantes en la cantidad o calidad educativa frente a un primer incremento en las mismas variables o estimando la importancia del punto de inicio de estas.

Por último, la explicación o medición de los coeficientes ρ y τ pueden traer tanto teorías como ejercicios empíricos interesantes. En el modelo estas variables únicamente se definen como $\rho, \tau > 0$, sin embargo, la explicación de la magnitud de estas, dado que se relaciona

con las capacidades de innovación y absorción de una economía, puede tener impactos en cuestiones de inversión pública y política económica.

Una vez que un marco teórico nuevo se ha desarrollado la variedad de ejercicios empíricos relacionados está únicamente limitado por la imaginación de los investigadores y por nuestras capacidades de medición y procesamiento de datos.

Bibliografía.

- Acemoglu, D., Johnson, S. y Robinson, J. (2001). The colonial origins of comparative development: An empirical investigation. *American economic review*, 91(5), 1369-1401.
- Acemoglu, D., Johnson, S., y Robinson, J. (2005). The rise of Europe: Atlantic trade, institutional change, and economic growth. *American economic review*, 95(3), 546-579.
- Ahmed, Abdullahi y Messinis, George (2009). Human Capital, Innovation and Technology Diffusion. CSES Working Paper No. 43. Disponible en: <https://ssrn.com/abstract=1487951>
- Abramovitz, M. (1986). Catching up, forging ahead, and falling behind. *Journal of Economic History* 46: 385–406
- Alders, P. (2005). Human capital growth and destruction: The effect of fertility on skill obsolescence. *Economic Modelling*, 22 (3), 503-520.
- Arrow, K. (1962a), Economic welfare and the allocation of resources for invention. En R. Nelson (ed.), *The rate and direction of inventive activity: Economic and social factors*. Princeton University. pp. 609–25.
- Arrow, K. J. (1962b), The economic implications of learning by doing. *Review of Economic Studies* 29, 155–73.
- Basu, S. y Weil D. (1998), Appropriate technology and growth. *Quarterly Journal of Economics* 113/4: 1025–54.
- Barro, R. (1991). Economic growth in a cross section of countries. *The quarterly journal of economics*, 106(2), 407-443.
- Barro, R. (1996). Determinants of economic growth: a cross-country empirical study. National Bureau of Economic Research, (No. w5698).
- Barro, R. (1999). Human capital and growth in cross-country regressions. *Swedish Economic Policy Review*, Volume 6.
- Barro, R. (2013). Education and economic growth. *Annals of economics and finance*, 14(2), 301-328.
- Barro, R. y Lee, J. (1993). International comparisons of educational attainment. *Journal of monetary economics*, 32(3), 363-394.
- Barro, R. y Sala-i-Martin, X. (2004). *Economic Growth*: MIT Press. Cambridge, Massachusetts.
- Becker, G. (1964). Human capital: A theoretical and empirical analysis with special reference to education, New York, NBER.
- Becker, G., K. Murphy y R. Tamura (1990), Human capital, fertility and growth, *Journal of Political Economy* 98/5, Part 2: S12–37
- 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: 143–73

- Benhabib, J., and M. Spiegel (2005), Technological diffusion and economic growth. En Aghion P. y Durlauf S., Handbook of Economic Growth, Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- Bernanke, B. y Gürkaynak, R. (2001). Is growth exogenous? Taking Mankiw, Romer, and Weil seriously. NBER Macroeconomics annual, 16, 11-57.
- Castelló, A. y Doménech, R. (2002). Human capital inequality and economic growth: some new evidence. The economic journal, 112(478), C187-C200.
- 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. In Aging and cognitive processes (pp. 191-211). Springer, Boston, MA.
- Destinobles, A. (2005). El Modelo de Mankiw, Romer y Weill (1992) en el Programa de Investigación Neoclásico. Aportes, 10, 5-31.
- Domar, E. (1946). Capital expansion, rate of growth, and employment. Econometrica, Journal of the Econometric Society, 137-147.
- Dowrick, S. y Rogers, M. (2002). Classical and technological convergence: Beyond the Solow-Swan growth model. Oxford Economic Papers, 54(3), 369-385.
- 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 Institute for the World Economy, Working Paper No. 1379.
- Hall, J. (2017). Educational Quality Matters for Development: A Model of Trade, Inequality, and Endogenous Growth. Eastern Economic Journal, 43(1), 128-154.
- Hanushek, E. y Wößmann, L. (2007). The role of school improvement in economic development (No. w12832). National Bureau of Economic Research.
- Hanushek, E. y Kimko, D. (2000). Schooling, labor-force quality, and the growth of nations. American economic review, 90(5), 1184-1208.
- Harrod, R. (1939). An essay in dynamic theory. The economic journal, 49(193), 14-33.
- Harrod, R. (1942). Toward a Dynamic Economics: Some Recent Developments of Economic Theory and their Application to Policy. London: Macmillan.
- Hicks, John (1932). The Theory of Wages. London: Macmillan.
- 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), 245.
- Inada, K. (1963). On a two-sector model of economic growth: Comments and a generalization. The Review of Economic Studies, 30(2), 119-127.

- Leontief, W. (1941). The structure of American economy, 1919-1929: An empirical application of equilibrium analysis. Cambridge.
- Lucas, R. (1988), On the mechanics of economic development, *Journal of Monetary Economics* 22: 3–42
- Mankiw, G., Romer D. y Weil D. (1992), A contribution to the empirics of economic growth, *Quarterly Journal of Economics* 107: 407–37.
- Murphy, K., Shleifer, A. y Vishny, R. (1991). The allocation of talent: Implications for growth. *The quarterly journal of economics*, 106(2), 503-530.
- Nelson, R. (2005). *Technology, institutions and economic growth*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Nelson, R. (1959). The simple economics of basic scientific research. *Journal of political economy*, 67(3), 297-306.
- Nelson, R. y E. Phelps (1966), Investment in humans, technological diffusion and economic growth, *American Economic Review* 56: 69–75.
- Pritchett, Lant. 2001. Where has all the education gone? *World Bank Economic Review* 15, no. 3:367-391.
- Pritchett, Lant. 2006. "Does learning to add up add up? The returns to schooling in aggregate data." En Hanushek E. y Welch F. *Handbook of the Economics of Education*. Amsterdam: North Holland:635-695.
- Psacharopoulos, G. (1994). Returns to investment in education: A global update. *World development*, 22(9), 1325-1343.
- Psacharopoulos, G. y Patrinos, H. (2004). Returns to investment in education: a further update. *Education economics*, 12(2), 111-134.
- Rindermann, H. (2007). The g-factor of international cognitive ability comparisons: The homogeneity of results in PISA, TIMSS, PIRLS and IQ-tests across nations. *European Journal of Personality: Published for the European Association of Personality Psychology*, 21(5), 667-706.
- Rogers, E. M. (1962). *Diffusion of innovations*. Free Press.
- Romer, P. (1986), Increasing returns and long-run growth, *Journal of Political Economy* 94: 1002–37.
- Romer, P. (1987), Growth based on increasing returns due to specialization, *American Economic Review* 77/2: 56–62
- Romer, P. (1990a), Endogenous technological change. *Journal of Political Economy* 98 (part 2): 71–102
- Romer, P. (1990b). Human capital and growth: theory and evidence. En *Carnegie-Rochester conference series on public policy* (Vol. 32, pp. 251-286). North-Holland.

- Romer, P. (1994). The origins of endogenous growth. *The Journal of Economic Perspectives* 8: 3–22.
- Ros, J. (2000). *Development Theory and the Economics of Growth*, Michigan: University of Michigan Press.
- Ros, J. (2013). *Rethinking economic development, growth, and institutions*. Oxford University Press.
- Ros, J. (2015). ¿Cómo salir de la trampa del lento crecimiento y alta desigualdad? El Colegio de México AC.
- Sánchez A. y Márquez J. (2018). ¿Debe ser el cambio tecnológico ahorrador puro de trabajo en un modelo endógeno de crecimiento de la producción? *Investigación económica*, 77(303), 79-93.
- Schultz, T. (1961). Investment in human capital. *American Economic Review*, 51 (1), 1-17.
- Schumpeter, J. A. (1997) [1944]. *Teoría del desenvolvimiento económico: una investigación sobre ganancias, capital, crédito, interés y ciclo económico*. FCE.
- Schumpeter J. (1971) [1955] *Historia del Análisis Económico*. Barcelona. Ariel
- Solow, R. (1956), A contribution to the theory of economic growth, *Quarterly Journal of economics*. 70(1), 65-94.
- Solow, R. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *Review of Economics and Statistics*, 39, August 312–320.
- Solow, R. (1962). Technical progress, capital formation, and economic growth. *The American Economic Review*, 52(2), 76-86.
- Solow, R. M. (1969). Investment and Technical Change. En Arrow, K. et al., eds. *Mathematical Methods in the Social Sciences*. Palo Alto, CA: Stanford University Press.
- Stiglitz, J. y Greenwald, B. (2015). *La creación de una sociedad del aprendizaje*. Crítica.
- Swan, T. (1956). Economic growth and capital accumulation. *Economic record*, 32(2), 334-361.
- Tello, C. (2007). *Estado y desarrollo económico: México 1920-2006*. UNAM.
- Uzawa, H. (1961). On a two-sector model of economic growth. *The review of economic studies*, 29(1), 40-47.
- Wang, Y. y Yao, Y. (1999). Sources of China's economic growth, 1952–99: incorporating human capital accumulation. The World Bank.