



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE POSGRADO EN ECONOMÍA

FACULTAD DE ECONOMÍA ♦ DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

ECONOMÍA DE LA TECNOLOGÍA

**Capital humano, difusión de tecnologías y crecimiento
económico.**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

Doctor 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

Dr. Héctor Eduardo Díaz Rodríguez

Facultad de Economía, UNAM

Dra. Marcela Amaro Rosales

Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM

Dr. Francisco López Herrera

Facultad de Contaduría y Administración, UNAM

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., diciembre 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 pudo ser concluido gracias al apoyo recibido por el otrora Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT y ahora CONAHCYT) 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 y por la orientación académica y personal, la cual me ha brindado desde hace años. Su ejemplo y su disposición sin condiciones para resolver mis dudas posibilitaron la conclusión de esta tesis, además de impulsar mi desarrollo en diversas cuestiones mas allá del plano académico.

Agradezco también a los miembros del jurado: a la Dra. Marcela Amaro Rosales y al Dr. Héctor Eduardo Díaz Rodríguez por apoyarme desde el primer día en diversos aspectos académicos aparte de la realización de mi tesis. A la Dra. Seyka Verónica Sandoval Cabrera quien ha aportado puntos de vista críticos y relevantes a mi investigación no solo durante los estudios doctorales sino desde mis primeros pasos en la maestría. Al Dr. Francisco López Herrera quien en la parte final del presente trabajo hizo comentarios, correcciones y recomendaciones para enriquecer el mismo.

Agradecimientos personales.

A Mary por apoyarme (y soportarme) en este largo proceso, sobre todo en la recta final de la elaboración de la tesis.

A Shelby por estar cerca durante cada párrafo escrito de este trabajo y por alegrar el proceso tanto para Mary como para mí.

A mis padres por mostrarme la importancia de la educación, del saber y de la familia.

A mis hermanos por enseñarme distintas perspectivas de la felicidad, de la vida y de lo que es el conocimiento.

A mis sobrinos pues gracias a ellos reafirmo constantemente mis convicciones en torno a que el aprendizaje no está únicamente relacionado con la escolaridad. La hipótesis central de este trabajo nace de la observación del fenómeno económico, pero también de mirar crecer a mis sobrinos.

A la calistenia por regalarme un estilo de vida sano y por ser la herramienta que me ha permitido mantener la cordura en este inconcluso proceso de volverme el economista que quiero ser.

Índice general.

Introducción	2
1. Capital humano y crecimiento económico.....	5
1.1 Pensamiento económico, hechos estilizados y orígenes del término	5
1.2 Capital humano, teoría e ideología.....	22
1.3 Capital humano y medición empírica.....	25
1.4 El capital humano dentro de la teoría del crecimiento económico	40
1.5 La necesidad de una medición multivariada de capital humano	50
1.6 Consideraciones finales	60
2. Difusión tecnológica y crecimiento económico.....	63
2.1 La tecnología y el crecimiento económico.	63
2.2 La difusión de tecnologías a partir del modelo de Nelson y Phelps.....	71
2.3 Los aportes de Benhabib y Spiegel	76
2.4 Teoría de la difusión tecnológica frente a otros marcos teóricos posibles.....	85
2.5 Precisiones teóricas necesarias.....	96
2.6 Consideraciones finales.....	100
3. Las variables de capital humano y difusión de tecnologías.....	103
3.1 Capital humano	103
3.1.1 La estructura etaria.....	104
3.1.2 Educación en cantidad. Años de estudio promedio de la población.....	110
3.1.3 Calidad educativa. PISA y otras mediciones.....	114
3.2 La frontera tecnológica y la productividad total de los factores	128
3.3 Manipulación de las variables y resultados esperados	132
3.4 Estimación de significancia para el valor más actual	137
3.5 Consideraciones finales.....	142
4. Estimación de la importancia del capital humano y la difusión tecnológica para la productividad	145
4.1 Significancia y coeficientes esperados.....	146
4.1.1 Estimaciones para conceptualizaciones alternas de productividad.....	148
4.1.2 Observaciones referidas a 2012.	150
4.2 De la selección de variables y capacidad explicativa.	152
4.3 Frontera tecnológica	161
4.4 Calidad de la educación	164
4.5 Edad de las personas y años de estudio promedio.....	169

4.6	Regresiones conjuntas	172
4.7	Consideraciones finales.....	174
5.	Capital humano y difusión de tecnologías para la explicación del crecimiento económico. Conclusiones, recomendaciones, alcances y limitaciones.	177
5.1	Conclusiones fundamentales.....	177
5.2	Implicaciones y recomendaciones.	182
5.3	Alcances y limitaciones.....	190
5.4	Líneas de investigación resultantes.	194
6.	Referencias.	199

Introducción

El término capital humano aparece de manera formal dentro de la historia del pensamiento económico en la década de los sesenta con los textos de Schultz y Becker, si bien diversos escritos clásicos plantean con anterioridad ideas sobre las posibilidades que la especialización de la mano de obra puede traer al funcionamiento de la economía. A partir de esta irrupción la teoría del capital humano se ha ramificado en diversas vertientes.

Una de ellas es la estimación estadística de la magnitud de los stocks de capital humano en las economías, utilizando diversas variables proxy que van desde indicadores de educación hasta mediciones de la salud de las personas. Esta corriente empírica puede ser rastreada desde los años noventa con la publicación de los textos de Barro.

Otra vertiente de estudio del capital humano es la de la modelación teórica que describe los mecanismos bajo los cuales existe una injerencia de esta variable en el crecimiento económico. Los modelos de crecimiento que utilizan al capital humano como variable teórica pueden agruparse en al menos dos subconjuntos. El primer grupo de escritos está mayoritariamente fundamentado en los postulados de la economía neoclásica y es conocido como las “teorías de la acumulación”; por otra parte, las “teorías de la asimilación” también describen el crecimiento económico a través del capital humano, pero con base en la teoría de la difusión de tecnologías.

Esta división cobra relevancia para los países en vías de desarrollo, ya que el enfoque de la difusión de tecnologías rivaliza con el neoclásico al no centrarse únicamente en el estudio de economías con altas dotaciones de capital y mecanismos de aprovisionamiento de conocimiento homogéneos, por lo que, entre otras bondades, posibilita el análisis de países con menores stocks de capital y que no necesariamente desarrollan tecnologías domésticas. En este sentido la teoría de la difusión tecnológica se plantea como un marco de análisis del crecimiento económico que resulta adecuado para la inclusión de los países menos desarrollados.

Plantear lo anterior resulta necesario pues en la actualidad estas dos ramificaciones de la teoría del capital humano encuentran un punto de tangencia en la contabilidad del crecimiento, ya que algunos de sus ejercicios empíricos buscan validar las hipótesis de los modelos teóricos del crecimiento económico empleando una multiplicidad de variables proxy. Sin embargo, la intersección entre ambas vertientes no incluye de manera efectiva a

la totalidad de los modelos teóricos de crecimiento económico y capital humano, dejando de lado a los modelos de asimilación.

Las mediciones de capital humano expresadas en distintas variables proxy se han visto continuamente incorporadas en ejercicios empíricos basados en las teorías de la acumulación; lo anterior se pone en evidencia con el nutrido conjunto de textos que salta a la luz con una revisión somera de la literatura en cualquier buscador académico; esta misma exploración ayuda a dilucidar que, caso contrario, los ejercicios empíricos basados en las teorías de la asimilación son escasos en general y la cantidad de estudios que desde este enfoque emplean variables diferentes a los años de estudio promedio de la población como variable proxy del capital humano es aún más limitada. La regularidad es la existencia de textos desde el enfoque neoclásico y que solamente estimen al capital humano con el logro académico como variable proxy única.

En este sentido, el aporte que realiza este texto es la estimación de la importancia y significancia del capital humano en el crecimiento económico a través del proceso de difusión de tecnologías, utilizando diversas variables proxy además de los años de estudio promedio de la población. Se apela a que el uso del marco analítico de las teorías de la asimilación ofrece bondades para el análisis de las economías menos desarrolladas y también se propone que existen tales disimilitudes entre los registros de diversas variables proxy de capital humano que pueden ocasionar que para evidenciar algunos fenómenos particulares el uso únicamente de los años de estudio promedio sea insuficiente.

Por ello se plantea que el uso de la teoría de la difusión tecnológica de manera conjunta con el manejo de distintas variables proxy de capital humano más allá del logro educativo pueden ofrecer nuevas perspectivas sobre el fenómeno del crecimiento económico particularmente para los países en vías de desarrollo.

Para lograr este fin en los primeros dos capítulos se desarrolla el marco teórico. En el primero se expone de manera analítica la teoría del capital humano para conocer tanto sus postulados fundamentales como las diversas formas de estimación que existen. En el segundo capítulo se presenta la teoría de la difusión de tecnologías, desde sus orígenes en la década de los sesenta hasta las ramificaciones actuales de dicho enfoque. La presentación de los elementos teóricos de los primeros dos capítulos posibilita establecer la conexión entre ambos y exponer los mecanismos bajo los cuales pueden crearse

interdependencias, además de que de esta manera se consigue una presentación completa de los elementos fundamentales de las teorías de la asimilación.

En el tercer capítulo se describe paso a paso la construcción de la base de datos en la cual se aglutinan distintas fuentes de información de capital humano, productividad total de los factores y tecnología. La elaboración de esta base de datos se realiza de manera crítica, analizando cada una de las fuentes de información desde su origen y recopilación para abonar al entendimiento de cada una de ellas y, cuando es el caso, discernir entre las opciones posibles de estimación de una misma variable.

En el cuarto capítulo se analiza la base de datos a partir de métodos de econometría básica. En específico se realizan 378 regresiones lineales por mínimos cuadrados, creando subdivisiones de países en función de diversas características socioeconómicas para poder indagar en efectos diferenciados del capital humano en la productividad. En caso de la necesidad de replicar alguno de los ejercicios estadísticos aquí propuestos la base de datos se encuentra disponible de manera pública y gratuita en el siguiente enlace: <https://mega.nz/file/JoAXmKIR#eAaMJcgUgXac9jlwWau0Dn7F6MMoiBtvrsviH8ZrPxo>

En el quinto y último capítulo se presentan las conclusiones fundamentales del texto que surgen de los modelos econométricos del capítulo cuarto. Además de ello se exponen una serie de implicaciones resultantes de las conclusiones y para algunas de ellas se indaga en el caso mexicano. En el cierre de este capítulo también se presentan los alcances y las limitaciones de esta tesis, a la par de mostrar una serie de líneas de investigación nacientes.

1. Capital humano y crecimiento económico

El presente capítulo tiene como intención presentar analíticamente a la teoría del capital humano, desde sus orígenes hasta los aportes más recientes tanto teóricos como empíricos. Para este fin, en el primer apartado se presenta la teoría económica fundamental y los hechos estilizados que facilitan la comprensión de los orígenes del término. Hoy en día entre los economistas es común definir al capital humano como la mezcla de aptitudes y habilidades innatas a las personas, así como la calificación y el aprendizaje que adquieren en la educación y la capacitación y en ocasiones incluyendo el estado de su salud y que tienen repercusión en la producción (OCDE, 2007). Sin embargo, el arribo a esta definición proviene de distintas discusiones teóricas importantes que se describen a continuación, incluidas ciertas disputas ideológicas descritas de manera breve en 1.2.

En el apartado 1.3 se presentan las estimaciones empíricas y el estado del arte basado en las concepciones modernas de capital humano para luego dar al 1.4 en donde se analiza la parte teórica basada en los aportes de las ramificaciones de teoría del crecimiento económico que utiliza al capital humano como variable explicativa.

El apartado 1.5 integra tanto los aportes teóricos como los empíricos para fundamentar la necesidad de la utilización de diversas variables proxy de capital humano dentro de los ejercicios empíricos para posibilitar una descripción adecuada de la variable teórica. Por último, en 1.6 se presentan las conclusiones del capítulo.

1.1 Pensamiento económico, hechos estilizados y orígenes del término

La producción ha sido el principal objeto de estudio de la ciencia económica desde su fundación como una rama del conocimiento independiente de los estudios filosóficos y legistas. La aparición de la economía clásica implicó el desuso de teorías mercantilistas centradas mayoritariamente en el comercio y la tenencia de metales preciosos como vía de aumento de la riqueza de las naciones para centrarse en el análisis en la cuestión del cómo y cuánto se produce. La aparición del texto de Smith (1776) marca un antes y un después en el planteamiento de estas ideas¹.

¹ Puede argumentarse que los autores *fisiócratas* (Quesnay el más destacado), centraron también su interés en la producción e incluso antes que Adam Smith lo hiciera, influyendo notablemente en su obra. Sin embargo, el impacto inmediato de su pensamiento se vio limitado a la región francesa desde donde escribían y, más aún, sus referencias a procesos agrícolas se vieron eclipsadas por la descripción de procesos fabriles de Smith, ante la llegada de la revolución industrial.

La naturaleza y las causas de las diferencias entre las riquezas de las naciones comenzaron a ser estudiadas poniendo énfasis en el qué y el cómo se produce y, desde la introducción de la obra pionera de Smith, para responder a estas preguntas se reconoce que un importante porcentaje del valor total del ingreso generado depende de cuántas personas se dediquen a la producción, o en lenguaje económico actual, de la magnitud del factor trabajo.

Según Smith, el monto total de trabajo anual de cada nación, en principio, es un indicador base de cómo serán provistas las necesidades de cada economía (cuánto se produce); en este mismo sentido, el producto de dicho trabajo anual estará en función de dos características principales, la primera es “la aptitud, destreza y sensatez con que generalmente se ejerce el trabajo, y la segunda, por la proporción entre el número de los empleados en una labor útil y aquellos que no lo están” (Smith, 1976, Introducción).

Dada la temporalidad en la que se escribieron esas líneas, es interesante resaltar que para el análisis teórico ya era evidente que el factor trabajo resulta importante para la estimación del volumen de producción, sin embargo, la importancia de este no solo radica en el volumen de personas que estén disponibles para ser empleadas, sino también en la destreza que estas tienen para las labores productivas. Existen relaciones de carácter cualitativo y cuantitativo.

Dado el refinamiento en la medición de indicadores y con un argot ampliamente desarrollado por los economistas, puede clarificarse el primer punto que se relaciona con la cantidad bruta de trabajadores y mostrar de manera general que hay una estrecha relación entre el aumento de la población mundial y el aumento del producto global.

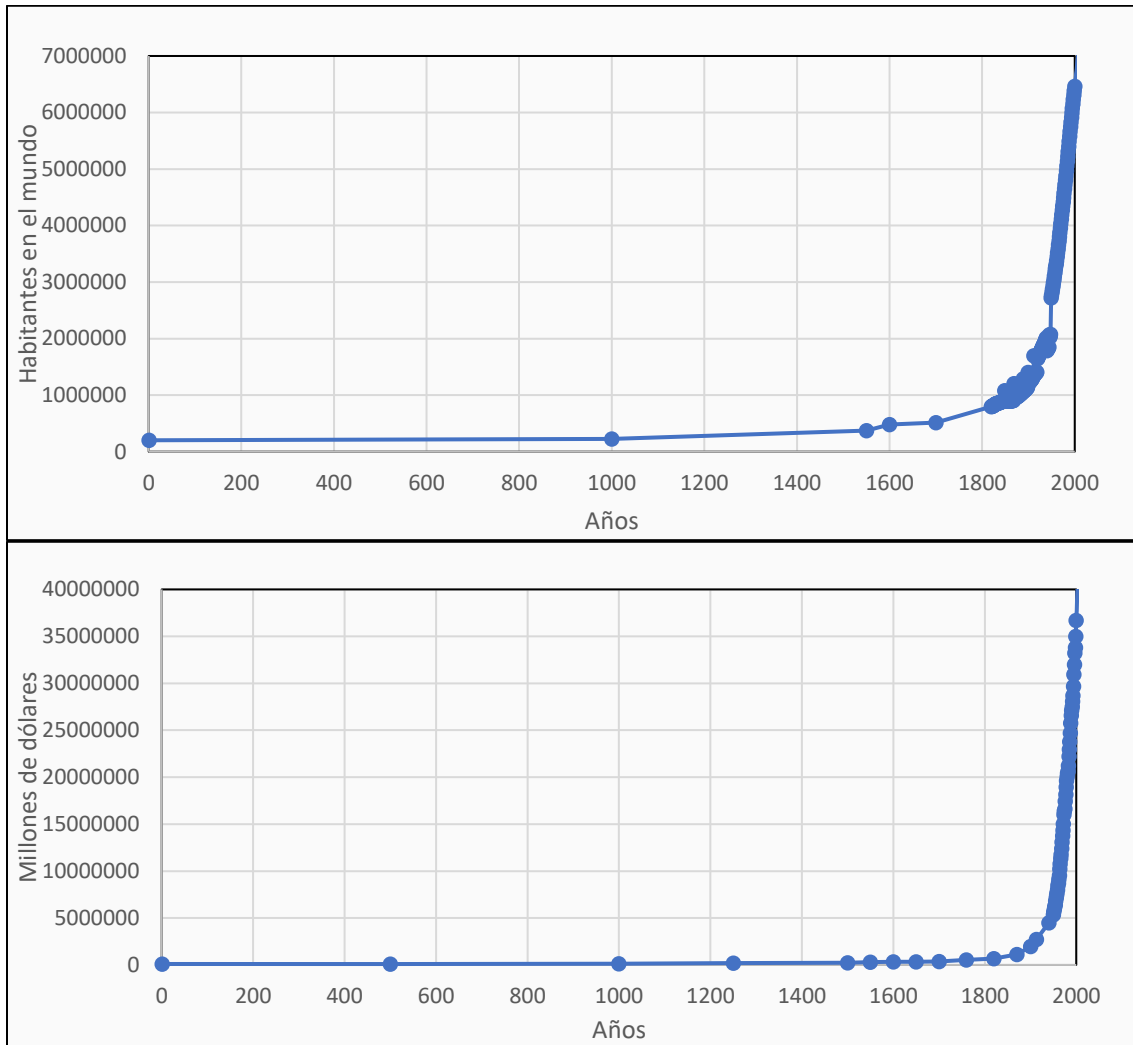
El gráfico 1A muestra dos series históricas que establecen una relación entre el sistemático aumento de la población a partir del siglo XVIII y el crecimiento exponencial del producto iniciado en la misma época.

No se establece una relación causal entre ambas variables dada la poca sofisticación de tal análisis, sin embargo, la idea fundamental es la introducción de dos puntos de partida sumamente importantes. El primero es la casi obvia relación entre el incremento bruto de trabajadores disponibles (aumento del factor trabajo) y el aumento del producto.

La segunda idea se entrelaza directamente con la anterior, aunque es quizá menos intuitiva y en principio puede resultar difusa, ya que la posibilidad del establecimiento de una relación como la presentada en el gráfico 1A reposa en el hecho de que el grueso de la teoría económica desarrollada desde la aparición del texto de Smith y hasta mediados del siglo

XX utiliza, en mayor o menor medida, una dicotomía entre capital y trabajo, a partir del reconocimiento de que aunque ambos factores interactúan en el proceso productivo, existen sustanciales diferencias en la naturaleza de ambos.

Gráfico 1A. Crecimiento de la población y la producción mundiales.



Fuente: elaboración propia con datos de Angus Maddison disponibles en el Groningen Growth and Development Centre.

Estas diferencias conceptuales se traducen en distintas implicaciones teóricas importantes. Por ejemplo, al plantear al capital y al trabajo como conceptos disímiles bajo algunos parámetros, ello puede implicar una diferencia en el cómo se concibe el aporte de cada uno de estos dos factores en la producción final y más aún, en el reconocimiento de formas distintas de acumulación del stock de capital frente al de trabajadores disponibles.

Al establecer esta diferenciación teórica, puede decirse que el aumento bruto de la población provoca a su vez un aumento bruto de la producción. La conclusión anterior no es del todo errónea pero sí resulta incompleta, y es que lo mostrado en el gráfico 1A es un hecho concreto que resulta casi intuitivo incluso para aquellos lectores alejados de la economía, sin embargo, los mecanismos bajo los cuales sucede dicho fenómeno económico y las sutilezas y matices teóricos no lo son, aunque fueron dados por sentados por décadas.

Sin intención de incurrir en reduccionismos y en un análisis por demás somero, pueden mencionarse las pautas generales de dos corrientes teóricas reconocidas que analizan el proceso productivo y que contienen la dicotomía capital-trabajo en su base analítica, concibiendo a cada uno de esos factores productivos como objetos que confluyen en la producción, pero con características que los hacen conceptos con naturalezas distantes.

La teoría neoclásica del crecimiento, por ejemplo, consolida la mayoría de su teoría del productor en la descripción de una función de producción donde resulta más que explícita esta dualidad; usando por ejemplo la clásica función $Y = K^\alpha L^\beta$ que plantea que la naturaleza de la acumulación de K depende, entre otras cosas, de una fracción s_t del ingreso Y_t conocida como ahorro y que cumple la característica de estar en un rango definido $0 \leq s \leq 1$. Por otro lado, la acumulación del factor trabajo es una variable exógena, relacionada con la tasa de incremento poblacional $\frac{\dot{L}_t}{L_t} = n$. Es notorio que K y L se acumular de maneras muy distintas.

En un polo teórico diametralmente distinto, la teoría marxista a partir de la mencionada dicotomía capital-trabajo articula un análisis económico-social bastante elaborado basado en el quién ostenta la propiedad de cada factor productivo, lo cual tiene repercusiones que no solo se limitan a la producción o la ciencia económica. En dicha teoría capital y trabajo resultan objetos de análisis de naturalezas muy distintas, por decir lo menos.

Tanto los enfoques teóricos mencionados como algunos otros desarrollados en la misma época, vieron la luz en un contexto de industrialización constante y acelerada, pero es claro que el trabajo repetitivo y la producción agrícola ocupaban aún un gran porcentaje del producto de los países desarrollados y más aún del producto mundial, si se piensa en la inclusión de economía con industrias nacientes o precarias en esos años.

Esto ocasionó que para dicho periodo histórico, a pesar de lo visible que pueda resultar el fenómeno mostrado en el gráfico 1A, el estudio del incremento en la producción desde la teoría económica se enfoque mayoritariamente en el capital, con distintos matices y términos dependiendo la teoría seleccionada (acumulación de capital, unidades efectivas de trabajo, incremento de la ratio capital trabajo, desarrollo de las fuerzas productivas, etc.) y dejando un papel secundario al crecimiento del factor trabajo, que en los mejores casos cuando llegaba a ser mencionado era considerado una variable de la que solo se postulaba que crecía a una tasa n .

Resulta claro entonces que un análisis de factor trabajo al estilo L que crece a una tasa exógena $\frac{L_t}{L_t} = n$ y que por tanto aglutina sin distinción al total de trabajadores disponibles en una economía, invisibiliza el segundo de los fenómenos mencionados por Smith (la destreza de los trabajadores) dejando únicamente disponible para el análisis el aporte en bruto del factor trabajo, tal y como se realiza en el burdo análisis del gráfico 1A.

Entonces, la dicotomía capital-trabajo existe tanto en las teorías de la producción y como en las de la acumulación, en donde en donde el incremento del stock de capital está en función de la magnitud del ahorro s que se encuentra $0 \leq s \leq 1$ ya que es una porción del ingreso Y de los agentes. Por otro lado, la acumulación del factor trabajo depende de una tasa de crecimiento poblacional exógena ya mencionada.

Esta diferenciación teórica se mantuvo en el eje central de la ciencia económica por un largo periodo, al menos hasta la década de los sesenta del siglo XX, y tuvo repercusiones en el pensamiento económico en diversas corrientes. Para el presente texto resultan de interés particular las consecuencias teóricas de esta dicotomía que son constatables en la macroeconomía y el análisis económico agregado de largo plazo.

Un claro ejemplo es el modelo Harrod-Domar en donde esta dualidad de los factores productivos se concatena con la visión keynesiana de inestabilidad en el corto plazo, para responder cuán capaz de crecer es una economía en un contexto de estabilidad. Se entiende que una economía crece en un entorno de estabilidad si se verifican los cuatro primeros de los seis hechos estilizados de Kaldor (Solow, 2018 pp.34)

La presentación de este modelo permite clarificar la idea dicótoma del capital-trabajo y, a pesar de no considerarse un modelo de crecimiento de largo plazo², permite también la encadenación de estas ideas con conceptos de la teoría del crecimiento que resultan útiles en apartados posteriores.

Evsey Domar (1946) y Roy Harrod (1939), de manera independiente, teorizan en torno a cuan capaz sería una economía de crecer bajo las condiciones ya comentadas. El mecanismo de acción se entiende como un incremento de la producción a través de aumentos en el capital y en el trabajo en forma proporcional y constante, teniendo en cuenta el ahorro y la inversión necesarios para mantener la relación capital-trabajo fija.

Es decir, se presta atención a dos parámetros, la cantidad de trabajo requerida por unidad de producto γ y la cantidad de capital requerida por unidad de producto v . En este sentido, la acumulación del factor trabajo a través del crecimiento de la población se considera una variable exógena pues se concibe como algo que no es modelable y tampoco resulta dependiente a totalidad de mecanismos económicos. Por ello, el foco de atención se sitúa en la acumulación de capital en concordancia con el aumento del factor trabajo a una tasa dada.

En lenguaje actual esto se podría sistematizar a través de una función de producción de tipo Leontief de proporciones fijas, el modelo puede ser presentado 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 $A, B > 0$. Entonces, el factor trabajo y el factor capital, en proporciones fijas, son las variables explicativas del ingreso y a través de la acumulación de capital mediada por la tasa de interés s .

La conclusión fundamental de los autores es que el crecimiento económico en un contexto de estabilidad solo es posible en situaciones en las que $s = vn$. Esto parece controvertido dado que al ser variables tan relacionadas no parece haber razones plausibles para que

² En estricto sentido la teoría del crecimiento de largo plazo aparece con los escritos de Robert Solow, una década después de la síntesis Harrod-Domar. La cuestión es que el modelo de Harrod-Domar fundamenta su lógica de análisis de un fenómeno que, como ahora se sabe es de (muy) largo plazo, en las concepciones básicas del modelo keynesiano de macroeconomía de corto plazo.

coincidan sistemáticamente; el crecimiento estable pareciera ser más una casualidad que un hecho observable.

Desde la forma funcional puede intuirse que las variaciones del ratio capital-trabajo desencadenen procesos de inestabilidad. Esta situación se conoce como *Knife Edge Problem* o situación de filo de navaja: resumiendo, el equilibrio conseguido de acumulación de capital a una tasa constante que respete la relación capital-trabajo se considera frágil y el rompimiento de este ocasiona o procesos inflacionarios ante un aumento de los salarios por un predominio del capital sobre el trabajo, o bien desempleo por predominio del trabajo ante el capital.

Con lo anterior se llega a la conclusión de que existe una tasa natural a la cual se puede crecer de manera estable, 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.

La función de producción utilizada no permite la sustitución entre factores productivos; la elección de este tipo de función y el establecimiento de los supuestos correspondientes atiende al instrumental teórico keynesiano de corto plazo en el que reposa el modelo, pero también a la conceptualización del crecimiento poblacional como una variable exógena.

Sin embargo, proponiendo un análisis bajo el marco conceptual hasta aquí desarrollado, lo anterior también implica una suposición de la homogeneidad entre los trabajadores al concebirlos como factor productivo, devenida de la dicotomía capital-trabajo, en específico de las diferencias en la acumulación de ambos factores.

Lo anterior genera diversos problemas con el análisis de los estados estables en el que se fundamenta el grueso de la teoría del crecimiento, sin embargo, el que resulta de más interés para el presente texto es aquel que rivaliza con la segunda proposición smithiana de la destreza de los trabajadores, ya que la suposición de que la vía única de acumulación del factor trabajo es el crecimiento poblacional implica el entendimiento de que la diferencia entre un trabajador y cualquier otro es ínfima o inexistente. Esto tiene dos posibles vías de justificación, excluyentes entre sí.

La primera es la suposición de que el modelo representa a economías artesanales o con alta intensidad del factor trabajo, en donde las diferencias por calificación entre trabajadores resulten insignificantes para el volumen de producción final. Resulta claro que esta primera

vía es el legado de una tradición teórica proveniente de escritos de pensadores que desarrollaron sus textos en sociedades pre-industriales o con industrias nacientes en el mejor de los casos.

La segunda vía es la propuesta de una estandarización en las unidades en las cuales las horas trabajadas (o cualquier variable proxy propuesta) se unifiquen para la medición ponderada del factor trabajo. El uso de cualquiera de ambas propuestas para el análisis de economías del siglo XXI resulta, al menos, controversial.

Se hace un énfasis en la mención de economías del siglo XXI porque, aunque hoy puedan darse argumentos en contra de la homogeneidad del factor trabajo, se necesita un análisis amplio y contextual en torno al supuesto de igualdad en las relaciones marginales de sustitución de todos los trabajadores pues puede no resultar tan desatinado para algunos periodos históricos; y aunque la diferenciación de trabajadores por sus habilidades tenía una mayor validez en la época de Harrod-Domar que en la de Smith, existen razones suficientes para validar el supuesto de homogeneidad en el factor trabajo en los años que se escribieron los textos seminales de la teoría del crecimiento económico.

Shultz (1959) muestra que para antes de la década de 1950 el uso de este supuesto era una norma totalmente respaldada por algunas cuestiones de la historia y el pensamiento económico. Por ejemplo, ya se comentó que la mayor parte del análisis económico, al menos de la macroeconomía, durante casi toda la primera mitad del siglo XX atendía al estudio de la inflación y el desempleo y no a la estimación de diferenciales de productividad o tasas de crecimiento entre países. Por otra parte, en ese mismo periodo el foco de análisis del pensamiento económico era bastante euro-centrista, con las excepciones necesarias de inclusión, como Estados Unidos y Japón, naciones con productividades laborales al menos similares para ese periodo histórico.

Todo ello sumado al contexto de los sistemas de contabilidad nacionales nacientes lleva a inferir que, al menos para los países hasta esos años más desarrollados y que eran el foco de estudio del grueso de la literatura económica, el supuesto de la homogeneidad de productividad del factor trabajo no era tan alejado de la realidad. Mediante la conjunción de todas estas cuestiones se entiende entonces la validez temporal del supuesto de igualdad en las relaciones marginales de sustitución de la totalidad de la mano de obra al menos para antes de la primera mitad del siglo anterior.

Sin embargo, este supuesto pudo ser concebido como criticable a partir de distintos sucesos, como la sofisticación de las mediciones y los sistemas de cuentas nacionales, el desarrollo teórico de la ciencia económica y con ello el vuelco del interés de los economistas hacia la medición y la contabilidad del crecimiento desencadenado por la publicación del modelo de Solow (que se analiza en apartados siguientes). Lo anterior junto con algunos hechos concretos de la historia económica relacionados con el patrón de producción preponderante y la pérdida de importancia relativa de la industria frente a los servicios, terminaron por mostrar la necesidad de reformular los preceptos teóricos en torno al papel del factor trabajo en la producción y en el crecimiento de las economías.

El modelo Harrod-Domar es compatible con la descripción del crecimiento de los estados estables siempre que se cumplan las condiciones de una tasa de ahorro constante s , una tasa de crecimiento poblacional n también constante y una tecnología de proporciones fijas. Sin embargo, estos supuestos llevan a la conclusión ya mencionada de que el crecimiento estable existe solo para el caso de que $s = vn$.

Esta concepción, bastante útil para la descripción de la economía del periodo entre guerras, perdió validez cuando la mayoría de los países ingresaron a un periodo de crecimiento sostenido, progreso tecnológico y relativa estabilidad macroeconómica que se prolongaría por tres décadas y que a la postre se nombraría *edad de oro del Capitalismo*. La estabilidad dejó de ser una situación incidental y se convirtió en una regularidad por al menos un periodo de treinta años, por ello el foco de interés se centró ahora en el crecimiento económico y la capacidad de los países para beneficiarse de este fenómeno³, teniendo tasas de crecimiento sistemáticamente positivas en el largo plazo. En este contexto Robert Solow (1956) formuló una propuesta teórica que deja de lado la suposición de la existencia de una relación capital-trabajo fija para el análisis de un fenómeno de largo plazo.

El no suponer que la relación capital-trabajo se mantuviese en proporciones fijas a lo largo del tiempo se materializa en el uso de una función Cobb-Douglas en lugar de una función de tipo Leontief. De esta manera, en el modelo la relación capital-trabajo era proclive de cambio a lo largo del tiempo, bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala en la función de producción y rendimientos decrecientes locales.

³ Puede resultar extraño que un apartado referido al estudio del capital humano dentro de la teoría económica inicie con referencias a los albores de la teoría del crecimiento. Sin embargo, la justificación de esto y la importancia de estas referencias se vuelven evidentes conforme se desarrolla el presente texto.

La tasa de ahorro y de crecimiento poblacional continúan siendo constantes como en el modelo de Harrod-Domar.

La forma funcional del modelo es:

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

Donde Y es el total de producto, explicado por K el stock de capital y por LA 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.

Resulta claro que el ingreso es una función creciente tanto del capital como del trabajo, donde $\frac{dY}{dK}, \frac{dY}{dL} > 0$ y que la interacción del término α no solo representa las cuestiones de los rendimientos constantes sino también que se asume que los factores se pagan por su producción marginal. Lo anterior no solo supone dejar de lado la relación capital-trabajo fija sino además plantear una situación de pleno empleo suponiendo precios flexibles para así, con los cambios en el salario real, realizar el ajuste para despejar el mercado del trabajo.

Claro está, los ajustes mediante estos mecanismos en el mercado laboral yacen en el supuesto de competencia perfecta y cumplimiento de la ley de Say, al igualar el ahorro con la inversión mediante una economía cerrada y sin gobierno, que sumada a la suposición de la producción de un único bien en la economía hacen que el modelo no precise la incorporación analítica del dinero dejando el ajuste de estos desbalances, en su caso, a una autoridad monetaria tomada como ajena al modelo. Por último, debe mencionarse nuevamente la cuestión de los rendimientos decrecientes locales pues en conjunción con los mercados competitivos son clave para el entendimiento del equilibrio en el largo plazo.

Los resultados teóricos obtenidos por Solow han sido ampliamente discutidos por lo que solo se mencionan dos de los más emblemáticos con una breve descripción de cada uno. El primero es consecuencia de los rendimientos decrecientes del capital; su traducción es que, en el largo plazo, dada una tasa de ahorro constante, el crecimiento del capital per cápita se representa como $\dot{k}_t = sAk_t^\alpha - k_t(\delta + n)$, lo cual se puede entender como la diferencia entre la variación del acervo de capital ocasionada por el ahorro y la proporción de capital per cápita destinada a cubrir tanto el monto de la depreciación como la nueva dotación de capital necesaria para que al incrementar la población el capital per cápita no sufra disminuciones. La población y la depreciación están dadas en el modelo con tasas n

y δ respectivamente, mientras que el progreso técnico⁴ incrementa de manera exógena a una tasa β .

La principal conclusión resultante es que las tasas de ahorro e interés como vía para la acumulación de capital per cápita no juegan un papel trascendental en la consecución de tasas de crecimiento del ingreso permanentemente crecientes. El mencionar que una variable tan importante como la tasa de interés no juegue un papel preponderante en el crecimiento es un resultado teórico fuerte, por ello esta postura es matizada por el mismo autor en un texto posterior, indicando que las variaciones de la tasa de interés sí tienen efectos en la economía, aunque en el corto plazo y, aunque esta es una variable necesaria, no es suficiente para el mantenimiento de altas tasas de crecimiento económico en el largo plazo (Solow, 1962, pp. 76).

La segunda conclusión fundamental es que, dados los mercados competitivos, es imposible el planteamiento del crecimiento indefinido de la relación capital-trabajo en el largo plazo, dado que se asume que las variaciones de esta ratio implican a su vez variaciones en el monto de depreciación y más aún en los salarios reales que son mecanismo de transmisión para las tasas de beneficios y terminan por afectar la capacidad de inversión en nuevo capital y en pago por depreciación. Por ello, los movimientos sobre la curva que describe el crecimiento de largo plazo podrían considerarse como sutiles variaciones reguladas por el despeje del mercado laboral.

Esto implica que el interés por el incremento del nivel de capital per cápita para la consecución de tasas de crecimiento del ingreso sistemáticamente crecientes se vea eclipsado por la atención prestada al estudio del cambio tecnológico.

Las conclusiones presentadas se extrapolan y contrastan empíricamente en un trabajo posterior en el que Solow (1957) hace uso de datos estadísticos para contrastar empíricamente sus apreciaciones teóricas. Este trabajo mostró que el progreso técnico, que se había mostrado como una variable teórica importante para el entendimiento del crecimiento de largo plazo, resultaba quizá ser más trascendental de lo planteado en un principio; los datos llevan a la conclusión que la magnitud de dicha variable es considerable y por ello el análisis de su naturaleza y acumulación resultaba necesario.

⁴ Las cuestiones relacionadas con la naturaleza del progreso tecnológico se describen en el capítulo segundo. Para los fines inmediatos solo debe entenderse que existe un diferencial en el crecimiento del producto que no es explicable proporcionalmente al crecimiento de los factores productivos y cuya gran magnitud se corrobora en un texto presentado un año después también por parte de Robert Solow.

Al darse cuenta de la necesidad de precisión en torno a este término, el autor define al cambio técnico, aunque 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). La poca especificidad en la definición no es motivo para menospreciar ni criticar duramente esta teoría, pues resulta un rasgo común entre muchas de las propuestas de carácter seminal y la amplitud de interpretaciones posibles generó muchas líneas de investigación, directas y tangenciales. La teoría del capital humano, por ejemplo.

Resumir en un párrafo los aportes resultantes de la publicación de los trabajos consecutivos de Solow resulta siempre insuficiente, dada la enorme importancia de este para la teoría económica. Sin embargo, pueden al menos resaltarse algunos de los puntos básicos para el entendimiento del presente texto: la aparición de la teoría del crecimiento como una rama de estudio formal y el incremento en el interés en el cambio tecnológico y en los ejercicios empíricos de contabilidad del crecimiento. Dado que en el escrito en curso se aborda la cuestión del crecimiento económico de manera directa mientras que incorpora a la tecnología como una variable analítica para proponer un ejercicio empírico, el modelo de Solow es un antecedente necesario.

Uno de los aportes de Solow mencionado en el párrafo anterior debe ser enfatizado, ya que abre paso hacia el estudio del capital humano. Los textos de Solow a la postre resultaron ser artículos sumamente citados desde distintos frentes teóricos y particularmente el texto de 1957, que utiliza de forma más intensa los datos estadísticos, es reconocido como pionero de la contabilidad del crecimiento, aunque debe puntuarse que no fue un texto único en su tipo y que de hecho este tipo de análisis se convirtió en una línea de estudio bastante nutrida en la época posterior a la Segunda Guerra Mundial; la realización de ejercicios empíricos de distintas índoles emana del aprovechamiento de la modernización de los sistemas de cuentas nacionales. Lo anterior hizo visibles algunos hechos concretos y patrones dentro del fenómeno económico que hasta ese momento no eran estudiados y menos aún comprendidos o teorizados, dada la previa falta de datos.

Uno de ellos fue la teorización en torno a los orígenes de los diferenciales en el ingreso de los agentes, diferencias a nivel país, pero también diferencias entre las familias de una misma región; estas brechas eran atribuidas a distintas causas pero relacionadas en su mayoría con la disponibilidad de capital de cada uno de los agentes, apelando a la relación creciente y positiva entre capital y productividad marginal (posiblemente esto sea otro

resultante de la dicotomía capital-trabajo ya explicada). Sin embargo, los ejercicios empíricos mostraron que esta conclusión era incompleta.

Puede decirse que los primeros economistas en exhibir de manera formal este suceso fueron Theodore Schultz y Gary Becker, quienes a la postre serían conocidos como fundadores de la teoría del capital humano. Por ello, resulta necesario analizar cómo reconocieron el problema de investigación y la manera en que decidieron abordarlo. El hecho de que se resalten las aportaciones de estos dos autores no implica que son los únicos, sin embargo, la revisión de los orígenes del término tiene como objetivo enfocar cuál es el centro de la discusión y las principales vertientes de análisis resultantes en lugar de ser una revisión exhaustiva; el análisis más detallado y necesario para este texto se reserva para los avances de la teoría del capital humano a partir de la década de los noventa y hasta la fecha y se realiza en apartados siguientes.

De regreso a la cuestión central, Schultz (1959) publica el artículo seminal en el que se propone como objetivo analizar lo que él considera como inversiones que realizan las personas en sí mismas y que pueden explicar los diferenciales entre los ingresos de los agentes que no son ocasionadas por las diferencias entre stocks de capital físico. Es un artículo corto, publicado en el *Social Service Review* de la Universidad de Chicago, casa de estudios del autor, en el que se introduce la idea fundamental de la distinción entre algunos tipos de gasto que son considerados como consumo (incluso como ocio) pero que su naturaleza parece más próxima a la inversión que al consumo. La educación es un ejemplo.

El autor resalta que para la contabilidad nacional y para el estudio de los incrementos de la productividad no resulta una cuestión menor categorizar como consumo a algún tipo de gasto que en realidad se realiza con fines de inversión ya que se espera la obtención de rendimientos en el futuro. En su opinión, una máquina se compra con miras a la obtención de ganancias, de igual que una persona (en mayor o menor medida) invierte en sí misma al estudiar y elegir su área de especialidad, esperando tener retribuciones y mejores perspectivas profesionales en el mediano plazo.

A la par de esta idea, Schultz presenta una serie de argumentos que clarifican por qué, en su opinión, este tema estaba apartado de la teoría económica convencional y cuáles son las consecuencias de no analizar la inversión que las personas realizan en ellas mismas. Todas las cuestiones anteriores se matizan en un artículo posterior donde Schultz (1961) presenta un texto muy similar, pero con un cambio sustancial, el hecho de utilizar ya

directamente el término *capital humano* que no aparecía en el texto de 1959. La idea presentada es clara y está presente desde la primera línea del artículo:

“Although it is obvious that people acquire useful skills and knowledge, it is not obvious that these skills and knowledge are a form of capital, that this capital is in substantial part a product of deliberate investment, that it has grown in Western societies at a much faster rate than conventional (nonhuman) capital, and that its growth may well be the most distinctive feature of the economic system” (Schultz, 1961, pp. 1).

Schultz expone una serie de hechos concretos de cómo es que las personas gastan dinero en cuestiones específicas que se ligan con la búsqueda de retribuciones en el futuro. Un claro ejemplo es el desplazamiento de la fuerza laboral, dado que se plantea que el crecimiento económico estadounidense a principios del siglo XX estuvo impulsado por grandes fenómenos migratorios, que de fondo implican gastos de desplazamiento en búsqueda de una mayor ganancia por el pago del factor trabajo, es decir, costos devenidos de una mejor asignación de recursos; bajo algunas condiciones esto puede ser visto como inversión⁵.

En pocas palabras, para Schultz, tanto el gasto en educación, como en salud y en desplazamientos migratorios pueden ser considerados como gasto en inversión en alguna medida. Y esto se relaciona con el segundo postulado, la cuestión de que en ocasiones cualquiera de estos fenómenos podría realizarse de manera voluntaria (u obligada viendo la parte totalmente contraria), pero en muchas otras veces se realiza de manera claramente intencionada con miras en el incremento de los pagos recibidos por el uso del factor trabajo.

Este hecho es mostrado de manera más explícita por Becker (1962), quien cita textos⁶ de contabilidad del crecimiento que ya develaban empíricamente y desde años atrás la idea fundamental planteada por Solow, el hecho de que las diferencias en el capital físico eran insuficientes para explicar las diferencias en el ingreso total. Partiendo de esta premisa el autor muestra al menos ocho hechos estilizados que, para él, denotan la existencia y la importancia del gasto de inversión de las personas en ellas mismas y que podrían ser estudiados a partir de la aceptación de algunos argumentos teóricos que diluyen la

⁵ Muchos fenómenos migratorios tienen también un origen racial y quizá es un error por parte de Schultz no descontarlos como en el caso de la relación manufactura-agricultura. De hecho, la migración de afroamericanos dentro de Estados Unidos en el siglo pasado, causada por una persecución racial, es uno de los fenómenos migratorios más grandes en la historia universal, los desplazados se cuentan por millones y los efectos son palpables aún hoy en día.

⁶ La cita directa de Becker es “Fabricant, Economic Progress and Economic Change:3 4th Annual Report of the National Bureau of Economic Research (New York: National Bureau of Economic Research, 1954).

dicotomía trabajo-capital que ya se ha mencionado en apartados anteriores. Los hechos que muestra el autor son:

“(1) Earnings typically increase with age at a decreasing rate. Both the rate of increase and the rate of retardation tend to be positively related to the level of skill. (2) Unemployment rates tend to be negatively related to the level of skill. (3) Firms in underdeveloped countries appear to be more "paternalistic" toward employees than those in developed countries. (4) Younger persons change jobs more frequently and receive more schooling and on-the-job training than older persons do. (5) The distribution of earnings is positively skewed, especially among professional and other skilled workers. (6) Abler persons receive more education and other kinds of training than others. (7) The division of labor is limited by the extent of the market. (8) The typical investor in human capital is more impetuous and thus more likely to err than is the typical investor in tangible capital. What a diverse and possibly even confusing array! Yet all these as well as many other important empirical implications can be derived from very simple theoretical arguments. (Becker, 1962, pp. 12)”

El reconocimiento de estos hechos por parte de los agentes, en un escenario de racionalidad, implica la intencionalidad de estudiar o migrar en busca de mayores rendimientos del factor trabajo en el futuro o las intenciones de mantenimiento del nivel de producción y productividad de las empresas asegurando la salud mínima de sus empleados con servicios de salud o campañas de vacunación; igual de intencional resulta el hecho de invertir en un nuevo activo de capital físico, con el objetivo de aumentar los rendimientos de la producción; ante este escenario ¿por qué no considerar como inversión los dos primeros ejemplos?

Tanto Schultz como Becker coinciden en que la cuestión de no analizar como gasto de inversión algunas actividades que son concebidas enteramente como consumo no radica en la concepción teórica del proceso de inversión como tal; en su forma más simple la inversión se entiende como la utilización de un activo (tiempo o dinero, por ejemplo) para la adquisición de otro tipo de activo que reportará beneficios a futuro. Bajo esta lógica la educación y la capacitación de las personas puede ser enmarcada como gasto de inversión sin problema alguno por lo que el desfase teórico no proviene de la concepción básica de inversión. Es entonces donde se puede argumentar que la imposibilidad de concepción de inversión en capital humano provenga de la conceptualización del capital y su casi antítesis con el trabajo.

Entonces, los autores detectan dos problemas fundamentales para la aceptación y entendimiento de estas ideas y que ocasionaron su aparente rechazo. El primero es la escasez de una teoría del capital que trate de manera indistinta al capital físico y al capital humano; el segundo se conforma con las dificultades, instrumentales y teóricas, para la medición y estimación de en qué proporción los gastos en educación, salud, capacitación, etc., son realizados intencionalmente y en qué medida estos reportan retornos a la inversión de manera efectiva. La resolución de cada uno de ambos problemas representa labores teóricas y metodológicas distintas.

Para lidiar con el primer problema, Schultz (1961) se remite a los intentos de Irving Fisher (1906) por reflexionar en torno una teoría unificada del capital si bien el objetivo de esta teoría no se enmarca en una agenda de investigación que tenga como objetivo final plantear una teoría del capital, el texto es mucho más amplio y en él se discuten temas que van desde la utilidad, la riqueza, el ingreso y muchos otros; al transitar por la parte del capital de su obra, Fisher detecta la poca unificación de términos existente y reflexiona en torno a las confusiones conceptuales de riqueza-ingreso, stock-flujo, presente-futuro, etc.

Al discutir la necesidad de la unificación de términos para la posterior estimación de cantidades, Fisher define al capital de una manera muy general, como una cantidad de riqueza existente en un instante de tiempo (1906, pp. 67); esto junto con una previa discusión de la conceptualización de qué es la riqueza brinda una amplitud tal al término que podría acoger la conceptualización que Schultz necesita.

Sin embargo, además de la mención a la teoría de Fisher, el aporte de los teóricos seminales del capital humano en cuanto a la resolución del primero de los dos problemas mencionados solamente se centra en el reconocimiento de la serie de dificultades que implica el intento unificar ambos tipos de capital, haciendo énfasis en la cuestión de que el hecho de que el capital humano esté incorporado totalmente en la persona y sea difícilmente transferible.

Además, se hace referencia a las cuestiones ideológicas y hasta éticas resultantes de asignar el término *capital* al referirse a los seres humanos (este tema se aborda en el siguiente apartado de este texto) y con ello puede entenderse que con el paso del tiempo el capital humano haya sido estudiado siguiendo algunas de las pautas del capital físico pero tratado como una variable aparte; la unificación al estilo Fisher no sucedió.

Tomando en cuenta lo anterior, resulta entendible que, ante las dificultades existentes para atender el primer problema mencionado, los autores se volcaran a la resolución de la segunda cuestión, la medición. Los escritos posteriores referidos al capital humano, de Becker en mayor medida, se centran en la estimación de los retornos de la inversión en educación y sus resultados tuvieron aplicación y relevancia para la de política económica y educativa de países como Estados Unidos.

Sin embargo, no hay que perder de vista la cuestión del origen del interés en este tema, la detección de un vacío teórico y el intento de refinar las estimaciones que mostraban que el enfocar la atención únicamente en las diferencias en el nivel de ingreso con origen en los stocks de capital físico era insuficiente. Las interpretaciones ideológicas y políticas posteriores emanadas de esta teoría, como pasa con cualquier otra, no deben invisibilizar el problema de origen que en este caso es el intento de solventar una deficiencia teórico-metodológica y conceptual mayor.

Las ideas de realizar inversiones en el capital que está inserto en la persona misma y de concebir el término capital humano son controversiales incluso hoy en día. Pero igualmente controvertido y quizá hasta erróneo resultaría el hecho de negar que, en mayor o menor medida, la educación y la capacitación de las personas se realizan de manera intencionada a sabiendas de las posibilidades de retorno de inversión en el mediano-largo plazo. La negación de este hecho resulta insalvable más allá de la aceptación generalizada del término capital humano.

Ahora, debe matizarse que el estudio de los retornos de inversión en la educación recae en el supuesto de que los mercados laborales son competitivos. Esto no es trivial; en específico debe notarse que la causalidad teórica es la decisión individual sobre el incremento del stock de capital humano para la consecución de un mayor ingreso en el futuro por parte de los agentes, mediado a través de la obtención de una mayor productividad marginal.

Con el establecimiento de este supuesto, bajo esta misma lógica puede argumentarse que en la búsqueda del incremento del ingreso de los países puede incentivarse el aumento del stock del capital humano per cápita, para tener una transferencia directa hacia el nivel de ingreso per cápita. El cambio de paradigma de individual a agregado desencadena la aparición de al menos dos líneas de investigación emanadas directamente de las propuestas seminales de Becker y Schultz.

La primera es puramente empírica y se centra en la estimación del impacto del capital humano en el crecimiento de los países, es decir, el intento de encontrar cuáles de esas variables mencionadas en los textos seminales eran más relevantes para el fenómeno económico agregado, ya no solo para el ingreso de los agentes. Becker y Schultz se enfocan en la educación y la capacitación, pero mencionan otros mecanismos de incremento del capital humano, la salud es un ejemplo que da muchas vías de estudio y diversas variables proxy: gasto bruto en salud, campañas de vacunación, mejoras en la ingesta calórica, consumo de vitaminas y un largo etcétera. Esta línea de investigación puramente empírica y relacionada con las cuentas nacionales se aborda en el apartado 1.3.

La segunda beta de investigación que surge al estudiar el capital humano es de carácter teórico, relacionada con el análisis agregado y enmarcada dentro de la teoría del crecimiento económico, particularmente en relación con aquellas teorías que analizan el papel de la tecnología en el crecimiento y en las cuales también el capital humano se incorpora como una variable explicativa. Esta otra línea de investigación se aborda en el apartado 1.4.

1.2 Capital humano, teoría e ideología.

Se requiere de una pequeña digresión antes de avanzar en el análisis de las dos líneas de investigación introducidas en el apartado anterior, referida al uso de la palabra capital asignada a las personas, a modo de prevención de críticas y cuestionamientos que no se enmarquen en los objetivos del presente trabajo. Por ello se discute en torno a las dificultades ideológicas y la controversia en torno al uso del término capital humano para mostrar que su relevancia, de existir, no atañe a los fines de esta tesis.

Ya se mencionó que desde sus orígenes la idea de que las personas pudieran invertir en ellas mismas resulta controversial, pero los hechos concretos muestran que dicha inversión sucede comúnmente; controvertido o no es un hecho concreto. Es por eso por lo que se puede inferir que la cuestión que causa recelo no está referida a la parte empírica o a los datos que respaldan la existencia de dicha inversión pues esta es irrefutable; la cuestión puede provenir entonces de su materialización teórica, en específico con las relaciones de propiedad que se pueden establecer con el capital físico y humano.

Schultz y Becker muestran en sus textos que estaban conscientes de la posibilidad de que las críticas a sus artículos se refirieran al empleo del término y no a la sustentación teórico-empírica, tanto que, por ejemplo, Schultz titula su texto de 1959 como "Investment in man:

An economist's view", sin usar "capital humano", pero teniendo ya en mente todas las ideas que lo llevaron a nombrarlo así. La ejemplificación perfecta de los anterior es que, si se buscan diferencias sustanciales entre el texto mencionado y que publicó dos años después en 1961, puede decirse que el cambio en el título del escrito es por mucho lo más sobresaliente ya que el contenido permanece casi intacto; el segundo texto lleva por título "Investment in human capital". Invertir en una persona e invertir en capital humano son términos que, aún hoy para algunos, pueden estar diametralmente apartados.

El mismo recato en cuanto a la implementación del término es mostrado por Becker (1994). Una cita de la tercera edición del libro de 1964 pone esto en evidencia:

"It may seem odd now, but I hesitated a while before deciding to call my book Human Capital—and even hedged the risk by using a long subtitle. In the early days, many people were criticizing this term and the underlying analysis because they believed it treated people like slaves or machines. My, how the world has changed! The name and analysis are now readily accepted by most people not only in all the social sciences, but even in the media. I was surprised when a few months ago Business Week magazine had a cover story titled "Human Capital." And more amazing still, this has been their most popular cover story in several decades." (Becker, 1994, pp. 16).

Becker y Schultz dudaron en el empleo del término capital humano porque reconocían las dificultades con las que podrían encontrarse; detectaron y citaron este impase pues era un tema ya analizado por algunos autores. De hecho, Schultz cita a von Thünen y a John Stuart Mill para entablar esta discusión. La cita de Schultz al libro de von Thünen⁷ nos ayuda a recalcar al menos dos puntos:

So did H. von Thünen, who then went on to argue that the concept of capital applied to man did not degrade him or impair his freedom and dignity, but on the contrary that the failure to apply the concept was especially pernicious in wars; for here . . . one will sacrifice in a battle a hundred human beings in the prime of their lives without a thought in order to save one gun. The reason is that ". the purchase of a cannon causes an outlay of public funds, whereas human beings are to be had for nothing by means of a mere conscription decree" (von Thünen, 1875, citado por Schultz, 1961 pp. 2-3).

⁷ La cita es al texto "Der isolirte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationalökonomie".

El primero hecho resultante es que la controversia con la aplicación en personas de términos relacionados con el capital no es una cuestión actual ni tampoco algo que emergió cuando el término capital humano vio la luz, por el contrario, es un tópico ya debatido al menos 100 años antes de que Schultz y Becker escribieran y que, como puede notarse, es un resultado más relacionado con el trato dicotómico al capital y al trabajo por parte de la teoría económica desde sus inicios.

La segunda cuestión es que, cuando se abordan hechos muy específicos que pudieran estar cargados con apreciaciones éticas e ideológicas, las interpretaciones de los términos se alejan de la teoría y las posturas resultantes elevan su nivel de subjetividad. El planteamiento del término capital humano puede ir en contra de un supuesto bienestar de las personas si se habla de “relaciones de explotación” o “conflicto de clases”, pero pudiera también ir en sentido inverso en otras condiciones específicas como expone von Thünen.

Aunque es claro que existe siempre un grado de subjetividad y carga ideológica por parte de quien escribe y que el alejamiento total de un autor con su objeto de estudio es imposible, la cuestión es que en la medida en que se analizan situaciones demasiado específicas en las cuales se emiten juicios de valor, la carga ideológica y la subjetividad aumentan, en detrimento del quehacer científico.

Lo anterior encuentra su punto más álgido si se analizan situaciones para las cuales el diseño teórico no fue creado. La teoría del capital humano tiene un objetivo específico de investigación: analizar las diferencias en los ingresos no atribuibles al stock de capital físico bajo un paradigma teórico neoclásico. Si con este marco teórico se intentan encontrar respuestas para cuestiones de guerra, de relaciones de explotación y luego encadenarlas con teorías alejadas de los preceptos neoclásicos es obvio que el término resulte difuso y controversial, dado el error metodológico en la selección y aplicación de las herramientas teóricas de investigación. Becker muestra este desfase de forma sutil:

“You can see why an idea developed to understand the economic and social world has been thrust into ideological discussions. Yet the concept of human capital has been popular in Communist countries. My book and those by Schultz and others on human capital are extensively used in the Soviet Union, Eastern Europe, and China. Even before the recent reforms, economists and planners there had no trouble with the concept of investing capital in people.” (Becker, 1994, pp. 16-17.)

Es claro entonces que en ocasiones aparecen confusiones teóricas y erróneamente se establecen relaciones entre teorías apartadas entre sí, lo cual inevitablemente se traduce en malinterpretaciones. Estas malinterpretaciones se exacerban al atribuir a una teoría en específico el monopolio de uso sobre un término; las concepciones de la naturaleza de la inversión y el capital ya existían antes incluso del auge de la teoría marxista y pensar que cualquier uso del término debe estar estrictamente relacionado con relaciones de explotación sería tan erróneo como pensar que los términos “ingreso” o “consumo” pueden ser solamente entendidos desde una única corriente económica.

La existencia de este aparente monopolio de uso de un término es especialmente peculiar en una ciencia como la economía, la cual constantemente adopta y amolda términos, metodologías y marcos conceptuales de otras ciencias, la física y la biología, por ejemplo.

Para cerrar este apartado debe mencionarse un segundo error metodológico al intentar “probar” la valía de una teoría estrictamente económica a través de sus implicaciones ideológicas. Una ruta común y efectiva para intentar testear una teoría comienza con la búsqueda de variables proxy que se acerquen a las variables teóricas que se están analizando, para luego inferir mediante métodos empíricos si las relaciones entre las variables teóricas propuestas existen o no. Muy alejado de ello se encuentra el vano intento de validación de un término por los hechos sociales o políticos y por las ideologías que se piensa fueron resultantes de la lectura de un texto.

Como expresa Juselius (2006, pp. 8) nuestra capacidad de validación teórica está limitada al estudio de los fenómenos para los que la teoría está diseñada y en función de la similitud de las variables teóricas con las variables medibles; en la medida que estas sean dispares estamos limitados a la validación únicamente de hipótesis y no de teorías. Por ello, la crítica de una teoría por sus resultados ideológicos y no por la medición de las variables a las cuales originalmente se refiere es incorrecta.

La evaluación de la teoría del capital humano en el plano estrictamente económico cruza por ejercicios empíricos de estimación de retornos de inversión como se analiza en el siguiente apartado y no por el estudio de las implicaciones ideológicas e históricas, estudio que puede ser útil para muchos otros fines, pero no para enarbolar una discusión de teoría del crecimiento económico y capital humano.

1.3 Capital humano y medición empírica

Librado el punto anterior se retoma la discusión en torno al término capital humano y su evolución en el pensamiento económico. Se examina la primera de las dos vertientes de análisis mencionadas al cierre del apartado 1.1, la estimación empírica, que emerge de manera importante por la mejora en la medición y estimación de indicadores económicos.

En la segunda mitad del siglo anterior los métodos estadísticos y analíticos utilizados en la ciencia económica elevaron su nivel de sofisticación a la par de que las herramientas computacionales, tanto para la matemática como para la comunicación, crecían en su uso.

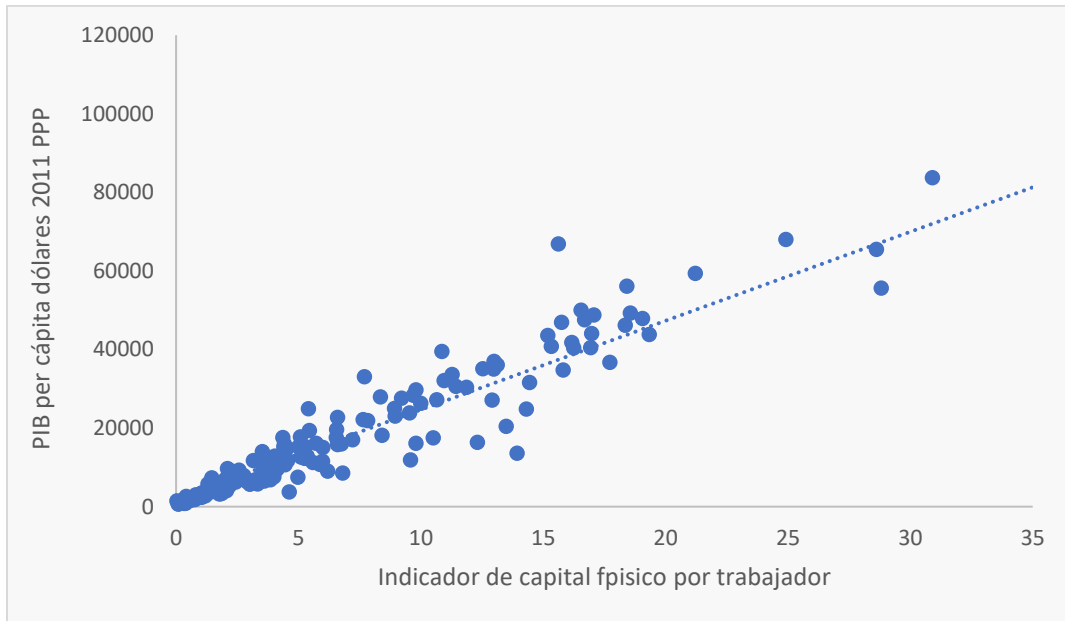
El incremento de la medición de los fenómenos económicos abonó para que el estudio de la economía dejara de centrarse únicamente en la teoría y el análisis histórico para dar paso al análisis de indicadores y la inferencia estadística. Esto a su vez develó la existencia de algunos hechos estilizados que no eran seriamente considerados en los análisis económicos comunes o bien que su importancia relativa estaba subestimada.

Un ejercicio básico, utilizando los datos recientes del Índice de Desarrollo Humano del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (IDH) puede ser una buena introducción de las tendencias que, siendo ya visibles en la década de los ochenta, incentivaron en ese momento al estudio del capital humano. Los gráficos 1B, 1C y 1D muestran dispersiones donde cada punto representa uno de los 160 países para los cuales se tienen suficientes datos, en un intento por mostrar tendencias de relación entre distintas variables, las cuales se agregan con una línea punteada.

Como ya se comentó, la dicotomía capital-trabajo, prevaleciente en la teoría económica por al menos cien años, generó el establecimiento de una relación causal en la que el nivel de producción que pudiera alcanzar un trabajador está íntima y únicamente relacionado con el stock de capital físico que tiene a su disposición. La medición empírica sustenta en lo general este hecho, el gráfico 1B muestra una relación clara entre el nivel de PIB per cápita y el capital disponible por trabajador.

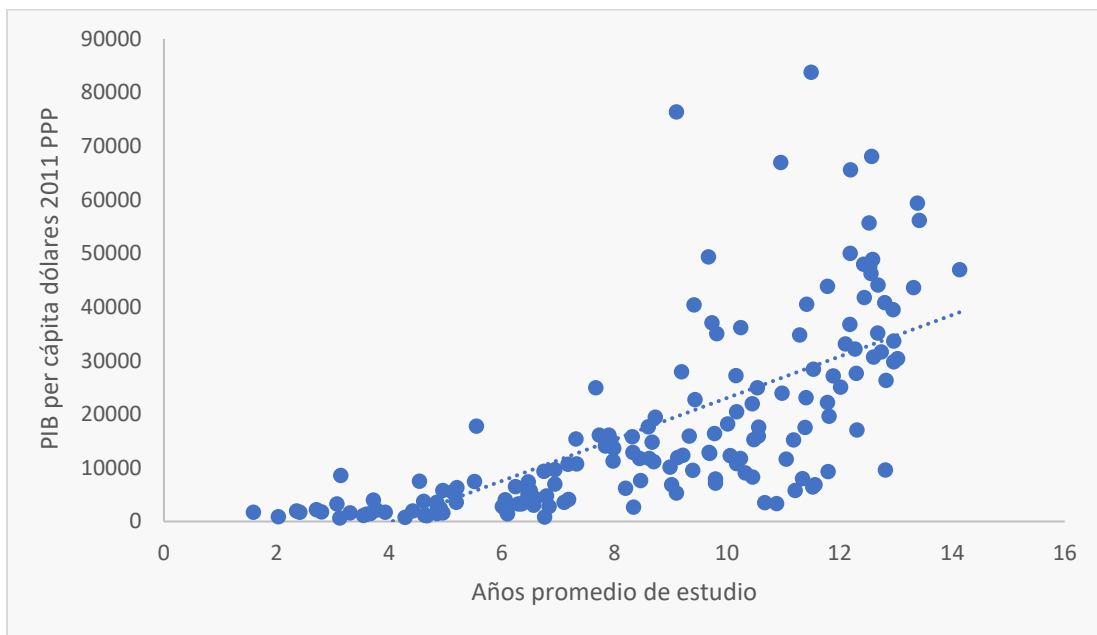
Pero para la década de los ochenta ya resultaba claro, por los aportes de Solow, que el total del fenómeno del crecimiento económico no encontraba una explicación suficiente al considerar únicamente el aporte del capital y el trabajo. A esto debe sumarse el hecho de que el término capital humano ya estaba acuñado y que en principio se relacionó en mayor medida con la educación.

Gráfico 1B. PIB per cápita y capital físico por trabajador⁸.



Fuente: elaboración propia con datos del Índice de desarrollo humano del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Gráfico 1C. PIB per cápita y logro educativo.



Fuente: elaboración propia con datos del Índice de desarrollo humano del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

⁸ El indicador de capital por trabajador es una estimación de elaboración propia, que utiliza únicamente datos del mismo índice (IDH) y resulta de tomar la formación bruta de capital fijo (el dato aparece como porcentaje del PIB por ende es sencillo de obtener en términos brutos) y dividirla por la ponderación de la tasa de participación con la población total de cada país. Lo anterior se realiza para obtener una aproximación más certera del capital disponible por trabajador sin tener que cambiar de base de datos.

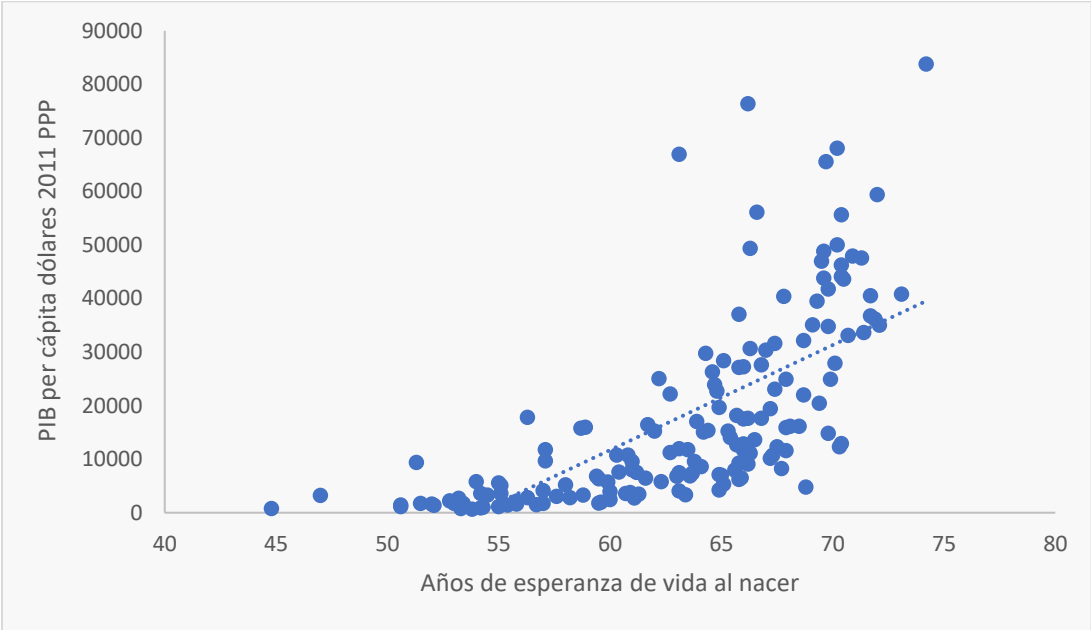
El gráfico 1C muestra la relación entre el producto per cápita y el logro educativo, que de aquí en adelante se entenderá como la escolaridad promedio de la población con edad de al menos 25 años. Si la tendencia generada se toma como referencia de media, las varianzas del gráfico 1C son mayores a aquellas del gráfico 1B, sin embargo, es claro también que existe una relación directa entre ambas variables.

Por último, la evidencia empírica muestra también que la educación de las personas y el capital que para ellas está disponible tienen un impacto directo en el nivel de producción, pero en función también de las capacidades físicas y mentales de estas, en conjunto con su disponibilidad para utilizar los medios de producción existentes. Es por ello por lo que se ha dado importancia a los indicadores que aproximan el estado físico y de salud de las personas.

Independientemente de la multiplicidad de variables proxy que existen para aproximarse al estado de salud de la población, para este primer ejercicio de acercamiento el gráfico 1D presenta una relación entre el PIB per cápita y la esperanza de vida al nacer por país.

En un símil con lo sucedido con la educación en el gráfico 1C se presenta una dispersión mayor, sobre todo en la parte por encima de la línea de tendencia, sin embargo, la relación positiva entre variables es también clara.

Gráfico 1D. PIB per cápita y salud de la población.



Fuente: elaboración propia con datos del Índice de desarrollo humano del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

Este ejercicio introductorio tiene como intención mostrar relaciones entre variables económicas que con datos duros resultan evidentes y pueden resultar hasta intuitivas hoy en día, sin embargo, hasta hace algunas décadas aun cuando ya eran teóricamente concebidas, no se habían realizado estudios empíricos a profundidad. Es por ello por lo que a principios de la década de los noventa incrementa exponencialmente el estudio de estos tópicos como se muestra en los párrafos siguientes.

Si nos referimos al análisis del impacto de la educación en la economía, los textos de Robert Barro son quizá los más conocidos en trabajos para el análisis de esa variable, en ellos el autor adopta una de las ideas de la teoría original del capital humano en la cual se relaciona a la educación con el incremento del ingreso, utilizando a los años de estudio promedio como variable proxy del stock de capital humano.

El planteamiento de Barro (1991) es claro, partiendo de un producto per cápita inicial, existe una correlación positiva entre la tasa de crecimiento de este y el nivel inicial de capital humano; puede decirse entonces que la consecución de tasas de crecimiento positivas del ingreso en el largo plazo está determinada por la acumulación de capital humano. Posteriormente Barro y Lee (1993) hacen estimaciones más refinadas al elegir la utilización de los años de educación promedio únicamente de las personas de 25 o más años, esta elección se volvería casi tradición (de hecho, se usa en el gráfico 1C) en el entendido del supuesto de la edad promedio de ocupación de las personas. Sin embargo, en el texto mencionado los autores levantan supuestos extra, la distinción de los datos por sexo y la descomposición de la información en subgrupos en función de la cantidad de personas que completaron o no un grado académico. La cuestión de la distinción por sexo se refiere a una mayor tasa de participación masculina en la mayoría de los países para los años utilizados en la base de datos del estudio, mientras que la cuestión de división en subgrupos se basa en la suposición de que más allá de los años de estudio en bruto, existe una diferencia importante entre la acreditación de grados completos de escolaridad o el posible truncamiento de estos. Las conclusiones de este estudio reafirman la relación positiva entre educación y crecimiento económico.

La obra de Barro es muy extensa, pero en general muestra resultados similares, por lo que para la parte cuantitativa de la educación solo se mencionan sus estudios pioneros, además más adelante en este texto se utiliza lo que es quizá su más grande aporte, la base de datos que en conjunto con Jong-Wha Lee desarrolla y que ambos actualizan constantemente.

La base de datos Barro-Lee es parte del sustento empírico de este trabajo como lo es de otros tantos, donde puede destacarse el texto de Castelló y Doménech (2002) pues sigue la tradición de los estudios pioneros de Barro reafirmando el efecto positivo de la educación en el crecimiento económico, a la par de dar cierto énfasis a las cuestiones de la desigualdad en la distribución del ingreso y a otros hechos relevantes para la economía que se abordarán en apartados venideros.

Ahora, la educación no solo se analiza desde la óptica de los años de estudio promedio de la población, si bien este es el enfoque más conocido. Una propuesta alterna es la utilización de las tasas de matriculación (proporción entre personas que estudian y las que deberían estar estudiando según su edad y las leyes vigentes) en ciertos niveles educativos para encontrar su relación con el crecimiento del producto, apelando a que un indicador del nivel de educación puede ser el hecho de que un mayor porcentaje de la población esté efectivamente inscrita y estudiando en las escuelas.

Mankiw Romer y Weil (1992) y Dowrick y Rogers (2002) plantean, desde una visión neoclásica usando las bases del modelo Solow, 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 no es lo más común en la literatura referida al análisis del crecimiento económico vía educación y se ha visto eclipsada por el uso de los años de estudio promedio de la población mayor a 25 años, debido a que el uso de tasas tiene algunas dificultades metodológicas.

Por ejemplo, Wang y Yao (2001) plantean el desfase temporal entre aquellas personas matriculadas y aquellas que se encuentran ya en la actividad productiva, lo que requiere el uso de extrapolaciones, relaciones inter-temporales o supuestos restrictivos. Además, la realidad observable muestra que las diferencias relativas entre los países atendiendo a sus tasas de matriculación (y también en las tasas de analfabetismo, por ejemplo) son cada vez menores si se comparan con las diferencias entre las tasas de crecimiento y los niveles de ingreso; para bien cada vez más países se acercan a la cobertura educativa total en nivel básico y a la erradicación del analfabetismo.

No debe inferirse que dado que el uso de tasas (alfabetización o matriculación) tiene los problemas ya mencionados, entonces la utilización del logro educativo está libre de críticas; Benhabib y Spiegel (1994: pp. 144) señalan que el uso de años de estudio promedio puede verse influenciado por los sesgos de medición hacia las zonas urbanas, por ejemplo.

Pero las cuestiones relacionadas con las deficiencias en la medición con años de estudio promedio no se relacionan únicamente con la cuestión metodológica y cuantitativa de la educación. Al reflexionar en torno a la parte cuantitativa del fenómeno aparece la cuestión de la *calidad* de la educación. No se requiere un análisis sofisticado para establecer que una posible homogeneización en los años de estudio de la población de los distintos países es bastante debatible, simplemente porque supone una igualación de las escuelas y métodos de enseñanza a lo largo del mundo; un año de estudio se representa como un número que no distingue si la educación fue otorgada en una u otra región. Es cierto que las diferencias cuantitativas entre la educación de los países son cada vez menores, pero las diferencias de forma y fondo de la educación en distintas naciones son considerables.

Lo anterior ha quedado en evidencia pues el uso intensivo de métodos de análisis y recopilación de datos estadísticos, al igual que en la economía, se extendió a otras ramas de estudio en la segunda mitad del siglo pasado, por ejemplo, a la pedagogía y al análisis de las diferencias entre los sistemas educativos en todo el mundo. En este contexto, la aparición de pruebas y exámenes estandarizados y el análisis detallado de los resultados han mostrado que las diferencias educativas entre naciones son considerables.

De entre los estudios que analizan este tópico, el Informe del Programa Internacional para la Evaluación de Estudiantes (PISA, por sus siglas en inglés) es quizá el más conocido. Dado que los resultados más recientes de PISA se utilizan en este texto, en el capítulo tercero se analiza a detalle la metodología y las posibles críticas existentes; para este apartado basta con mencionar que 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.

Los resultados durante ya varios años han exhibido y brindado datos específicos para visualizar de mejor manera algo que resulta evidente, lo cuestionable que parece ser asumir que un año de estudio en México sea igual a uno en Singapur (o cualquier otro país). 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 (de exámenes estandarizados en general y no solo las de PISA) en sus trabajos para mostrar que las diferencias en el desempeño educativo pueden tener repercusiones en el crecimiento económico.

Barro (1999) analiza también la cuestión cualitativa, estudiando cómo la calidad educativa podría aportar a la explicación del crecimiento y 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.

Además de ello, otro texto de Barro (2013) da aún más argumentos para cimentar una de sus conclusiones originales proveniente de sus primeros trabajos, aquella que establece una correlación positiva entre los años de estudio promedio y el crecimiento económico, pero ahora abundando en la distinción entre cantidad de educación medido por los años de estudio promedio en distintos niveles académicos y la calidad educativa, variable en la cual se incorporan resultados de pruebas estandarizadas.

En este mismo plano, Hanushek y Kimko (2000) también utilizan indicadores de calidad educativa para la explicación del crecimiento económico encontrando que en especial las pruebas de matemáticas tienen una correlación positiva y significativa con el crecimiento. Este resultado es de utilidad para la construcción metodológica y el cómo se enlaza el capital humano con la tecnología y su difusión en el capítulo tercero de este texto.

Presentado lo anterior y añadiendo que Coulombe, Tremblay y Marchand (2004), Hanushek y Wößmann (2007) y Hall (2017) encuentran resultados similares, se obtiene una base sólida para argumentar la conclusión general de que existe una relación entre la parte cualitativa de la educación, a través de los resultados de las pruebas estandarizadas, y el desempeño económico.

Para cerrar esta parte referida a la educación deben mencionarse los trabajos de Psacharopoulos (1994) y Psacharopoulos y Patrinos (2004), en donde se argumenta la importancia de la educación para el crecimiento económico a través del estudio de los retornos de la inversión en educación y se resalta la importancia de esta en mayor medida para los países en vías de desarrollo. Si bien estos textos no se emplearán para lo lógica argumentativa de este texto, son trabajos relevantes y recuperan algo de la tradición original propuesta por Schultz y Becker, por ello deben ser mencionados.

Antes de avanzar hacia el análisis de otras variables distintas a la educación, pero que también están insertas en el capital humano y que resultan de interés para este texto, debe mencionarse que, aunque aquí se plantea una causalidad que va desde la educación hacia el crecimiento económico esto no implica que se desconozca o minimice la existencia de

una direccionalidad o retroalimentación inversa, desde el desempeño económico y hacia la calidad y cobertura educativas.

Sin embargo, los debates del tipo, “*¿Los países ricos tienen más y mejor educación porque son ricos? O ¿Son ricos porque tuvieron más y mejor educación?*” son solo una expresión particular del problema general de la direccionalidad en la ciencia y su aparición específica en la economía. Resulta una cuestión poco soluble dado que los métodos de análisis estadísticos empleados mayoritariamente en la ciencia económica abonan en el establecimiento de relaciones matemáticas y de dependencias estadísticas, pero están alejados e incluso algunos imposibilitados del establecimiento de causalidades.

Lo anterior es inherente a la economía, dada la naturaleza del objeto de estudio en cuestión; esto para algunos puede resultar un problema y una fuente para realizar una dura crítica a la cientificidad de la economía, aunque desde otro enfoque, puede resultar algo por demás interesante pues posibilita la apertura de ideas y la existencia de una amplitud teórica considerable, en el reconocimiento de que el planteamiento de la existencia de una única teoría para la explicación de la totalidad del complejo fenómeno económico resulta incoherente.

Más aún, la cuestión anterior se vuelve más álgida si se analizan fenómenos en los cuales existe una retroalimentación constante y en los que ambas direccionalidades existen y son evidentes. La economía como ciencia acoge a una multiplicidad de estos fenómenos, siendo este el caso de la relación economía-educación aquí mencionada. Entonces, la educación abona al crecimiento económico como también el incremento del ingreso posibilita la existencia de más y mejor educación.

Sin importar la manera en la cual se interprete la cuestión de la direccionalidad en la economía esta se soluciona, en alguna medida, estableciendo la causalidad desde el planteamiento del modelo y con base en el instrumental teórico elegido; la causalidad está brindada entonces por el investigador y no por la matemática ni la estadística.

Resulta ya obvio que para los fines de este texto se acepta una relación causal de la educación hacia el crecimiento, y aunque no se niega por ningún motivo la existencia de un flujo inverso ni se desconoce el debate existente, a continuación, se brindan algunos argumentos que sustenten la preferencia en la elección del sentido de dicha relación.

Benhabib y Spiegel (1994) y Hanushek y Wößmann (2007) han discutido cómo es que, desde su enfoque, aun existiendo una bidireccionalidad entre la educación y la economía,

el flujo desde el fenómeno educativo hacia el crecimiento económico es quizá más importante que su contraparte. La idea general puede resumirse de manera simple, la educación incrementa la productividad del factor trabajo, pero no es su único efecto, ya que no influye únicamente en la formación de insumos para el proceso productivo, antes bien, mediante el proceso educativo se crean algunas otras condiciones que pueden influir en el crecimiento económico más allá de la sola producción e incluso en la acumulación de capital.

Dos ejemplos de esas condiciones generadas por el proceso educativo son tanto los mayores índices de civilidad como la difusión de tecnologías. Lo interesante de este par de enfoques es que ambos apelan a la existencia de efectos directos en la acumulación de capital y generación de externalidades positivas a través de factores no relacionados con las variables ortodoxas, como la tasa de interés, por ejemplo.

En cuanto a los índices de civilidad se espera que una sociedad que vive pacíficamente (sin expresiones exacerbadas de violencia o descontento social), ofrezca una mayor certeza a los inversionistas. En otras palabras, si existiera una decisión entre dos posibles destinos de inversión, una de las variables relevantes para discernir entre ambos sería el estado de la estructura social y sus índices de civilidad, los cuales están estrechamente relacionados con cómo y cuánto se educa a la población. Existe bastante evidencia que relaciona los montos de inversión local y extranjera con el clima social y político de un país, además de extensos análisis de los determinantes sociales del crecimiento económico. Para ambos casos puede revisarse la recopilación de Ros (2013, capítulo 16).

Por otra parte, la educación también posibilita que las inversiones relacionadas con actividades con un mayor componente tecnológico tengan más probabilidad de llegar a lugares con un capital humano más apto. Es decir, existe poca probabilidad de que las naciones con bajos índices de capital humano reciban inversiones intensivas en capital y con un alto componente tecnológico por las dificultades y costos que implica la adopción de los métodos productivos más sofisticados. Esto se traduce en que un incremento del capital humano no solo hace variar la productividad en sí misma, sino que también puede alterar la relación capital-trabajo lo que genera una sinergia para incrementos de productividad de largo plazo.

Además de los dos tipos de efectos mencionados, la literatura sobre educación y economía pone en evidencia otros fenómenos (algunos de ellos se analizan más adelante en este

texto) que también siguen la misma idea de la creación de externalidades positivas para el fenómeno productivo a través de la educación. La introducción de este tipo de planteamientos posibilita la diferenciación de dos corrientes teóricas que sustentan los modelos de crecimiento y capital humano que se presentan en el apartado siguiente.

Entonces, la aceptación de la direccionalidad desde la educación hacia el crecimiento económico se basa en la existencia de fenómenos tangenciales a la producción que, en sinergia con el incremento de la productividad como fenómeno directo, parecen decantar la balanza en cuanto a la magnitud de ambos fenómenos en esta relación bidireccional.

La posibilidad de la predominancia de la direccionalidad contraria, desde el crecimiento económico hacia la educación, yace fundamentalmente en la aceptación de que necesariamente un mayor gasto educativo se traduce en más y mejor educación. En este sentido, los ejemplos históricos y la evidencia empírica muestran que, para la mayoría de los servicios públicos, incluida la educación, es al menos debatible el hecho de que exista una relación lineal positiva de cantidad-gasto y menos aún una relación cualitativa calidad-gasto.

Dejando atrás las cuestiones que atañen a la educación (cantidad y calidad), existen otras variables que podrían considerarse como insertas en el capital humano y que de esta manera pueden ser determinantes para el análisis del crecimiento económico. El estado de salud de la población es un ejemplo pues dicha variable ha sido considerada como un indicador del capital humano incluso desde que este término fue acuñado y se han utilizado diversas variables proxy para intentar estimarlo.

El mecanismo de transmisión de la salud hacia el crecimiento económico en la mayoría de los textos es bastante explícito: la incidencia de la mejora en la salud de las personas en la productividad del trabajo que termina por incrementar la productividad total. El incremento puede aparecer por al menos dos vías; la primera es un resultado de corto plazo que indica que la salud de las personas influye en la productividad individual, pues al gozar de un mejor estado de salud se tiene la posibilidad de realizar de mejor manera cualquier tarea.

La segunda se basa en la suposición de que el incremento de la salud puede alargar la esperanza de vida incrementando las perspectivas de retornos de las inversiones en capital humano y por ende aumentando la inversión de los agentes en sí mismos. Además, en caso de que este alargamiento de la esperanza de vida supere la tasa de mortalidad del

país en cuestión, también existiría un incremento en bruto de la población activa, lo que implicaría un incremento bruto de los factores productivos.

Existe cierto acuerdo en cuanto a los mecanismos de transmisión de la salud al capital humano y por ende a la producción, pero en lo que no existe un consenso total es en el tipo de variables proxy necesarias para describir el estado de salud de las personas en los distintos países del mundo. La naturaleza y la calidad de los datos, evidentemente sesgados en los países más pobres, abre debates en torno a su fiabilidad y concordancia. Es intuitivo pensar que tanto los valores brindados por los gobiernos en torno a salud y a educación puedan ser susceptibles de sesgos al tener un alto grado de interés político.

En la literatura comúnmente se han utilizado las variables proxy de esperanza de vida y de mortalidad infantil para este tipo de mediciones, por la objetividad brindada al estar basados en datos duros y no variables que se tengan que estimar. El trabajo de Barro (1996) ayuda a entender la importancia de la salud en general como indicador de capital humano, además de enfatizar que usar cualquiera de las dos variables arriba mencionadas arroja resultados similares (1996, pp. 15).

Otros autores que han utilizado también la esperanza de vida para aproximar la variable salud son Acemoglu y Johnson (2007) quienes encuentran que el incremento de la salud medido de esa manera tiene efectos muy pequeños en las estimaciones de crecimiento económico, al menos para la época del periodo de postguerras lo que quizá pueda ser una estimación sesgada.

Por otra parte, Cervellati y Sunde (2011) encuentran una relación positiva entre el crecimiento económico y el incremento de la esperanza de vida, sin embargo, los autores se centran en el análisis de la ambigüedad de la interpretación de los resultados pues en el supuesto de que la población aumenta ante un alargamiento de la esperanza de vida, si el incremento del producto no supera en tasas al incremento poblacional, ello podría verse reflejado en un decaimiento del producto per cápita.

Otro texto que brinda soporte a la cuestión de la esperanza de vida relacionada con el capital humano y el crecimiento económico es el ya mencionado trabajo de Castelló y Doménech (2002) quienes lo analizan desde una perspectiva de los efectos de la desigualdad en la acumulación de capital humano.

Ahora, asumiendo el enfoque de un aumento bruto de la población en general y de la población ocupada en particular, existe otra variable proxy que ha sido utilizada y que tiene

bastante concordancia con este supuesto. La tasa de supervivencia en adultos, (ARS por *adult survival rate* en inglés) que mide la probabilidad que tienen las personas de más de 15 años de sobrevivir hasta su cumpleaños 60; esta variable proxy también es utilizada para estimar la relación salud-economía, dado que se aproxima más a la población en edad productiva y nos describe la utilización del total de años productivos de una persona, además de que puede ser menos sensible a problemas de salud focalizados en las colas izquierda o derecha de la distribución de la edad de la población.

Bhargava, Jamison, Lau y Murray (2001) utilizan también la ARS junto con la esperanza de vida e indicadores académicos para la explicación del capital humano. Por su parte Weil (2007) analiza mediante la ARS las implicaciones de la salud en el crecimiento económico, brindando además un sustancial aporte a la metodología para el uso de este tipo de variables evitando los posibles sesgos en los datos existentes.

Resulta entonces claro que el aporte de la salud de la población al proceso productivo tiene un amplio sustento teórico, si bien encuentra algunas dificultades de medición. Las variables proxy mencionadas no son las únicas, pero sí las más utilizadas y brindan un nutrido panorama general en cuanto a este tema. La revisión de otras variables distintas no se plantea de manera exhaustiva por dos motivos principales; el primero es que muchas de las variables que pueden proponerse para aproximar la salud de las personas están correlacionadas entre ellas y arrojan resultados parecidos; el segundo motivo se refiere a que la medición de capital humano aquí propuesta prescindirá del uso de indicadores específicos de salud tanto por concordancia de ideas con la teoría de la difusión de tecnologías que se utiliza a partir del capítulo segundo, como también porque dichas variables encuentran también correlación con algunas que sí serán utilizadas, como se analiza en párrafos siguientes.

Esta futura omisión está lejos de ser arbitraria, pero quedará mejor argumentada en el capítulo tercero a partir de un sustento estadístico, sin embargo, no podía dejarse de lado la revisión de este tipo de aproximaciones al capital humano.

Avanzando a una idea distinta, otra variable que describe y caracteriza al capital humano y que tiene una relevancia mayor para los fines de este texto es la estructura etaria, cuya variable proxy más utilizada es la edad promedio de las personas que bajo algunos mecanismos cuantitativos y cualitativos puede influir en el crecimiento económico, pues

puede considerarse una forma de estimar tanto las capacidades cognitivas de las personas como la cantidad y el tipo de conocimiento que estas poseen.

Según Stiglitz (2015: pp. 113), una población relativamente joven podría tener mayores capacidades y disposición para adoptar nuevo conocimiento, lo cual tiene una influencia directa en el qué y el cuánto se produce, aunque al ser una población joven también pudieran contar con menor experiencia y por ende un menor stock de conocimientos acumulados.

Entonces, existen dos efectos (contrarios) del aumento de la edad de la población. Un efecto positivo en la producción y otro inverso en detrimento de esta. La parte del aporte positivo puede resultar un tanto más intuitivo siguiendo el paradigma neoclásico-ortodoxo, al relacionar la edad de las personas con su experiencia en las actividades productivas y su aprendizaje acumulado por mecanismo como el *learning by doing* descrito por Arrow y que de hecho es compatible con las ideas seminales de capital humano (Arrow, 1962a, pp. 172).

Sin embargo, el enfoque opuesto y que resulta sumamente importante para este texto puede no ser tan intuitivo; por ello se hace énfasis en la parte decreciente o negativa, es decir, en el análisis de las ventajas de una población más joven (o las desventajas de una población con edad promedio mayor).

Para comenzar a comprender dicho enfoque podemos establecer que las capacidades de aprendizaje de las personas pueden estar en función de su edad, pues es plausible asumir que la población más joven tiene una mayor propensión a la adquisición de conocimientos nuevos. Para algunos puede resultar un planteamiento controversial, sin embargo, es una realidad que ha sido analizada desde varios frentes.

Por ejemplo, desde 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 conforme su edad incrementa. Este enfoque también es usado en el texto de Hultsch et al. (1999).

Por otra parte, si se recupera la visión de los retornos de inversión de la educación de los textos seminales de capital humano, debe recordarse que la edad es uno de los detonantes de la decisión de inversión ante las posibilidades de recuperación de los ingresos, por lo que desde otra perspectiva no biológica, la edad de la población importa si se siguen los

postulados de Becker y Schultz, los cuales recobran relevancia con un planteamiento sencillo: las personas jóvenes tienen, respecto a las personas mayores, relativamente “más tiempo” y posibilidades para recuperar la inversión realizada. Esto se entrelaza con lo mencionado por Stiglitz, la disposición a adquisición de nuevo conocimiento en función inversa con la edad, una disposición al menos estimada en forma pecuniaria.

Un enfoque alternativo es el de la obsolescencia de los conocimientos en función de la edad de las personas, el cual resulta importante pues está estrechamente relacionado con la conexión que se establece a partir del siguiente capítulo entre el capital humano con el conocimiento y la tecnología. El planteamiento no es complejo, los conocimientos elementales como la aritmética básica, el abecedario y la geometría euclídea permanecen sin alteraciones sustanciales quizá desde hace siglos, sin embargo, los mecanismos de interacción de estos conocimientos con la producción y la implementación de estos en relaciones de comunicación, por ejemplo, han cambiado drásticamente y continúan haciéndolo a un ritmo acelerado. Basta con mirar cuán útil era saber utilizar una máquina de escribir hace 50 años y lo obsoleto que esto resulta hoy.

En un entorno de desarrollo tecnológico y generación de conocimientos cada vez más veloces las personas que adquirieron conceptos aplicables a la producción hace décadas pueden estar desfasados en cuanto a lo que resulta relevante para el proceso productivo en el presente. Algunos tipos de conocimiento pueden ser perennes cuando a producción nos referimos, pero otros tantos caen sin duda en obsolescencia con prontitud.

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 con el paso del tiempo por orígenes multifactoriales. Por otra parte, Alders (2005) propone que el capital humano sufre una depreciación en función inversa al desarrollo tecnológico, esto detonado por la obsolescencia del conocimiento. Estos estudios dan sustento empírico a la idea de que las personas más jóvenes representan un stock mayor de capital humano, más aún si interactúan con la tecnología como se presenta en el capítulo siguiente.

Presentados ambos enfoques relacionados con la edad de las personas puede intuirse que los efectos positivos de una población con mayor edad se relacionen con actividades industriales o mecanizadas, en las que el perfeccionamiento de tareas rutinarias y de un específico conocimiento productivo sea relevante. Pero para una economía con cambio

tecnológico constante y con un alto componente tecnológico, puede ser que la disposición al aprendizaje y la obsolescencia de conocimientos jueguen un papel trascendental.

Para entrelazar las numerosas ideas de este apartado, independientemente de los efectos de la estructura etaria que decidan analizarse (positivos o negativos), estos se añaden a los otros fenómenos ya descritos relacionados con la educación (calidad y cantidad) y la salud de las personas para hacer una amplia descripción del stock de capital humano y, sobre todo, para enfatizar la idea de que existe una multiplicidad de variables, formas de medición y mecanismos de acrecentamiento del capital humano, tales que sería imposible describirlo con una variable única o postular que el análisis del crecimiento económico a partir de una sola de ellas es suficiente.

Ahora, la construcción de este tipo de variables y la estimación del impacto que estas tienen en el crecimiento muestra cómo el interés por la parte empírica del estudio del capital humano tuvo un incremento más que sustancial sobre todo a partir de la década de los noventa. Pocos años antes y con un desarrollo casi simultáneo creció también el interés por la parte teórica del asunto: el modelaje y análisis de condiciones de largo plazo de la variable capital humano, tal y como se presenta en el apartado siguiente.

1.4 El capital humano dentro de la teoría del crecimiento económico

Aunque la naturaleza empírica de lo presentado en el apartado anterior y el carácter teórico de lo mostrado a continuación parezcan alejar una cuestión de la otra, es también cierto que ambas ramas de investigación crecieron de manera conjunta con textos que son intersección de ambos enfoques, si bien otros tantos escritos estén agrupados en conjuntos alejados de esta intersección. Ambas corrientes encuentran su punto de inicio con los escritos de Becker y Schultz con una clara influencia de los textos de Solow.

A partir de la publicación del modelo de crecimiento neoclásico, el interés por la cuestión del crecimiento de largo plazo aumentó de gran manera hasta situarse como una de las ramas más productivas de la ciencia económica en cuanto a volumen de textos publicados. Dentro de la gran ola de textos de esta vertiente teórica, un cúmulo de ellos desarrolla la teoría de que el capital humano es una variable teórica explicativa del crecimiento económico. Algunos de los escritos a revisar gozaron de cierta relevancia por encontrarse dentro de lo que a la postre se conoció como teoría del crecimiento endógeno y que tuvo su auge a partir de la segunda mitad de los años ochenta.

La revisión de la teoría del crecimiento en este apartado no es exhaustiva, se limita únicamente a los textos que incorporan de manera explícita al capital humano como variable teórica; existe abundante literatura de la teoría del crecimiento que no incorpora esta variable y que por obvias razones queda fuera de esta revisión.

Ahora, si bien cada uno de los textos referidos en este apartado y en la primera mitad del capítulo siguiente utilizan al capital humano como variable explicativa del crecimiento económico, no existe un consenso en torno a los mecanismos bajo los cuales esta influencia sucede. En este sentido, Nelson (2005) propone una taxonomía en donde se divide a los modelos de crecimiento y capital humano en dos conjuntos, uno nombrado teorías de la acumulación y el otro como teorías de la asimilación.

Las teorías de la acumulación se refieren a la concepción del capital humano como una variable que explica directamente al crecimiento del ingreso; puede ser como un componente explícito de una función de producción o como un sector de la economía dentro del modelo propuesto; en otras palabras, se establece que el aporte del capital humano se da de manera directa en la producción mediante un aumento bruto de los factores de la producción. En resumidas cuentas, cuando el capital humano incrementa existe una repercusión directa en el aumento la producción.

Un texto básico para el inicio del planteamiento de este tipo de teorías es el texto de Romer (1986) que detona el interés por la cuestión de la endogeneidad a través de una discusión sobre las condiciones en las cuales podrían existir rendimientos crecientes en una función de producción. La variable capital humano no aparece dentro de la función de producción, pero este modelo da pie al entendimiento tanto de la propuesta de Rebelo como también a un segundo aporte de Romer, ambos presentados en los párrafos venideros.

Entonces, podemos entender el aporte básico de Romer al utilizar una función de producción del estilo $Y_j = AK^\alpha L^{1-\alpha} k^n \quad n \in \mathbb{R}$, donde en una función Cobb-Douglas que utiliza capital y trabajo se experimenta una externalidad k y, dependiendo del valor de n que estima la intensidad de la externalidad, $\forall n+\alpha > 1$, se obtienen rendimientos no decrecientes, lo cual resolvería la cuestión del estado estacionario al estilo de Solow. En los casos alternos en que $\forall n+\alpha \leq 1$ el análisis es análogo al esquema de Solow.

Desde la presentación del artículo seminal se abre la posibilidad de que la externalidad que causa los rendimientos crecientes provenga de fuentes que hasta ese momento no eran estudiadas a profundidad, como la tecnología y el capital humano, y en las cuales Romer

(1990b y 1990c) indagó posteriormente. Entendido esto, Rebelo continuó la senda trazada por Romer en 1986, simplificando la función de producción neoclásica $Y_t = AK_t^\alpha L_t^{1-\alpha}$ al asumir que los trabajadores de L_t son también una forma de capital, entonces $L_t^{1-\alpha} = K_t^{1-\alpha}$ y entonces $K_t^\alpha K_t^{1-\alpha} = K_t$.

Entonces, la función de producción es $Y_t = AK_t$, lo cual le da sentido a porqué se le conoce coloquialmente a esta propuesta como el modelo AK de Rebelo. Debe notarse que al modificar la función de producción de esa manera la cuestión de los rendimientos decrecientes del capital se desvanece ya que, si bien tiene rendimientos constantes a escala, la segunda derivada no es negativa: $\frac{\partial Y}{\partial K} > 0, \frac{\partial^2 Y}{\partial K^2} = 0$

Al encontrar las condiciones de largo plazo, la tasa de crecimiento de capital per cápita de largo plazo muestra rendimientos constantes en $\frac{\dot{k}_t}{k_t} = sA - (n + \delta)$, únicamente al asumir que el capital humano es susceptible de crecer a través de inversiones tal y como sucede con K . Entonces, la acumulación tanto de capital físico como de capital humano es lo que detona el crecimiento de largo plazo y es entendible cómo el modelo AK se enmarca en las teorías de la acumulación.

Por otra parte, en un texto subsecuente Romer (1990) ya aborda cuestiones directamente relacionadas con el capital humano en conjunción con la tecnología y propone un modelo de economía de tres sectores, en la que coexisten un sector de investigación y desarrollo (I+D), uno de bienes intermedios y uno de bienes finales. Se usa una función de producción para los bienes finales:

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

Donde el factor Γ es la porción del capital humano H que se usa para la producción de bienes finales, asumiendo que la parte restante $(1 - \Gamma)H$ se emplea en el sector de I+D. Además, L y K son los factores comúnmente utilizados, aunque con el matiz de que el capital físico se acumula en función de los productos resultantes del sector de bienes intermedios que se propone en el modelo. Entonces, la acumulación de este factor se da con $K = \int_0^\infty x(i) di$, 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.

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 de manera externa y realizar una posterior transferencia de los derechos de uso (Romer, 1990: 79). A manera de una reacción en cadena, en la medida que el capital humano sea más productivo, la porción $(1 - \Gamma)H$ que produce I+D aumentará la producción que alimenta al sector de bienes intermedios y que termina por incrementar el stock de capital físico.

Resulta entonces claro cómo esta propuesta se enmarca como una teoría de la acumulación y también que el capital humano juega un papel trascendental en el crecimiento económico, pues es un detonante de la acumulación de capital físico. De manera tangencial, esta propuesta teórica exhibe la importancia de las actividades de I+D para el crecimiento económico y cómo el éxito de estas está en función del stock de capital humano.

En un análisis similar, Lucas (1988) propone una modelación teórica del crecimiento del ingreso per cápita, planteando este fenómeno como resultante de la acumulación de capital humano. Aunque la propuesta es parecida a la de Romer, difieren sustancialmente en el modo en el cual se concibe la importancia de la tecnología y del capital humano; Lucas considera que la atención debe centrarse en el capital humano, bajo el supuesto de que el acceso y la difusión de la tecnología, que bajo algunas circunstancias podría considerarse un bien público, puede ser más sencillo que el acceso al capital humano, pues este se encuentra inserto en las personas lo cual lo convierte en un bien rival. Estos no son supuestos triviales, por ello se profundiza en su discusión en el siguiente capítulo.

Lucas plantea un modelo de economía dual, con un sector de bienes finales y otro de capital humano:

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

En el primer sector la producción, el ingreso proveniente de los bienes finales Y se explica con K capital físico y con H que es el stock total de capital humano. La función de producción se propone con rendimientos constantes 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 la porción de H que no está empleada en la producción de bienes finales. Por ello, el crecimiento de dicho sector viene dado por:

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

Donde φ puede entenderse como una medida de probabilidad que estima la eficiencia del sector para producir nuevo capital humano, empleado solamente el capital humano que no se utiliza en el sector de bienes finales, es decir $(1 - \theta)H$.

En las condiciones de largo plazo, obviamente, el capital humano será el factor clave en el crecimiento económico pues el ingreso per cápita crece continuamente por la acumulación constante de este, que dependerá de la inversión que la sociedad haga en el sector que produce el factor H que determina los parámetros que establecen la función de probabilidad de φ .

El modelo de Lucas presenta algunas similitudes tanto con el modelo de Romer⁹ como con el de Solow. Sin embargo, de fondo tiene una discusión tangencial que resulta de interés para este texto, como lo es el planteamiento de que el proceso educativo, entendido como una transmisión de conocimiento, exhiba (o no) rendimientos decrecientes en algún punto como cualquier otro sector de la economía. Esto también representa un punto de intersección con el modelo de Rebelo.

Lo anterior está implícito desde la forma en cómo se plantea la función de producción y queda de manifiesto el hecho de que el crecimiento sea endógeno por los rendimientos constantes en la acumulación de capital humano; a partir de lo cual puede establecerse un debate en torno a la suficiencia o no de la transmisión de conocimiento para la obtención de rendimientos crecientes globales a nivel agregado con base en capital humano o si esto se limita a escala local o industrial.

Más allá de estas interesantes discusiones y sus implicaciones resultantes, queda también exhibido que el modelo de Lucas se categoriza dentro de los modelos de acumulación. En resumen, en el caso de Romer mayor stock de capital humano representaba más insumos de capital físico, para Lucas y Rebelo mayor producción de capital humano representa el incremento de uno de los factores productivos. En ambos casos la acumulación de capital humano impacta directamente en la acumulación de factores y por ende en el nivel de producción. La acumulación es el mecanismo de transmisión para el acrecentamiento del producto.

⁹ Paul Romer y Robert Lucas Jr., son pioneros en la incorporación del capital humano en lo que posteriormente sería reconocido como la teoría del crecimiento endógeno. La similitud de los planteamientos en sus modelos atiende a una estrecha relación en su formación y en sus líneas de investigación, donde ambos coincidieron en una relación doctorando-asesor en la tesis doctoral de Romer.

Para cerrar este apartado, el último modelo por analizar desde la óptica de las teorías de la acumulación es el presentado por Mankiw, Romer y Weil (1992) el cual en ocasiones es nombrado el modelo de *Solow extendido* o *modelo de Solow con capital humano*, dado que utiliza casi la totalidad del instrumental teórico del modelo de crecimiento neoclásico e incorpora una variable extra para la refinación de las estimaciones numéricas obtenidas a partir del modelo, esta variable es el capital humano. 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 bajo la simbología que ya se ha empleado.

En este caso, los incrementos de la productividad en general, que con Solow podrían entenderse como limitados al aporte del cambio tecnológico, en este modelo pueden entenderse también bajo la lógica de un incremento en las habilidades o calificación de los trabajadores medidos por H que son función de la inversión (y por ende acumulación) realizada en este stock.

Las teorías de la acumulación mostradas fueron presentadas en orden cronológico, pero quizá en este modelo es donde resulta más clara dicha característica de acumulación, pues el capital humano dentro del modelo es concebido como un factor de la producción y crece a medida que se destina una porción de la inversión en este. Sin duda lo anterior nos devuelve a la cuestión de la similitud teórica del capital humano con el capital físico y nos ayuda a dar forma teórica a una cuestión del apartado anterior, la depreciación y obsolescencia del capital humano, pues uno de los supuestos del modelo de Mankiw, Romer y Weil es que ambos tipos de capital se deprecien a una misma tasa δ .

Esta similitud entre ambos tipos de capital llega a otros puntos dentro de esta teoría, por ejemplo, el hecho de que tanto H como K son funciones del ahorro de la sociedad; el ahorro S será dividido en dos porciones, S_H para la formación de capital humano y S_K que es invertido en capital físico, por ello el acrecentamiento de cada uno de los stocks está en función de decisiones de inversión en uno u otro.

Ahora que ya se han mencionado las implicaciones teóricas de las decisiones de inversión en la de acumulación de capital humano y su expresión en el ahorro de tipo S_H , tiene más

sentido la utilización de la variable proxy de las tasas de matriculación estudiada en el apartado anterior, ya que describe de manera adecuada a la variable teórica que es el gasto de la sociedad en la acumulación del stock de capital humano. Por ejemplo, el gasto público en educación puede no ser una variable proxy adecuada pues la mayor parte de este es gasto corriente, algo que se evita utilizando las tasas de matriculación.

Regresando al modelo teórico, dada la propuesta de una función de producción con rendimientos constantes globales y decrecientes locales, las condiciones de largo plazo y de estado estacionario encuentran similitud con el modelo de Solow, claro está, con las diferencias implícitas ante la acumulación de un nuevo factor de la producción. Por ende, los niveles de capital per cápita y de ingreso de largo plazo encuentran un estado estacionario de largo plazo.

Es importante resaltar lo anterior ya que, si bien los modelos de acumulación fueron presentados como parte de un mismo grupo de textos demarcados bajo la taxonomía de Nelson, vale la pena matizar que existen tales diferencias entre ellos que podrían crear una subdivisión en al menos dos grupos distintos. Los modelos de Rebelo, Paul Romer¹⁰ y de Lucas pertenecen a la tradición endógena del crecimiento; en el modelo de Lucas y en el de Rebelo la explicación del crecimiento se vuelve endógena a través de los rendimientos constantes en la acumulación de capital humano mientras que para Romer, en su primer texto sucede por los efectos de la productividad capturados por la externalidad $k^n \quad n \in \mathbb{R}$ y en el segundo por la eficiencia del sector de I+D impulsado por el capital humano.

Algo distinto sucede con el modelo de Mankiw, David Romer y Weil quienes siguen puramente la tradición de Solow y cuyo texto no se enmarca en la corriente del crecimiento endógeno dados los rendimientos de la función de producción que podrían determinar la existencia de un estado estacionario en el largo plazo. Sin embargo, aunque las diferencias entre los modelos presentados son sustanciales y evidentes atendiendo a la endogeneidad, si el análisis parte de la taxonomía propuesta por Nelson, el enfoque general de cada uno de estos modelos sí puede resumirse en que el capital humano tiene una influencia directa en la producción bajo la lógica clásica de acumulación de factores productivos que ocasiona un aumento del capital disponible por trabajador; el calificativo de teorías de la acumulación es certero.

¹⁰ Se usa el nombre de pila para evitar confusiones pues en el modelo extendido de Solow, mencionado en el mismo párrafo, hay otro autor con el mismo apellido; del segundo autor también se utiliza el nombre de pila.

Una vez planteada la idea general de las teorías de la acumulación, el segundo grupo de teorías de crecimiento económico y capital humano propuesto en la taxonomía de Nelson se denomina teorías de la asimilación pues, aunque se reconoce la existencia del aporte directo del capital humano a la producción tal y como sucede con los modelos de acumulación, se asume también que los fenómenos ocasionados a partir de la acumulación de capital humano (en particular de la educación) no se limitan al aparato productivo y alcanza distintas aristas del proceso económico fuera de la producción, dado que el capital humano puede propiciar otros efectos de carácter sistémico, y por ende conlleva la existencia de sucesos colaterales. De entre todos los posibles fenómenos el que más interesa para los objetivos de este texto es el de la difusión de tecnologías.

El supuesto fundamental es la posibilidad de incrementar la adquisición de conocimientos y la incorporación de tecnologías novedosas a los procesos productivos a través de la acumulación de capital humano. Entonces, el capital humano puede concebirse como un detonador de la difusión de tecnologías y no únicamente como un insumo que acrecienta la producción en bruto (aunque sí lo sea).

Los modelos de difusión tecnológica se presentan a detalle en el capítulo siguiente en conjunto con un análisis de las implicaciones específicas del uso de ellos para el estudio de países en desarrollo, sin embargo, desde ahora que ya se han presentado algunos modelos de crecimiento puede esbozarse una argumentación que exhiba las diferencias entre los modelos de asimilación y los de la acumulación.

El entendimiento de la distinción entre ambos tipos de modelos, según la taxonomía de Nelson, yace en dos ideas fundamentales que son cercanas a los postulados schumpeterianos y a los estudios de la innovación y la tecnología. Por una parte, la aceptación de que tanto la innovación como la generación y/o acumulación de tecnologías, capital humano y de conocimiento, atienden a fenómenos de índole económica y de mercado en un proceso de búsqueda de cuasi-rentas, pero teniendo repercusiones que no se limitan a la esfera productiva y que modifican sustancialmente el entorno social.

Por otra parte, el planteamiento de la existencia de transferencias de conocimiento y tecnología entre agentes con stocks dispares de estos recursos, tanto a nivel agregado como a menor escala entre industrias o empresas. Independientemente del nivel de agregación, la idea fundamental parte de la suposición de disparidades entre los stocks de

tecnología y conocimientos disponibles para los agentes y la posibilidad de existencia de procesos de difusión-adopción de tecnologías.

Resulta importante hacer énfasis en esta suposición, dado que la heterogeneidad en la dotación de tecnologías disponibles es un supuesto que difícilmente puede rastrearse en los modelos neoclásicos de crecimiento, ya que al suponer una economía que produce un único bien, hacen diferencia en los países únicamente por su nivel de capital per cápita k y por la ratio capital trabajo expresada en los coeficientes α y β (o $1 - \alpha$). Esta aparente homogeneidad en las tecnologías disponibles y en los modos de producción asumida en los modelos neoclásicos puede ser un supuesto adecuado para el análisis de países con capacidades productivas altas, pero no así para todas todo tipo de naciones.

Por el contrario, los modelos de asimilación plantean de facto la existencia de disparidades en los acervos de tecnología y conocimiento que propician la existencia de fenómenos de *spillovers* y, bajo el supuesto de no rivalidad del conocimiento y la tecnología como bienes económicos, los agentes con menores stocks de tecnología y conocimiento podrían beneficiarse de la existencia de esta brecha, siempre y cuando tengan la capacidad para asimilar el conocimiento y la tecnología en función del nivel de exclusión que se suponga tenga esta última.

Es allí donde el capital humano se presenta como la principal herramienta para la asimilación; el crecimiento económico se apalanca a través del incremento de la productividad tal y como se realiza en los modelos de acumulación, pero no con incrementos de los factores productivos en bruto sino por un acrecentamiento de A a partir de la difusión de tecnologías y siempre en función del capital humano que la pueda asimilar. En ese sentido, el capital humano y la tecnología aparecen como una posible explicación para el residuo de Solow y también como una manera interesante de lidiar con la existencia de un estado estacionario en el largo plazo.

Las ideas de la existencia de estos *spill-overs* datan de la tradición marshalliana de análisis industrial, pero su forma allegada al caso particular de la tecnología y en relación con la teoría del crecimiento económico tiene sus primeros registros en la década de los sesenta tanto de manera teórica, como con análisis históricos y también con modelos de crecimiento; quizá el más conocido sea el de Nelson y Phelps de 1966.

Por ello, pueden afirmarse las intenciones de Nelson de clarificar a través de su taxonomía la diferencia entre los modelos de acumulación y los de asimilación como el que él propuso.

Dicho modelo y sus extensiones se presentan a detalle en el capítulo siguiente pues para los fines de este texto se precisa de un análisis más exhaustivo de la cuestión de la tecnología en general y de la difusión tecnológica en particular.

Para este punto es suficiente matizar que las ideas de la asimilación no descartan el aporte del capital humano directamente en la producción, pero postulan que asumir únicamente esta postura invisibiliza algunos otros fenómenos que son de suma importancia. Las teorías de la asimilación abren una ventana de oportunidad para el análisis del crecimiento económico desde una perspectiva distinta.

Se ha hecho énfasis en el fenómeno de difusión tecnológica, pero no es el único que se encuentra apalancado por la acumulación de capital humano y que detona el crecimiento económico, por ejemplo, Benhabib y Spiegel (1994) disertan sobre las particularidades del capital humano que quedan aisladas si se utiliza una función de producción *labor augmenting* ya que solo posibilita el análisis de los efectos del capital humano en la fuerza laboral y, según lo presentado por los autores, esta visión es limitada dado que existen también variaciones en la formación bruta de capital físico provenientes de mejoras en el stock de capital humano. Aunque la propuesta resulte difusa de principio, en realidad el argumento es sencillo, un mayor stock de capital humano con altas capacidades de asimilación resulta más atractivo para inversiones en capital fijo; en otras palabras, existe un efecto del capital humano más allá de la concepción *labor augmenting*, desencadenando un impacto en la acumulación del capital físico y por ende en la productividad total. Esto se refuerza con los fenómenos mencionados en el apartado anterior, como el incremento de los índices de civilidad de la población con más estudios

Lo anterior es solo un ejemplo de la multiplicidad de fenómenos que pueden ser omitidos al centrarse únicamente en el proceso productivo. Nuevamente, en la teoría de la difusión tecnológica no se asume que no existe un aporte directo en la producción, sin embargo, lo que sí se asume es que este tipo de variación no es la única que sucede ante cambios en el stock de capital humano.

Esto queda aún más en evidencia si se asume que desde los aportes originarios de la teoría del capital humano se ha relacionado a esta variable con la educación; resulta insuficiente asumir que el proceso educativo analizado desde un enfoque económico tenga únicamente repercusiones en la producción.

Además, ahora que se menciona nuevamente a la educación, para la medición empírica basada en modelos de las teorías de la acumulación, Benhabib y Spiegel (1994) mencionan también que al considerar el capital humano como un factor de la producción, conlleva algunas desventajas metodológicas, dado que al usar tasas de variación para medir el crecimiento económico, las variables proxy que podrían ser usadas para el stock de capital humano que se explican en el apartado anterior, como tasas de matriculación, años de estudio promedio, etc., difícilmente reportan cambios sustanciales en periodos cortos de tiempo lo cual puede reducir su nivel de significancia, además de que como ya se ha comentado, las disparidades entre países en algunas de estas variables muestran incluso diferencias mucho menores, más aún para variaciones de periodos interanuales.

Lo anterior se traduce en que la capacidad de las variables referidas al capital humano, si son usadas en ejercicios empíricos con enfoque de acumulación, son bastantes reducidas para explicar las sustanciales diferencias en el crecimiento económico y el ingreso de los países, pues los datos de las variables proxy reportan disimilitudes poco significativas entre naciones. Esta cuestión abona desde la parte analítico-empírica para construir el argumento de que un análisis desde la óptica de las teorías de la asimilación tiene ciertas bondades en comparación con las teorías de la acumulación, estas ventajas adquieren mayor relevancia si se analiza no solo la parte metodológica, sino también la parte teórica. Por ello es por lo que el análisis detallado de los modelos de la asimilación se deja para el capítulo siguiente, pues es necesaria la incorporación en forma directa de una variable que hasta ahora solo ha sido mencionada de manera tangencial: la tecnología y su difusión.

1.5 La necesidad de una medición multivariada de capital humano

Tanto los trabajos de las teorías de la acumulación como aquellos de las teorías de la asimilación han encontrado en algunas ocasiones una intersección con los ejercicios empíricos de medición del capital humano presentados en el apartado 1.3, en el sentido de utilizar alguna de las medidas mencionadas como variables proxy de la variable teórica H para poder validar las conclusiones emanadas de los modelos teóricos.

El escribir “utilizar alguna” es una precisión en torno a que en la mayoría de los casos se selecciona una variable proxy de capital humano para poder estimar el stock disponible de dicha variable, además de que en la mayoría de los casos se utiliza únicamente a la educación. El ejemplo más claro es el que quizá sea el ejercicio empírico más conocido y

citado cuando uno se refiere a estos tópicos, el ya mencionado modelo de Mankiw, Romer y Weil que utiliza una única variable proxy.

Pero no solo en los modelos considerados ortodoxos o de acumulación se presenta la cuestión de la unicidad de la variable descriptiva del capital humano, por ejemplo, esta situación se repite también con la propuesta de Benhabib y Spiegel (2005) que es uno de los modelos de asimilación, a través de la difusión tecnológica y el capital humano, con más repercusión en la discusión teórica, a tal grado de aparecer en el Handbook of Economic Growth de 2005.

En el siguiente capítulo se analiza a detalle la parte teórica del modelo mencionado, sin embargo, resulta interesante mencionar lo que sucede con su parte empírica. En síntesis, lo que allí se propone es que existe un punto crítico en el número de años de estudio necesarios para que existan los procesos de difusión tecnológica y que son parte fundamental de los modelos de asimilación. Según las conclusiones de Benhabib y Spiegel (2005, pp. 29-30) los países con al menos dos años de estudio promedio en su población tienen la posibilidad de beneficiarse del proceso de difusión de tecnologías.

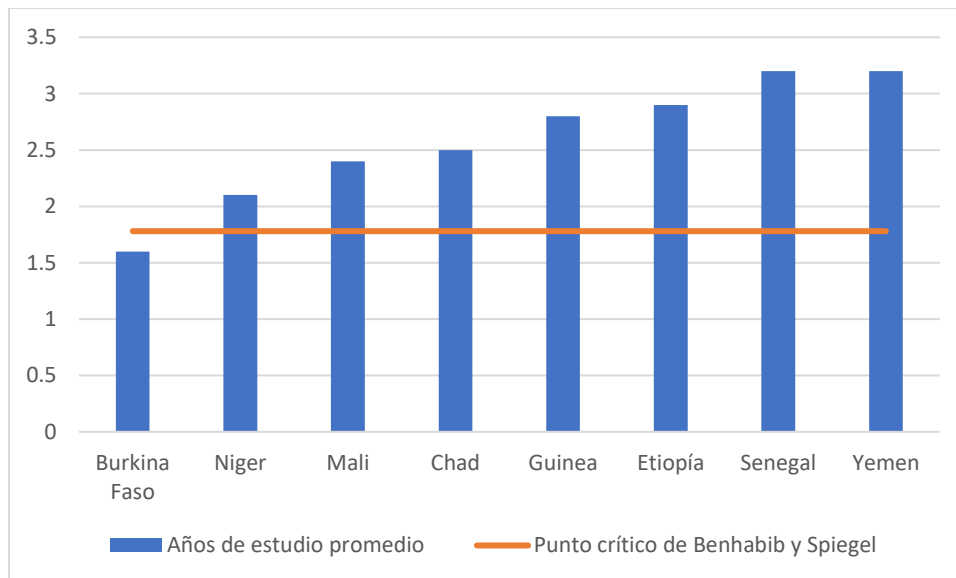
Es verdad que la base de datos que Benhabib y Spiegel utilizan se refiere a la segunda mitad del siglo anterior, por ello podría entenderse que la cota estimada por su ejercicio empírico se coloque en un punto tan bajo. Es justo por ello por lo que estos resultados deben ser rebatidos y discutidos nuevamente, al menos por la simple actualización temporal.

El gráfico 1E nos muestra que incluso seleccionando a los países con menor logro educativo de los 170 que se tienen datos disponibles para el índice de Desarrollo Humano 2020 (dato de 2019) solamente Burkina Faso se encuentra por debajo del punto crítico propuesto por Benhabib y Spiegel. Esto nos sugiere que a partir de los datos mostrados en el gráfico y los países allí contenidos es al menos cuestionable la conclusión de los autores.

Aunque el análisis realizable a partir del gráfico anterior pone en evidencia que la cota encontrada por Benhabib y Spiegel nos lleva a una subestimación y a una conclusión incompleta y desfasada en el tiempo, es cierto también que dicho texto abre el camino para analizar cómo es que se puede avanzar en la conjunción entre los modelos teóricos de la asimilación y las estimaciones de la magnitud del capital humano en los países. Esta labor se ha realizado parcialmente como se muestra en párrafos próximos.

Dado que el punto crítico de años de estudio propuesto por Benhabib y Spiegel es sumamente bajo, dos de las soluciones posibles para esta cuestión son, por una parte, proponer la búsqueda de una metodología o modelaje estadístico distinto que estime de manera más certera y actualizada el punto crítico de años de estudio promedio necesarios para posibilitar la difusión tecnológica.

Gráfica 1E. Años de estudio promedio.



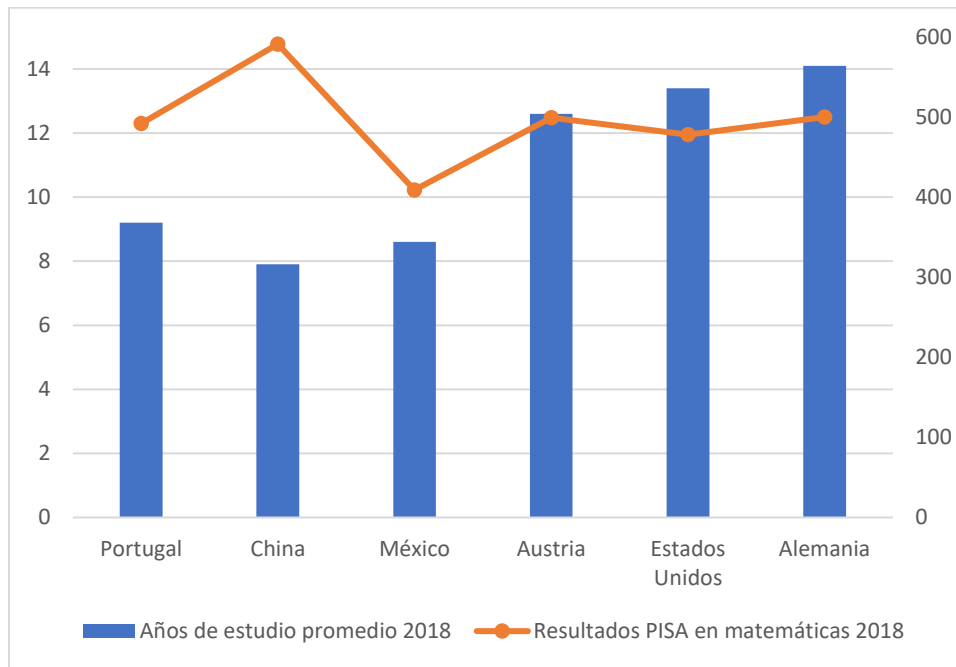
Elaboración propia con datos del Human Development Report Office 2020.

Por otra parte, una solución más elaborada y basada en lo expuesto en apartados anteriores, es partir de que, si bien los años de estudio promedio son un indicador importante del stock de capital humano, no son el único y que, asumir su unicidad nos puede conducir a conclusiones erróneas; en otras palabras, una segunda vía de solución cruza por asumir que quizá una estimación de cota tan baja proviene no solo de un hecho metodológico sino del supuesto teórico en el uso de una variable única para un fenómeno de posible explicación multivariada.

A partir de la gráfica 1F se pueden inferir el tipo de conclusiones acotadas que pueden obtenerse al únicamente utilizar los años de estudio promedio. La figura muestra dos grupos de países (tres a la izquierda y tres a la derecha) que tienen años de estudio promedio similares, pero con resultados disímiles en las mediciones de PISA, lo cual pone en entredicho la homogeneidad de esos años de estudio promedio.

Puede argumentarse que la utilización de una variable proxy única de capital humano en el texto de Benhabib y Spiegel (2005) responde a una simplificación necesaria para llevar a buen puerto un primer ejercicio empírico basado en la difusión tecnológica. Si ese es el caso, podríamos proponer medios para el libramiento de las dificultades del uso de diversas variables proxy en conjunto.

Gráfico 1F. Cantidad y calidad de la educación 2018.



Elaboración propia con datos del Human Development Report Office 2020 y del Informe PISA 2018.

Al atender este punto se debe discernir entre las dificultades teóricas y de la economía matemática del modelo propuesto y las complicaciones estadístico-metodológicas referentes al ejercicio empírico. Ambos impases son de naturaleza distinta y por ende implican soluciones disimiles. Por ahora conviene referirse al libramiento de las dificultades metodológicas y empíricas referentes a la modelación estadística y la construcción de una serie de datos que aglutine distintas variables proxy de capital humano, dado que la parte de la dificultad teórico-matemática se analiza en el siguiente capítulo.

En cuanto al trabajo para el libramiento de las dificultades empírico-metodológicas, este ha sido parcialmente estudiado, pero quizá no en la medida que la relevancia del tema demanda y tampoco en el sentido que en este texto se propone. Uno de los intentos más conocidos para refinar los resultados empíricos en modelos de difusión tecnológica es el de Ahmed y Mesinis (2009). En él los autores robustecen la variable de capital humano, añadiendo resultados de pruebas bibliométricas y algunos otros datos que, según su

argumento, pueden ayudar en la comprensión del fenómeno. El aporte de los autores es sustancial tanto en lo teórico como en lo empírico.

En cuanto a la discusión teórica abundan en torno a las diferencias en la utilización de una función estilo Cobb-Douglas frente a una CES o una translog. En cuanto a la parte empírica se encargan de robustecer la variable de capital humano para llevarla más allá de los años de estudio promedio de la población y una vez que cuentan con una propuesta de medición de capital humano la testean bajo los supuestos de los modelos de difusión tecnológica. En resumen, su propuesta gira en torno a:

“... address the issue of unobservable human capital. It utilises data on international test scores (TIMSS), scientific research output, book production, and capital equipment to obtain a new multi-dimensional index of human capital as a latent factor closely identified as ‘valuable cognitive skills. This approach rests on three insights: (a) human capital is too rich to be captured by a single variable such as years of education; (b) rather than skills, it is the value of skills that counts in economics, and (c) given the scarcity of valid instruments,⁹ the unobserved latent factor approach provides a solution to the endogeneity and measurement error problems” Ahmed y Messinis (2009, pp. 5).

Los planteamientos presentados por los autores son concisos en torno a la discusión de la insuficiencia de un índice univariado para la descripción de una variable tan compleja y relevante. El principal resultado expuesto en su texto es que lo que ellos presentan como *“valuable cognitive skills”* medido con las variables proxy ya mencionadas, tiene la capacidad para explicar las divergencias en las tasas de crecimiento de los países y más aún, para explicar la permanencia de algunas economías en trampas de ingreso medio.

A pesar de la valía e importancia de dicho aporte, el enfoque que aquí se propone es distinto de origen, pues se parte del hecho de que el ejercicio empírico original de 2005 presentaba carencias en la estimación del capital humano al utilizar una única variable (años de estudio promedio). Por ende, en este texto se propone que la solución de este conflicto puede provenir de variables que ayuden a la descripción del capital humano y que en la medida de lo posible estén insertas en dicha variable.

Si apelamos únicamente a la utilización de variables proxy que describan características incorporadas en el capital humano podríamos reducir la injerencia de primer plano de los sistemas de patentes o de las estructuras nacionales que propicien la innovación que, si

bien son importantes, no se conciben directamente dentro del stock de capital humano, aun cuando podrían ser una pieza clave del análisis del crecimiento desde otro tipo de enfoque.

Es obvio que la influencia de estos aspectos económico-institucionales existe y es impensable que se logre suprimir metodológicamente su efecto, pero la aparición y la injerencia de estos es algo que resulta más que evidente en lo propuesto por Ahmed y Messinis por las variables seleccionadas para la estimación.

Entonces, con una la elección de variables proxy acotada únicamente a variables insertas en el capital humano se intenta la reducción de la significancia de elementos externos a dicho stock, para poder capturar de mejor manera el aporte aislado de esta variable y que es el fin último de este texto.

Es claro entonces que lo anterior no sucede con resultados de patentes o bibliometría de libros y artículos publicados, que obviamente sí se relacionan con las capacidades del capital humano pero que se sabe tienen una fuerte influencia de otros elementos, como las estructuras de los sistemas nacional de innovación y los derechos de propiedad intelectual. Lo propuesto por Ahmed y Messinis (2009) responde a un objetivo general similar, pero a objetivos particulares de investigación muy distintos.

Entonces, apelando al objetivo principal de capturar únicamente los elementos que puedan considerarse como insertos en el capital humano para la conformación de una variable proxy más robusta, lo escrito por Stiglitz (2015, capítulo 3) puede servir de guía. La idea general es que el “aprendizaje” es históricamente el detonante del crecimiento económico; para el autor el aprendizaje es un concepto quizá bastante general en el que se pueden agrupar concepciones como el conocimiento, el cambio tecnológico y la innovación. Este manejo de un término tan amplio y general es utilizado desde el primer capítulo de su libro para clarificar que la propuesta no se inserta en los debates y taxonomías relacionadas con los términos incluidos en el aprendizaje, sino que más bien tiene una noción amplia y relacionada con el incremento de la productividad y del residuo de Solow.

“... no hay duda de que ha habido aumentos enormes en la productividad y que los avances en la tecnología y en <<aprender a hacer las cosas mejor>> han desempeñado un papel fundamental en estos aumentos de la productividad. Para nuestros fines, eso es todo lo que importa. El ritmo de aprendizaje (innovación) no solo es el determinante más importante de los niveles de vida, sino que el ritmo mismo es, casi con toda seguridad, parcialmente, si no totalmente, endógeno.” (Stiglitz, 2015, pp. 37).

Las líneas citadas muestran dos ideas fundamentales: la primera es que propone articular dentro del aprendizaje todas las cuestiones de la innovación, el conocimiento, el *know-how*, el progreso tecnológico, etc., sin entrar en el debate diferenciador de todas esas categorías pues, para el tipo de teoría agregada que Stiglitz propone, este concepto general es más que suficiente para la explicación del incremento de la productividad y por ende del crecimiento económico.

La segunda es que la concepción de todos estos fenómenos como endógenos no implica que tengamos que volcarnos hacia la modelización teórica de la endogeneidad; el hecho mismo de reconocer a los fenómenos como endógenos nos lleva a reflexionar sobre la forma en la cual podemos influir en ellos utilizándolos como detonantes de un incremento del nivel de vida.

En este sentido, Stiglitz (2015, pp. 101) propone que, dado que el aprendizaje es el detonante principal del crecimiento económico, existen a su vez algunos “detonantes” del aprendizaje. Es decir, algunas características que harán que los procesos de cambio tecnológico, innovación, etc., tengan una mayor probabilidad de aparecer en una economía, causando a su vez un incremento en la productividad.

Son cinco los detonantes del aprendizaje descritos por Stiglitz: a) capacidades de aprendizaje, b) acceso al conocimiento, c) catalizadores, d) contactos y e) marcos cognitivos. Cada uno de ellos tiene sus características muy particulares relacionadas con distintos fenómenos económicos, pero si se analiza la parte de los “catalizadores” y de los “contactos” puede notar que se relacionan con los marcos institucionales, las condiciones del comercio y otras características no propiamente enlazadas con el capital humano.

Por el contrario, en las capacidades de aprendizaje, el acceso al conocimiento y en los marcos cognitivos si pueden establecerse algunas variables proxy que se relacionan con el estudio del capital humano. Por ejemplo, en las capacidades de aprendizaje el autor se refiere directamente a la estructura etaria y a los años de estudio promedio de la población y plantea las razones teóricas y metodológicas por las cuales deberían tomarse con reservas dichas cifras.

Por otra parte, sobre el acceso al conocimiento Stiglitz le brinda un capítulo completo referido a la propiedad intelectual y las estructuras de generación de conocimiento. Por último, en cuanto a los marcos cognitivos, para el autor están referidos al cómo se transmite

y genera el conocimiento, por ejemplo, mediante el fenómeno educativo y la producción científica.

Es interesante notar que tanto el presente texto como el de Ahmed y Messinis de 2009 tienen como punto de inicio común las capacidades de aprendizaje medidas en años de estudio como en un principio hicieron Benhabib y Spiegel, pero de allí en adelante (si se acepta la taxonomía de Stiglitz), Ahmed y Messinis se interesan por abordar situaciones específicas de los marcos cognitivos y del acceso al aprendizaje y no necesariamente insertas en el capital humano; muestra de ello es la utilización de mediciones específicas que ya se mencionaron en párrafos anteriores.

Por otro lado, lo que en este texto se propone es incorporar algunos elementos que pueden estar dentro de la taxonomía de los detonantes del aprendizaje, que se relacionan con el capital humano y que además estén insertos en el mismo; además de los años de estudio se puede analizar a la estructura etaria o la calidad educativa que son características que se relacionan de manera directa con las capacidades de aprendizaje y los marcos cognitivos respectivamente, que obviamente son características insertas e inherentes a las personas y que en párrafos anteriores se ha analizado su papel en la teoría del capital humano desarrollada en la década de los noventa.

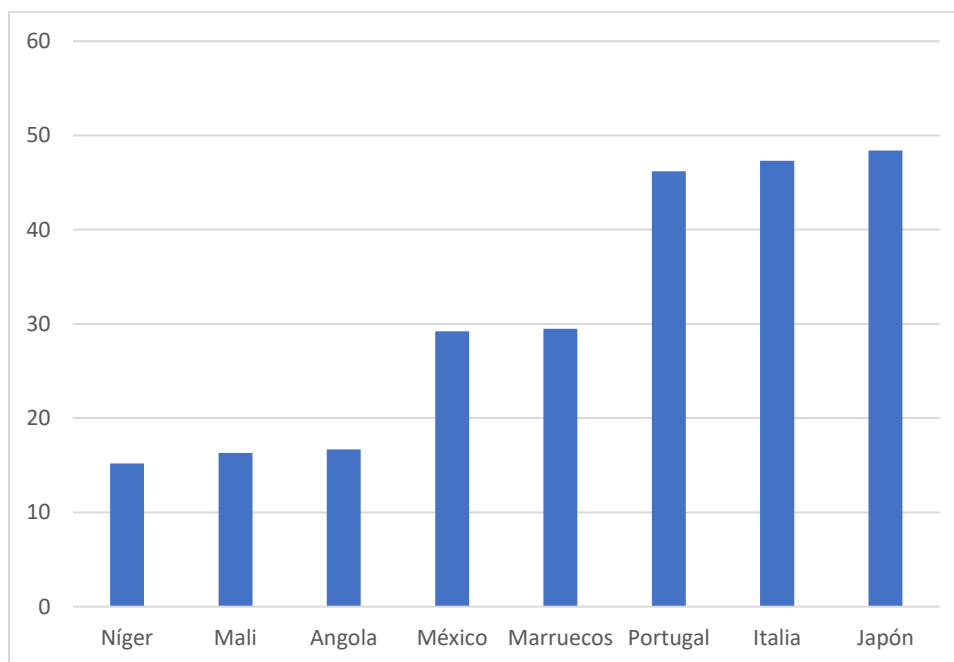
Ya se mostró gráficamente que los indicadores de calidad educativa son heterogéneos incluso en países con poblaciones con años de estudio promedio similares y con estructuras productivas parecidas. Esta heterogeneidad entre naciones se exagera si se analizan las estructuras etarias de los países del mundo.

El gráfico 1G muestra algunos de los países con poblaciones más dispares si se observa la edad promedio de cada una de estas. Este indicador nos resulta de interés dado que ya se analizó que la edad de las personas encuentra en la teoría una relación con sus capacidades de aprendizaje y por ende en las capacidades de la sociedad en su conjunto, a la par de relacionarse con las posibilidades del desaprendizaje y obsolescencia de conocimientos e implícitamente con sus habilidades y disposición para la adopción e implementación de nuevas tecnologías utilizadas en los aparatos productivos de las economías en cuestión.

Entonces, puede argumentarse que las poblaciones en promedio más jóvenes podrían encontrar ciertas ventajas devenidas del proceso de difusión y adopción tecnológica; claro

está, una población más joven pero también en conjunto con más y mejor educación para ver materializadas estas posibilidades.

Gráfico 1G. Edad promedio de la población en 2020.



Elaboración propia con datos del Human Development Report Office 2020.

Debe recordarse que independientemente del enfoque específico de este texto, es cierto que la utilización de la estructura etaria como un indicador del stock de capital humano con correlación esperada negativa (menos edad promedio relacionada con más productividad) entra en discordancia con dos elementos que podría argumentarse guardan una estrecha relación también con el capital humano, pues la experiencia en el trabajo y el *know-how* se espera tengan una correlación positiva con la edad promedio de la población.

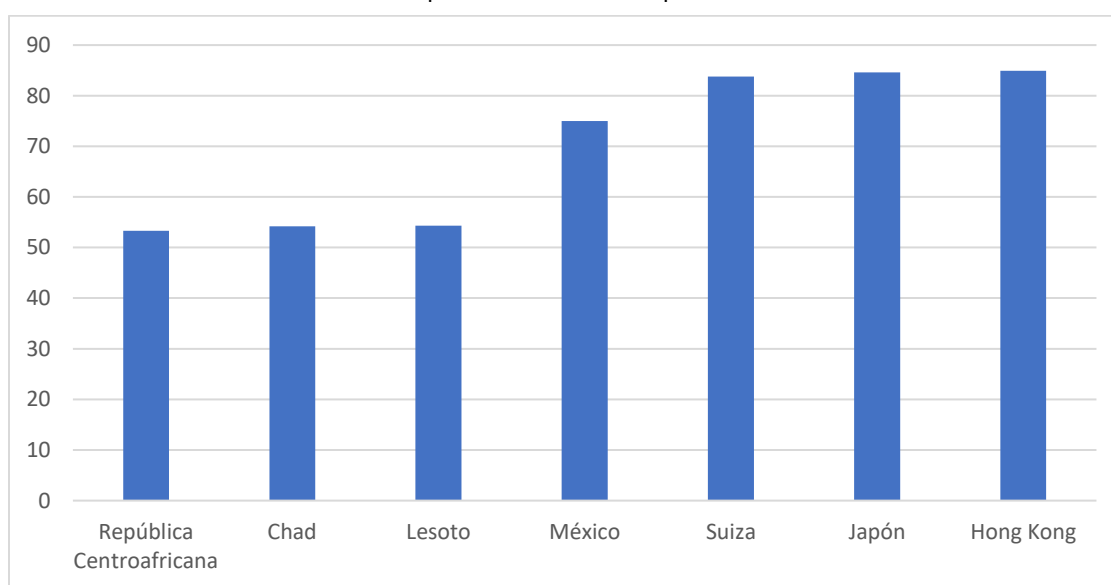
Además de esta cuestión, aparece ahora una dificultad de carácter metodológico, en el uso de un indicador de *salud* de las personas, ya que en algunos casos podría encontrar discordancia con el uso de la estructura etaria como aquí se plantea.

El gráfico 1H muestra que la esperanza de vida promedio de los países puede ser igualmente heterogénea como los demás indicadores que se han presentado; puede

intuirse el hecho de que los países con edades promedio más altas también suelen tener esperanzas de vida mayores. No es muy difícil conjeturar el porqué¹¹.

A partir de ello, puede proponerse que el uso de un indicador de salud basado en la esperanza de vida de las personas encontraría colinealidad con uno relacionado con la edad promedio de estas. Ante esto, las dos principales vías para afrontar la cuestión son, o bien emplear otra variable proxy para la salud de las personas, como la ARS que se menciona en párrafos anteriores, o bien asumir que el efecto de la salud de las personas está ya capturado parcialmente por el indicador de edad promedio.

Gráfico 1H. Esperanza de vida de la población en 2019.



Elaboración propia con datos del Human Development Report Office 2020.

Obviamente la segunda postura es más tajante, pero es cierto también que en este análisis se están primando los efectos del aprendizaje, capacidades cognitivas y obsolescencia de conocimientos por lo que no es difícil notar que se prefiere el uso de un indicador que muestre la juventud de la población y no su experiencia ni sus capacidades de envejecer dignamente.

El postulado anterior de ninguna manera pone en entredicho la importancia de la salud de las personas en la productividad. Simplemente, para un enfoque de difusión tecnológica y

¹¹ La evidencia empírica que demuestra tanto la colinealidad entre esperanza de vida y salud de las personas se presenta en los capítulos tercero y cuarto de esta tesis, para analizar a detalle qué sucede en ambos casos. Es por ello por lo que la explicación que se brinda a continuación no resulta exhaustiva.

aprendizaje, no se considera que este sea el indicador más eficaz y, apelando al principio de parsimonia, se elige mantener un número acotado de variables, lo cual precisa una selección minuciosa y, como cualquier elección, implica el prescindir de alguna que otra variable.

1.6 Consideraciones finales

Hoy en día es común en el argot de los economistas referirse al capital humano para nombrar “la mezcla de aptitudes y habilidades innatas a las personas, así como la calificación y el aprendizaje que adquieren en la educación y la capacitación (en ocasiones también se incluye la salud.)” (Brian, 2007).

Sin embargo, se ha revisado que su origen es un tanto más intrincado ya que la teoría del capital humano nace como respuesta a la incompletitud de la explicación para el crecimiento económico de largo plazo que resulta de la utilización única y separadamente de los factores productivos capital y trabajo. Desde el final de la primera mitad del siglo anterior, y ya con datos estadísticos para el contraste de hipótesis, resultaba evidente que la explicación para ciertos fenómenos del proceso económico escapaba a la teoría económica convencional. En este sentido el capital humano aparece para clarificar la idea de que un tipo de gasto que se asociaba normalmente con el ocio o con el consumo tenía características más cercanas a la inversión.

Como sucede en casi cualquier rama del conocimiento, esta teoría evolucionó y se diversificó, dando como resultado al menos dos líneas teóricas: la estimación empírica y el análisis teórico del crecimiento económico. La abundancia de estudios y textos publicados en ambas vertientes hizo que el término capital humano, que en principio resultaba controversial, en general hoy sea usado sin recelo y de manera frecuente en el argot del economista.

Sin embargo, esta consolidación teórica, vista desde otra perspectiva, deja un leve sentimiento de que parece ya haberse dicho todo. Es decir, en cuanto a la estimación empírica la base de datos Barro-Lee se utiliza, sin muchas alteraciones salvo actualizaciones, en investigaciones que no solo se refieren al capital humano y que no se hacen únicamente desde el enfoque de la economía. Desde la parte teórica sucede algo similar, pues el último avance teórico de gran relevancia, desde las perspectivas de las teorías de la asimilación, data de 2005, el cual tuvo un gran alcance siendo publicado en el *Handbook* de crecimiento económico.

En este tenor, el presente texto tiene como uno de los principales puntos de partida el hecho de que se puede avanzar aún en esta rama de la ciencia económica incluso utilizando y combinando ambas vertientes de investigación nacidas de la teoría original del capital humano.

Ahora, este planteamiento no se basa en la idea de que el capital humano sea la variable explicativa más importante para el crecimiento económico, mucho menos se cimenta en una idea errónea de que la incorporación de esta variable mediante la difusión de tecnologías nos brindará las respuestas faltantes ante las interrogantes del crecimiento económico. Una variable teórica asilada y por sí sola, sea el capital humano o cualquier otra, carece de dicha capacidad.

Por el contrario, una de las principales motivaciones del texto es el reconocimiento de que el fenómeno de crecimiento económico es tan complejo que hace falta la inclusión de una multiplicidad de variables para comenzar a comprenderlo adecuadamente; en este sentido, el enfoque de variables combinadas puede resultar conveniente ante el reconocimiento de que la unicidad de variables para la explicación del crecimiento es inviable.

A partir de lo anterior se construye y defiende el argumento de que de manera conjunta el capital humano estudiado en este capítulo y la tecnología que se estudia en el capítulo siguiente pueden brindar una explicación que nos ayude a avanzar en el entendimiento del crecimiento económico a través de incrementos en la productividad. La conjunción de ambas variables resulta interesante pues entre ellas existe una interacción constante, además de que los estudios realizados de manera aislada para cada una de ellas muestran, quizá sin quererlo, la relevancia de ambas y la necesidad de su interacción.

En este sentido, el aporte que realiza este texto es la estimación de la importancia y significancia del capital humano en el crecimiento económico a través del proceso de difusión de tecnologías, utilizando los años de estudio promedio de la población como hasta ahora se ha hecho, pero también se añaden otras variables, asumiendo que para algunos casos y bajo algunas condiciones, los años promedio de estudio son una estimación insuficiente.

Existen otros indicadores de capital humano, por ejemplo, aquellos relacionados con la educación y su calidad o indicadores de la edad y la salud de la población que pueden abonar a la solución de las interrogantes.

Se han analizado también otras formas de medición que a partir de ejercicios bibliométricos o relacionados con patentes describen otros tipos de habilidades, no estrictamente insertas en el capital humano, pero sí relacionadas con este. Vale la pena mencionar que la mayoría de los estudios que utilizan todas estas variables se realizan desde un enfoque neoclásico, distinto a lo que aquí se plantea. Esto no es una diferencia menor y será clarificado de mejor manera en el capítulo siguiente.

Para los objetivos de este texto se dejan de lado las habilidades no totalmente insertas en las personas (mediciones de bibliometría y patentes, por ejemplo) y también los indicadores relacionados con la salud; las razones para prescindir de cada una de estas mediciones ya se han analizado con anterioridad y los argumentos se robustecen más adelante en esta tesis.

El siguiente capítulo es también de orden teórico para dejar claras las bases necesarias en torno a la tecnología y su difusión y terminada dicha labor el paso siguiente es metodológico.

En el capítulo tercero se avanza en distintos sentidos al proponer un análisis detallado de la conformación de los datos utilizados para cada una de las variables que, si bien ya se han mencionado no se han desglosado aún; entre líneas se ha develado cuales son las fuentes que nutren la base de datos que dará forma al ejercicio empírico que aquí se propone, pero se requiere también un análisis crítico de cada una de ellas para entender la naturaleza de los datos utilizados.

Una vez analizadas las variables se procederá a analizar su significancia conjunta e individual con métodos de estadística y econometría básica para asegurar que cada una de las variables seleccionadas tiene relevancia para el entendimiento del crecimiento económico a través de la difusión de tecnologías.

2. Difusión tecnológica y crecimiento económico

Este segundo capítulo introduce los temas relacionados con la tecnología y su difusión para poder realizar análisis conjuntos a partir de la interacción de estos elementos teóricos con el capital humano. Para ello en 2.1 se exponen los hechos estilizados relacionados con el cambio tecnológico y en 2.2 se presenta la teoría de la difusión tecnológica que es una pieza fundamental de este texto.

En el 2.3 se analizan las ramificaciones y extensiones más actuales de los modelos de difusión tecnológica, lo cual posibilita la realización de algunas reflexiones y contrastaciones que se presentan en 2.4 y que confrontan las posibilidades de análisis de esta teoría frente a otros enfoques de crecimiento económico y capital humano, como el neoclásico y el endógeno, por ejemplo.

El apartado 2.5 presenta algunas precisiones y puntualizaciones teóricas necesarias para la prevención de malinterpretaciones y que serán de utilidad para enmarcar de manera adecuada los resultados de los ejercicios empíricos que se realizan en los siguientes capítulos. Por último, en 2.6 se analizan las conclusiones del capítulo que dan cierre al marco teórico de esta tesis.

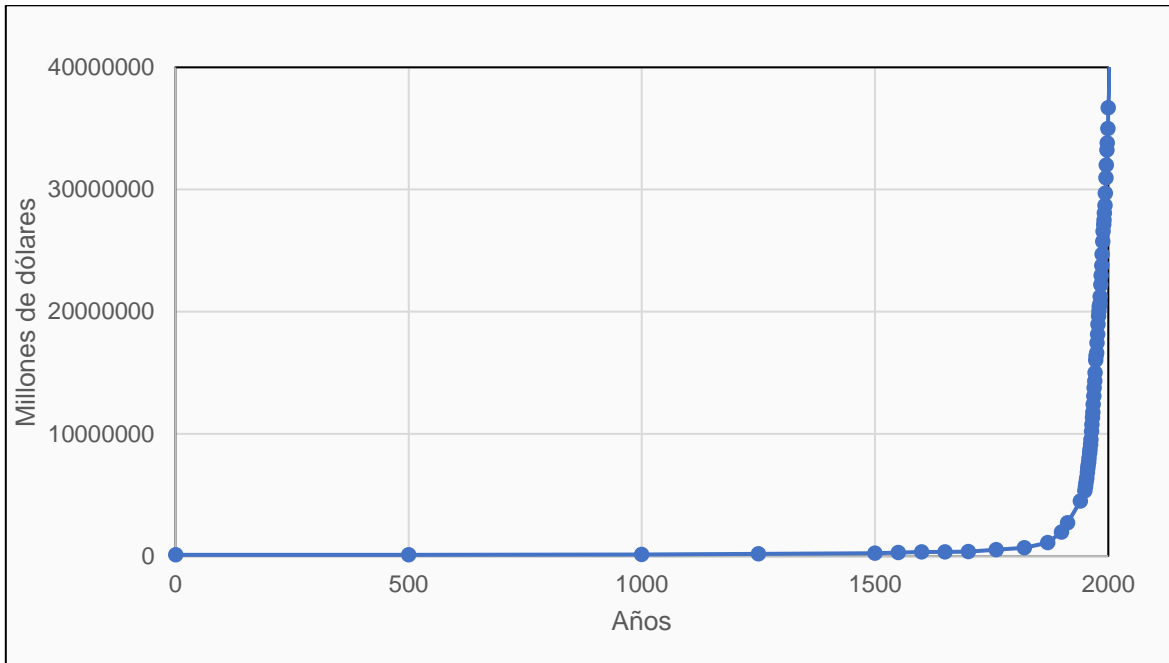
2.1 La tecnología y el crecimiento económico.

Dentro de la teoría económica existe un consenso, en lo general, sobre la relación positiva que un gran acervo de conocimiento tecnológico guarda con la presencia de capacidades productivas altas. También puede hablarse de una aceptación general en torno a que un incremento de dicho stock tecnológico resulta benéfico para el devenir económico del país analizado. Cuasi de forma axiomática se acepta que la tecnología, medida en stock o en flujo, tiene un efecto positivo en la producción total.

Cuando se intenta exponer la idea anterior, el argumento comúnmente usado se basa en el establecimiento de una relación causal entre el sistemático incremento del producto global, desde el siglo XVIII y hasta nuestros días, y la continua incorporación de tecnología en la producción iniciada en la revolución industrial, como se muestra en el gráfico 2A.

Sin embargo, el consenso general en torno al aporte positivo de la tecnología en la producción puede llegar a desvanecerse cuando se abordan las particularidades de los procesos productivos y el cómo se inserta el conocimiento tecnológico en estos. Hay consenso en el hecho de que el fenómeno sucede, pero no en el cómo se manifiesta.

Gráfico 2A: PIB mundial, medido en dólares estadounidenses a precios de 2008



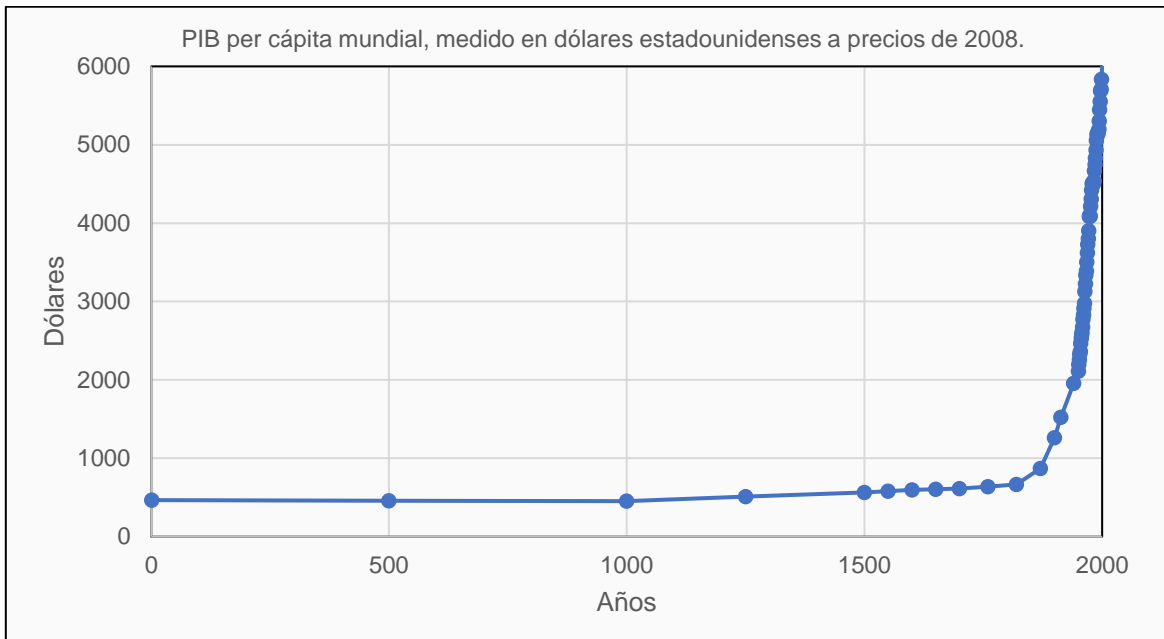
Fuente: elaboración propia con datos de Angus Maddison disponibles en el Groningen Growth and Development Centre

Por ello, no puede establecerse un común acuerdo o presentarse las conclusiones de un debate cerrado en torno a los mecanismos de transmisión mediante los cuales la tecnología se convierte en una variable relevante dentro del proceso productivo. La cuestión resulta aún más compleja si se quiere posicionar a la tecnología como una de las variables explicativas más importantes en el análisis del crecimiento económico de los países.

Y es que, aunque en principio el gráfico parezca revelador y sea comúnmente esgrimido como un argumento válido, pueden realizarse algunas conjeturas paralelas sobre el constante crecimiento del producto, relacionándolo con otros fenómenos alejados del cambio tecnológico. En el primer capítulo se estableció una relación temporal con el incremento poblacional y lo mismo podría plantearse para la urbanización, o los efectos políticos y sociales provenientes de la consolidación de los primeros Estados-Nación y puede añadirse un largo etcétera de explicaciones tangenciales.

Sin embargo, una manera sencilla de descontar los efectos del aumento y aglutinamiento poblacional es medir el incremento del PIB per cápita que, a pesar de todas las críticas a las cuales es susceptible, es un indicador comúnmente aceptado de la variación de la calidad de vida a través del tiempo.

Gráfico 2B: PIB per cápita mundial, medido en dólares estadounidenses a precios de 2008.



Fuente: elaboración propia con datos de Angus Maddison disponibles en el Groningen Growth and Development Centre

Similar a lo observado en la primera imagen, el gráfico 2B devela un incremento casi exponencial del PIB per cápita a partir del periodo de revolución industrial, descontados ya los fenómenos de crecimiento poblacional que se dieron casi paralelamente y que fueron mostrados en el capítulo 1. La tendencia post revolución industrial es clara si se observa el incremento del ingreso, ya sea de manera bruta o per cápita.

Sin embargo, es claro que para algunos fines más específicos lo presentado en ambos gráficos puede no resultar suficiente. Para solventar lo anterior, pueden presentarse, a manera de complemento, algunos hechos estilizados que clarifican el hecho de que las diferencias en los stocks de tecnología con la que cuentan los países terminan por expresarse en diferencias en las tasas de crecimiento económico y en los niveles de ingreso, tanto si la comparación se hace entre países a modo de corte transversal, como si esta se realiza en un análisis intertemporal.

En principio, como ya se estudió en el capítulo anterior, los ejercicios de contabilidad del crecimiento realizados bajo la tradición de la propuesta de Solow muestran que existe una variación sistemática de lo que hoy conocemos como productividad total de los factores (PTF) que se ve reflejada en un aumento del producto. Existe una brecha, no menor, entre

el incremento del nivel de producción y el incremento de los factores productivos por lo que la explicación de este diferencial no puede ser totalmente atribuible ni al aumento del capital ni al del trabajo.

El *residuo de Solow* muestra que existen interrelaciones en el proceso productivo no desencadenadas por el aumento cualitativo de los factores que intervienen en la producción, en especial del capital y del trabajo, y que la magnitud de la brecha entre ambos incrementos es bastante considerable, además de tener relaciones estrechas con el crecimiento económico de largo plazo. Ya se ha mencionado que desde el planteamiento de estas ideas el residuo de Solow se relacionó con el cambio tecnológico.

Para la comprensión de lo anterior puede establecerse un análisis sencillo de las tendencias de la PTF y de la tasa de crecimiento del producto como ejemplifica el gráfico 2C para el caso mexicano¹². En él se analiza la tendencia de la tasa de crecimiento del producto y las variaciones de la productividad total de los factores; en ambos casos se resalta la tendencia que la serie de datos arroja, para ambas resulta decreciente y bastante similar, por lo que puede plantearse que la tendencia de largo plazo de la productividad tiene un impacto en la tendencia de largo plazo de las variaciones del producto total.

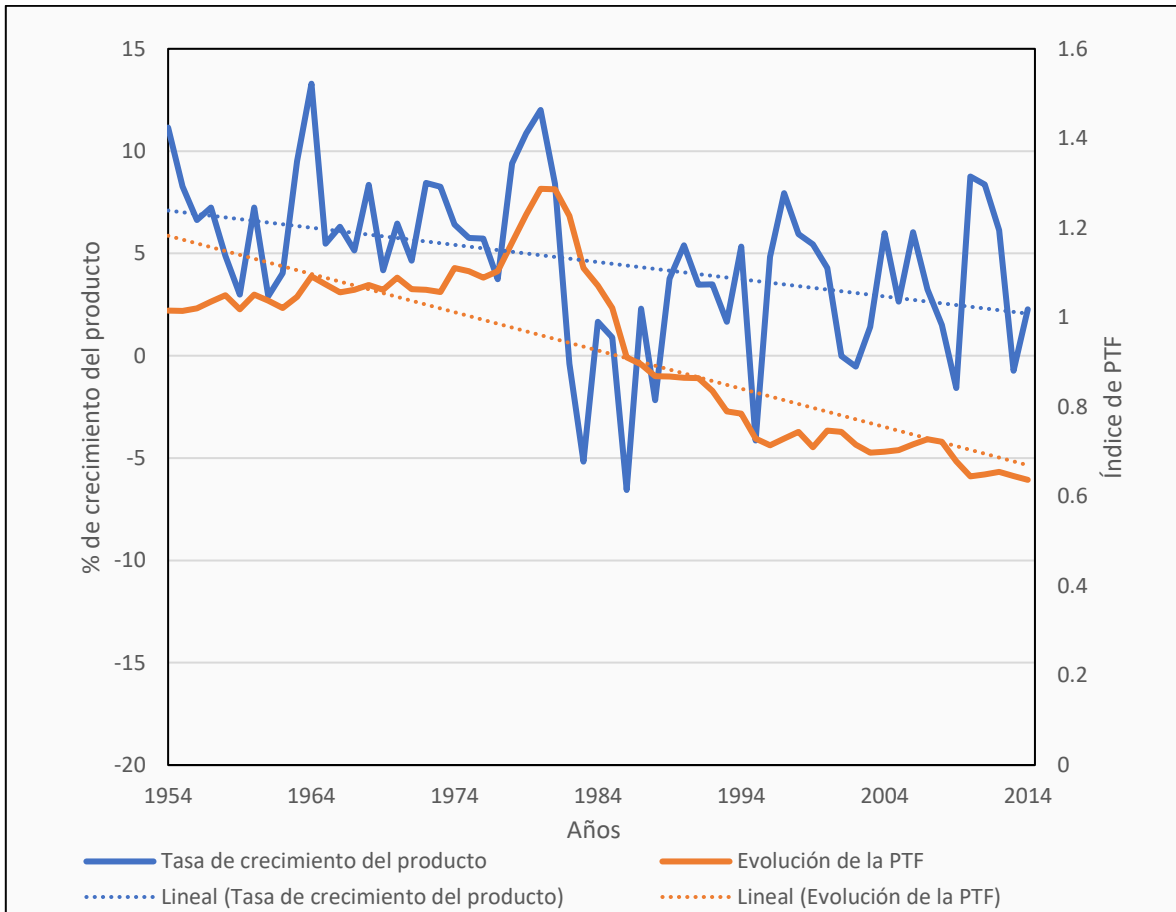
Resultaría un error atribuir la diferencia entre la tasa de crecimiento de la producción y la tasa ponderada de incremento de los factores únicamente al efecto de la tecnología en la producción; existen otras formas de explicación con fuerte fundamento teórico y empírico, un ejemplo de ello son las economías de escala. Sin embargo, es evidente también que, a primera vista, las explicaciones paralelas no resultan mutuamente excluyentes con el incremento de la tecnología.

Un segundo argumento, más importante aún, es que la amplia evidencia empírica devenida desde la publicación del artículo de Solow y hasta la fecha, es concluyente al mostrar que el grueso de la brecha entre aumento de los factores y aumento del producto está explicado por la tecnología, directa o indirectamente, como se analiza en las líneas siguientes. Entonces, dada la considerable magnitud del residuo de Solow y el hecho de que el componente tecnológico aporta, al menos, una parte considerable de este, tenemos un

¹² Este tipo de representación puede realizarse para cualquier país con datos disponibles e incluso en un análisis global sin que la forma general del gráfico cambie sustancialmente. La existencia de esta brecha atiende a procesos y razones económicos y no geográficos; la selección del caso mexicano es arbitraria por ser el país desde donde se redacta este escrito, pero no por ello es poco representativa.

primer hecho estilizado para destacar la importancia de la tecnología en el crecimiento económico de largo plazo

Gráfico 2C. 60 años de tendencia de la PTF y de la tasa de crecimiento del producto, México 1954-2014¹³



Fuente: elaboración propia con Datos de la Penn World Table versión 10 de la Universidad de Groningen.

Además de hablar de crecimiento económico en general, se pueden mirar las particularidades del proceso. En específico, si las diferencias entre los niveles de ingreso y las tasas de crecimiento económico de los países se pudieran explicar mediante las

¹³ Tanto el PIB sobre el cual se calculan las tasas de crecimiento como la PTF son obtenidos de la Penn World Table versión 10. El PIB se encuentra medido en dólares estadounidenses de precios de 2011. La PTF utilizada es la PTF general sin las “welfare variations” presentadas en la serie alterna. Esta decisión se explica más adelante. Para ambas series se utiliza un índice en el cuál la productividad de Estados Unidos es el referente de cálculo; el uso de este referente no debe malentenderse como un límite, en el gráfico del caso mexicano puede verse cómo a principios del periodo de medición el indicador de PTF rebasa el 1 de referencia. Esta cuestión es de importancia para la medición de la frontera tecnológica que se hará posteriormente. Este tópico junto con una discusión de metodología se aborda en el tercer capítulo y el total de la metodología de todas las versiones de la Penn World Table se encuentra en acceso libre en los sitios de la Universidad de Groningen.

diferencias entre los niveles de tecnología, encontraríamos un segundo argumento a favor del punto central aquí presentado.

Estudios como Hall y Jones (1999) y Klenow y Rodríguez-Clare (1997) muestran que las diferencias de stocks de capital humano y físico no explican la totalidad de las diferencias entre los indicadores de distintas economías, en otras palabras, al prescindir del residuo de Solow es difícil explicar las disimilitudes entre países. Estos textos además esbozan la idea de que el aporte de la PTF (y por ende de la tecnología) explica en mayor medida aquello que el solo incremento de los factores productivos no explica a plenitud.

Cuando esta idea se estudia a profundidad, se encuentra registro de que las diferencias en las tasas de crecimiento de los países encuentran gran parte de su explicación si se analiza el fenómeno desde la tecnología y en específico la brecha tecnológica (Fagerberg, 1987). Este argumento se ve fortalecido por investigaciones posteriores pues se ha encontrado evidencia de que fenómenos atípicos, como la crisis financiera de 2008, tienen efectos diferenciados en los procesos de crecimiento de los países en función del nivel tecnológico de cada economía (Fagerberg y Srholec, 2017). Entonces, las históricamente disimiles tasas de crecimiento en el mundo pueden ser explicadas desde la tecnología, para el caso general e incluso para los casos particulares de periodos atípicos de la historia reciente.

Reforzando esta idea, pueden dejarse atrás las diferencias entre países y analizarse las semejanzas referidas a las tasas de crecimiento y niveles de ingreso. El estudio de Baumol (1986) propone que las similitudes existentes entre los países que analiza pueden estar explicadas en gran medida porque comparten niveles tecnológicos similares. Esto cobra una mayor relevancia pues, como puntúa Stockey (2015, p. 4), las similitudes generales son explicadas por la tecnología, mientras que las sutiles diferencias existentes entre los países analizados por Baumol, no son atribuibles a la tecnología, si no que encuentran fundamentadas en el mercado laboral o en los sistemas tributarios de cada economía según estudios como los de Ragan (2013) y Prescott (2002, 2004).

Entonces, una propuesta de interpretación desde la tecnología goza de una amplitud considerable ya que puede explicar tanto el fenómeno de crecimiento económico en general, como también las diferencias más notorias e incluso las similitudes entre niveles de ingreso y tasas de crecimiento de países.

Para cerrar este conjunto de argumentos, pueden analizarse los fenómenos de crecimiento acelerado de la renta de países que hasta hace tiempo no figuraban dentro de la lista de

economías con ingreso medio-alto o alto. Existe una clara tendencia en los países que han mostrado tasas de crecimiento notables en las últimas décadas; dichas economías experimentaron ciertas ventajas al encontrar a su disposición tecnologías y métodos de producción y organización ya en el mercado, previamente utilizados por países industrializados.

Lo anterior no es una ventaja menor pues representa la reducción considerable de los costos y los tiempos de investigación y desarrollo, además de minimizar en gran medida la incurrancia tanto en “errores” cometidos por otros países, como en gastos de lo que en la literatura se conoce como *ciencia redundante* (revisar Stiglitz, 2015, por ejemplo).

Existe amplia evidencia que documenta este suceso que se vuelve notorio al prestar atención en cómo a los países con periodos de crecimiento e industrialización más recientes les tomó menos tiempo llegar a cierto estadio en comparación con sus predecesores.

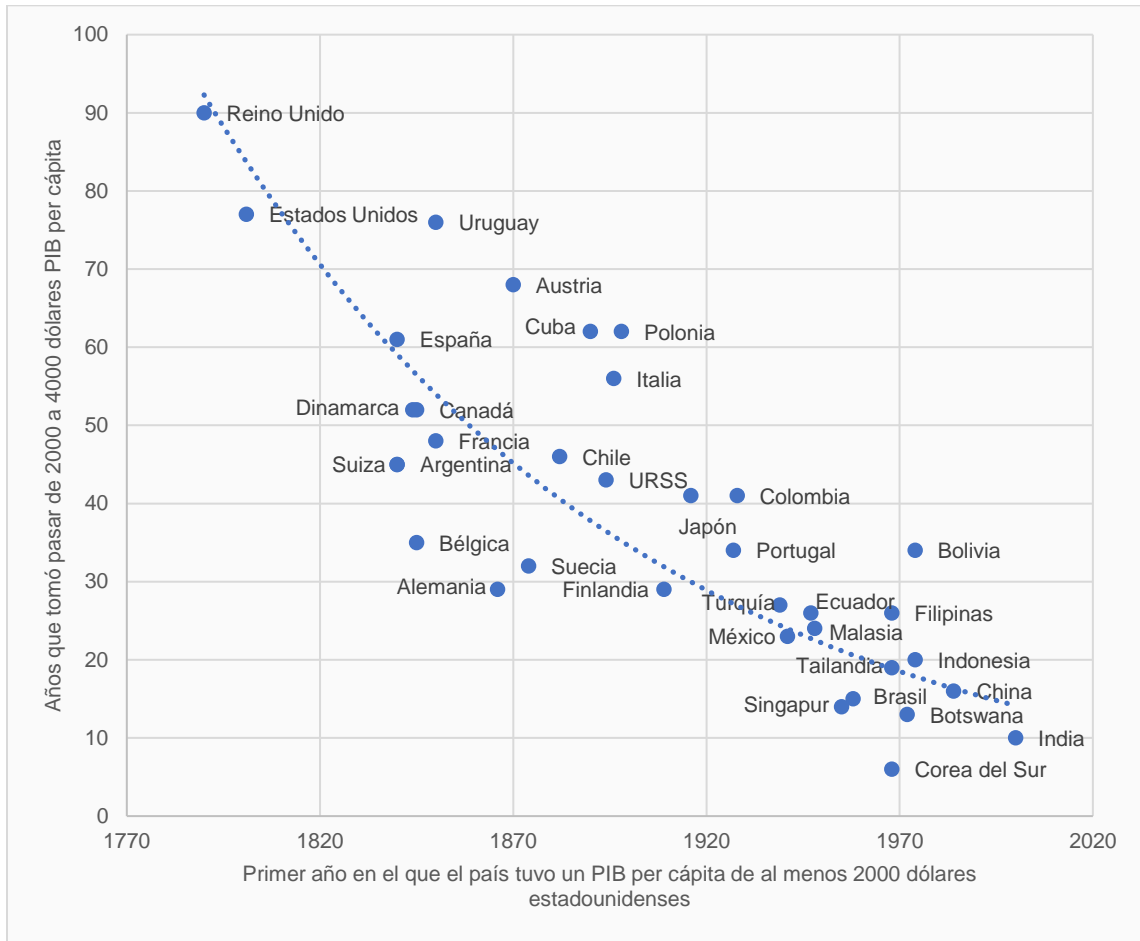
El gráfico 2D se inspira en lo presentado por Stockey (2015) quien realiza un ejercicio similar; en la imagen se representa cómo el tiempo que tarda cada país en llegar a cierto nivel de ingreso está inversamente relacionado con qué tan tarde inició el proceso de crecimiento; se muestra dicho proceso para un cúmulo de treinta y seis países, marcando en qué año alcanzaron por primera vez los \$2,000 per cápita y analizando cuántos años a partir de allí tardaron en alcanzar por primera vez un PIB per cápita de \$ 4,000 dólares¹⁴.

En el eje horizontal se muestra el punto inicial de los \$2,000 para cada país y en el eje vertical aparece el número de años requeridos por cada economía para duplicar esta cifra inicial.

La figura muestra una clara tendencia a la baja; la idea general es que a un país que alcanzó los \$2,000 dólares per cápita de manera temprana le tomó más tiempo duplicar esta cifra respecto a alguna otra economía que llegó a esos mismos \$2,000 dólares de manera tardía. La línea punteada que cruza el gráfico es la tendencia resultante de los datos, modelada de manera exponencial, que clarifica aún más el hecho de que existe una propensión a la baja en el fenómeno mostrado.

¹⁴ La elección de \$2,000 como punto inicial no es arbitraria. Se considera un punto de partida adecuado para describir una economía que recientemente inician su camino hacia el desarrollo y la industrialización. Para datos 2021, Ghana y Kenia recientemente llegaron a esa cifra. Por otra parte, se hace énfasis en “primera vez”, tanto al alcanzar los \$2,000 como los \$4,000 dólares per cápita pues las fluctuaciones en el proceso económico, en específico los periodos de recesión o de alta inflación, pueden mostrar descensos en la variable estudiada. El proceso de incremento de la renta per cápita en ninguna circunstancia se considera lineal ni siempre creciente y la utilización de la primera pieza de información puede ayudar a solventar errores originados en datos atípicos.

Gráfico 2D: aprovechamiento de la tecnología existente para el crecimiento económico.



Fuente: elaboración propia con datos de The Maddison Project del Groningen Growth and Development Centre¹⁵.

Además, si se analiza a los países concentrados en la esquina inferior derecha, se puede notar que, en su mayoría, pertenecen a las zonas geográficas con recientes historias exitosas de crecimiento económico.

Las cifras y su expresión gráfica muestran de manera contundente la existencia del fenómeno ya mencionado; la tecnología, el conocimiento y los métodos productivos ya desarrollados al momento tuvieron una influencia directa en los procesos de crecimiento de las economías con periodos de crecimiento tardíos; esto brinda una nueva conjetura en torno al papel de la tecnología en el incremento de la producción, incluso cuando dicho cambio tecnológico no haya sido directamente desarrollado por el agente que hace uso de

¹⁵ Se utiliza la serie de datos con puntos de referencia múltiples pues, según los autores de la base de datos, es la recomendada para establecer comparaciones de ingresos entre países.

este. Puede decirse entonces que existen fenómenos de difusión y adopción de tecnologías documentados por la evidencia empírica y que juegan un papel fundamental en la explicación del crecimiento económico.

Este conjunto de ideas defiende de manera complementaria la propuesta general de cuán crucial resulta la tecnología en el desempeño económico, más allá del discurso común de que la inversión en esta variable es importante a secas. Así también, estos argumentos justifican la elección de la tecnología como una de las variables fundamentales, en conjunción con el capital humano, para la explicación del crecimiento económico en este texto.

2.2 La difusión de tecnologías a partir del modelo de Nelson y Phelps

El último de los hechos estilizados mencionados en el apartado anterior, el aprovechamiento por parte de países menos desarrollados de tecnologías ya existentes encuentra su explicación teórica en el texto de Gerschenkron (1962) cuyo planteamiento central es sutilmente resumido con la frase "*las ventajas del atraso*", la cual brinda la introducción para el análisis específico de las teorías de la asimilación mencionadas en el capítulo anterior.

El postulado original es que, si un país relativamente atrasado en el contexto del proceso de industrialización a nivel mundial tiene acceso a cierto stock de recursos naturales y además ha logrado suprimir las trabas institucionales que frenan la industrialización, entonces podría encontrar algunas ventajas en el hecho de encontrarse en esa posición atrasada en el camino hacia la industrialización. En otras palabras, se plantea la posibilidad de la existencia de una convergencia condicional.

Con un análisis de corte analítico-histórico, Gerschenkron propone que dichas ventajas del atraso se ven materializadas en las diferencias entre países atrasados y sus pares industrializados en dos principales aspectos: la velocidad a la cual arriban a ciertos estadios del proceso industrializador y la conformación de instituciones resultantes en cada uno de los países. El primer punto es el sustento teórico de lo analizado en el gráfico 2D y resulta de crucial importancia para entender las ideas que aparecen en párrafos siguientes.

En el contexto de las ideas de Gerschenkron y la reciente publicación del modelo de Solow, Nelson y Phelps (1966) proponen un trabajo que parte de la mención de un problema recurrente en la teoría económica, la agregación, puesto en evidencia de manera específica al analizar la oferta de trabajo en el modelo de crecimiento neoclásico. Según los autores,

el uso del factor L en la función de producción del modelo como único indicador del factor productivo “trabajo” tiene implícito el supuesto de sustitución perfecta entre trabajadores calificados y no calificados que implica la cuestionable existencia de productos marginales homogéneos entre las unidades de trabajo o bien la existencia de un producto marginal representativo, que resulta igualmente cuestionable, como ya se discutió al inicio del primer capítulo.

Pero en realidad, Nelson y Phelps parten de una crítica menos sofisticada que el análisis de la microfundamentación del modelo de Solow, al simplemente plantear que el uso del mencionado factor L implica de manera inequívoca ignorar el aporte que la educación puede tener en el desempeño económico al hacer que el stock capital humano incremente su producción.

Recordando lo expuesto en el capítulo anterior, el trabajo de Nelson y Phelps ve la luz también en un contexto donde las ideas seminales de la teoría del capital humano comienzan a ser difundidas y el aprendizaje comienza a ser valorado por el aporte a la producción.

Debe matizarse que dicho aprendizaje puede llevarse a cabo tanto en la escuela como en el espacio de trabajo, de hecho, las ideas de *learning-by-doing* también se discutían ya en esa época como se mencionó en el capítulo anterior. Sin embargo, Nelson y Phelps se decantan por el aprendizaje en la escuela (y en específico en la educación básica como lo mencionan en sus notas al pie) paradójicamente influidos por un texto no estrechamente relacionado con la teoría económica.

Dicho texto es el trabajo de Rogers (1962), citado por los autores, que muestra un sencillo experimento para conjeturar en torno a las capacidades de adopción de nuevas tecnologías por parte de los trabajadores. A un grupo de agricultores divididos en dos subgrupos, uno conformado por aquellos con cualquier tipo de estudios previos y el otro formado por los trabajadores sin antecedente escolar alguno, se les presentan nuevas herramientas de trabajo para la agricultura. En otras palabras, el total de trabajadores tenía acceso a nuevos métodos de producción con un mayor componente tecnológico y entonces se esperaría que el total de la producción aumentara.

Los resultados del experimento muestran que las nuevas tecnologías se adoptan a distintos ritmos, quizá por distintas causas, pero una de las inferencias más importantes en el texto es que los agricultores con estudios al menos básicos adoptan más rápidamente los nuevos

métodos productivos que aquellos que no han estudiado, por lo que pueden incorporarlos más rápidamente a sus dinámicas productivas y así incrementar la producción total.

De allí proviene una de las conclusiones que influyen en los planteamientos de Nelson y Phelps; era claro que los agricultores con estudios no habían aprendido en la escuela el uso de herramientas para la actividad agrícola, pero sí habían mejorado los procesos cognitivos relacionados con el aprendizaje: habían aprendido a aprender.

A partir de ello los autores plantean que 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 y asimilar cómo es que se deben incorporar conocimientos nuevos dentro del quehacer diario. Al trasladar estos razonamientos a su propuesta teórica, si la producción a nivel agregado estuviera únicamente conformada por procesos estandarizados y repetitivos podría justificarse la sustitución entre trabajadores calificados y no calificados del factor productivo L , pero en un contexto en que los trabajadores especializados comenzaban a jugar un rol más importante a la par de que la incorporación de nuevas tecnologías a la producción era cada vez más veloz, algunos conceptos precisaban un nuevo debate.

Estos argumentos son utilizados por Nelson y Phelps para situar al proceso educativo como un mecanismo que propicia la difusión de tecnologías y, por ende, termina por incrementar la productividad de la economía a nivel agregado.

Otra crítica importante que establecen los autores es el hecho de que, bajo la visión clásica del crecimiento económico, la educación (al mejorar o incrementar al factor trabajo) tiene siempre efectos positivos, incluso cuando la tecnología sea estacionaria. En términos técnicos, se critica la idea fundamental de que la productividad marginal de la educación sea positiva siempre, estableciendo que se requiere un incremento constante de la tecnología para mantener dicha característica. Por ello se plantea la idea de que el aporte del capital humano (conteniendo en él a la educación) sea positivo únicamente en conjunción también con tecnología positiva.

En otras palabras, la crítica que se articula hacia el modelo de Solow se basa en que si se analiza la función de producción $Y = K^\alpha L^{1-\alpha} A$, al derivar parcialmente para obtener los rendimientos tanto del trabajo como de la tecnología tenemos que $\frac{\partial Y}{\partial K}$ y $\frac{\partial Y}{\partial A} > 0$, lo cual implica que el aporte de ambos es positivo incluso cuando los demás factores se encuentren fijos.

Se puede reflexionar que los agricultores analizados por Rodgers tuvieron efectos positivos devenidos de la educación, pero estos solo aparecieron una vez que tuvieron tecnología a su disposición, de ello se infiere también que antes de que los nuevos métodos de producción estuvieran disponibles para los trabajadores, los agricultores educados y los no educados eran igualmente (in)productivos (que su producción marginal era homogénea). Relacionado con lo anterior, aún con un choque tecnológico exógeno, los agricultores sin estudios permanecieron en un nivel productivo similar. Entonces, según Nelson y Phelps, plantear que $\frac{\partial Y}{\partial L}$ y $\frac{\partial Y}{\partial A} > 0$ puede resultar erróneo pues más educación es positiva para la producción siempre que la tecnología sea creciente, y viceversa, la tecnología reporta beneficios en la medida de que el capital humano incremente.

El postulado anterior se conoce como "*Golden rule of education*" y fue descrita por Phelps (1966). En resumen, el planteamiento básico es la necesidad de conjuntar tanto incrementos en la educación como incrementos en la tecnología para poder conseguir mejoras en la productividad.

Las críticas a los postulados de crecimiento neoclásicos se conjuntan con las nociones de adquisición exógena de conocimiento en general y conocimiento relacionado con tecnología en particular que se enmarcan en el contexto histórico vigente en la época en la cual los autores escriben; en plena guerra fría resulta entendible el concepto de adopción de tecnologías externas, tal como sucede en el ejemplo de agricultores recibiendo nuevas tecnologías de producción, pero ahora en un plano agregado con Estados Unidos y la URSS exhibiendo ante el mundo la mayoría de sus avances y logros tecnológicos y compartiendo con los países que abrazaran sus ideologías.

Con todo este contexto Nelson y Phelps presentan un modelo basado en la conjunción de sus críticas ya mencionadas: que el crecimiento de la productividad representado por el factor A de la función de producción del modelo de Solow sea exógeno, la controversia en torno a la implícita homogeneidad del capital humano en L y la *Golden rule of education*.

Para ello plantean el concepto de frontera tecnológica T , descrito como el más alto nivel tecnológico a nivel mundial del cual los países menos desarrollados podrían beneficiarse al adoptar tecnologías. La posibilidad de la existencia de la frontera tecnológica yace en las ventajas del atraso de Gerschenkron, pero también está fundamentada en las ideas de Nelson (1959) y de Arrow (1962b), sobre el conocimiento y su materialización tecnológica como un bien público, que implica la no rivalidad y el bajo nivel de exclusión que a su vez

posibilitan que un agente que de principio no desarrolla una tecnología en particular, sí pueda incorporarla a su aparato productivo mediante procesos de difusión-adopción.

El modelo de Nelson y Phelps no es una explicación del crecimiento del ingreso de manera directa, sino del incremento de la productividad o del residuo de Solow. La función descriptiva del crecimiento de la productividad en el modelo es la siguiente:

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

Donde el crecimiento de la productividad g_A depende de dos factores: el primero la brecha entre la frontera tecnológica mundial T y A que representa al nivel de tecnología existente en la economía que se esté analizando. Por obviedad se asume que la productividad A está explicada mayoritariamente por la tecnología y que el nivel tecnológico que pueda alcanzarse depende del nivel tecnológico actual, siguiendo las nociones básicas del *path dependence*.

El segundo factor es el “nivel de capital humano” que está representado por (h) y donde θ es solamente un ponderador. Nivel de capital humano es una expresión sumamente general que en el texto solamente se relaciona con un índice que promedia el logro educativo y/o un parámetro que nos indica la intensidad de capital humano utilizado en la producción (Nelson y Phelps, 1966, p. 72).

Entonces, el nivel de (h) y la distancia relativa entre la tecnología de la economía de análisis y la frontera tecnológica $\left(\frac{T-A}{A} \right)$ determinan el crecimiento del residuo de Solow. Resulta clara la presencia de la *Golden rule of education* dado que no puede prescindirse de ninguno de los dos componentes; existe una imposibilidad explicativa del capital humano de manera aislada hacia la productividad ya que sin la presencia de la tecnología (brecha tecnológica) el término g_A sería igual a cero (y viceversa también, la tecnología requiere capital humano dada la estructura de la ecuación). El signo de multiplicación de la ecuación descriptiva del modelo es sumamente importante por su trasfondo teórico.

Volviendo al modelo, de manera sintética, una brecha relativamente grande, apelando a las ventajas del atraso, podría ser aprovechable en la medida de que el país en cuestión disponga de capital humano competente, es decir, para cualquier $(h) > 0$, el ritmo al cual crece la productividad y se da el cierre de brecha tecnológica dependerá de las magnitudes de $(T - A)$ y de (h) .

Para el caso particular del líder tecnológico en donde $A = T$ y por ende $T - A = 0$, el modelo plantea una frontera tecnológica dinámica cuyo desplazamiento está descrito por e^{γ} , si bien γ es asumido como una variable exógena. Entonces, la posibilidad de que $T - A = 0$ es más bien un caso atípico donde $\gamma = 0$, dado que la mayor parte de situaciones que se proponen en un análisis dinámico son del tipo $\gamma > 0$.

Este pequeño matiz resulta necesario para el análisis de situaciones de no convergencia de la productividad en el largo plazo, dado que: $\forall (h) > 0, \text{ si } \gamma = 0 \rightarrow \lim_{t \rightarrow \infty} \left(\frac{T-A}{A} \right) = 0$, o en otras palabras, habría un cierre de brecha tecnológica y convergencia absoluta en el largo plazo, contrario a lo que ocurre en situaciones de incremento en el stock de conocimiento y tecnología donde $\gamma > 0$ que permite la existencia de infinitas brechas de equilibrio, una para cada $\gamma > 0$ y cada $(h) > 0$, todas ellas dadas por una función creciente para γ y decreciente para (h) .

Por ende, el planteamiento de los autores establece las posibilidades del crecimiento de la productividad apalancadas por el incremento del nivel tecnológico a nivel mundial (acrecentamiento de la brecha tecnológica) o por variaciones en el proceso educativo a nivel local. Por ello y a pesar de no plantear un ejercicio empírico, el modelo de Nelson y Phelps es el punto de partida necesario para entrelazar la tecnología y el capital humano en una sola explicación del crecimiento económico.

Enfatizando nuevamente el postulado, la educación en el contexto de Nelson y Phelps, traducida en el nivel de capital humano, es un vehículo que facilita la asimilación e implementación de nuevas tecnologías y métodos de producción, por ende, incrementa la productividad de una determinada economía. El nivel de productividad entonces no solo incrementa vía acumulación directa de factores productivos, sino también por asimilación. Por ello las teorías de este tipo se presentan como una alternativa adecuada en la tarea de explicar el residuo de Solow, en lugar de incluir al capital humano como un factor dentro de la función de producción.

Ya con lo presentado en este apartado debe quedar claro por qué es necesaria la explicación de la conceptualización de la tecnología y su difusión para la presentación de este tipo de modelos y cómo es que estas ideas (teorías de la asimilación) rivalizan con las teorías de la acumulación según la taxonomía de Nelson.

2.3 Los aportes de Benhabib y Spiegel

La crítica realizada por Nelson y Phelps en torno al carácter exógeno del residuo de Solow en el modelo de crecimiento neoclásico adquirió cierta relevancia hasta dos décadas después de su publicación, en parte por la aparición de los modelos de crecimiento endógeno de la década de los ochentas presentados en el primer capítulo, pero más importante aún por la aceptación del cambio tecnológico como un proceso inherente al desempeño económico y a la producción, por ende proclive de ser un componente endógeno en cualquiera de los estudios que tuvieran intención de explicar el crecimiento económico de largo plazo.

En lo particular, la influencia directa del modelo de Nelson y Phelps en el pensamiento económico posterior se da en la década de los noventa con las aportaciones de los economistas estadounidenses Jess Benhabib y Mark Spiegel quienes proponen una extensión del modelo de 1966.

En la idea central de Benhabib y Spiegel (1994) se retoman los postulados de Romer (1990b) en torno a 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, emanado de un cierto nivel productivo ya existente.

Es cierto que esta idea no era precisamente novedosa para la década de los noventa, podría incluso proponerse que este argumento existe desde los albores de la ciencia económica pues Smith (1976: libro I) postula que la invención de máquinas para realizar tareas productivas sistemáticas sucede por parte de aquellos que realizan esas tareas de manera más rudimentaria y continua a través de la división del trabajo, lo que los lleva a conocer a fondo dicha tarea y poder proponer una manera de sistematización. Sin embargo, más que la idea general, deben analizarse los detalles finos de cómo este proceso acontece.

Para los inicios de la década de los noventa, existía ya un consenso en torno a que la difusión de tecnologías no es un proceso en el cual los países se vean envueltos de manera pasiva y automática. Bell y Pavitt (1992) describen al menos tres fases del proceso de adopción tecnológica; en la primera fase los agentes económicos se dan cuenta de la existencia de nuevos procesos de producción más sofisticados y comienzan a adquirir las habilidades necesarias para implementarlos, además de aparecer con ello procesos de *know-how*.

En una segunda fase la incorporación de nuevas tecnologías y métodos de producción se relaciona con las formas más complejas de conocimiento, las partes tácitas del mismo.

Por último, en la tercera fase las habilidades adquiridas y el entorno formado alrededor de los nuevos procesos productivos pueden permitir la aparición de cambios incrementales en las tecnologías adquiridas, cambios no generados mediante los mecanismos de la primera fase, si no creados de manera interna, tecnologías domésticas, la idea de Smith.

La cuestión central es que la primera fase de adopción tecnológica puede recaer dentro de la lógica del modelo de Nelson y Phelps de 1966, pero no así las dos siguientes fases que, para inicios de la década de los noventa, eran fenómenos observables en la realidad económica y cada vez más evidentes para los teóricos del crecimiento económico, dado el contexto de la globalización naciente y el ocaso de la guerra fría; cada vez más países tenían niveles tecnológicos similares y convergían en sus indicadores de productividad.

La síntesis de lo anterior en forma de ecuación brinda una visión más amplia en cuanto al cambio tecnológico y las posibilidades de convergencia de la productividad entre países.

La forma funcional del modelo es la siguiente:

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

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. La similitud evidente a primera vista que esta ecuación guarda con el modelo de 1966 no debe subestimarse pues el añadido de un término en forma de suma algebraica abre la puerta a distintas conceptualizaciones.

Matemáticamente la existencia de dos factores que no se están multiplicando posibilita que al analizar un país se pueda prescindir de un término o de otro, de la adopción tecnológica o de la generación de tecnologías domésticas, claro está, con un stock de capital humano mínimo imprescindible, planteado con la condición $\forall(h) > 0$. En el modelo original de 1966, de los dos factores explicativos contenidos en este, si se prescindía de uno, la multiplicación se hacía automáticamente cero por los postulados de la *Golden rule of education*.

En un análisis económico concreto, esto permite que aquellos países seguidores del líder tecnológico, pero que cuenten con una gran dotación de capital humano, pueden cerrar la brecha tecnológica o incluso superarla, es decir, convertirse en los nuevos líderes.

Por otra parte, podríamos caracterizar a países con productividades relativamente altas (economías de ingreso medio-alto) como aquellas en las cuales el factor $\Phi(h)$ predomine frente a $\theta(h) * \left(\frac{T-A}{A}\right)$, en otros términos y siguiendo las fases de Bell y Pavitt, se haría referencia a economías donde se priman la innovación doméstica e incremental frente a la adopción tecnológica total. Paralelamente también pueden describirse a países de renta baja o media-baja dependientes completamente de los procesos de adopción mediante $\theta(h) * \left(\frac{T-A}{A}\right)$ y con nulo aporte de tecnologías domésticas $\Phi(h)$.

El añadido del componente $\Phi(h)$ que se refiere a las capacidades de innovación doméstica, no solo permite ampliar la gama de países proclives de análisis a partir de modelo teórico, además abre algunas betas de investigación, aunque muchas de ellas fuera del alcance y objetivos generales del presente texto, por ejemplo, la importancia de la inversión pública en investigación y desarrollo (I+D) y la conformación de instituciones que propicien la innovación doméstica encuentran allí su sustento para analizarse desde la lógica de la economía del crecimiento.

El modelo de Benhabib y Spiegel se posicionó como un enfoque de análisis del crecimiento económico situado a la par de otras posturas quizá más ortodoxas; lo anterior se ve reflejado con la aparición de un texto que los mismos autores publicaron en 2005 en el Handbook of Economic Growth y del cual se ha analizado su parte empírica en la segunda mitad del capítulo anterior.

Dicho documento es una ampliación de la propuesta teórica de 1994, en la cual se incorpora una idea fundamental, tanto para la lógica de la difusión tecnológica como para el análisis del crecimiento desde la postura de los países menos desarrollados.

La existencia de las etapas de la adopción de tecnologías ya mencionadas intrínsecamente muestra a los procesos de difusión y adopción tecnológica como procesos activos. Entonces, dado que la difusión de tecnologías no se da de manera pasiva, dicho fenómeno no tiene por qué presentarse bajo las mismas condiciones y patrones para todas las economías; algunas pueden encontrar mayores dificultades que otras, sobre todo en función de las capacidades productivas y tecnológicas existentes en cada uno de sus contextos.

En términos sencillos y con el lenguaje hasta ahora utilizado, podría decirse que, si algún país se sitúa a una distancia relativamente grande respecto del líder tecnológico, las

tecnologías *top* podrían resultarle tan ajenas y poco adaptables a sus procesos productivos o a sus industrias que ni siquiera podrían iniciarse los procesos de convergencia en la productividad dada la escasa capacidad de entender lo que se quiere adoptar.

Este postulado resulta un contrapeso a lo que en su momento proponía Gerschenkron, por ello Moses Abramovitz (1986) plantea análogamente algo que podría entenderse como *desventajas del atraso* y que, incluso, a la conjunción de ambas ideas por parte de Benhabib y Spiegel, Ros (2013:100) la nombra “Gerschenkron-Abramovitz hypothesis”.

La idea puede encadenarse de la siguiente manera: si bien las diferencias existentes entre los distintos niveles tecnológicos de los países pueden representar una ventaja para aquellos menos desarrollados, atendiendo el planteamiento de Gerschenkron y mostrado en la gráfica 2D, debe tomarse en cuenta que el origen mismo de las diferencias que crean la brecha puede ocasionar también la perpetuación de esta. Si técnicamente estar retrasado en el proceso de desarrollo tecnológico representa una ventaja, ¿por qué hasta cierto momento el *catching-up* no se ha dado aún o por qué debería comenzar a darse justo ahora?

En este sentido, Abramovitz no niega la existencia de procesos de convergencia, pero plantea la existencia de una convergencia condicional, supeditada a la existencia de ciertas condiciones que él denomina capacidades sociales (Abramovitz, 1986, p. 387). Existirán entonces países que puedan encontrar ventajas en el atraso y algunos otros que no; la misma dualidad de las convergencias absoluta y condicional resultante del modelo de Solow tiene su análogo en este caso. En palabras del propio autor:

“Countries that are technologically backward have a potentiality for generating growth more rapid than that of more advanced countries, provided their social capabilities are sufficiently developed to permit successful exploitation of technologies already employed by the technological leaders” (Abramovitz, 1986, p. 390).

Por ende, en la segunda propuesta de Benhabib y Spiegel (2005) 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 de las desventajas del atraso, a través 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, dado que $\lim_{(T-A) \rightarrow \infty} \frac{A}{T} = 0$, 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 en conjunción con $\theta(h)$ tienda a cero, siendo esto una descripción cercana a la incapacidad de adopción tecnológica.

En concreto, Benhabib y Spiegel (2005) plantean un debate acerca de la (im)posibilidad de ocurrencia de la difusión de tecnologías en función de la magnitud relativa de la brecha tecnológica que cada economía presenta. El fondo teórico se fundamenta al plantear desventajas y no solamente beneficios provenientes del atraso tecnológico y las implicaciones de estas en el incremento o estancamiento de la productividad.

Este cambio en la forma funcional y en el fundamento teórico se traduce en que los fenómenos de no convergencia entre los indicadores económicos de los países ahora puedan ser explicados bajo la lógica de la difusión tecnológica.

Para los autores, el principal origen de la dificultad para la adopción de tecnologías radica en la naturaleza del conocimiento y en específico en el carácter del conocimiento tecnológico que, al ser un bien rival, pero con un nivel de exclusión no homogéneo para todas las economías, puede suponer costos de adopción sumamente dispares para países con distintos estadios de desarrollo de capacidades tecnológicas. Esto rivaliza con las ideas de Nelson (1959) y Arrow (1962b) que fundamentan el modelo original de Nelson y Phelps.

Debe acotarse que el debate en torno a si la tecnología y el conocimiento son o no bienes de carácter público está lejos de estar cerrado y, más aún, no tienen por qué ser supuestos totalmente contrarios, aunque en principio lo parezcan. Por una parte, existe la tradición que preserva el legado de Kenneth Arrow al plantear la característica pública del conocimiento como un bien. Por el contrario, la discusión del alto nivel de exclusión generado por el conocimiento que lo aleja de ser un bien público ha sido descrita por Cristiano Antonelli (2008).

Las implicaciones más inmediatas de que en situaciones hipotéticas el conocimiento sea un bien público o no ya han sido analizadas y se encuentran bastante sintetizadas por Amaro (2017). Por ende, más que las implicaciones deben ahora resaltarse los orígenes y la valía de esta sutil distinción para no establecer discusiones fincadas en falsos debates.

Ante todo, debe recordarse la naturaleza de los modelos y de los supuestos incluidos en ellos; aceptar que un bien cualquiera sea público o no está siempre sometido a un grado de subjetividad y a un contexto específico. El establecimiento y la validez de un supuesto atiende a los objetivos del modelo planteado.

En este sentido, en la literatura actual el supuesto del conocimiento como un bien público es utilizado mayormente en la literatura que se relaciona con temáticas microeconómicas y con tópicos referentes a derechos de propiedad, aprendizaje y los incentivos para la generación de conocimiento. Por otra parte, cuando el tema escala de nivel de agregación y está relacionado con la difusión y la adopción tecnológica y el proceso económico como un fenómeno complejo, el conocimiento suele postularse como un bien quizá no privado, pero sí con un mayor nivel de exclusión en comparación a lo que sería un bien público. Dependerá entonces del nivel de agregación y de los objetivos del modelo tanto la elección como la validez y la implementación de este supuesto.

En el caso del texto de Benhabib y Spiegel, al ser un análisis a nivel país y con énfasis en el estudio de la existencia o no de convergencia, el supuesto de que la tecnología y el conocimiento tienen un mayor nivel de exclusión que el de un bien público puro puede ser considerado como válido. Esto tiene una implicación importante, pues dentro del modelo de crecimiento analizado, el ritmo de difusión tecnológica en lugar de ser descrito por una función exponencial se utiliza una logística; en concreto, ni en el muy largo plazo se asegura un proceso de convergencia absoluta para todos los países, la convergencia es de carácter condicional y dependiente tanto del nivel de innovación doméstica y de la brecha tecnológica, como del stock de capital humano.

El concepto de difusión logística crea una diferenciación abrupta entre países dividiéndolos en dos grupos, aquellos que dadas sus características actuales pueden ser candidatos a la convergencia en la productividad con países de renta alta y aquellos países que no lo son.

La importancia de los postulados de Benhabib y Spiegel (2005) no solo deben limitarse al análisis de la existencia de países que convergen con los de renta alta y otros que no lo

hacen. La naturaleza matemática del modelo presenta una situación en la que el carácter logístico de la situación nos pone en una situación dicotómica: convergencia o no.

Sin embargo, la realidad resulta mucho más compleja que eso y, los análisis resultantes basados en la lógica del modelo no deben únicamente limitarse a la diferenciación entre dos grupos de países. Si en la realidad la situación no es de tipo *Knife Edge' Problem*¹⁶ y esa división entre países con y sin procesos de convergencia no es tan abrupta ¿qué sucede?

Una posibilidad sumamente interesante al profundizar en estas cuestiones es la existencia de *trampas de ingresos medios*, con un origen específico en la tecnología y los procesos relacionados con su difusión; bajo la lógica hasta aquí propuesta pueden analizarse países que parecen haber conseguido mayores capacidades tecnológicas y stocks de capital humano comparados con los países más pobres, pero que aun así no han conseguido iniciar sendas de convergencias sostenidas.

Ahora, debe recordarse que el aporte del texto en cuestión corresponde también con la parte empírica, como se introdujo en el capítulo anterior. Con un ejercicio empírico los autores encuentran un stock crítico de capital humano para que pueda darse la difusión de tecnologías en una economía determinada. Incorporando de manera sumamente estricta la idea de Abramovitz (1986) encuentran que existe un valor crítico de años estudio promedio per cápita en las economías analizadas, dicho valor divide a los países en dos grupos aquellos que pueden aprovechar las ventajas del atraso y aquellos que sufren las desventajas. Puramente el *"Catching Up or Falling Behind"* de Abramovitz.

Debe reconocerse que el ejercicio empírico de Benhabib y Spiegel (2005) es sumamente importante en el sentido de dejar atrás la teoría pura y avanzar hacia el análisis de datos, por ello su aporte metodológico es crucial si bien ya se realizó una crítica a la estimación de una cota tan baja de años estudio promedio requeridos para posibilitar la difusión tecnológica. Los textos analizados de 1994 y de 1966 en los que aparecen los modelos de difusión tecnológica no cuentan con ejercicios empíricos que abonen a esta discusión.

¹⁶ El término original se refiere a la génesis del análisis del crecimiento económico de largo plazo estudiada en el primer capítulo con el modelo de Harrod-Domar y la cuestión del equilibrio inestable, pues fuera del equilibrio hay una situación dicotoma de inflación o desempleo. La situación aquí presentada se asemeja a esa situación en el sentido de solo presentar dos únicas posibilidades aparentes, la posibilidad de convergencia o el estancamiento.

Además de la cota estimada sumamente baja que ya se ha comentado, la estimación de un punto crítico que divida a los países dicotómicamente invisibiliza la capacidad que la propuesta de la difusión tecnológica tiene para el entendimiento de fenómenos como las trampas de ingreso medio que para algunos países puede resultar más que necesario. Por ello, para las economías de renta media que rondan el punto crítico donde se posibilita la difusión tecnológica las conclusiones emanadas de dicho ejercicio empírico pueden resultar sesgadas.

En segundo lugar, y quizá más importante, el ejercicio empírico sigue al pie de la letra la propuesta seminal de Nelson y Phelps en el sentido de la utilización de una medición bastante simplificada de la variable capital humano, pues se limitan a relacionarlo con la formación escolar y a medirlo únicamente mediante los años promedio de estudio.

Este punto ya ha sido criticado, pero es necesario precisar algunas cuestiones desde la parte teórica. La medición con una variable proxy univariada de capital humano para ciertos fines podría resultar suficiente, por ejemplo, si el capital humano continuase siendo una variable secundaria en el modelo, como parecía ser en el texto original de Nelson y Phelps de 1966.

Pero un leve vistazo a la forma funcional del modelo de 2005 nos muestra que el capital humano y su representación en forma de ecuación con (H) es una variable preponderante. Entonces la utilización de una variable proxy tan sencilla es menos justificable en este modelo de lo que podía resultar en el modelo 1966.

Además, lo expuesto en el primer capítulo pone de manifiesto que existen algunas otras formas de medición del capital humano que pueden ayudar a entender el fenómeno de difusión tecnológica y que no deben pasar inadvertidas. Es claro que toda esta teoría no estuvo disponible por cuestiones cronológicas para Nelson y Phelps, pero sí para Benhabib y Spiegel. Justamente este punto abre paso a la conjunción de las teorías del capítulo primero con las que se han presentado en este segundo.

Por último, hay que recalcar que la propuesta teórica de Benhabib y Spiegel de que la difusión sea un fenómeno condicionado y que las tecnologías no se diseminan de manera exponencial y automática como originalmente proponen Nelson y Phelps resulta adecuada si se reflexiona sobre los procesos de *catching-up* inconclusos que se pueden encontrar en muchos países del mundo. Sin embargo, esta propuesta pierde bastante solidez al estimar

una cota tan baja pues podría traducirse en casi la misma conclusión de una difusión tecnológica no condicionada. El supuesto resulta suprimido por la metodología y los datos.

En cuanto al problema de la variable proxy única, en el capítulo anterior se menciona que existen dos tipos de problemáticas al intentar sustituir a esta con una aproximación multivariada, las dificultades estadístico-metodológicas y las teórico-matemáticas. Ya que en el primer capítulo se mencionan las primeras, falta revisar las segundas, en las que Reyna (2018, pp.43) describe que no existe discordancia teórica ni matemática al proponer una variable compuesta en lugar de una univariada en el modelo de Benhabib y Spiegel de 2005, ya que técnicamente para resolución de la ecuación que representa el incremento de la productividad $\frac{\dot{A}_i}{A_i(t)} = \tau(H_i(t)) + \rho(H_i(t)) \left(\frac{A_i(t)}{A_m(t)} \right) \left(\frac{A_m(t)}{A_i(t)} - 1 \right)$ que es la representación de largo plazo del modelo de Benhabib y Spiegel, la construcción inicial de la variable de capital humano es intrascendente pues esta se toma como fija para la resolución de la ecuación diferencial, siempre y cuando se verifique que la desigualdad $H_m > H_i$ se cumple.

Esta desigualdad tiene total sentido teórico pues H_m representa al stock de capital humano del líder tecnológico y H_i es el stock disponible para el país que se esté analizando; si se asume al menos una leve correlación entre el nivel tecnológico alcanzado y el stock de capital humano existente, entonces el supuesto de $H_m > H_i$ es asumible sin muchas implicaciones colaterales. Entonces, las dificultades de corte teórico-matemático no son un obstáculo para el robustecimiento de la variable de capital humano. Ello implica que tanto matemática como metodológicamente hablando, existe la posibilidad tanto de hacer análisis con variables proxy distintas a los años de estudio promedio como de realizar una estimación no univariada.

2.4 Teoría de la difusión tecnológica frente a otros marcos teóricos posibles

El estudio del crecimiento económico desde el aporte teórico de la difusión tecnológica brinda amplias posibilidades de análisis; en particular el modelo de Benhabib y Spiegel de 2005 permite conjeturar en torno a una amplia gama de países con características por demás disímiles. Analizar al líder tecnológico, a los seguidores más cercanos o a aquellas economías más alejadas de la frontera tecnológica desde el mismo enfoque teórico y resaltando las diferencias entre naciones resulta posible ya que el modelo presentado es bastante dúctil.

Ya se clarificó que la diferenciación entre países ocurre cuando uno de los factores, ya sea $\Phi(h)$ o bien $\theta(h) * \left(\frac{T-A}{A}\right)$, predomina sobre el otro, es decir, que se primen los procesos de adopción reflejados en $\theta(h) * \left(\frac{T-A}{A}\right)$ o que se tenga una supremacía del aporte de tecnologías domésticas con $\Phi(h)$. Claro está, en medio de estos extremos existe una amplia gama de combinaciones a modo de escala de grises y que en ningún caso se eximen de ser susceptibles de análisis bajo la lógica aquí presentada.

Esto parece ya una posibilidad de análisis atractiva en sí misma, pero una de las cuestiones trascendentales para el análisis del crecimiento económico utilizando este enfoque teórico es el cómo las características del modelo pueden suponer una ventaja no sólo en sí mismas, sino al discernir ante la posibilidad de utilización de otros enfoques teóricos, las teorías de la asimilación y en particular la teoría del crecimiento endógeno, por ejemplo.

Cuando uno estudia la propuesta de Solow en casi cualquier manual de crecimiento económico puede notar que se le denomina el modelo de crecimiento neoclásico o el modelo de crecimiento económico en una economía madura (ver Ros, 2004 pp. 57, por ejemplo).

Es cierto que varias características podrían estar contenidas en la definición teórica de una economía madura según la teoría neoclásica, pero resulta claro que el supuesto de una dotación alta de capital en la economía analizada es el que más importancia tiene para esta cuestión. Esto implica un modo de producción homogéneo intensivo en capital y que en la teoría suele sintetizarse en el uso del factor K^α dentro de una función de producción como el indicador único del stock de capital en una economía que produce un único bien.

Es cierto que la concepción de una economía que tiene un único modo de producir un solo bien puede considerarse una tradición dentro de la teoría del crecimiento, pero basta mirar los primeros textos de la teoría clásica del desarrollo para notar que esto no es un supuesto satisfactorio para todos los economistas.

Por ejemplo, el modelo de Lewis (1954) presenta una economía dual con dos sectores que se distinguen principalmente porque la forma de producción del sector subdesarrollado es intensiva en mano de obra mientras que el sector industrial utiliza una forma de producción con una mayor dotación de capital. Otro ejemplo son los modelos de “enfermedad

holandesa” (ver Ros, 2004, capítulo 8)¹⁷ en donde se nos muestra un sector que produce con capital industrial en conjunción con otro sector económico que produce utilizando mayoritariamente tierra o algún recurso natural abundante.

Debe recordarse que uno de los objetivos principales de la teoría clásica del desarrollo es analizar qué sucede con las economías que tienen procesos de industrialización inconclusos o tardíos y, en el reconocimiento de estos fenómenos, es que se ha llegado a entender que la explicación del crecimiento de largo plazo de Solow suele adaptarse de mejor manera a economías con procesos de industrialización ya avanzados y con altas dotaciones de capital que a aquellos países semiindustriales. Por ello, resulta adecuado el hecho de denominarlo el modelo de crecimiento de economías maduras, pero podría suponer una desventaja para intentar analizar países con modos de producción menos intensivos en capital o tecnología.

Lo anterior resulta importante ya que la cuestión de los supuestos dentro del modelaje tanto teórico como empírico escapan a la visión dicótoma y reduccionista de si son correctos o no en lo general. En cada investigación la elección de la base teórica y el levantamiento de supuestos debe analizarse de manera más particular y entender en qué situaciones un supuesto puede ser (o no) válido. El gráfico 2E muestra un cúmulo de países con dotaciones de capital per cápita altas y homogéneas¹⁸.

Por otra parte, el gráfico 2F presenta el mismo ejercicio realizado con un cúmulo distinto de economías. De forma visual pueden conceptualizarse las disparidades existentes y que, bajo el parámetro estadístico propuesto, no cabrían en la definición de homogeneidad¹⁹.

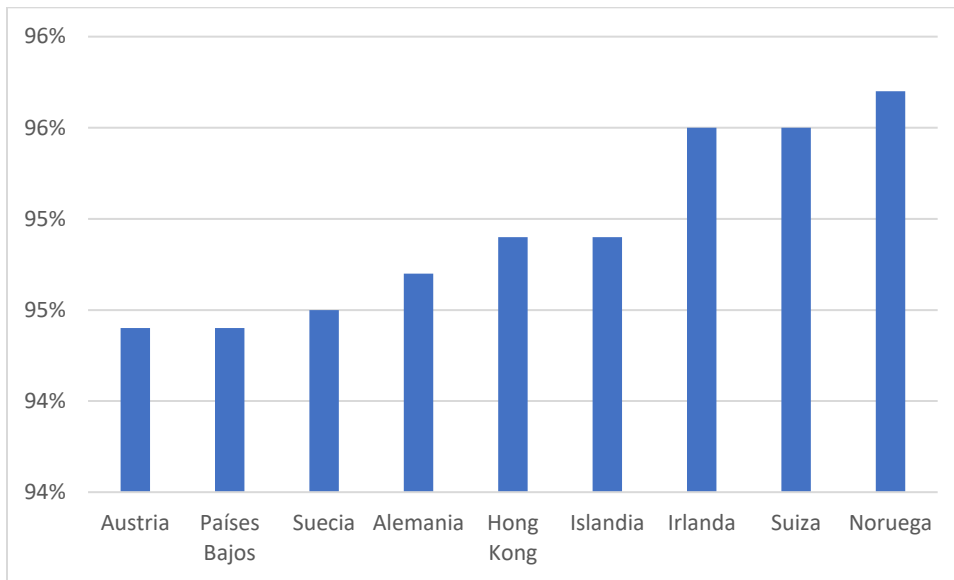
Este simple análisis nos muestra que el supuesto de una dotación alta y homogénea de capital puede adecuarse perfectamente a algún estudio que analice al cúmulo de países del gráfico 2E, pero no necesariamente es lo más deseable cuando se analiza al segundo grupo de economías. Entonces, postular que un supuesto es correcto o no en lo general y en situaciones sin contexto es un error.

¹⁷ Ros desarrolla un modelo Ricardo-Viner-Graham para ejemplificar la cuestión de la abundancia de los recursos naturales y la *enfermedad holandesa*.

¹⁸ Se utiliza la formación bruta de capital fija como porcentaje del PIB dada la robustez de los datos disponibles. Para este ejercicio se entiende como alto a aquellos países que reportan más de 80% en el indicador. Por otra parte, se entiende como homogéneo el hecho de que no haya más de una desviación estándar de diferencia entre el país más alto y el más bajo de los seleccionados. La desviación estándar se calcula para los 189 países para los cuales existen datos. Es un ejercicio estadístico sencillo pero suficiente para el objetivo planteado.

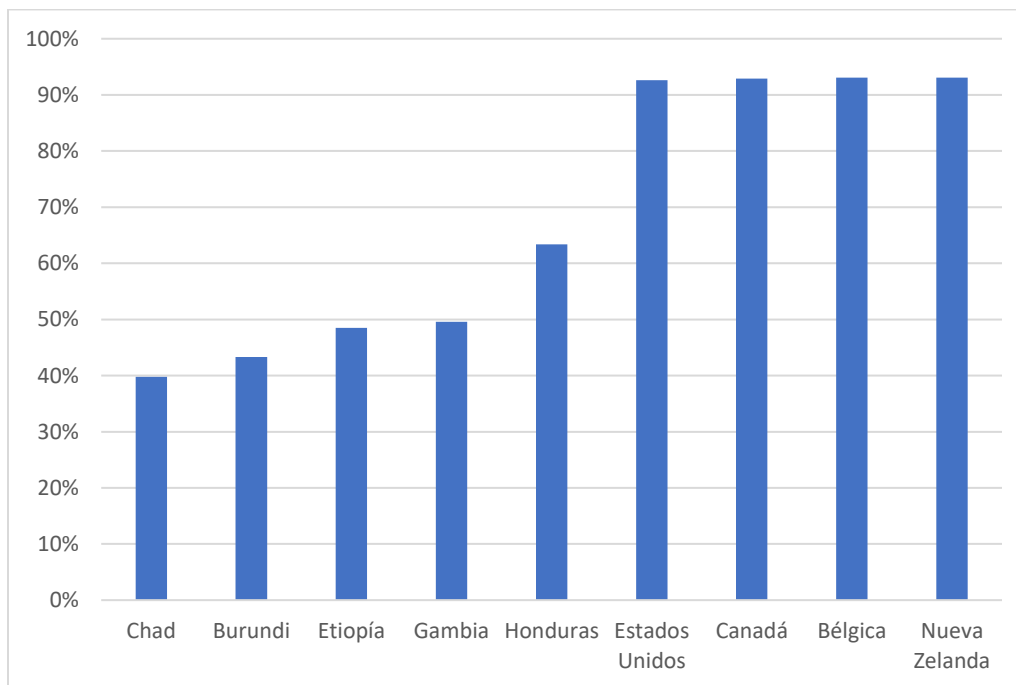
¹⁹ Para el segundo gráfico se consideran países que tienen dos o más desviaciones estándar de diferencia en el indicador seleccionado.

Gráfico 2E. Formación bruta de capital fijo como porcentaje del PIB 2019.



Elaboración propia con datos del Human Development Report Office 2020.

Gráfico 2F. Formación bruta de capital fijo como porcentaje del PIB 2019.



Elaboración propia con datos del Human Development Report Office 2020.

Podría argumentarse que las diferencias son notorias en el gráfico 2F dada la elección arbitraria de países disímiles. Sin embargo, el gráfico 2G muestra un ejercicio visual agregado con la base de datos total de 189 países que hace notar que el supuesto de dotaciones homogéneas de capital (y su implicación teórica en una función de producción

como la ya descrita) pudiera utilizarse sin mayores complicaciones para algunas regiones o selecciones de países, pero en lo general puede no resultar satisfactorio si la base de datos empleada agrupa a países por demás disímiles.

Gráfico 2G. Formación bruta de capital fijo como porcentaje del PIB 2019.



Elaboración propia con datos del Human Development Report Office 2020.

Entonces, si para un análisis específico existiesen desventajas en el uso del supuesto de una dotación homogénea de capital físico (por ejemplo, un ejercicio con un número elevado de países como el que aquí se plantea), éstas podrían ser sobrellevadas al emplear la teoría de la difusión tecnológica esgrimiendo el argumento de que existe una correspondencia entre la posición relativa de un país frente a la frontera tecnológica y su dotación bruta de capital físico y su stock tecnológico, dado que el modelo posibilita el análisis de países con diversas posiciones respecto a la frontera, implicaría también que las disparidades en dotaciones de capital físico pueden ser asimiladas de mejor manera en este enfoque teórico que en el neoclásico.

Aunque la idea presentada es relevante no es el único argumento mediante el cual se podrían postular bondades en el uso de la teoría de la difusión tecnológica. Las economías pueden diferenciarse no solo en el cuánto conocimiento tienen (posición relativa respecto a la frontera tecnológica) sino también en el cómo se aprovisionan de conocimiento y tecnología (mecanismos por los cuáles sucede el cambio tecnológico).

Se sabe que en el largo plazo la tasa de crecimiento del cambio tecnológico es trascendental para la explicación del crecimiento económico, si bien esta no está explicada en el modelo básico de crecimiento neoclásico. La teoría del crecimiento endógeno, como se mostró en el capítulo anterior, aparece como una vía para la ampliación del modelo de Solow partiendo del argumento de que la tasa de progreso tecnológico no debe concebirse como exógena.

Este debate es conocido y el mismo Solow en repetidas ocasiones, por ejemplo, en el discurso de aceptación del Nobel en 1987, hace énfasis en la necesidad de ampliar su modelo en distintas direcciones, no solo pensando en el cambio tecnológico si no también en el papel de la demanda, el crecimiento poblacional y algunas otras variables. Es generalmente aceptado entre los economistas que la explicación exógena es insuficiente; lo que no es un debate cerrado es el cómo aproximarse a esta cuestión y en qué dirección una ampliación es necesaria.

Como ya se estudió, los modelos de Lucas y Romer proponen que la acumulación, de capital humano y de tecnología respectivamente, es una forma de hacer endógena la tasa a la cual crece el cambio tecnológico. Alternamente, pero sin enmarcarse en la escuela del crecimiento endógeno, la teoría de la difusión tecnológica propone una manera de entender cómo es que crece el cambio tecnológico en función de la frontera tecnológica.

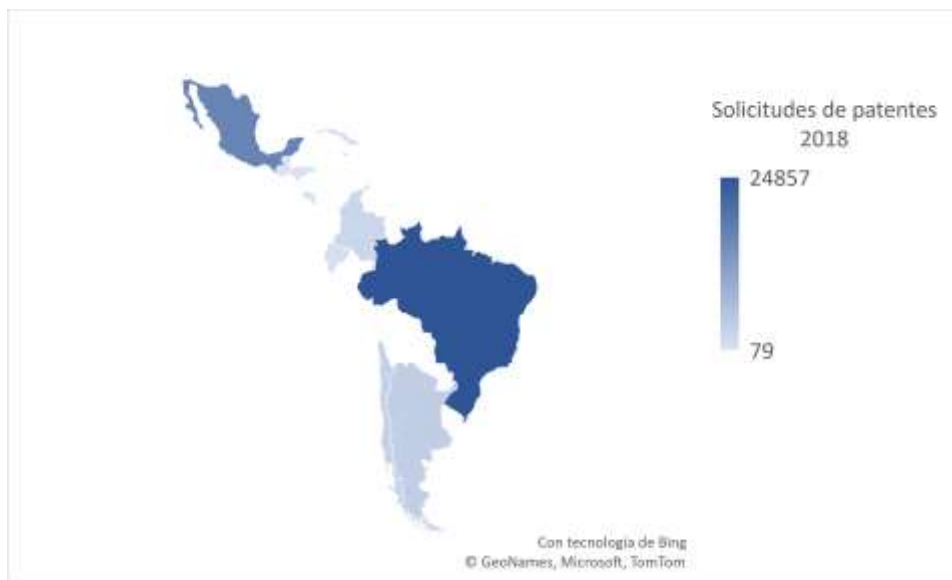
El gráfico 2H representa un ejercicio similar al realizado en los gráficos 2E y 2F que puede dar ideas en torno a cuán disímiles son las dinámicas de acumulación y los stocks de conocimiento y tecnología de países en una misma región (Latinoamérica) que en principio tienen dotaciones de capital físico no tan dispares como lo sería si se comparasen a ellos mismos con sus similares europeos.

Es claro que las solicitudes de patentes no son el único indicador que caracteriza a los patrones de acumulación de conocimiento y tecnología en un país, pero pueden darnos una idea de que estas dinámicas son heterogéneas, pues podemos notar cifras bastante dispares; Brasil (24857) y México (16494) lideran el listado latinoamericano por un amplio margen, Argentina (3667), Chile (3100) y Colombia (2223) se encuentran bastante alejados de los primeros dos países mencionados y mucho más lejos aún se sitúan países como Costa Rica (498), Ecuador (405) o Jamaica (79).

Nuevamente, resulta obvio que el ejercicio del cual emana el gráfico 2H es un análisis por demás somero y que para dar conclusiones específicas en torno a las dinámicas de

acumulación de conocimiento se precisa de un trabajo más amplio que no tiene cabida dentro de este texto. Sin embargo, más que el análisis empírico detallado, el ejemplo propuesto sirve para introducir una idea teórica.

Gráfico 2H. Solicitudes de patentes por país de Latinoamérica en 2018.



Elaboración propia con datos de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual para 2019.

Lo que busca ponerse de manifiesto es que incluso entre países que pudieran considerarse similares por sus dotaciones de capital físico y los rasgos de sus estructuras productivas y comerciales, las dinámicas de acumulación de conocimiento y tecnología no necesariamente tienen que ser las mismas e incluso pueden ser muy dispares. Lo anterior implica que puede al menos discutirse en qué casos los postulados de Romer y Lucas pueden ayudarnos a entender el crecimiento del progreso tecnológico y en cuáles no.

El eslabón final de este encadenamiento de ideas es que los argumentos bajo los cuales se critica el supuesto de dotación alta y homogénea de capital físico de Solow pueden ser perfectamente utilizados para al menos categorizar como debatibles los supuestos que describen el cómo se acumula la tecnología y el capital humano en los modelos de crecimiento endógenos, ya que puede establecerse entonces que tanto el modelo de Solow tiende a suponer la homogeneidad de las dotaciones de capital, como los modelos endógenos proponen una dinámica homogénea de acumulación de conocimiento y tecnología que no necesariamente es observable en la realidad económica.

Es innegable que los modelos de la tradición endógena pueden darnos luz a la hora de analizar conjuntamente a países con estructuras de I+D similares, con mecanismos de patentamiento y estructuras de derechos de propiedad afines o con productividades al menos semejantes y que se traduzcan en distancias similares con la frontera tecnológica. Sin embargo, al aglutinar a países con dinámicas de acumulación tecnológica heterogéneas el establecimiento de los supuestos en los que se basan los modelos puede no ser adecuado y pondría en entredicho sus conclusiones.

En torno a eso, el uso de la teoría de la difusión de tecnologías supone otro añadido interesante a la capacidad de análisis, en el sentido de poder abarcar un espectro mayor de países con distintas dinámicas de acumulación de conocimiento, además de distintas dotaciones de capital físico.

En esta teoría no se asume que exista una vía común ni un mecanismo exclusivo para el acrecentamiento de estos stocks; en realidad el supuesto utilizado es más sutil y sencillo, pero no por ello laxo. Se apela más al resultado que al proceso, postulando que sea cual sea el mecanismo de aprovisionamiento de tecnología y conocimiento (desde la producción de tecnologías domésticas hasta la adopción de tecnologías extranjeras) este tiene un efecto innegable en la posición relativa con la frontera tecnológica.

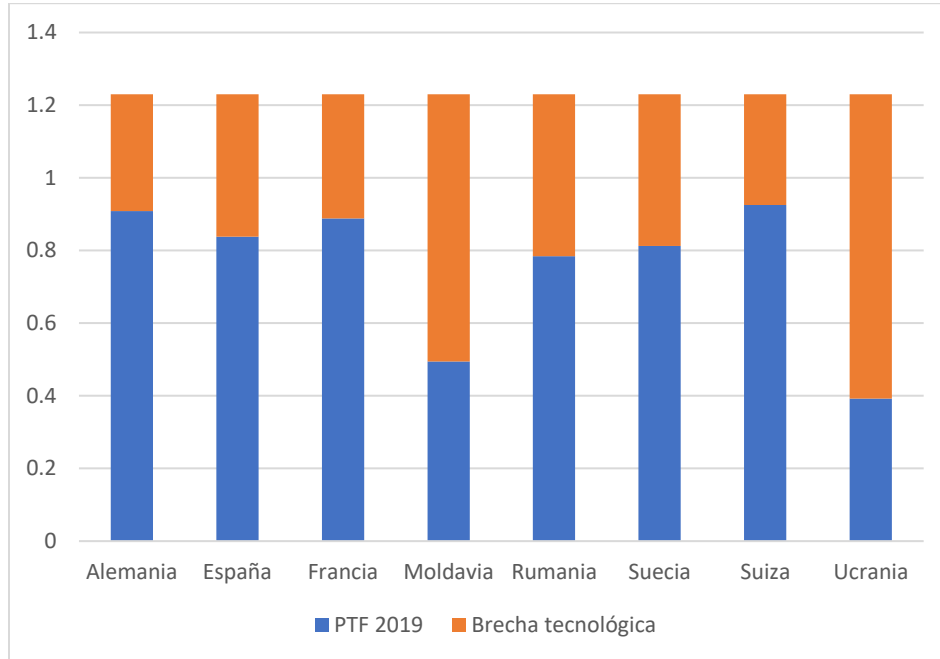
En otras palabras, sin importar el mecanismo bajo el cual se acrecienta el stock de conocimiento y tecnología de una economía, se asume la existencia de un cambio en su posición relativa respecto a la frontera tecnológica una vez que este acrecentamiento sucedió; implícito está que en este caso no existe una suposición teórica de homogeneidad en los mecanismos de acumulación.

La posibilidad de inclusión de una gama más amplia de países sin la utilización de supuestos restrictivos y homogenizaciones teóricas resulta no solo interesante sino necesaria, pues como se muestra en el gráfico 21, en un mismo continente pueden encontrarse países que se encuentran a distancias diametralmente distintas respecto de la frontera tecnológica y que a su vez tienen estructuras productivas disimiles y mecanismos de apropiación de conocimiento dispares.

Lo expuesto hasta aquí hace notoria la existencia de ciertas bondades en el uso de la teoría de la difusión tecnológica por encima de la teoría endógena. Sin embargo, para algunos fines parece ser que la utilización de un modelo “endógeno” como base teórica de un ejercicio empírico frente a cualquier otra propuesta “no endógena” es mejor per se. Se

utilizan las comillas a conciencia porque el eje principal de la discusión ahora propuesta está implícito en la naturaleza de las palabras allí contenidas.

Gráfico 21. Distancia con la frontera tecnológica medida con la productividad total de los factores²⁰.



Penn World Table 10 del Groningen Growth and Development Centre.

Endógeno significa para el común de los economistas, *grosso modo*, que la variable en cuestión puede ser explicada a cabalidad por el modelo, no parcialmente y no mediante ideas o postulados muy generales, hablamos de una explicación sistemática con una función matemática que describa el comportamiento de la variable. Por otra parte, la importancia de la teoría del crecimiento endógeno se fundamenta en el hecho de haber visibilizado y, sobre todo formalizado, la insuficiencia de la exogeneidad. Fueron los primeros pasos formales hacia una posible endogeneidad del cambio tecnológico y por eso se les denomina con ese adjetivo que responde más a una tradición de la historia del pensamiento económico y no a una característica del modelo ya que en realidad en muchos casos la discusión se centra más en los rendimientos decrecientes de la función de Solow que en el cómo teorizar en torno a la endogeneidad del cambio tecnológico.

²⁰ Se utiliza la productividad total de los factores obtenida de la Penn World Table 10 del Groningen Growth and Development Centre a precios PPP 2017 y la base para todos los años (numerario 1) es Estados Unidos y se considera a Macao como el líder tecnológico para ese año dado que reporta 1.230298758, Mauricio reporta un registro más alto, pero es un dato atípico. Esta cuestión en conjunto con una revisión más amplia de la construcción y la pertinencia de este indicador se incluye en el capítulo tercero.

En torno a esa temática, Solow no sólo dejó como exógena la tasa de crecimiento del progreso tecnológico, lo hizo también con la tasa de crecimiento poblacional que de igual manera es una variable clave en el modelo y en las implicaciones de largo plazo. En cuanto a ello, el mismo autor comenta:

“También consideramos λ , la tasa de crecimiento de la población, como exógena. Todos sabemos que el crecimiento de la población es en parte endógeno, esto se ha sabido desde los tiempos de Malthus y sin duda desde antes. Pero no tendría ningún caso para mí, o para Lucas, Domar o cualquiera, decir que la tasa de crecimiento de la población es endógena a menos que tuviera algo que decir al respecto. Si no se tiene nada sobre ella ni algo interesante y nuevo que decir sobre ella puede considerarse como dada.” Solow (2018, pp. 154).

Esta no es una reflexión trivial, porque de allí Solow parte para analizar si es que existen motivos y conocimiento suficientes para modelar y formalizar en torno a la endogeneidad del progreso tecnológico. Es un planteamiento provocador y sutil, pero de fondo y carga teórica es bastante complejo; conjeturar y teorizar en torno a cómo se da el progreso tecnológico en alguna industria en específico y poder realizar estudios de caso y ejercicios empíricos a pequeña escala difiere sustancialmente de la modelación teórica para el fenómeno en general. Son planos distintos de análisis.

Existe una aceptación casi general entre los economistas sobre la existencia de un componente endógeno en el progreso tecnológico y de que el ritmo al cual este crece depende en gran medida de incentivos de origen económico. Sin embargo, el establecimiento de la endogeneidad dentro de un modelo formal es un paso más allá que requiere de fundamentos, postulados y supuestos más generales, concluyentes y sistémicos, y que supone una labor distinta a la que hasta ahora se ha realizado.

Los pasos dados por la teoría de la innovación, en cada una de sus muchas vertientes, nos acercan poco a poco hacia ese fin, pero tendría poco sustento decir que lo escrito hasta hoy resulta suficiente para cimentar un modelo endógeno. Este enunciado de insuficiencia era igual o más válido a los fines de los años ochenta, cuando Lucas y Romer escribieron. Sobre esto, Solow reflexiona en torno a la necesidad de una teoría de la innovación más amplia si se pretende dar algún nuevo paso en una extensión de su modelo:

“Podemos decir que todos hemos sabido siempre que hay un aspecto endógeno en el progreso tecnológico. Ciertamente, parte del crecimiento de la tecnología está motivado

económicamente. Pero a menos de que se tenga una teoría razonable y productiva del progreso tecnológico endógeno; en otras palabras, una teoría de la innovación, no vale la pena dedicar mucho tiempo a esto. Una teoría en este sentido tiene que ser sistemática; no es suficiente señalar que los nuevos desarrollos tecnológicos pueden a veces o frecuentemente ser entendidos, después de que se presentan, como una respuesta a los incentivos económicos.” (Solow, 2018, pp. 154).

Debe entonces quedar claro que una cosa es nombrar a la teoría del crecimiento endógeno como a aquella que incluye a las teorías que visibilizaron hace algunas décadas el problema de la exogeneidad y dieron los primeros pasos en la difícil tarea de conseguir la endogeneidad teórica del progreso tecnológico, y otra cosa muy distinta es nombrar a un modelo porque sea realmente “endógeno”. Repitiendo, el primer adjetivo corresponde a una categoría de la historia del pensamiento económico y el segundo a una característica teórica.

Se menciona lo anterior porque en algún momento podría proponerse una aparente desventaja en el uso de la teoría de la difusión tecnológica basándose en el hecho de no categorizarse como una teoría endógena. Ante esto debe recordarse que, en estricto sentido, en los orígenes de esta escuela Nelson y Phelps sí reflexionan ante la insuficiencia originada en la exogeneidad del modelo de Solow y esta esencia permanece hasta los postulados de Benhabib y Spiegel. A la teoría de la difusión tecnológica quizá no se le asigna el adjetivo de endógena, es cierto, pero tampoco puede decirse que haga caso omiso a esta cuestión.

La incapacidad de hacer ciencia e investigación sin al menos un grado de subjetividad presupone que cualquier autor tiene el riesgo de cegarse durante la defensa del marco teórico elegido. Sin embargo, en este punto se toma una postura ampliamente reflexionada para seleccionar a la teoría de la difusión tecnológica como uno de los pilares de este texto ante la posibilidad de utilización de alguna otra, incluso al no ser catalogada como una teoría endógena, pero apelando tanto a las posibilidades de análisis que esta brinda como al libramiento de uso de supuestos restrictivos y homogeneizadores, mientras que posibilita una articulación teórica y empírica con lo presentado en el capítulo primero.

Al utilizar este marco teórico el capital humano y la tecnología pueden conjuntarse en el intento de conseguir una mejor explicación de los determinantes que causan el fenómeno

de crecimiento económico incluso cuando el cúmulo de países analizados sea heterogéneo desde distintos puntos de análisis.

2.5 Precisiones teóricas necesarias

Resulta conveniente matizar algunas ideas para mejorar la comprensión de conceptos que, aunque parecen ser intuitivos, tienen algunas aristas que brindan profundidad al análisis. Por ejemplo, cuando se habla de difusión tecnológica y el crecimiento en la productividad que esta puede ocasionar, no debe suponerse que el único origen de dicho fenómeno es el flujo de conocimiento ocurrido desde los líderes hacia los seguidores. Existe un entramado de sucesos paralelos, un tanto más complejo, que ocasionan de manera conjunta tanto el aumento de la productividad como la del producto.

Abramovitz (1986, p. 387) enlista los principales fenómenos que son desencadenados después de un inicial flujo de conocimiento proveniente desde la frontera tecnológica, por ejemplo, la tecnología y el conocimiento externos que se incorporan a la producción local producen una variación en la relación capital-trabajo, traducido en un aumento en la dotación de capital por trabajador que tiene efectos desde el corto plazo en el producto.

Posteriormente, existen al menos otros dos efectos colaterales que resultan sumamente importantes para los países menos desarrollados. El primero se refiere a una relocalización de la fuerza de trabajo, desplazando trabajadores hacia las nuevas actividades tecnológicas nacientes y desde actividades en donde el producto marginal del trabajo suele ser asintótico a cero, dado el exceso de mano obra existente. En un proceso de relocalización similar al clásico modelo de la economía dual de Arthur Lewis²¹, el añadido de trabajadores a actividades al menos un poco más productivas que las que realizaban anteriormente, tiene también un impacto en el producto total.

En segundo lugar, el aumento de la tecnología incorporada en la producción en conjunto con los resultantes aumentos de la productividad y del producto, abren el camino hacia actividades productivas que hasta antes de dichas variaciones pudieran haber sido

²¹ Es cierto que la esencia del modelo de Lewis (1954) se refiere a la incorporación de trabajadores anteriormente agrícolas a actividades industriales y urbanas, pero el supuesto trascendental es el incremento del producto marginal del trabajo devenido de una relocalización de la mano de obra, lo cual también sucede a través del cambio de patrón productivo ocasionado por un incremento en el stock tecnológico y una alteración en la relación capital-trabajo. La antigua visión de economía dual agrícola-industrial puede tener su símil actual en una economía dual de bajo-alto componente tecnológico; esta visualización resulta bastante contrastable con la realidad de algunos países como México, con industrias y regiones altamente productivas conviviendo dentro de los mismos límites geográficos con otras regiones e industria con productos marginales del trabajo y del capital ínfimos.

inaccesibles; actividades que precisan de mayor contenido tecnológico o aquellas que dependen de mayores volúmenes de producción para el aprovechamiento de economías de escala, por ejemplo.

Además, también es innegable que la incorporación de tecnología en la producción, en el mediano o largo plazo y bajo algunas condiciones, podría verse reflejado en el incremento del componente tecnológico de la producción final y no solo en el método de producción. Esto no resulta una cuestión menor para los países menos desarrollados que históricamente adolecen por situaciones generadas por la división internacional del trabajo y las variaciones en los términos de intercambio en el comercio internacional.

Pueden mencionarse algunos otros fenómenos ocurridos bajo la lógica de la difusión tecnológica, pero el cúmulo de ideas mencionadas resulta ya un argumento suficiente para clarificar el hecho de que este proceso no inicia y termina únicamente con flujos de conocimiento desde la frontera tecnológica hacia los países seguidores.

Ahora, ya se planteó que los mecanismos mediante los cuales ocurre el aumento de la productividad a través de la difusión tecnológica funcionan siempre y cuando los países en cuestión puedan aprovecharlos, por tanto, es una convergencia condicional, supeditada a factores diversos, uno de ellos el capital humano. En este sentido, una expansión de la frontera tecnológica mundial (aumento del máximo nivel tecnológico disponible que se traduce en un incremento en la brecha tecnológica), teóricamente supondría que las perspectivas de crecimiento vía difusión tecnológica aumentarían para todas las economías, incluidos los países en desarrollo, pero no siempre es así.

Existe también otro cúmulo de efectos colaterales que podrían tener efectos contrarios. La historia del desarrollo tecnológico muestra en repetidas ocasiones que la aparición de una nueva tecnología o método de producción puede implicar el derrumbe o desaparición de otra industria menos tecnificada y normalmente con una mayor intensidad del factor trabajo respecto a la industria naciente. Aunado a esto, la relocalización del trabajo ya mencionada puede ocurrir a nivel internacional y no solo local, en procesos migratorios en regiones en las cuales la movilidad del factor trabajo es mayor, lo que de fondo implica un aumento en la dotación de factores en el país que se lleva a cabo el mejoramiento de la producción, pero que irremediablemente implica la disminución del factor trabajo o la ocupación en otro país, casi siempre menos desarrollado.

Entonces, que el foco del análisis se sitúe en los conceptos que se refieren a la posibilidad de convergencia en la productividad atiende a los intereses del texto y, en específico, al ejercicio de modelación estadística que se propone en los capítulos siguientes y no a una aceptación, que resultaría errónea, de la sola existencia de aspectos positivos cuando se habla de difusión tecnológica.

Ahora que se ha referido el concepto de convergencia, deben también realizarse algunas precisiones. Y es que dentro de la ciencia económica la idea de convergencia ha estado siempre latente, aunque en ocasiones presentada con objetivos y variables distintas.

Hasta este punto el texto ha hecho referencia al concepto de convergencia en general, pero en la mayoría de las ocasiones se ha destacado y puntualizado que el interés de la investigación está centrado en la convergencia de la productividad. La cuestión es que, al usarse los conceptos relacionados con el cambio y frontera tecnológicos, podría llegarse a un malentendido y una falsa premisa al establecer una conexión inequívoca con el concepto de convergencia tecnológica y científica.

Las conceptualizaciones y aspectos teóricos de este otro tipo de convergencia son desarrollados por Stezano (2017); en este punto solo basta con puntualizar que la convergencia científica y tecnológica se refiere al aparejamiento de los niveles de desarrollo en distintos campos de la ciencia y la tecnología, por lo que en principio no es un término estrictamente necesario para este texto y, más aún, no es una vía única para la consecución de convergencia en la productividad que es el fenómeno de interés en esta tesis, y además de que no tiene por qué implicarla incondicionalmente.

Es cierto que el proceso de convergencia tecnológica y científica podría significar, bajo ciertas condiciones, el incremento de la PTF para los países menos desarrollados, sin embargo, no puede establecerse que la convergencia tecnológica y científica implique directamente la convergencia en la productividad de las economías ni en los niveles de vida de los países.

En lo que a este texto respecta, la frontera tecnológica está conformada por los países con una mayor PTF, por lo que, si nos referimos a convergencia a través de flujos de conocimiento tecnológico devenidos desde dicha frontera hacia los países seguidores y sus efectos resultantes, queda de manifiesto que la convergencia propuesta es en los niveles de PTF, por ende, de productividad y no se refiere a convergencia tecnológica y científica aunque sus efectos sean interesantes y el concepto sea útil para otros fines.

Mencionado esto, no puede omitirse el hecho de que la concepción de frontera tecnológica tal y como lo establece el texto de Nelson y Phelps (1966) y como se utiliza en el presente escrito, para algunos fines, puede resultar vaga e imprecisa, dado que solamente se hace referencia al concepto como “el más alto nivel de tecnologías y prácticas que prevalecerían en el supuesto de que el proceso de difusión tecnológica fuese instantáneo” (Nelson y Phelps, 1966, p. 71).

Existe una nutrida bibliografía que discute las implicaciones teóricas del concepto de frontera tecnológica. Puede destacarse a Sato (1974) que desmenuza las implicaciones matemáticas de una función que describa a la frontera tecnológica y que sea no convexa y discreta, además de exhibir la necesidad de la incorporación de este concepto dentro de la teoría neoclásica del capital.

No obstante, la elección de la concepción Nelson-Phelps usada en las extensiones de Benhabib y Spiegel atiende a una cuestión puramente teórica, pues el entendido de la frontera tecnológica bajo esta lógica y, sobre todo, la posibilidad de articular este concepto con los restantes dentro de la conceptualización general de crecimiento económico, brindan la amplitud explicativa requerida para el análisis de distintos tipos de economías, como se presentó en el apartado anterior.

Además, si bien existen diversas visiones conceptuales sobre la frontera tecnológica, cada una con distintas escalas de sofisticación, abstracción y complejidad, la revisión y contrastación a profundidad de estas no reporta un beneficio sustancial a este texto, ya que al dar un paso hacia la parte metodológica sí puede hablarse de un consenso, al menos desde la visión macroeconómica²², sobre el establecimiento de una relación entre frontera tecnológica y PTF.

Entonces, solo resta volver a enfatizar que el interés de este texto se centra en el proceso de convergencia en la productividad de los países, convergencia liderada por el cambio tecnológico a través de la difusión de tecnologías y, por ello, la conceptualización de frontera tecnológica seleccionada resulta conveniente.

La convergencia y el cambio tecnológico son conceptos que, aunque no fueron el centro de análisis, vieron su origen aplicado en la teoría del crecimiento en los textos de Solow (1956,

²² Existen análisis microeconómicos y a nivel industrial que aproximan la frontera tecnológica y de conocimientos mediante el análisis del número de patentes o mediante el análisis de bibliometría atendiendo al número de artículos científicos publicados. Sin embargo, en análisis de tipo macro y más aún cuando estos se refieren al largo plazo, la PTF resulta ser la variable proxy de uso común de la frontera tecnológica.

1957). Por ello, el uso de ambos encaja fácilmente con la teoría originalmente propuesta por Nelson y Phelps y sus más recientes avances, ya que de fondo tienen un objetivo en común con el presente texto; resulta un tema de interés desde la publicación seminal de 1966 estudiar los mecanismos bajo los cuales la tecnología y el capital humano pueden ser las variables para explicar el residuo de Solow (productividad), que junto con el incremento de los factores productivos brinda una explicación del crecimiento económico.

2.6 Consideraciones finales

En uno de los apartados del capítulo primero se muestra que el capital humano ha estado inserto en la teoría del crecimiento económico desde hace más de cinco décadas y, desde hace al menos treinta años, su importancia dentro del pensamiento económico ha aumentado. En este sentido, el capital humano se inserta en el modelo de Benhabib y Spiegel (2005) que ha sido presentado como una de las propuestas más relevantes de lo que en su momento se definió como teorías de la asimilación.

Y es que el aporte del texto de 2005, más allá de la teoría pura, resalta por comenzar a esbozar una teoría descriptiva del crecimiento del cambio tecnológico en simbiosis con el capital humano; un leve vistazo a la función explicativa del crecimiento de la productividad utilizada en su modelo devela el hecho de que el capital humano ya no es más una variable secundaria, su preponderancia se encuentra a la par de la variable que representa a la tecnología y a la frontera tecnológica.

Al analizar los postulados teóricos de Benhabib y Spiegel, y más aún su expresión en notación matemática, queda de manifiesto que dicha teoría es totalmente dependiente de las diferenciaciones establecidas entre los países analizados con base en sus stocks de capital humano. La aparición del factor (h) dentro de las funciones explicativas es recurrente y de gran importancia si se apela a la cuestión matemática. Si bien sus orígenes lo sitúan como un modelo de difusión tecnológica, de manera sencilla podría también concebirse también como un modelo de crecimiento económico basado en el capital humano.

Por ello, puede argumentarse que el establecimiento de ejercicios empíricos basados en la teoría de la difusión tecnológica precisa de la utilización de variables proxy de capital humano que reflejen cabalmente la importancia de esta variable pues, como se mostró en el capítulo primero, la evidencia reciente muestra que las diferencias de estos stocks entre

una multiplicidad países pueden ser capturadas con distintas variables y no solamente con los años de estudio promedio de la población, como suele realizarse.

Sin embargo, al cerrar el capítulo primero se enfatizó que el capital humano no se considera en este texto como la variable clave para describir el crecimiento económico y, siguiendo esa lógica, para cerrar este segundo capítulo se reafirma esta idea y se añade que quizá tampoco la tecnología lo sea. La postura fundamental es que en lo general no existe una sola variable que por sí sola nos brinde el entendimiento completo de un fenómeno tan complejo. La búsqueda de una sola variable con estas características, además de resultar utópica, implicaría el reduccionismo falaz de uno de los fenómenos que ha capturado la atención de los economistas desde hace siglos, el por qué y cómo la renta de los países crece a distintos ritmos.

El objetivo de la investigación presentada en este texto intenta aportar un poco a semejante tarea, con la verificación de si la conjunción de dos teorías materializada en la incorporación de mediciones robustas del capital humano dentro de ejercicios empíricos basados en los modelos de crecimiento y difusión tecnológica nos acerca o no al entendimiento de la compleja cuestión de cómo crecen los países.

Por último, cuando se expusieron los argumentos a favor del uso de la teoría de la difusión tecnológica se apeló a la exaltación de algunas características y bondades analíticas de esta, donde resalta la posibilidad de analizar tanto a economías con altos niveles de productividad (en la frontera tecnológica o cercanos a la misma), como a países en procesos de convergencia y también a países en trampas de pobreza ocasionadas por bajos niveles de productividad. Con la propuesta de Benhabib y Spiegel es posible conceptualizar fenómenos como la no convergencia de países de renta baja con los países de renta alta, algo que en principio escapa otros enfoques teóricos.

La comparación de la teoría de la difusión de tecnologías se realizó en su momento frente a teorías como la endógena, dado que el marco teórico desarrollado en el texto lo posibilita. Sin embargo, existen algunas otras características interesantes de la teoría de la difusión tecnológica que podrían suponer una ventaja al emplearla, pero que su exposición requiere un marco teórico distinto al que hasta aquí se ha utilizado, pero pueden ser al menos mencionadas para este cierre de capítulo.

Por una parte, la propuesta de una frontera tecnológica móvil (como se propone incluso desde el modelo de Nelson y Phelps de 1966) pero alcanzable en función del capital

humano como un elemento que facilita la generación y difusión de tecnologías, presupone el entendimiento de estos procesos como fenómenos dinámicos que ocurren en sistemas abiertos; dinámicos en el sentido de que la frontera no es fija (teórica y matemáticamente propuesta como móvil), mientras que son sistemas abiertos porque se apela a economías nacionales en contacto al menos indirecto con otras, pues la frontera tecnológica es un concepto mundial.

Entonces, el concepto de frontera tecnológica, desde su aparición en el pensamiento económico, hace referencia a un proceso acumulativo y dinámico, por ende, el análisis del crecimiento desde esta perspectiva está completamente alejado de cualquier noción de equilibrio estático. Además, la concepción de estos fenómenos dentro de un sistema abierto implica que los modelos basados en el análisis de la frontera tecnológica se desmarcan del uso del nacionalismo metodológico intrínseco en los modelos de economías sin sector externo básicos de la teoría neoclásica del crecimiento; el fenómeno del crecimiento económico de una economía no queda entonces limitado a lo que se realiza solo de manera local, aunque la herencia del modelo de Solow con tasas de ahorro constante implique una igualdad teórica entre ahorro e inversión ocasionada por la ausencia de los sectores gubernamental y externo.

Nuevamente, el desarrollo de los conceptos mencionados en los dos párrafos anteriores precisa de un marco teórico distinto al aquí empleado, sin embargo, son ideas interesantes que complementan de manera tangencial el presente texto y por ello se mencionan a manera de cierre tanto de capítulo como de marco teórico, dado que los siguientes pasos son metodológicos y se desarrollan en los siguientes capítulos.

3. Las variables de capital humano y difusión de tecnologías

El entendimiento de la procedencia y la construcción de variables es un paso fundamental para la elaboración de cualquier ejercicio empírico. Por ello el presente capítulo tiene como objetivo general hacer una revisión a criterio de las variables que conforman la base de datos con la cual se realizan los análisis y ejercicios empíricos para la estimación de la significancia del capital humano en la difusión de tecnologías. Además de un análisis descriptivo y metodológico, se sustenta la elección de cada una de las fuentes de información frente a la posibilidad de utilizar algunas otras opciones.

Podría argumentarse que todas las fuentes aquí utilizadas gozan de cierta reputación y son comúnmente empleadas en ejercicios empíricos de distintas naturalezas. Sin embargo, esto no implica que sean las únicas formas de estimación existentes o que necesariamente se adecúen a la propuesta teórica de este texto, como tampoco las exime de ser susceptibles de análisis y en ciertas ocasiones incluso también de crítica.

Es por ello por lo que a continuación se analizan las variables que conforman los indicadores de capital humano y de frontera tecnológica para posteriormente proceder al análisis de la significancia conjunta e individual de las variables proxy seleccionadas, utilizando métodos de estadística y econometría básica. La importancia general y la individual de cada variable resulta relevante para confirmar que la selección de estas es certera y para argumentar que el análisis del crecimiento económico con un espectro mayor de variables que describan al capital humano es necesario.

En la parte final de este capítulo y a partir de la modificación de la naturaleza de los datos en función de la teoría de la difusión de tecnologías se exploran las posibilidades de análisis a partir de los resultados obtenidos con los datos más recientes, para posteriormente extender el mismo a la totalidad de la base de datos, del año 2000 al 2018.

3.1 Capital humano

Es evidente que las dos variables teóricas de las cuales pende el presente texto son el capital humano y la tecnología (en su conceptualización como frontera). Pero en estricto sentido la variable trascendental es el capital humano, lo cual se ha develado implícitamente por la manera en que se han presentado las ideas.

Por ello se inicia con el análisis de las variables con las que se intenta estimar el stock de capital humano, ordenadas en función del posible debate que pudiera existir en torno a la

interpretación y recopilación de cada una de ellas (de menor a mayor), iniciando con la estructura etaria y terminando con la calidad educativa.

Esta jerarquía se origina en el hecho de que suelen existir pocas dudas en el cómo se mide la edad promedio de la población o cómo se contabilizan los años promedio de estudio de las personas de cierto rango de edad. Dado que son números brutos, los posibles cuestionamientos radicarían más en la seriedad de los institutos de estadística o las instituciones competentes en cada una de las naciones y no en el fundamento metodológico ni la carga teórica detrás de estas variables. Sin embargo, en cuanto a la calidad educativa o la eficiencia de la educación sí existen algunos debates a considerar, tanto en lo que a su significado e interpretación compete como en lo referente a cuál forma de medición es óptima, por ello esta variable es la última en analizarse de entre las que se refieren al capital humano.

3.1.1 La estructura etaria.

Entenderemos por estructura etaria a la distribución relativa de la población dividida en subgrupos en función de algunos indicadores demográficos como la edad o el sexo. Para el presente texto resulta de interés conocer un indicador específico de esta estructura: la edad promedio de la población.

Desde las primeras conceptualizaciones de capital humano se ha hecho énfasis en que la edad promedio de las personas que conforman un territorio puede ser un indicador de distintas características del stock de esta variable, si bien, como se plantea a continuación, en ciertos casos estas características pueden entrar en conflicto teórico.

Este impase fue descrito por Mincer (1958:301), al proponer el doble efecto del envejecimiento de las poblaciones en la producción, creciente en un principio dado que el mayor tiempo involucrado en la actividad productiva es una señal del acrecentamiento del stock de conocimiento dado el aprendizaje y la experiencia y, en cierto punto comienza a ser decreciente cuando factores biológicos afectan a la productividad.

Como se revisó en el capítulo primero, estos conceptos se matizan y refinan con el desarrollo del pensamiento económico, acuñando nuevos términos y conceptos como *learning-by-doing* para la parte creciente y obsolescencia de conocimientos y capacidades cognitivas para la sección parte decreciente.

Ya se ha discutido que los dos efectos son importantes desde distintos enfoques de la teoría económica, pero que bajo un marco de análisis de difusión tecnológica se apuesta a que en el caso de que estos efectos no se contrarresten, el aporte (signo obtenido de la estimación) de esta variable sea negativo, indicando una mayor productividad ante una menor edad promedio.

Para la estimación de esta variable, los datos utilizados provienen del IDH, que como ya se ha comentado, es una base de datos que aglutina cientos de indicadores socioeconómicos, pero que no elabora todos ellos. La edad promedio en específico la obtiene de los documentos elaborados por el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la Secretaría de las Naciones Unidas.

La misión y organización de dicho departamento se entiende como: “una interfaz vital entre políticas globales en los ámbitos económico, social y medioambiental y acción nacional. El Departamento trabaja en tres áreas principales interconectadas: (i) compila, genera y analiza una amplia gama de datos e información ambientales de los que recurren los Estados Miembros de las Naciones Unidas para examinar problemas comunes y evaluación de las opciones políticas; (ii) facilita las negociaciones de los Estados miembros en muchos órganos intergubernamentales sobre cursos de acción conjuntos para abordar los desafíos mundiales actuales o emergentes; y (iii) asesora a los gobiernos interesados sobre las formas y los medios de traducir los marcos de políticas desarrollados en conferencias y cumbres de las Naciones Unidas en programas a nivel de país y, a través de asistencia, ayuda a desarrollar las capacidades nacionales.” (United Nations, 2019).

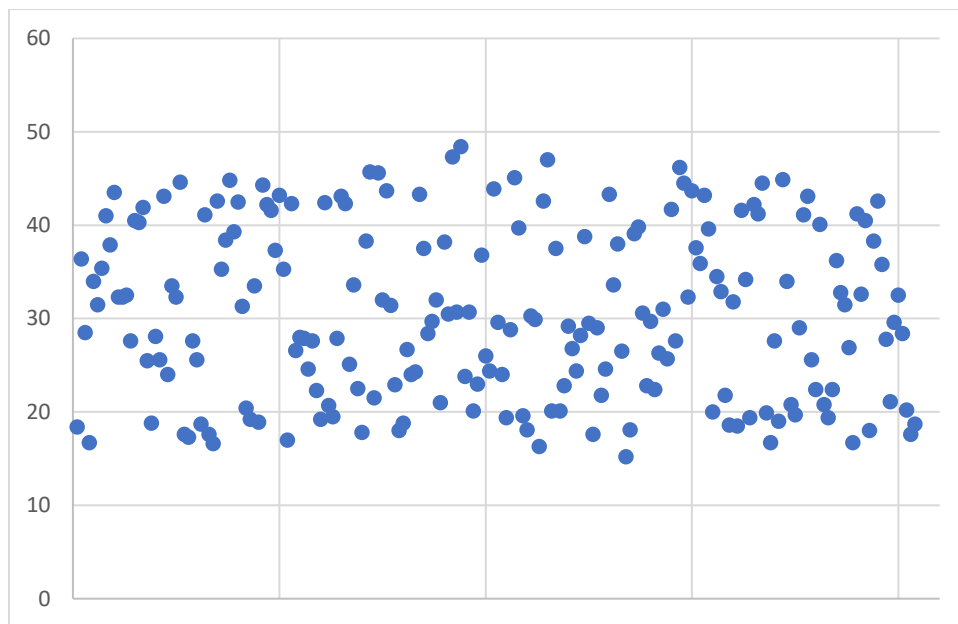
Entendiendo la función de este departamento, hay que acotar que en específico su área de dinámica poblacional elabora el documento “World Population Prospects” cuya versión más actual al momento es la 2019 y, dada su estructura y funciones, justamente el primer punto es lo que podría generar alguna crítica en la veracidad de los datos, en el sentido de la necesidad de una interacción eficaz y transparente entre este Departamento de la ONU y cada una de las naciones de dicha organización.

No existe mucho qué argumentar en torno a la posibilidad de solventar este problema, dado que las dificultades concernientes a la recopilación estadística fidedigna coordinada por cada una de las naciones que a su vez reportan los resultados son inherentes a la parte empírica de las ciencias sociales.

Si bien las críticas probables son pocas, las ventajas de utilización de los datos elaborados son bastantes, basadas en la robustez de dicha base de datos, dado que ofrece información quinquenal para 235 países, territorios y áreas y con un archivo histórico de 1950 hasta 2020, incluyendo proyecciones hasta 2100. De todos los países y regiones disponibles en este estudio solo se incluyen a poco menos de 90 pues la disponibilidad de datos se acota cuando se incluyen variables de calidad educativa.

El gráfico 3A nos muestra una dispersión con la totalidad de países y regiones disponibles en el World Population Prospects 2019, en donde Níger, Mali y Chad destacan como las naciones con una edad promedio más joven, poco por encima de los 15 años. En contraparte, Japón e Italia son las naciones con edades promedio más altas, rondando los 48 años, lo cual representa casi el triple de lo que reportan las naciones más jóvenes. Debe resaltarse que el promedio mundial utilizando todos los datos disponibles ronda los 31 años.

Gráfico 3A. Dispersión de la edad promedio de todos los países disponibles en el World Population Prospects 2019.



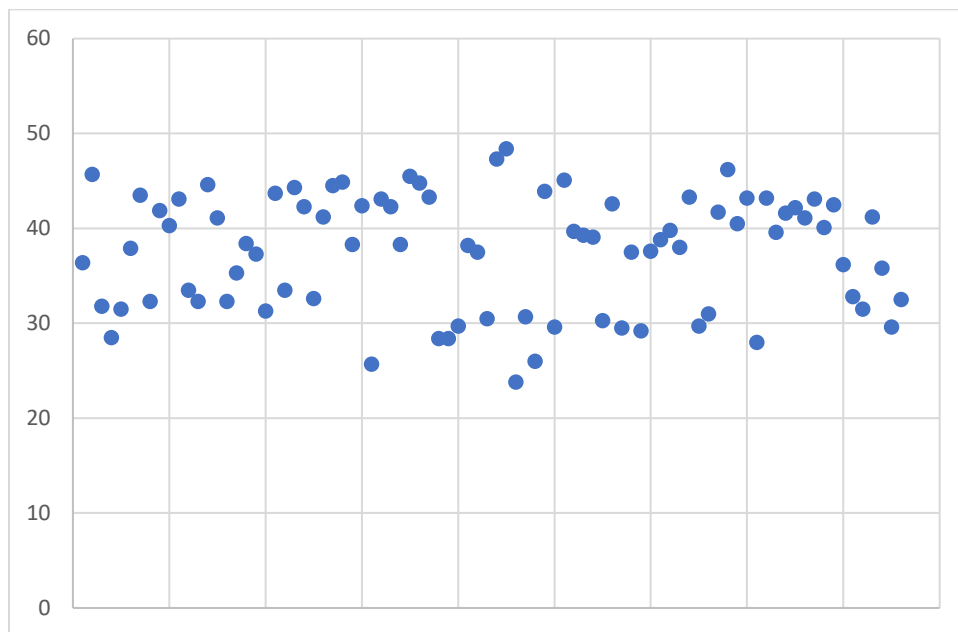
Elaboración propia con datos del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la Secretaría de las Naciones Unidas.

Por otra parte, el gráfico 3B muestra la dispersión utilizando la misma fuente de datos, pero acotada al cumulo de países que competen a este texto. En este grupo las naciones más jóvenes son Jordania (23.8), Filipinas (25.7) y Kirguistán (26), y las que reportan mayor

edad promedio siguen siendo Japón e Italia que, junto con Portugal, que ronda los 46 años en promedio, conforman el top3.

Es obvio que Níger, Mali, Chad y muchos otros países con edades promedio menores a Jordania están excluidos de este análisis, debido a que no cuentan con datos de mediciones estandarizadas de calidad educativa, por lo que es preciso apuntar que este hecho ocasiona que la edad promedio del grupo de países seleccionados, reportando casi 38 años, sea mayor por casi 7 años que la edad promedio mundial cuando se utilizan los datos totales disponibles. Esta información puede resultar relevante en la interpretación de los ejercicios empíricos que se proponen más adelante.

Gráfico 3B. Dispersión de la edad promedio de los países seleccionados para el presente texto.



Elaboración propia con datos del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la Secretaría de las Naciones Unidas.

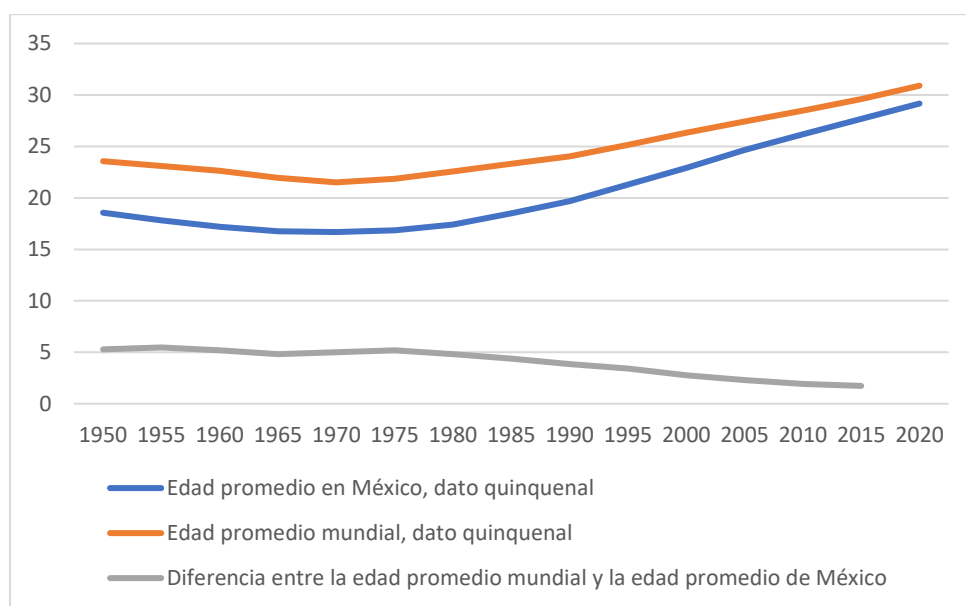
Es conveniente notar que la edad promedio de una población es una variable, por ende y aunque resulte redundante, es susceptible de mutar con el paso del tiempo. Por ejemplo, dos países con edades promedio similares en un mismo año, pueden ser totalmente dispares en el mediano plazo si una iniciaba un proceso de envejecimiento poblacional y otra experimentaba el inicio de su bono demográfico.

Para ejemplificar de mejor manera esta idea, se presentan en el gráfico 3C dos series de tiempo: una que muestra la evolución de la edad promedio del total de la población mundial y otra que muestra la misma variable, pero para el caso particular de México.

Es interesante notar que la población mundial ha ido envejeciendo en los últimos setenta años y que nuestro país ha experimentado una tendencia similar, pero a un ritmo más veloz. Prueba de ello es que el diferencial entre ambas líneas se ha ido estrechando desde la década de los sesenta hasta casi minimizarse para 2020.

Es claro que cada uno de los países que conforman la base de datos de este texto reportan una tendencia demográfica distinta a la de México y a la mundial, por ello es interesante analizar cuál es el efecto (si lo hay) de esta variable en la productividad a lo largo del tiempo.

Gráfico 3C. Comparación entre la variación de la edad promedio de México con respecto al promedio mundial 1950-2020.



Elaboración propia con datos del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la Secretaría de las Naciones Unidas.

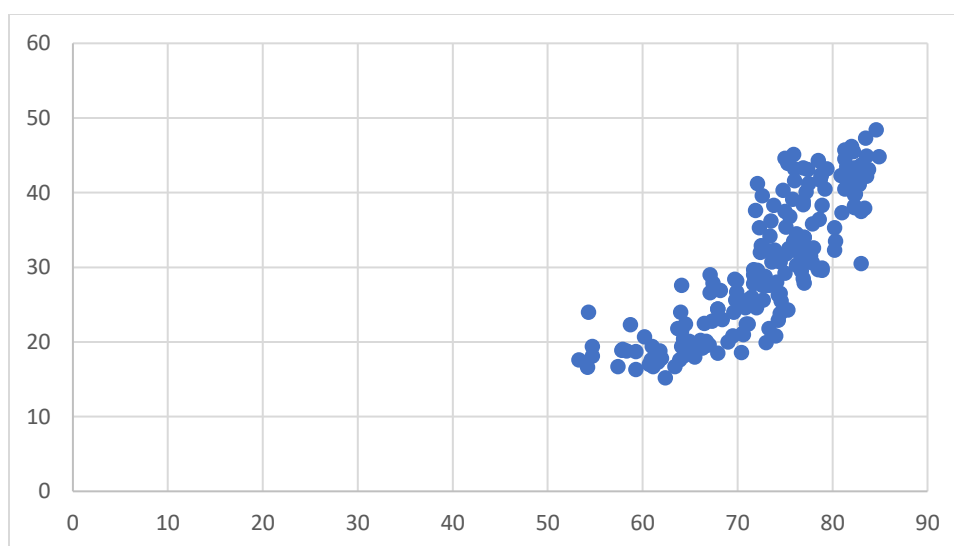
Ahora, antes de cerrar la parte analítica de esta variable, no puede omitirse algo que se menciona entre líneas en el capítulo primero, el hecho de que las variables que representan la estructura etaria puedan estar correlacionadas con las variables que representan la salud de la población.

En su momento se justificó la decisión de excluir a las variables que estiman la salud de las personas del índice de capital humano propuesto, debido a cuestiones teóricas como la obsolescencia del conocimiento o las capacidades cognitivas para aprender y desaprender, pues estas podrían estar mejor representadas por la edad promedio de la población y suponiendo que a su vez podrían estar correlacionada con las variables proxy de salud.

Y aunque es una idea casi intuitiva, resulta conveniente que en este apartado metodológico se le dé fundamento empírico a dicha suposición, mostrando que sí existe una correlación positiva entre la edad promedio de la población y la esperanza de vida al nacer.

El gráfico 3D muestra una dispersión que relaciona edad promedio de la población (eje vertical) con la esperanza de vida al nacer (eje horizontal) para 186 países que tienen datos disponibles en el IDH. Andorra, Dominica, San Kitts y Nevis, Liechtenstein, Palau y las Islas Marshall reportan esperanza de vida, pero no edad promedio de la población por lo que no aparecen en este análisis.

Gráfico 3D. Dispersión que relaciona edad promedio de la población con la esperanza de vida al nacer para los países seleccionados para este estudio.



Elaboración propia con datos del IDH.

Para la esperanza de vida al nacer se utiliza el dato más reciente de 2019 y para la edad promedio el de 2020, dado que esa información es quinquenal. Si se utiliza el coeficiente de correlación de Pearson el resultado es de $\rho_{x,y} = 0.843300696$, justo como se esperaba y como es visible en el gráfico. La correlación que se asumía como probable en el capítulo primero es verdadera.

3.1.2 Educación en cantidad. Años de estudio promedio de la población.

Para el caso de la segunda variable proxy que se utilizará para estimar el stock de capital humano, si bien la variable que se utiliza es nombrada años de estudio promedio de la población, la definición formal de la misma requiere de una precisión, dado que sí se refiere al total del promedio de años de educación estudiados por la población en cuestión, pero únicamente enfocado en las personas de 25 años o más y con datos estandarizados para homogenizar los valores para los países en función de las duraciones oficiales de cada nivel educativo, ya que no en todos los países existe una duración homogénea en cada uno de los grados estudiados.

Como se presenta en el primer capítulo, desde los estudios pioneros de Barro se estila utilizar a la población de más de 25 años por cuestiones de tasas de ocupación y por estar mayormente relacionados con la actividad productiva, además de que técnicamente y desde un plano normativo, el ideal es que el grueso de la población estudiase hasta esa edad.

La definición anterior es la que se presenta tanto en los estudios de Barro como en las bases de datos del IDH y, de manera similar a lo que sucede con los datos del apartado anterior, aunque las cifras para años de estudio promedio de la población pueden ser obtenidos en la web del IDH, dicha base de datos en realidad se alimenta de los trabajos de Barro y Lee y en algunos casos del UNESCO Institute for Statistics.

De la misma forma que en el indicador de la edad promedio de las personas, la fiabilidad de dichos registros depende mucho más de los datos disponibles y de la seriedad de los institutos de estadística locales que de la labor de la UNESCO o de los autores Barro y Lee. Entonces, dado que el trabajo realizado por los autores es más recopilatorio y de organización de información que de obtención de un dato en bruto, poco se puede argumentar en torno a la metodología empleada²³.

Sabiendo el origen de los datos pueden presentarse algunos puntos importantes que emanan del análisis de la información. El gráfico 3E muestra una dispersión del total de los

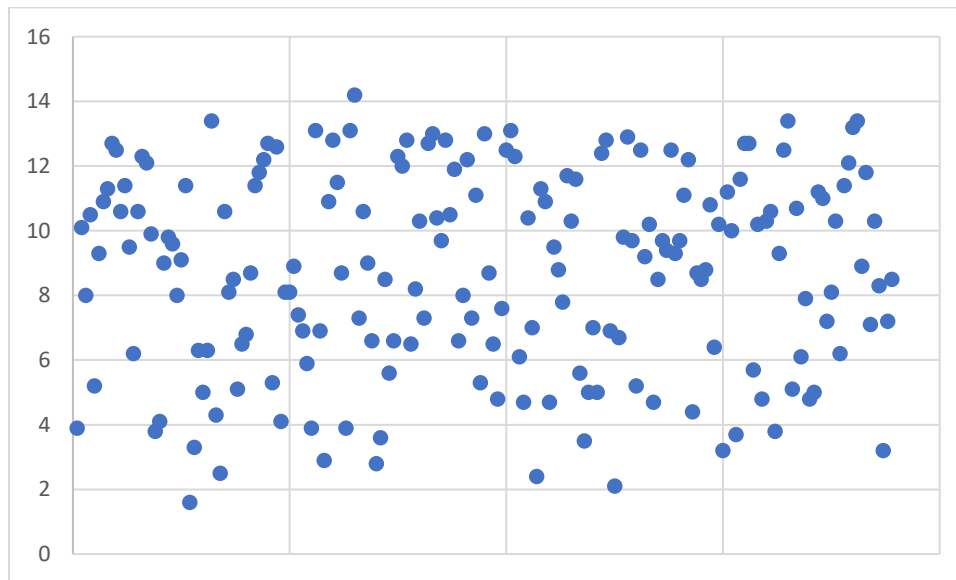
²³ Es cierto que el trabajo de Barro y Lee ha sido objeto de críticas, pero en el sentido de la interpretación de sus resultados, de cómo relacionan los indicadores con el crecimiento y de algunas otras cuestiones posteriores a la elaboración de la base de datos. Las críticas existentes se refieren más a lo hecho con la base de datos una vez que ya estaba diseñada y no al cómo hacen la base de datos y es preciso distinguir ambos puntos de análisis.

países para los cuales existe información en el IDH acerca del promedio de años de estudio de su población.

Puede notarse que las variaciones entre los países son bastantes: utilizando datos para 2019 (dato más actual) la nación con un menor registro es Burkina Faso (1.6), contrastando con la de mayor registro que es Alemania (14.2). El IDH nos brinda información para 185 países y, restando el dato de Somalia que no está disponible, el promedio para las restantes 184 naciones es de 8.5 años.

Al obtener la desviación estándar $\sigma = 3.1$ puede notarse que, si bien el dato de Alemania se coloca a dos desviaciones de la media, el de Burkina Faso no lo está. Esto devela el hecho de que es una distribución asimétrica y que la cola izquierda de la misma está alargada, lo cual es también comprobable al calcular el coeficiente de asimetría que reporta $C_A = -0.284798831$.

Gráfico 3E. Dispersión de los años de estudio promedio de todos los países disponibles en el IDH.



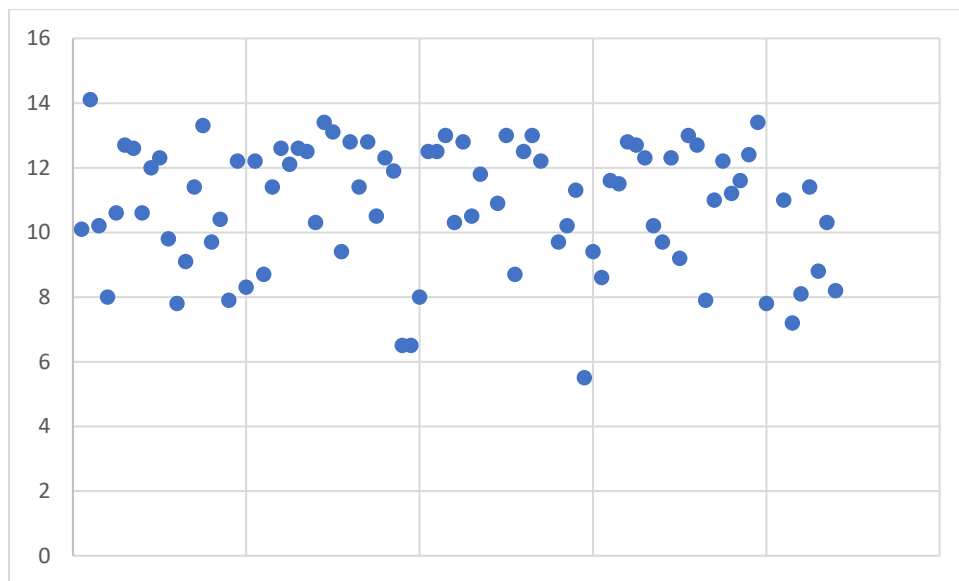
Elaboración propia con datos del IDH.

Ahora, el gráfico 3F se refiere a la misma dispersión, pero acotada a los países que se seleccionan para el presente trabajo, que como ya se mencionó, se refiere únicamente a aquellos que tienen estimaciones fidedignas de calidad educativa. Por lo anterior no es extraño que esta selección esté parcialmente sesgada a países que promedian un mayor número de años de estudio, cuestión a tomar en cuenta en la interpretación de resultados. Dado que el último año que se aplicó PISA fue en 2018, ese mismo año también se

selecciona para la descripción de la estadística de años de estudio promedio de la población.

El promedio de estos países es de 10.85 años de estudio, considerablemente mayor que el promedio para todos los países del mundo. El mayor registro continúa siendo Alemania y el menor es Marruecos con 5.5 años. Los resultados son más homogéneos al presentar una desviación estándar de $\sigma = 1.95$, si bien la cota inferior continúa alejándose más de dos desviaciones estándar y por ende la distribución sigue presentando asimetría negativa.

Gráfico 3F. Dispersión de los años de estudio promedio de los países seleccionados para el presente texto.



Elaboración propia con datos del IDH.

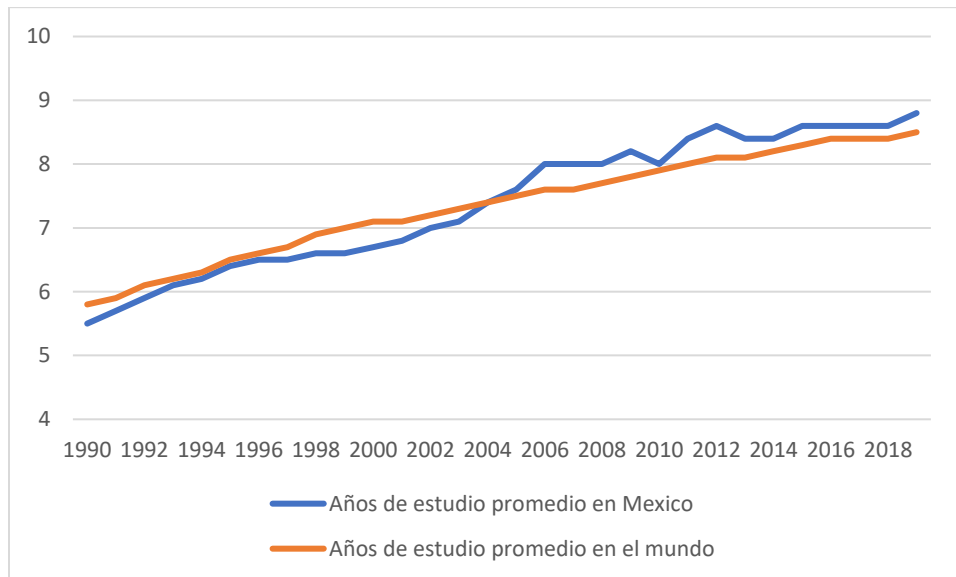
Hablando de este mismo indicador, el registro histórico permite conceptualizar cómo es que se ha desenvuelto por casi tres décadas. El gráfico 3G muestra la serie histórica para el promedio mundial y una comparación con México solamente como un dato de referencia.

Es interesante notar que a principios de la década de los noventa México se colocaba por debajo del promedio mundial y alrededor de 2005 logró cerrar dicha brecha para posteriormente colocarse por encima del promedio.

Es grato notar que el indicador tiene una tendencia creciente, tanto para México como para el mundo entero, no solo por los efectos positivos al crecimiento económico que se espera puedan atribuirse a esta variable, si no por las implicaciones más allá de la economía que la educación puede tener para la vida en sociedad.

Debe notarse que, si la edad de la población es una variable bastante dinámica, los años de estudio promedio de la población también lo son. Al considerar a las personas que tienen 25 o más años, cada nuevo año se añaden al registro a personas que se espera hayan estudiado un número de años igual o mayor que la media de la población, pues la probabilidad de que esto suceda para ellos es mayor que la que tenían sus ancestros según las tendencias comentadas en los dos párrafos anteriores.

Gráfico 3G. Comparación entre la variación de los años de estudio promedio de México con respecto al promedio mundial 1990-2019.



Elaboración propia con datos del IDH.

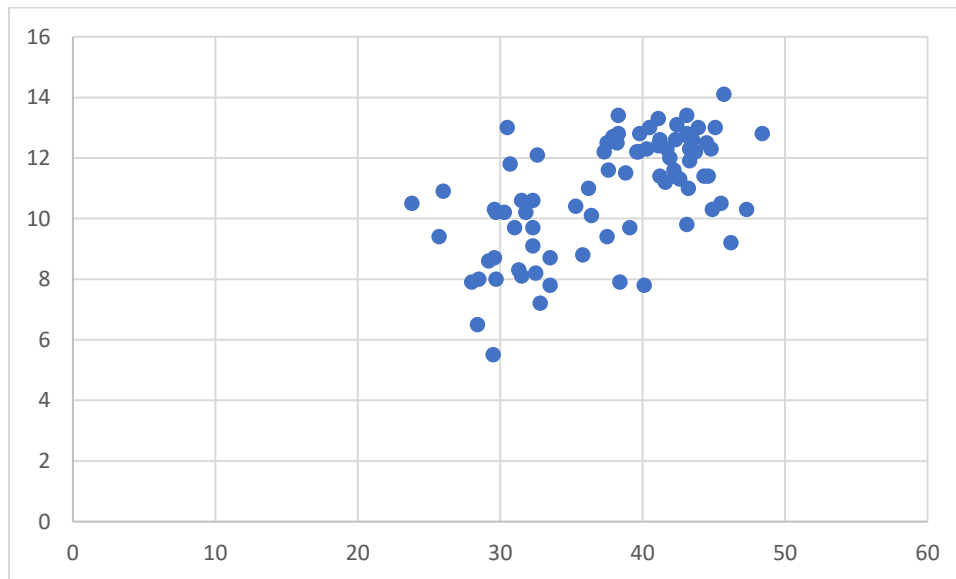
Para cerrar este apartado es necesario establecer en qué medida están relacionados los dos indicadores presentados. Resulta intuitivo pensar que puede existir una correlación alta y positiva entre la edad promedio de la población y el número de años que en promedio los habitantes de esta han estudiado. De hecho, una crítica predecible sería pensar que los países que tienen poblaciones muy jóvenes no pueden aspirar a tener una cifra alta de años de estudio promedio.

Sin embargo, primero hay que recordar el hecho de que los años promedio de estudio se estiman para el cúmulo de la población que tiene 25 o más años, lo que disminuiría altamente este aparente sesgo. Además, la evidencia empírica respalda lo anterior pues si se calcula la correlación de las dos series de datos para el cúmulo de países seleccionados y para 2018 se obtiene $\rho_{x,y} = 0.5734$, siendo x la edad promedio de la población y y los

años de estudio promedio, lo cual muestra que la suposición intuitiva mencionada no es correcta.

Esto puede ser visualizado en el gráfico 3H que muestra en el eje horizontal la edad promedio de las personas, mientras que en el eje vertical presenta los años de estudio promedio. La dispersión de puntos visualmente no arroja una muestra clara de una correlación muy elevada, tal y como se esperaba por el resultado numérico.

Gráfico 3H. Dispersión que relaciona edad promedio de la población con los años de estudio promedio para los países seleccionados para este estudio.



Elaboración propia con datos del IDH.

Aun cuando la correlación entre estas dos variables no llega a los niveles que se muestran en otras, debe considerarse el impase conceptual y teórico que existe al reflexionar sobre naciones con un número relativamente bajo de edad promedio de la población y esperar que estas registren un alto número de años de estudio promedio. La mención de este posible cuestionamiento es importante dado que este suceso puede cobrar relevancia en la interpretación de la significancia de los años de estudio promedio en la explicación de la productividad, al tener un posible sesgo hacia poblaciones más longevas.

3.1.3 Calidad educativa. PISA y otras mediciones.

Resulta casi intuitiva la idea de que existen sustanciales diferencias entre estudiar el primer año de educación primaria en París (capital de Francia) o en Mogadiscio (capital de Somalia), la cual trasciende incluso al desagregar la cuestión a nivel local, por ejemplo, para

un país como México, al comparar la educación ofertada en la Ciudad de México en la alcaldía Benito Juárez con cualquiera aquella existente en los municipios más pobres de Guerrero o Chiapas.

No obstante, el acuerdo en torno a esa sencilla propuesta se puede incluso desvanecer cuando se atiende a la cuestión del establecimiento de métricas que estimen las diferencias cualitativas entre los sistemas educativos. Es un hecho que existen diferencias, pero ¿cómo estimarlas y compararlas?

En ese sentido el Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos de la OCDE (PISA, por sus siglas en inglés) es quizá la prueba estandarizada de calidad educativa más conocida actualmente. La robustez de su muestra y el tipo de países incluidos en ella (miembros de la OCDE) hacen que tenga cierta relevancia para las decisiones de política educativa e incluso económica en algunas regiones del mundo. Sin embargo, conviene hacer un análisis de ciertos aspectos y enfatizar algunas cuestiones para dimensionar la relevancia y utilidad de sus resultados.

En principio, la misión explícita de dicho programa (disponible en la portada de su web <https://www.oecd.org/pisa/pisaenespaol.htm>) es “evaluar hasta qué punto los alumnos cercanos al final de la educación obligatoria han adquirido algunos de los conocimientos y habilidades necesarios para la participación plena en la sociedad del saber”.

Es cierto que lo mencionado en el párrafo anterior puede leerse como ambiguo y conduzca a preguntarnos cuáles son esas “habilidades necesarias” o quién y para qué las define o selecciona. Por ende, en las siguientes líneas se presentan algunas características específicas de la prueba para clarificar la cuestión.

Primero, PISA utiliza como muestra a alumnos que en promedio tengan 15 años. En específico evalúa a estudiantes de entre 15 años tres meses y 16 años dos meses al momento de la evaluación, independientemente del grado que estén cursando (OCDE, 2008).

Esto tiene su origen en que técnicamente la prueba PISA no evalúa los programas de estudio ni el diseño de los niveles de estudio (la duración de la educación primaria y secundaria no es homogénea en el mundo, por ejemplo). El enfoque es ver cómo llega un alumno promedio tanto al inicio de su educación postsecundaria como a la vida laboral, cualquiera de las dos vías que en su caso elija, ya que en promedio los años de educación

obligatoria terminan justo cuando la edad legal para laboral comienza, con matices para cada país analizado.

Ahora, contrario a lo que podría pensarse por sus orígenes en la OCDE, la prueba PISA no es un esquema único ni obligatorio, Tampoco es una prueba solamente diseñada para los países centrales o ricos o que no tenga capacidad de evaluación para naciones menos desarrolladas.

No es una prueba obligatoria en el sentido de que el Informe PISA se realiza por encargo de los gobiernos y sus instituciones educativas y siempre ha tenido países que se adscriben a la prueba de manera voluntaria, desde su primera edición en 2000 cuando hubo cuatro naciones extra añadidas a los países de la OCDE.

En ese sentido debe recalarse que la muestra es distinta en cada aplicación: en el año 2000 participaron 41 países, 40 en 2003, 57 en 2006 y así la muestra varía cada 3 años hasta la última aplicación en 2018 con 78 países²⁴.

Ahora, la prueba PISA se aplica de manera general a todos los países, pero tiene particularidades en cada uno de ellos, tanto en el volumen de alumnos evaluados como en el tipo de preguntas que se desarrollan, ya que los problemas por resolver deben ser presentados en contextos personales o culturales relevantes para cada país, por lo que el tipo de preguntas no es homogéneo en todo el mundo.

Ahora, normalmente la muestra utilizada para PISA va de 5000 a 10000 estudiantes en función del tamaño de la población estudiantil total del país; lo anterior estadísticamente permite extrapolar las conclusiones a nivel nacional, pero no permite hacer inferencia regional. En caso de que el gobierno de cada país esté interesado en evaluar las diferencias regionales, el diseño metodológico varía; tal fue el caso de México, que en los ciclos de evaluación de 2003 y 2006 condujo una evaluación con mayores muestras para posibilitar la inferencia regional. Se utilizaron 29,983 estudiantes en 2003 y en el ciclo 2006 30,971 estudiantes.

Entonces, la prueba PISA no es obligatoria ni solo se adecúa a la realidad de los países centrales, aun así, queda la parte más importante, ¿qué es lo que la prueba testea?

²⁴ Existen algunos matices importantes que resultan interesantes pero que no afectan en demasía la naturaleza de la base de datos. Por ejemplo, la prueba de 2000 añade resultados de pruebas de 2002 cuando más países estuvieron dispuestos a participar. Lo mismo sucede con la prueba en 2009 que añade datos de 2010.

Para intentar medir la educación ofertada en una Nación PISA evalúa tres áreas fundamentales, la competencia lectora, la competencia matemática y la competencia científica. Según el comité de expertos de la OCDE, se entiende por cada una de las competencias:

“Lectora: capacidad de un individuo para comprender, utilizar y reflexionar sobre textos escritos, con el propósito de alcanzar sus objetivos personales, desarrollar su conocimiento y sus capacidades, y participar en la sociedad.

Matemática implica la capacidad de un individuo de identificar y entender el papel que las matemáticas tienen en el mundo, para hacer juicios bien fundamentados y poder usar e involucrarse con las matemáticas.

Científica incluye los conocimientos científicos y el uso que de esos conocimientos haga un individuo para identificar preguntas, adquirir nuevos conocimientos, explicar los fenómenos científicos y sacar conclusiones basadas en evidencias, sobre asuntos relacionados con la ciencia”. OCDE (2008:7-17).

En cada edición se hace énfasis en una de las tres competencias fundamentales, pero también en cada versión trianual se evalúan todas ellas. El foco de análisis va variando con el tiempo. La lectura fue la capacidad en la que se hizo énfasis en 2000, 2009 y 2018, la capacidad matemática lo fue en 2003 y 2012 así como la capacidad científica lo fue en 2006 y 2015. Nuevamente, es importante enfatizar que a pesar de que el foco de la prueba varíe, las tres habilidades se miden en cada edición.

Los resultados de la evaluación de esas tres capacidades varían en un rango de 0 a 700 puntos en promedio. Por ejemplo, para la habilidad lectora hay 5 niveles, el más alto se obtiene con 625 puntos o más y el más bajo con menos de 335 puntos. De manera similar funciona para la habilidad matemática en donde hay 6 niveles, el más alto conseguible con 668 puntos y el más bajo lo obtienen los alumnos con menos de 358. Por último, la capacidad científica tiene 6 niveles, el más alto para alumnos con más de 708 puntos y el más bajo con menos de 409, (OCDE, 2008:11-25).

Ahora que se han presentado las generalidades de la prueba PISA es momento de presentar algunos cuestionamientos que pueden ser inherentes a la utilización de los datos. El más importante quizá es el hecho de saber con certeza si es que la prueba mide lo que en realidad dice medir, es decir, la calidad educativa.

Hay al menos dos vertientes en torno a posibles fuentes de críticas y sesgo en torno a la medición. La primera es la posibilidad de que los resultados de PISA incluyan variables más allá de la calidad educativa en al menos tres niveles. Condiciones a nivel individual como los hábitos escolares o el ambiente familiar, determinantes a nivel local como el acceso a medios de comunicación de calidad o el adecuado funcionamiento y condiciones de las bibliotecas públicas y finalmente condiciones a nivel agregado como las circunstancias económicas de los países y sus trayectorias de desarrollo de las últimas décadas. En resumen, el problema fundamental en esta cuestión es el hecho de que algunos factores no relacionados con el aprendizaje en las aulas ya sean personales, locales o regionales, estén siendo capturados por la medición.

Por otra parte, un segundo enfoque crítico es el de Rindermann (2007) quien plantea que, dada la estructura de la prueba y las características de los reactivos, los resultados de esta podrían relacionarse con la calidad de la educación, pero también con el coeficiente intelectual (IQ) promedio de los habitantes de los países.

En ambos casos las críticas están sustentadas y se fundamentan en argumentos coherentes, de hecho, para algunos casos los informes de PISA reconocen algún tipo de sesgo y lo incluyen en sus documentos metodológicos. Sin embargo, para ambos casos también, aunque interesantes, las críticas mencionadas no implican una dificultad mayor para el trabajo aquí realizado como se explica a continuación.

En cuanto al primer enfoque crítico, PISA argumenta que el objetivo final es conocer las habilidades de las personas de 15 años para enfrentarse a ciertos problemas mediante herramientas que se les brindan con la educación obligatoria para que con base en los resultados los gobiernos puedan tomar decisiones de política educativa. En ese sentido, si los resultados pudieran estar sesgados por condiciones económicas y sociales esto reforzaría el sentido de la prueba ya que esas condiciones también competirían a las soluciones educativas brindadas por los gobiernos.

Bajo esta lógica, el presente texto intenta indagar qué tan preparadas estarán las personas para afrontar su contacto con nuevas tecnologías y conocimiento, lo cual está determinado por su capacidad de aprender y que, en buena medida, se relaciona con la calidad educativa y lo que se hace en las aulas, pero también guarda una estrecha relación con cada una de las posibles fuentes de sesgo de la prueba. Por ello, incluso cuando PISA evidenciara

algunas otras circunstancias tangenciales, ellas continúan siendo un buen indicativo de aquello que la variable proxy quiere representar en esta tesis.

Esto mismo sucede con el segundo enfoque crítico e incluso aún con mayor concordancia con lo propuesto en este texto, ya que aun en la situación extrema de que PISA midiera solamente el IQ de las personas y no la calidad educativa, dicha métrica continuaría operando a favor de los objetivos de este texto, por lo presentado en el capítulo 1, relacionado con las capacidades cognitivas de las personas.

Por último, otra crítica que podría surgir desde la parte metodológica es el argumento relacionado con la temporalidad de la prueba y su efecto en la economía actual, en específico en la población trabajadora y ocupada. Esto se relaciona con el hecho de que se puede argumentar que se está evaluando a niños de 15 años y no a personas que efectivamente están ocupadas en la vida económica.

Sin embargo, las series de resultados de calidad educativa de PISA evidencian que las tendencias de cambio para cada país no son tan acentuadas y que, para algunos países, parecen ser casi estacionarias. Esto se analiza más a fondo en párrafos venideros, pero se puede observar a manera de introducción en el gráfico 3J, que se encuentra páginas más adelante, que los datos de evaluación de la educación para un año en específico pueden brindar una idea bastante adecuada de cómo era la educación hace algunos años, ya que las variaciones no son tan abruptas como en otras variables socioeconómicas y demográficas sí lo son.

Además, para dar aún más firmeza a este argumento, para muchas personas, por decisión u obligación, la edad laboral inicia desde los 15 años o incluso antes. Es indudable que en un escenario utópico todas las personas estudiarían carreras universitarias y trabajarían a partir de los 23 años o después, pero la realidad está alejada de eso. Aunado a ello, hasta los 15 años puede hablarse de una homogeneidad en el stock de conocimientos que podría adquirir una persona a partir de la educación obligatoria (aritmética, lectura, etc.), homogeneidad que comienza a disolverse a partir de esa edad en función del área del conocimiento o rama productiva que escojan las personas, ya sea en la continuación de sus estudios o en la vida laboral.

Por ello la elección del rango de edades en el cual se realiza la prueba parece ser óptimo por diversas cuestiones y establecer la estacionalidad de la serie de calidad educativa como un supuesto resulta bastante asumible. En el caso de la no aceptación del supuesto de

estacionalidad de la serie, apelando a que los datos de calidad educativa se refieren a personas en su mayoría no empleadas y preferir buscar la medición de la calidad del aprendizaje de las personas que efectivamente se encuentran empleadas en un momento determinado implicaría una dificultad enorme.

No solo no existen variables proxy a nivel agregado referidas a ello, sino que al intentar medirlas emana una dificultad poco salvable devenida de la heterogeneidad de los conocimientos aplicados en cada una de las ramas productivas en las que podría insertar cada trabajador. Por ello, la elección del establecimiento de la estacionalidad de la serie de calidad educativa como un supuesto resulta bastante asumible ante la disyuntiva de elegir entre ello o una dificultad metodológica aparentemente insalvable.

Una vez comentadas las características de la prueba y las objeciones más comunes que se le podrían imputar, se pueden analizar los datos duros emanados de sus resultados. A partir de ahora se deberá tener en cuenta que los datos utilizados en adelante se refieren a la métrica de matemáticas de entre las tres opciones posibles de PISA. No es una decisión arbitraria dado que en el capítulo 1 se mencionó el escrito de Hanushek y Kimko (2000) que utiliza indicadores de calidad educativa y encuentra una correlación positiva y significativa con el crecimiento económico especialmente con las pruebas referidas a matemáticas.

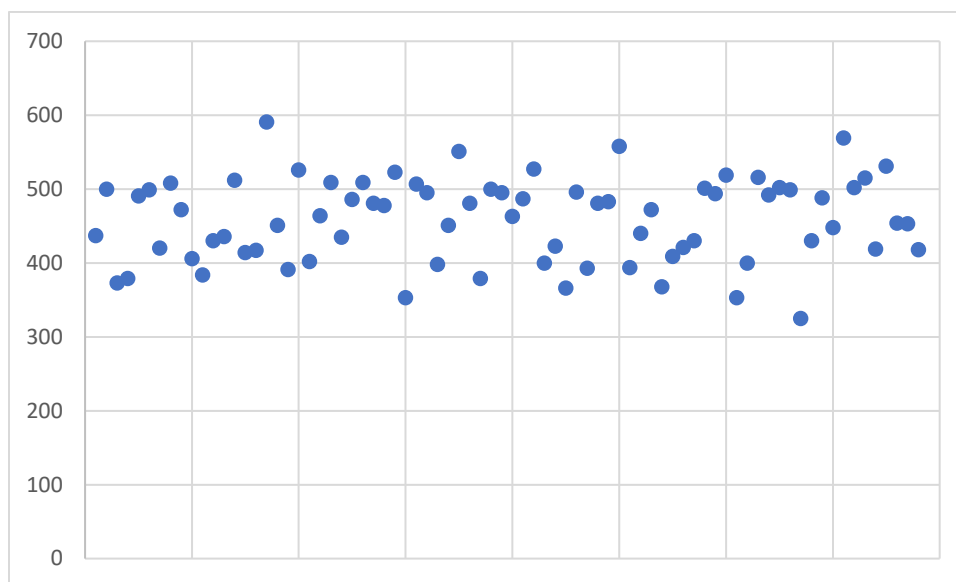
Entonces, sabiendo que los datos presentados se refieren a la parte de matemática de la prueba PISA, el gráfico 3I presenta la dispersión de los resultados para todos los participantes de la prueba en 2018.

Resulta notoria la heterogeneidad de los resultados, con picos máximos de 591 puntos para China y una cota inferior de 325 para República Dominicana. En ese sentido, México se sitúa con 409 puntos a 49 del promedio mundial de 458.

Esta heterogeneidad ha sido una constante histórica que se resume en la tabla 3A, donde se presentan los mayores y menos puntajes de cada una de las ediciones de la prueba, además de agregarse el promedio mundial y el puntaje para México por obvias razones.

En dicha tabla ya resulta observable la estacionalidad de las series que se presupuso en párrafos anteriores. Por la poca extensión temporal de los datos (7 registros trianuales de 2000 a 2018), es difícil establecer pruebas formales de estacionalidad, sin embargo, pueden presentarse algunas regularidades para dar fuerza al argumento y que dicho supuesto resulte factible.

Gráfico 3I: Dispersión de los resultados de PISA para los participantes de la prueba en 2018.



Elaboración propia con datos de PISA OCDE.

Tabla 3A: Serie histórica de mejor y peor puntajes, promedio mundial y dato para México en la prueba PISA de 2000 a 2018.

Año	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
Mayor puntaje	560	550	549	600	613	564	591
	Hong Kong	Hong Kong	Taiwán	China	China	Singapur	China
Menor puntaje	292	356	311	331	368	328	325
	Perú	Brasil	Kirguistán	Kirguistán	Perú	República Dominicana	República Dominicana
Promedio Mundial	471	485	469	458	473	462	458
México	387	385	406	419	420	408	409

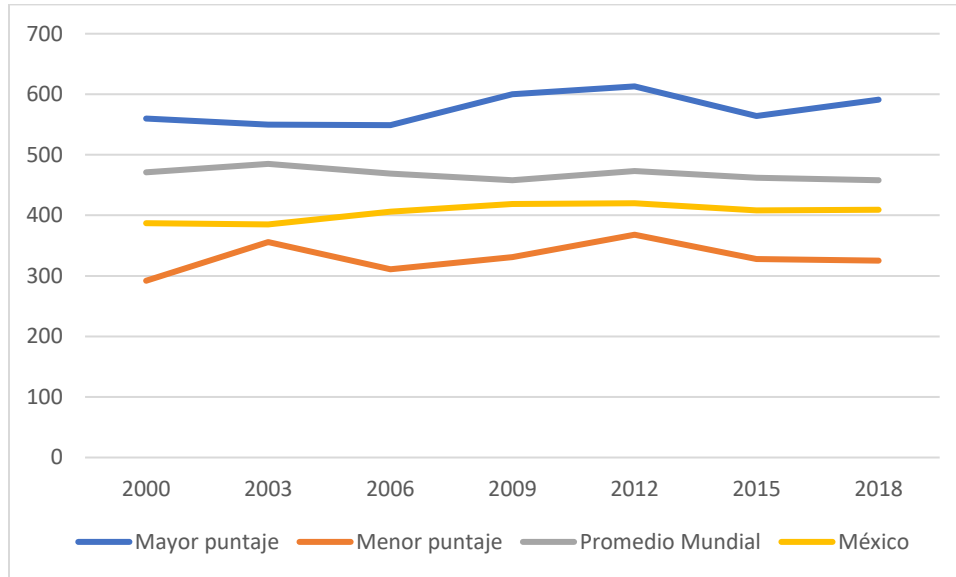
Elaboración propia con datos de PISA OCDE.

El ya mencionado gráfico 3J presenta las series de tiempo de los registros de la tabla 3A. Si se toman como bandas las marcas grises de cada 100 puntos, es notorio que las líneas que describen el comportamiento a través del tiempo de cada serie se mantienen oscilando entre valores específicos. Por ejemplo, el promedio mundial no varía mucho entre los 500 y 400 puntos.

Esto se refuerza con el hecho de que, si se calculan las desviaciones estándar tanto para los valores máximos, mínimos, promedio mundial y el caso de México, tendremos valores relativamente pequeños, incluso más pequeño cuando se refieren a el país líder o al caso

particular de México: $\sigma_{MáximoPuntaje} = 25.72750983$, $\sigma_{MínimoPuntaje} = 25.67377762$, $\sigma_{PromedioMundial} = 9.660917831$ y $\sigma_{México} = 13.96935421$, respectivamente.

Gráfico 3J: Representación gráfica a partir de la Tabla 3A.



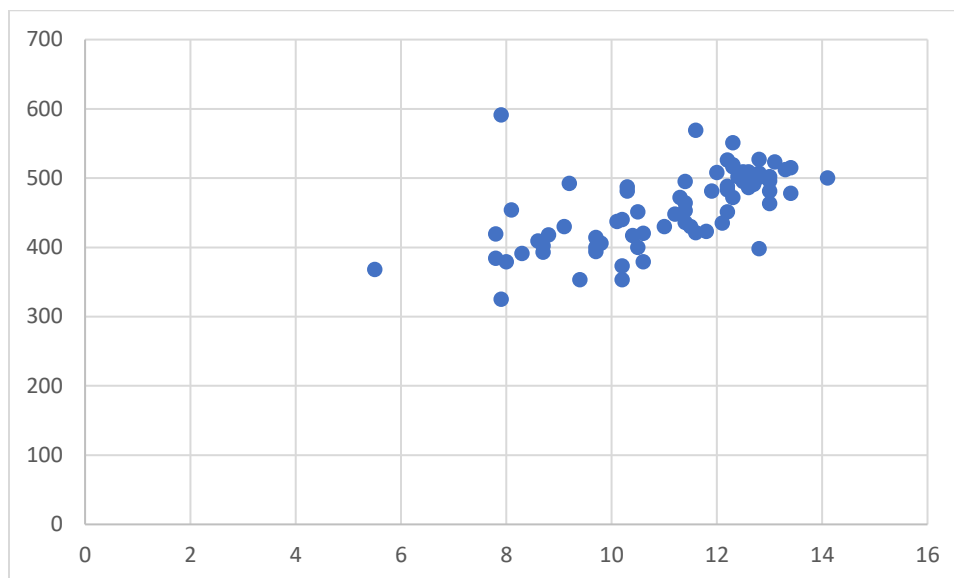
Elaboración propia con datos de PISA OCDE.

Ahora, uno de los argumentos más importantes para el texto es la insuficiencia de los años de estudio promedio para ser una variable proxy que describa en su totalidad a la educación como parte del proceso de aprendizaje. En ese sentido, conviene estimar en qué medida los resultados de la prueba PISA se encuentran correlacionados con la serie que presenta a los años de estudio promedio de la población.

El gráfico 3K muestra una dispersión que relaciona los resultados en la prueba PISA con los años de estudio promedio; por obviedad solo se muestran a los países que fueron seleccionados para este estudio y que tienen registro PISA para 2018.

El gráfico parece no mostrar una tendencia clara de relación directa entre las variables. Para dar un argumento numérico a esto, se calcula $\rho_{x,y} = 0.6234$ que es un valor lo suficientemente bajo como para sustentar el hecho de que la calidad educativa y los años de estudio promedio son variables que pudieran estar relacionadas, pero que no necesariamente siguen la misma lógica.

Gráfico 3K: Dispersión que relaciona los resultados en la prueba PISA con los años de estudio promedio para los países seleccionados para este estudio.



Elaboración propia con datos de PISA OCDE y el IDH.

Lo anterior cobra fuerza si se calcula el coeficiente de correlación para dos variables que parecen estar teóricamente menos relacionadas, los resultados en la prueba PISA y la edad promedio de la población, que arrojan $\rho_{x,y} = 0.7334$ poco mayor a la mostrada entre las dos variables del párrafo anterior. Entonces el postulado de que necesariamente los países con mayor nivel de escolaridad también reportan una mayor calidad educativa es erróneo, lo cual da argumento a plantear que el uso único de los años de estudio promedio como indicador del stock de capital humano pueda ser incompleto.

Ahora, es preciso mencionar que existen otras pruebas estandarizadas tanto mundiales como locales y que son cronológicamente alternas a PISA y otras tantas que se utilizaban antes del año inicio de este siglo, año en el que PISA comenzó.

Puede argumentarse que se esperaría que existieran resultados altamente correlacionados entre las distintas pruebas que intentan medir la calidad educativa ofertada en los países, sin embargo, para no utilizar una suposición sin un argumento empírico pueden mostrarse los resultados de dos de los trabajos de medición más importantes que aglutinan una multiplicidad de pruebas estandarizadas en una sola base de datos.

Las dos bases de datos en las que se proponen métricas de medición y formas de agrupamiento de un conjunto amplio de pruebas estandarizadas de calidad educativa

(incluyendo PISA) se encuentran en los textos de Hanushek y Woessmann (2012) y de Angrist, Djankov, Goldberg y Patrinos (2019 y 2021).

Para el entendimiento de ambas fuentes de datos era clave el análisis a detalle de la prueba PISA que recién fue realizado, dado que ambas métricas utilizan sus resultados, pero añadiéndoles y ponderándolos con otros indicadores u otras pruebas estandarizadas globales como TIMSS²⁵ (Trends in International Mathematics and Science Study) y de además utilizar otras pruebas de corte local.

En el caso del trabajo de Hanushek y Woessmann (2012), se propone una continuación de la labor de Hanushek y Kimko (2000) que se menciona en el capítulo 1, extendiendo los resultados de PISA con la intención de estimar las capacidades cognitivas de la población. Es una extensión certera del trabajo mencionado dado que las bases de datos de Hanushek y Woessmann (2012) y de Hanushek y Kimko (2000) tienen una correlación bastante alta, de $\rho_{x,y} = 0.83$ según lo mencionado por los autores (Hanushek y Woessmann, 2012, pp. 272).

Es preciso mencionar que Hanushek y Woessmann (2012) logran recopilar una base de datos de más de 50 países para el periodo de 1960-2000, pero ya que se refieren a las capacidades cognitivas, además de los datos de pruebas estandarizadas de calidad educativa, utilizan las cifras de logro académicos y algunos indicadores institucionales y socioculturales, apelando a que el desarrollo de capacidades cognitivas no se relaciona únicamente con la cantidad y la calidad de estudio en las aulas. Es decir, no solo se refieren a la calidad educativa.

Por otra parte, en la propuesta de Angrist, Djankov, Goldberg y Patrinos (2019 y 2021) se utilizan pruebas locales y mundiales para afinar los resultados de PISA y medir de mejor manera el aprendizaje efectivo que se obtiene a través de la educación en las aulas, disminuyendo el sesgo que se comentó anteriormente, referido a que la prueba PISA puede estar enfocada a países más desarrollados (mayoritariamente de la OCDE). Lo anterior se basa en la no aceptación de una correlación alta y directa entre los años de estudio promedio de la población y el aprendizaje efectivo que dicha población pueda obtener, premisa que dicho escrito comparte con el presente texto.

²⁵ TIMSS es una prueba similar a PISA que se realiza cada cuatro años desde 1995 y que tiene datos públicos de más de 60 países hasta la última edición de 2019. Dicho estudio es elaborado por la Asociación Internacional para la Evaluación del Rendimiento Educativo (IEA).

Lo que realizan Angrist, Djankov, Goldberg y Patrinos para el caso de México, por ejemplo, es la utilización de los resultados de PISA, pero añadiendo los resultados obtenidos por el LLECE en una prueba de Matemáticas del año 2006. LLECE es el Laboratorio Latinoamericano de Evaluación de la Calidad de la Educación y es la red de los Sistemas Nacionales de Medición y Evaluación de la Calidad Educativa de los países de América Latina, coordinada por la Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe (OREALC) de la UNESCO.

Así como para México se utiliza esa prueba de corte local-regional, para los más de 100 países incluidos en la base de datos, se utilizan otras formas de medición de la calidad educativa. Mencionando a algunos otros países latinoamericanos, Brasil y Argentina utilizan también resultados de LLECE al igual que Colombia, país que además utiliza resultados de TIMSS.

Es cierto que la intención de Angrist, Djankov, Goldberg y Patrinos (2019 y 2021) sí se relaciona con la estimación de la calidad educativa y en especial del aprendizaje en las escuelas, mientras que el texto de Hanushek y Woessmann (2012) intenta estimar las habilidades cognitivas de la población. Sin embargo, cuando en párrafos anteriores se analizaron las críticas imputables a la prueba PISA se mencionó la posibilidad de correlación o similitud de estos conceptos y esto queda reforzado cuando Angrist, Djankov, Goldberg y Patrinos (2019, pp. 19) mencionan que existe una correlación de $\rho_{x,y} = 0.925$ entre sus estimaciones y las de Hanushek y Woessmann (2012).

Entonces, si bien el enfoque de estudio bajo el que se construyen las dos bases de datos es distinto, estadísticamente hablando ambas son muy similares y ambas se fundamentan fuertemente tanto en los resultados de la prueba PISA, como en el asumir que estos son incompletos o sesgados. Sabiendo lo anterior, se hace la presentación descriptiva de los datos de ambas bases, que se resumen en la tabla 3B.

Tabla 3B. Estadística descriptiva de las variables de calidad educativa.

Variable	Observaciones	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
pisa	68	461.0294	55.65485	328	564
learning	72	484.6843	58.58509	361.2246	620.956
cognitive	77	4.547233	0.5719188	3.089362	5.451672

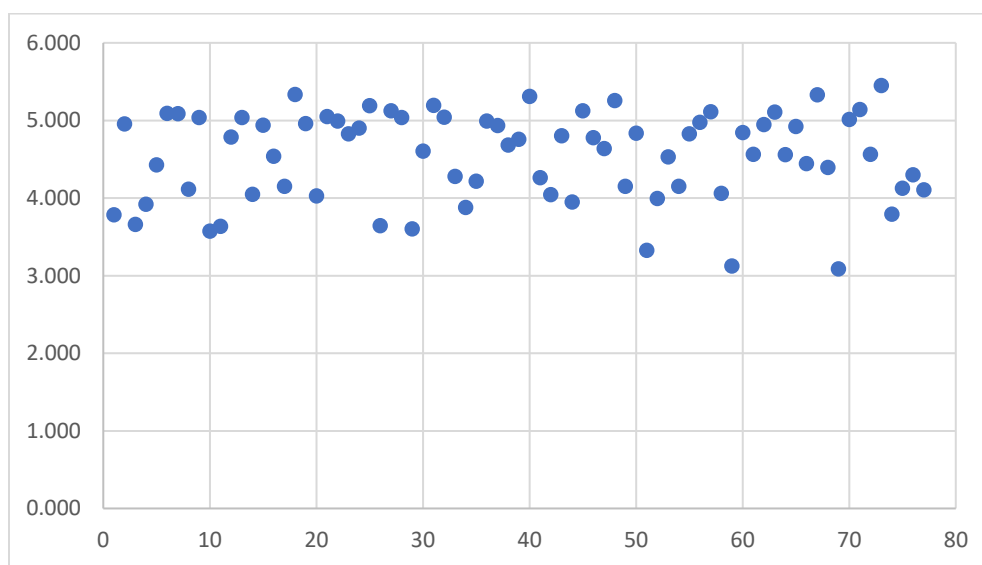
Elaboración propia con todos los datos mencionados en STATA 13.

Para los fines de este texto, *cognitive* se refiere a los datos de Hanushek y Woessmann, ya que intentan estimar las capacidades cognitivas y así los nombran los autores en sus archivos públicos. Por otra parte, *learning* se refiere a los datos de Angrist, Djankov, Goldberg y Patrinos, que estiman el aprendizaje efectivo de los años de estudio, aunque ellos se refieren a la serie como “hlo” que significa “Harmonized Learning Outcomes”.

Ahora, para los datos de *cognitive* se utiliza el índice de Hanushek y Woessmann que es un dato único, es decir, no tiene una serie diferenciada por años. Por otra parte, en *learning* se utiliza el “hlo” relacionado con la prueba de matemáticas de PISA en específico para 2015. Para la prueba PISA se utilizan los resultados del 2015 para realizar una comparación tan actual como sea posible (PISA ya tiene datos 2018, pero la serie de Angrist, Djankov, Goldberg y Patrinos llega a 2017, hasta ahora).

En cuanto a las particularidades de cada uno, los datos actuales de Hanushek y Woessmann basados en la metodología del texto de 2012 presentan una base de datos de 77 países en donde muestran un índice de capacidades cognitivas. Taiwán lidera el registro y Sudáfrica es la nación con menor puntaje. Es un índice que como cota superior tiene 5.451672 y tiene una desviación estándar de $\sigma = 0.5719188$, por lo que técnicamente la variabilidad de la serie es poca. En el caso particular de México tiene un registro de 3.9975. Sobra decir que las estimaciones están en una escala que difiere sustancialmente con la prueba PISA. La dispersión de la totalidad de datos se muestra en el gráfico 3L.

Gráfico 3L: Dispersión que muestra los resultados de la variable *cognitive*.

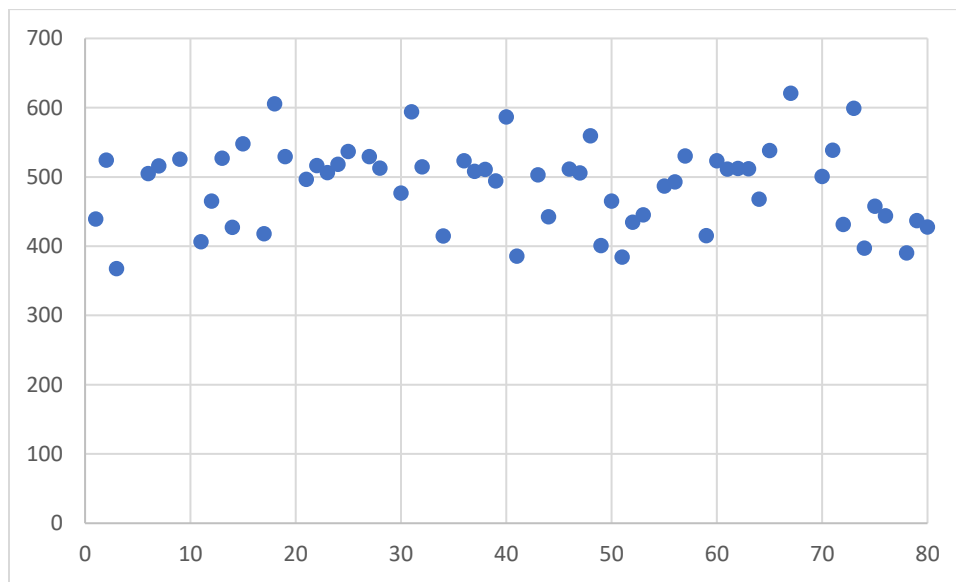


Elaboración propia con datos de Hanushek y Woessmann (2012).

Por su parte Angrist, Djankov, Goldberg y Patrinos (2021) tienen una base de datos de más de 100 países desde 2000 a 2017, aunque no todas las naciones tienen datos para todos los años. El gráfico 3M muestra como ejemplo los datos disponibles para 72 países en el año 2015 del Harmonized Learning Outcome (HLO) que estima el aprendizaje normalizado a una escala que iguale los niveles de resultados de PISA, por ello la escala va de cero a 700.

El valor máximo es de 620.95599 para Singapur y el menor de 361.22455 para República Dominicana. La serie tiene una desviación estándar de $\sigma = 58.58509$, para un promedio de $\bar{X} = 484.6843$, por lo que técnicamente la variabilidad es mayor que la de la serie de Hanushek y Woessmann. En el caso particular de México tiene un registro de 434.80927 y la totalidad de las dispersiones se muestran de manera visual en el gráfico 3M.

Gráfico 3M: Dispersión que muestra los resultados para 2015 de eficiencia de aprendizaje de Angrist, Djankov, Goldberg y Patrinos.



Elaboración propia con datos de Angrist, Djankov, Goldberg y Patrinos (2021).

Si se obtiene la tabla de correlaciones para las tres bases de datos (los datos de PISA, los de Angrist, Djankov, Goldberg y Patrinos y los de Hanushek y Woessmann) se obtienen los datos presentados en la tabla 3C.

Es notorio que, dado que las dos bases de datos presentadas en los textos mencionadas se basan en las pruebas PISA, la relación entre ellas es bastante alta. En especial la

relación entre la serie “Learning” y la de PISA es casi perfecta. Sin embargo, no debe pensarse que es la misma serie.

Tabla 3C: Correlaciones entre series de calidad educativa.

	pisa	learning	cognitve
pisa	1		
learning	0.9558	1	
cognitive	0.9055	0.871	1

Elaboración propia con todos los datos mencionados en STATA 13.

Existen diferencias sustanciales entre las series pues, aunque una utiliza los datos de PISA como base, estos sufren un ajuste al adecuarse a la metodología de “learning”. Por ejemplo, para los datos que se utilizan para la tabla de correlaciones, el mayor ajuste que se realiza de entre los 52 países en los que se tiene coincidencia es de casi 82 puntos (recordar que los parámetros PISA van de 0 a 700 aproximadamente) para Corea del Sur, y el menor es el realizado para Italia, con 5 puntos de ajuste.

Además, otra diferencia sustancial es que la serie de learning, aunque muy similar a PISA, tiene la particularidad de llenar algunos vacíos, tanto transversal como longitudinalmente. Por ejemplo, para México, se tienen los datos de cada tercer año desde 2000 hasta 2015, pero en esta base de datos también se tiene un dato en parámetros “PISA” para el año 2013 obtenido a partir de los datos de LLECE. Es decir, un dato añadido proveniente de una prueba estandarizada pero expresado en las mismas unidades de medición de PISA.

Transversalmente también se completan algunos vacíos, por ejemplo, Arabia Saudita y Marruecos son dos países que en algún momento participaron en PISA, pero en 2015 no lo hicieron, sin embargo, a partir de sus resultados en TIMSS se tiene una medición de ambos para ese año.

Entonces, si bien las tres series analizadas son similares y tienen los datos de PISA como característica común, la serie de Hanushek y Woessmann es menos útil para los fines de este texto al no presentar datos longitudinales además de incluir variables institucionales no insertas en el capital humano, mientras que tanto los datos brutos de PISA como los datos ajustados de Angrist, Djankov, Goldberg y Patrinos podrían ser de utilidad para el análisis de la relación entre productividad y calidad de la educación.

3.2 La frontera tecnológica y la productividad total de los factores

Una vez analizados los datos que se utilizan como variables independientes, resta presentar a la variable dependiente. La productividad total de los factores se ha concebido por tradición dentro de los estudios del crecimiento económico como una variable proxy del residuo de Solow y, siguiendo el sentido de Nelson y Phelps, teóricamente el país que registre un mayor indicador de esta variable podría ser considerado el líder tecnológico.

Como se introdujo en el primer capítulo, existe una brecha, no menor, entre el incremento bruto del nivel de producción y el incremento bruto de los factores productivos, por lo cual se infiere que este diferencial no puede ser totalmente atribuible ni al aumento del capital ni al del trabajo. En este sentido, la PTF se define exactamente como esa diferencia entre la tasa de crecimiento de la producción y la tasa de crecimiento de los factores de la producción²⁶.

En la práctica, la PTF refleja el cambio en la productividad, pero es innegable que también puede representar a otros fenómenos como las economías de escala o a la variación en la tasa de utilización de la capacidad productiva total (disminución de la capacidad ociosa), es decir, el incremento de la PTF puede ser multifactorial y, en ese sentido, la tecnología y el capital humano aparecen como una de las tantas formas de explicar las variaciones de esta, siguiendo los postulados de los modelos de difusión tecnológica.

En materia de medición de la variable, existen dos propuestas de aproximación que vale la pena mencionar. Por una parte, la metodología KLEMS (capital, trabajo, energía, materiales y servicios por sus siglas en inglés) es propuesta desde la OCDE en colaboración con los institutos de estadística de cada país y algunas universidades. Por ejemplo, para el caso mexicano, la metodología se ajusta a lo propuesto por el Manual del Sistema de Cuentas Nacionales 2008 (SCN) y, según la nota metodológica del INEGI de diciembre 2020²⁷, los resultados se difunden a nivel nacional y para 77 grupos de actividad económica del SCIAN (Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte).

La metodología KLEMS es utilizada por los países de la OCDE; en específico para Europa el proyecto se conoce como EU-KLEMS, y además varios países de Latinoamérica también la emplean bajo el proyecto LA-KLEMS. Sin embargo, dada la interacción con los institutos de estadística de cada país que pueden tener metodologías y sistemas de clasificación

²⁶ No solo el trabajo y el capital se consideran como factores productivos, aunque así sea la concepción original del modelo de Solow. En párrafos venideros se mencionan algunos otros.

²⁷ Disponible en:

<https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2020/StmaCntaNal/PTFK2019.pdf>

heterogéneos, KLEMS no brinda aún una base de datos robusta ni homogénea como sería deseable para esta tesis.

Ante esta cuestión, una segunda forma de medición es la que se encuentra contenida dentro de la Penn World Table, base de datos que suele utilizarse en las estimaciones de crecimiento económico y que aglutina diversos indicadores a nivel agregado para bastantes países. En este sentido, la robustez de la información brindada es mayor y, en cuestiones metodológicas, la variación de las bases de datos no es un problema sustancial ya que la Penn World Table de hecho utiliza los datos de la OCDE y de EU KLEMS (datos de países europeos) y de CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) en conjunto con LA-KLEMS (Feenstra, Inklaar y Timmer, 2015).

Claro está, para poder ampliar los datos de KLEMS y llenar los vacíos resultantes de su base de datos, se utiliza una metodología descrita en los textos de Feenstra, Inklaar y Timmer, para poder estimar el mismo indicador para países que aún no utilizan la metodología KLEMS.

La similitud de ambos indicadores es entendible si se toma en cuenta también el hecho de que una de las principales instituciones que está detrás de la elaboración de ambos es el Instituto de Groningen, el cual a la vez de desarrollar la metodología Penn World Table también colabora con la elaboración de KLEMS. De hecho, cuando uno se acerca a la revisión de los datos de la PWT, desde ese mismo sitio web puede redirigirse también a la revisión de la UE-KLEMS.

Por último, la PWT tuvo una reciente actualización (PWT 10.0 se publicó el 18 de junio de 2021) que permite la recopilación de numerosos indicadores económicos actualizados, desde 1950 y hasta 2019 para 183 países. No todas las naciones reportan la PTF, pero si un número considerablemente mayor respecto a lo que implicaría la utilización de manera aislada de KLEMS.

Entonces, los datos que se utilizan para la representación de la PTF en el presente texto son los de la PWT en su versión más reciente, dadas las ventajas ya comentadas. Cabe mencionar, que la forma de presentación de los datos de la PWT, al referirse a la PTF, es con un índice, en el cual el número base es el 1 que representa al dato de Estados Unidos. Esta cuestión se menciona en una nota al pie en el capítulo 1, pero vale la pena recalcarlo.

El dato de Estados Unidos no debe malentenderse como una cota superior, ya que hay países que exceden ese registro. El número elegido es únicamente para cuestiones de indexación y presentación de datos.

Por último, como ya se había mencionado, la PWT presenta dos estimaciones de la PTF, una a precios de paridad de poder adquisitivo (PPP) y otra que tiene algunas variaciones en los indicadores en los cuales se estima variaciones relacionadas con el bienestar (welfare-relevant-variations). El dato utilizado es el primero, ya que es el recomendado para las comparaciones entre países en un tiempo determinado (Feenstra, Inklaar y Timmer, 2013, pp. 35), tal y como en este texto se propone. La base de datos construida para este texto (que se encuentra disponible para los lectores) también incluye el otro dato de PTF, por si resulta de interés, aun cuando no se utiliza para la obtención de los resultados siguientes.

Una vez presentada la naturaleza de los datos puede realizarse una breve presentación descriptiva de los mismos. El gráfico 3N muestra la PTF para 74 países con valores para 2019. Es notorio que existe una marcada heterogeneidad entre los valores y, como quizá era esperable, el dato atípico de Venezuela (el punto más bajo en la esquina superior derecha) sesga la distribución a la baja.

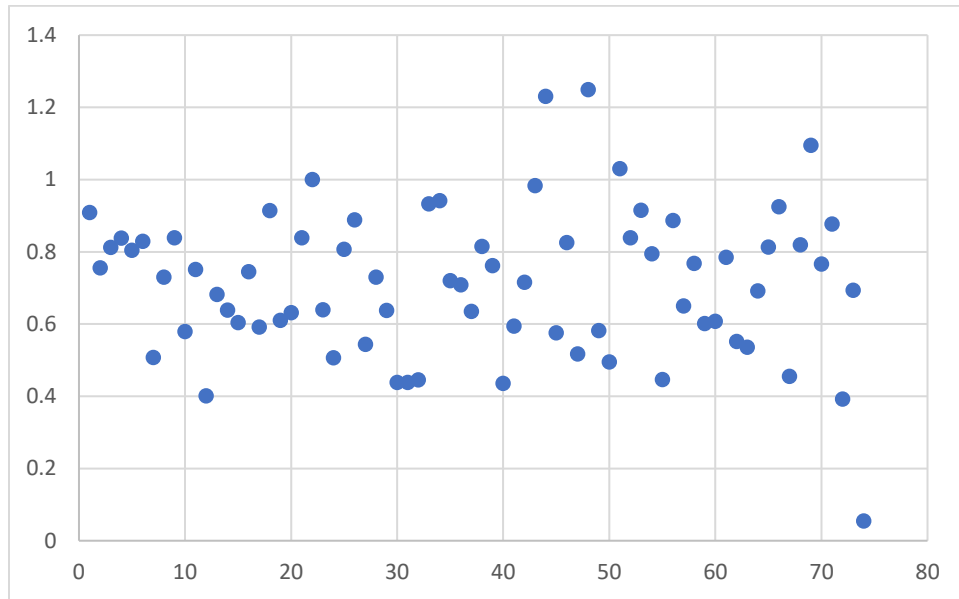
Sin embargo, esta heterogeneidad no puede catalogarse de un fenómeno actual pues está presente desde registros de años anteriores. El gráfico 3Ñ muestra una dispersión para los mismos 74 países del gráfico anterior, pero utilizando datos del año 2000.

Es notorio que la dispersión es similar si se comparan ambos gráficos, sin embargo, puede notarse también que los indicadores han variado de manera positiva, muestra de ello es que la porción de países que ocupa el espacio entre 0.2 y 0.4 es mucho mayor para 2000 que para 2019, fenómeno que en principio no podría ser atribuible a un descenso o estancamiento de Estados Unidos, dado que el número de naciones por encima del 1 que representa a ese país es considerablemente mayor para el año 2000 que para 2019.

Con la exposición de las estadísticas de la PTF se han ya mostrado todas las variables básicas que componen una base de datos con periodicidad de 2000 a 2019 y con hasta 87 países para algunos años. Entonces, una vez analizadas las variables pueden realizarse algunas adecuaciones que nos permitan aproximar aún más a las variables teóricas mediante las variables estadísticas, ya que como se mostrará, puede ser que los registros obtenidos tal y como son presentados en las fuentes de información no se asemejan

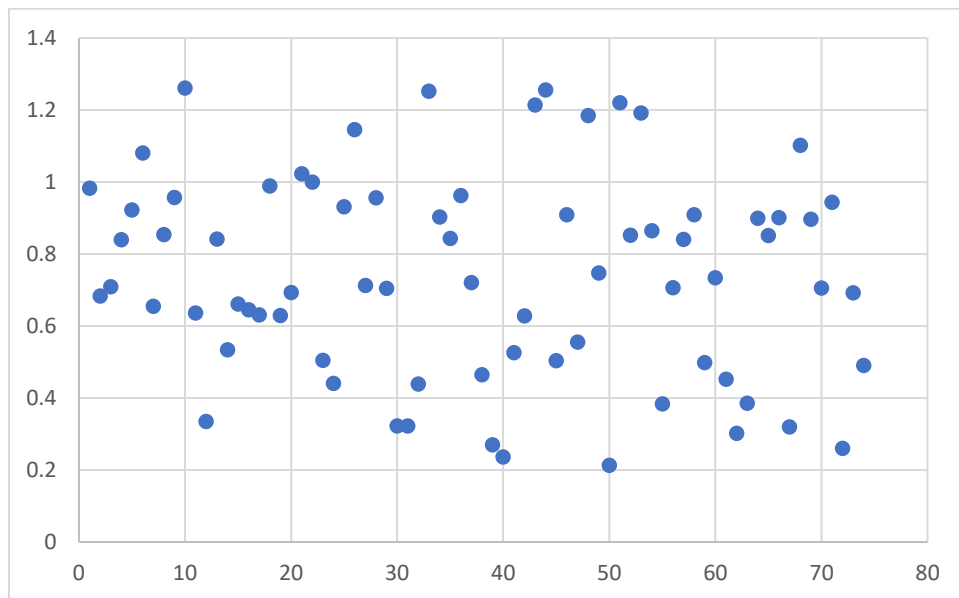
totalmente a los expresado teóricamente, faltando aún algunas pequeñas modificaciones y cálculos.

Gráfico 3N: Dispersión que muestra la PTF para el año 2019 para 74 países.



Elaboración propia con datos de la Penn World Table 10.0

Gráfico 3Ñ: Dispersión que muestra la PTF de los 74 países del gráfico 3N, pero para el año 2000.



Elaboración propia con datos de la Penn World Table 10.0

3.3 Manipulación de las variables y resultados esperados

Las variables presentadas conforman la base de datos que sustenta los ejercicios empíricos posteriores. Sin embargo, es notorio que para algunos casos los datos seleccionados no representan fidedignamente a las variables insertas en los modelos que siguen la lógica de la difusión tecnológica de Nelson y Phelps. Para la consecución de lo anterior se precisa la manipulación de las series de datos para que se asemejen tanto como sea posible a las variables teóricas.

Pensando en la ecuación básica del modelo de Benhabib y Spiegel de 2005 podemos analizar las particularidades de cada término incluido en $g_A = \Phi(h) + \theta(h) * \left(\frac{A}{T}\right) * \left(\frac{T-A}{A}\right)$. Para este fin podemos segmentar las variables del modelo para analizar por separado a cada una de las siguientes: g_A , $\Phi(h)$, $\theta(h)$, $\left(\frac{A}{T}\right)$ y a $\left(\frac{T-A}{A}\right)$.

Primero, g_A se entiende como el incremento de la productividad que será la variable dependiente, teniendo a dos porciones de capital humano explicándola, aquella encargada de la generación de tecnologías propias $\Phi(h)$ y $\theta(h)$ que se encarga de la difusión tecnológica a través de la brecha tecnológica, en su concepción como ventaja $\left(\frac{T-A}{A}\right)$ o como desventaja $\left(\frac{A}{T}\right)$.

Iniciando con g_A , los modelos de difusión tecnológica basados en la idea original de Nelson y Phelps intentan brindar una explicación al desenvolvimiento de A , el residuo de Solow. Ello puede interpretarse en la parte empírica como una estimación de la PTF de manera directa, pero hay también posibilidades alternas.

Por ejemplo, podemos referirnos no solo al nivel de productividad directamente, si no a los incrementos de dicha variable devenidos del proceso de difusión tecnológica y generación de tecnologías domésticas, por ello g_A podría ser también representado como la variación interanual de la productividad total de los factores, $PTF_t - PTF_{t-1}$, o también utilizando la tasa de crecimiento de dicha variable $\frac{PTF_t - PTF_{t-1}}{PTF_t}$.

Es cierto que la estimación de tasas de crecimiento puede entrar en conflicto metodológico con una base de datos trianual (y para la edad promedio quinquenal) y más aún con una cifra indexada (hay que recordar que Estados Unidos tiene una $PTF=1$), sin embargo, no puede omitirse la mención de estas cuestiones, dada la concepción seminal de Nelson y Phelps g_A referido a *growth* of A .

Por otra parte, en cuanto a la cuestión de la frontera tecnológica, es evidente que la PTF es tanto variable explicativa como variable explicada para el presente texto, aunque no tan directamente por el cómo se inserta la variable en cada caso. La concepción de un líder tecnológico proviene de la realización de una comparación de al menos dos valores, en este caso de la PTF del país analizado y la del líder tecnológico.

En ese sentido, para capturar el valor de $\left(\frac{A}{T}\right) * \left(\frac{T-A}{A}\right)$ se utiliza a la PTF de un país determinado, pero en comparación con el mayor registro de esa variable para cada año, es decir, que el líder tecnológico puede ser un país distinto en cada periodo.

Entonces, sea q_i el valor de PTF para el país i , además, sea Q un conjunto parcialmente ordenado (Q, \geq) de todos los valores q_i , entonces T será el elemento máximo de Q si se cumple $\forall q \in Q, q \leq T$. Entonces, el valor de frontera tecnológica $T - A$ para cada país i será $T - q_i$.

En estricto sentido $T - q_i$ no es ni $\left(\frac{A}{T}\right)$ ni tampoco $\left(\frac{T-A}{A}\right)$, pero es notorio que para ambos valores la disparidad entre T y A es lo que le da sentido a la interpretación de estos, por lo que podría representar de buena manera a los dos. Además, aunque pudiera postularse que $T - q_i$ representa de mejor manera a $\left(\frac{T-A}{A}\right)$ que a $\left(\frac{A}{T}\right)$, un intento de utilizar variables distintas para cada uno de esos componentes de manera separada invisibiliza el hecho de que ambos interactúan a través del símbolo de multiplicación en la ecuación teórica, por lo que no debiesen ser separados.

En el capítulo anterior se hace énfasis en la importancia del signo de multiplicación de la ecuación fundamental de Nelson y Phelps al ser la representación teórica de la *Golden rule of education*. Esa misma lógica se sigue aquí para postular que la interacción tanto de $\left(\frac{T-A}{A}\right)$ como de $\left(\frac{A}{T}\right)$ a través de la síntesis Gershenkron-Abramovitz no sería posible al utilizar variables separadas para cada uno de los términos.

Por ello para la elaboración de las pruebas estadísticas se incluye directamente a la brecha tecnológica para analizarse de manera conjunta con el capital humano y, en ese sentido, se apela a que tanto las ventajas del atraso de Gershenkron como su antítesis propuesta

por Abramovitz pueden ser representadas por el uso de $T - A$ o incluso $\left(\frac{T-A}{A}\right)^{28}$, pensando en que su interpretación dependerá de los símbolos del coeficiente obtenido en el modelo, es decir, concebir a la brecha tecnológica como una ventaja o una desventaja.

Entonces, hasta este punto, a partir de la variable PTF pueden definirse varios indicadores y ponerlos en las siglas que se utilizan en la econometría de los apartados siguiente. La PTF será la variable pft y el crecimiento en bruto de esta $PTF_t - PTF_{t-1}$, será ga para utilizar la notación original de Nelson y Phelps. Por otra parte, la tasa de crecimiento $\frac{PTF_t - PTF_{t-1}}{PTF_t}$ la nombraremos gap , añadiendo una “p” que se refiere al hecho de ser una variación ponderada.

Por otra parte, el valor de la frontera tecnológica $T - A$ lo nombraremos $tgap$ referido a *technological gap* y $\left(\frac{T-A}{A}\right)$ será nombrado $tgapp$ ya que es la brecha tecnológica ponderada.

Ahora, en cuanto a la variable de $\theta(h)$, referida al capital humano, la base de datos contiene al menos cuatro variables que nos ayudan a entender dicho stock. Los años de estudio promedio de la población y la edad promedio de las personas son datos obtenidos de manera directa por un hecho concreto que solo requiere recopilación de datos, contrario a los exámenes estandarizados que dan origen a las variables de calidad educativa.

Por ello esas dos variables se utilizan de manera directa y serán nombradas como *estudio* para los años de estudio promedio de la población y *edad* para la edad promedio de las personas.

En cuanto a los indicadores de calidad educativa y efectividad de la educación, la variable “cognitive” queda descartada, dado que al ser dato único su periodicidad no es compatible con este texto. De esta manera se utilizan entonces tanto los datos de PISA y los de la base de datos de Angrist, Djankov, Goldberg y Patrinos a las cuales nombraremos *pisa* y *learning* respectivamente.

Ahora, tanto para *pisa* como para *learning* el uso únicamente del dato aislado puede ser incompleto, más si se ha hecho énfasis en el concepto de brecha tecnológica y sabiendo que pueden existir enormes brechas también en estos indicadores. En otras palabras, el nivel de calidad educativa de una nación se utiliza siempre de forma comparativa; al saber

²⁸ Existe una razón metodológica para la introducción de $\left(\frac{T-A}{A}\right)$, por razones que quedan de manifiesto hasta el análisis de resultados del capítulo cuarto.

de manera aislada que una nación tiene 400 puntos de una determinada prueba puede no dar mucha información, pero esto adquiere mayor relevancia al notar que otra nación con características similares tiene, por ejemplo, 450 puntos.

Esa complicación del entendimiento de la información aislada es menos evidente con parámetros medidos en temporalidades similares a la edad biológica y que por ende su entendimiento resulta más intuitivo, dado que es más fácil interpretar qué significa un año de vida y qué es un año de estudio o cuantos años dura la educación primaria, por ejemplo.

Si se reflexiona en torno a cómo se modela la frontera tecnológica y cómo bajo esa lógica se obtiene el valor de la brecha, puede postularse también una brecha de calidad educativa, donde exista un valor máximo mundial en los registros de pruebas estandarizadas. Es decir, podríamos operar de la misma forma que en párrafos anteriores y apelar que existe un elemento máximo tanto en los valores de *pisa* como en los de *learning*, es decir que si R son los datos de PISA para un año determinado y M lo son para Angrist, Djankov, Goldberg y Patrinos, entonces $\exists L: \forall m \in M, m \leq L$ y también $\exists P: \forall r \in R, r \leq P$.

En este sentido, las variables resultantes a partir de los datos disponibles representan una brecha de calidad educativa, $lgap = L - m_i$ para el caso de la variable *learning* y para el caso de los datos de PISA se postula $pisagap = P - r_i$, además de sus versiones ponderadas que serían $lgapp = \left(\frac{L-m_i}{m_i}\right)$ y $pisagapp = \left(\frac{P-r_i}{r_i}\right)$, respectivamente.

Por último, debe mencionarse qué sucede con el componente del capital humano que se refiere a la generación de tecnología propias $\theta(h)$. Representar en específico a esta porción del modelo puede volverse una tarea complicada, dado que depende de las variables T, A y h , las cuales ya están insertas en los otros componentes de la ecuación fundamental del modelo de Benhabib y Spiegel. El proponer cualquier forma alterna de insertar estas variables en un modelo econométrico puede ocasionar problemas de colinealidad, dada la repetición de variables. Este problema es esperable dado que desde la modelización de Benhabib y Spiegel de 1994 la variable (h) aparece en dos ocasiones dentro de la misma ecuación. En la práctica se apela a capturar el efecto de (h) independientemente de si se refiere a la adopción o generación tecnológica, en el entendido de la agregación de efectos totales en la PTF.

Entonces, dadas las mediciones anteriores y la argumentación teórica desarrollada, puede postularse un primer modelo básico sobre el cuál se podría iterar para hacer un primer

análisis para los datos más recientes, y que posteriormente puede ser extendido para todos los años disponibles en el siguiente capítulo.

$$A = \beta_0 + \beta_1(\gamma) + \beta_2(h) + \varepsilon_i$$

La idea general es que la productividad está explicada por un término constante β_0 , por β_1 que es el coeficiente relacionado con algún indicador de brecha tecnológica γ , por β_2 que es el coeficiente asignado a algún indicador de capital humano h y por un término de error ε_i .

A su vez los indicadores de capital humano pueden ser aquellos que fueron descritos en párrafos anteriores, *edad, estudio, pisa, learning, lgap, lgapp, pisagap, pisagapp*, mientras que los indicadores de frontera tecnológica son *tgap* y *tgapp*, todos ellos intentando explicar a A en sus diversas concepciones *ptf, ga* y a *gap*.

Es evidente que no pueden utilizarse la totalidad de variables, por ello se hacen distintos ejercicios para poder seleccionar aquellas más adecuadas. Además, también existe la posibilidad de estimar modelos independientes para la frontera tecnológica y para el capital humano, es decir, $A = \beta_0 + \beta_2(h) + \varepsilon_i$ y $A = \beta_0 + \beta_1(\gamma) + \varepsilon_i$, por ejemplo.

Para finalizar este apartado, se espera que el aporte de los componentes de frontera tecnológica a la explicación de la productividad y por ende el coeficiente otorgado por los modelos econométricos siguientes sea negativo, es decir, encontrar ventajas en una brecha tecnológica mayor.

Caso contrario para los datos de *estudio, pisa, learning* y sus posibles variaciones se esperan coeficientes positivos. Para la variable *edad* dada la existencia de efectos contradictorios que ya han sido mencionados, se espera la predominancia de un efecto negativo, es decir, ventajas en la productividad ante una población joven.

Todos estos coeficientes esperados se añaden a la obvia hipótesis de que todas las variables mencionadas resulten significativas en la explicación del crecimiento económico a través de la productividad.

3.4 Estimación de significancia para el valor más actual

Los siguientes ejercicios presentan métodos de regresión sencillos para establecer relaciones y significancias entre las variables a manera de introducción del uso de la base

de datos y así verificar si los signos de los coeficientes y los valores críticos son lo que se esperan al menos para estas primeras exploraciones.

De aquí al cierre del capítulo los resultados y tablas presentados provienen de la utilización del software STATA 13, mencionando en cada caso el comando que se utiliza, siguiendo la nomenclatura ya establecida en el apartado anterior. Se utilizan los datos para el año 2015, dado que es el último año para el cual todas las variables están disponibles; en el año 2018 se tienen todas las variables, pero no *learning*, dado que el último registro para dicha variable es 2017.

Por ejemplo, al mencionar el comando “reg ptf learning” nos referimos a una regresión en la cual la Productividad Total de los Factores es la variable dependiente y se utiliza como variable independiente a la calidad educativa medida con *learning*. Algo similar sucede con “reg ptf pisa” en la cual la PTF también es la variable dependiente, pero en este caso la variable independiente que aproxima la calidad educativa es *pisa*.

Los resultados de la tabla 3D muestran que la capacidad explicativa de la variable es considerablemente menor a lo que se encuentra con otras variables de calidad educativa en la estimación directa del crecimiento económico en general, pero no en específico para la productividad total de los factores como aquí se propone.

Tabla 3D: Resultados a partir de las regresiones Productividad Total de los Factores para 2015, utilizando como variable independiente a la calidad educativa mediante *pisa* y *learning*.

comando	variable dependiente	variable independiente	coeficiente b_1	$P > t $	R^2 ajustada	# de observaciones
reg ptf pisa	ptf	pisa	0.173901	0.006	0.1075	59
reg ptf learning	ptf	learning	0.000858	0.027	0.0622	63

Elaboración propia usando STATA 13.

Por ejemplo, en la tabla se obtiene una R ajustada de $R^2_{Adj} = 0.1075$ para la primera regresión y de $R^2_{Adj} = 0.0622$ para la segunda, mientras que la que encuentran Hanushek y Woessmann (2012, pp. 275) para su variable “Cognitive” es de $R^2_{Adj} = 0.252$, poco mayor a lo aquí encontrado. Sin embargo, debe enfatizarse que aquí se está explicando a la PTF o residuo de Solow, siguiendo el sentido de los modelos de difusión tecnológica, y no al crecimiento económico en general.

Además, esa mención de que tanto las variables de calidad educativa mostradas en 3C como la de “Cognitive” para el texto mencionado se usan en una primera regresión de

manera aislada es importante ya que dichas variables se complementan a posteriori con otras variables. Por ejemplo, Hanushek y Woessmann añaden el PIB per cápita de los países; en este texto el análisis se realiza de manera conjunta con la frontera tecnológica que es la variable explicativa preponderante.

Lo anterior cobra sentido ya que se ha ya mencionado que la PTF (y también el crecimiento económico) son fenómenos multifactoriales y pensar que una sola variable podría explicar la totalidad de estos sería un error.

Lo que sí puede decirse de ambas variables que representan a la calidad educativa es que, según lo mostrado en la prueba t de la tabla 3D, ambas resultan significativas, lo que nos puede ayudar a inferir que la calidad educativa sí tiene algo que aportar para la explicación de la PTF.

Algo similar sucede con los años de estudio promedio de la población. La tabla 3E nos muestra, siguiendo los mismos parámetros de R^2 y de t , que su aporte a la explicación de la variable es significativo y poco más alto que el de la calidad educativa. Lo anterior es compatible y refuerza lo mostrado por la serie de textos presentados en capítulos anteriores que relacionan fuertemente al logro educativo con el crecimiento. Es plausible pensar que la relación existe y puede plantearse que dicha interacción sucede vía PTF.

Ahora, los resultados referidos a la edad promedio de la población se muestran en la misma tabla y, siguiendo los mismos parámetros de R^2 y de t , es notorio que su aporte a la explicación de la variable es significativo y de magnitud similar a *learning*.

Tabla 3E: Resultados de regresiones de Productividad Total de los Factores para 2015, utilizando como variable independiente al logro educativo y a la edad de la población.

comando	variable dependiente	variable independiente	coeficiente b_1	P> t	R^2 ajustada	# de observaciones
reg ptf estudio	ptf	estudio	0.0380836	0	0.1578	72
reg ptf edad	ptf	edad	0.0087993	0.018	0.0625	74

Elaboración propia usando STATA 13.

Sin embargo, el símbolo del coeficiente no es el esperado, el aporte de la variable *edad* es positivo, contrario a lo que se esperaba. Esta observación (que al menos es así para los datos 2015) puede encontrar un sustento teórico, dados los enfoques diversos que se presentaron en el capítulo primero, pues hablar de una persona de edad avanzada puede

significar un gran stock de conocimientos y aprendizajes que ha adquirido durante un tiempo determinado.

Entonces, el coeficiente obtenido sí tiene sustento, si bien se esperaba que fuesen más importantes las cuestiones relacionadas con pérdida de capacidades cognitivas y físicas o la obsolescencia de cierto tipo de conocimientos. Ambos tipos de direccionalidades son sumamente importantes para el fenómeno económico y quizá a pesar del efecto inverso existente entre ambos, también exista una predominancia de la parte creciente del fenómeno relacionada con el acrecentamiento del stock de conocimiento, al menos para los datos 2015. En este punto el siguiente capítulo abona para la corroboración tanto de los resultados en otros periodos distintos a 2015, tanto de esta variable como de las otras.

Ahora, pensando en el modelo seminal de Nelson y Phelps, la explicación del crecimiento de la productividad g_A , está determinado por la productividad misma dado el establecimiento de la brecha tecnológica $\left(\frac{T-A}{A}\right)$.

En ese sentido para la parte práctica puede proponerse que la ptf del tiempo t pueda estar explicada por el valor de la brecha tecnológica en el periodo $t - 1$. Más aún si se reflexiona sobre las nociones básicas de teoría de la innovación y la tecnología, resulta contraintuitivo pensar que la porción de la productividad que puede ser explicada por la difusión tecnológica no tenga alguna relación con sus propios registros de periodos pasados. El desarrollo tecnológico y su influencia en el crecimiento económico son fenómenos acumulativos.

La tabla 3F muestra la relación existente entre la PTF y la brecha tecnológica del año anterior para 74 países, tanto para la forma $T - A$ como para $\frac{T-A}{A}$. Es notorio que gran parte de la explicación de qué tan productiva es una economía cruza por el hecho de qué tan productiva era ya en el periodo anterior, mostrando a la productividad de una nación como un fenómeno acumulativo y persistente. El R^2 de más del 80% en ambos casos avala dicha conjetura y como muestra el estadístico t , ambas variables son significativas, lo cual era el resultado esperado.

El alto grado de explicación brindado a ptf por su mismo registro en $t - 1$ puede ser un indicador que devela la dificultad de interacción de $T - A$ o de $\frac{T-A}{A}$ con otro tipo de variables aisladas (como todas aquellas de capital humano) y que puedan reportar un R^2 no tan elevado, al ser estadísticamente desplazadas por una variable preponderante.

Tabla 3F: Resultados de las regresiones de Productividad Total de los Factores para 2015, utilizando como variable independiente la brecha tecnológica en 2014, tanto en su forma bruta como ponderada.

comando	variable dependiente	variable independiente	coeficiente b_1	P> t	R ² ajustada	# de observaciones
reg ptf tgap	ptf	tgap	-0.7358302	0	0.8131	74
reg ptf tgapp	ptf	tgapp	-0.2093521	0	0.8638	74

Elaboración propia usando STATA 13.

Además de lo mencionado, el coeficiente relacionado tanto con *tgap* como con *tgapp* es negativo, justo como teóricamente se esperaba que fuera, encontrar ventajas en la difusión de tecnologías a partir de la existencia de la brecha tecnológica.

Al tener lo anterior en cuenta, podemos repetir las regresiones de cada una de las tres variables mostradas en las tablas 3D, 3E y EF, pero incluyendo a la frontera tecnológica *tgap* o *tgapp* junto a cada una de las variables independientes.

Al hacer las ocho combinaciones posibles de regresiones, solamente la calidad educativa medida con *pisa* y en conjunto con *tgapp* y la edad de las personas, pero en conjunto con *tgap* resultan significativas. Las restantes seis variaciones no lo son, aunque en algunos casos se encuentran cerca de los límites de significancia y en la mayoría de ellos conservan el signo de los coeficientes esperados. Todo ello se muestra en la tabla 3G.

Tabla 3G: Resultados básicos de 8 regresiones distintas para estimar la PTF.

comando	variable dependiente	variable independiente 1	coeficiente b_1	P> t	variable independiente 2	coeficiente b_2	P> t	R ² ajustada	Prob > F	# de obs
reg ptf tgap pisa	ptf	tgap	-0.6407909	0.000	pisa	0.0003684	0.063	0.8283	0.000	59
reg ptf tgap learning	ptf	tgap	-0.6407909	0.000	learning	0.0003139	0.062	0.8289	0.000	63
reg ptf tgap estudio	ptf	tgap	-0.9215206	0.000	estudio	0.0057319	0.171	0.8784	0.000	72
reg ptf tgap edad	ptf	tgap	-0.7185181	0.000	edad	0.0047322	0.003	0.8324	0.000	74
reg ptf tgapp pisa	ptf	tgap	-0.2065915	0.000	pisa	0.0003338	0.049	0.8748	0.000	59
reg ptf tgapp learning	ptf	tgap	-0.2068468	0.000	learning	0.0002393	0.105	0.869	0.000	63
reg ptf tgapp estudio	ptf	tgap	-0.2010745	0.000	estudio	-0.0003903	0.933	0.8566	0.000	72
reg ptf tgapp edad	ptf	tgap	-0.2059472	0.000	edad	0.0021341	0.134	0.8662	0.000	74

Elaboración propia usando los resultados obtenidos con STATA 13.

En la tabla se muestra la estimación de *ptf* utilizando a la frontera tecnológica ya sea *tgapp* o *tgap* en conjunto con *pisa*, *learning*, *estudio* y *edad*.

En la misma tabla podemos notar que la variable *pisa* continúa siendo significativa, lo cual refuerza la hipótesis de que la calidad educativa tiene capacidad explicativa para la PTF.

Por otra parte, puede notarse que el coeficiente relacionado con la variable *edad* al usarse en conjunto con *tgapp* continúa siendo positivo, contrario a lo teóricamente esperado pero sustentado en lo descrito en capítulos anteriores.

Además, debe notarse que la brecha tecnológica en sus dos expresiones distintas conserva el coeficiente negativo y la significancia, lo cual parece confirmar los resultados esperados para dicha variable.

Puede notarse también que para todos los casos la prueba *F* nos muestra la significancia conjunta de las cuatro variables de capital humano para la explicación del modelo en conjunción con la brecha tecnológica en sus dos concepciones, y, como era de esperarse, el R^2 incrementa al incluir tanto la edad promedio de la población como la calidad educativa medida por PISA respecto a lo que sucede al utilizar únicamente a la brecha tecnológica. Esto puede confirmar las nociones preliminares de que la brecha tecnológica tiene por sí misma una gran capacidad explicativa, lo cual puede entrar en conflicto al querer incorporar otro tipo de variables con menor aporte a la explicación total.

Los sencillos modelos aquí propuestos no deben tomarse como una verdad absoluta ni como conclusiones. Son una guía para lo que se desarrolla en el siguiente capítulo y son únicamente válidos para el año 2015 utilizando un corte transversal y datos de $t - 1$ para calcular la brecha tecnológica.

Además, los presentes ejercicios se referían a la estimación de *ptf* a través de las variables *edad, estudio, pisa, learning, tgap* y *tgapp*, mientras que las estimaciones de *lgap, lgapp, pisagap, pisagapp* no fueron empleadas, ni tampoco se intentó estimar con ellas a las concepciones alternas de *A, ga* y *a gap*.

El tratamiento de la serie completa y el análisis estadístico a profundidad se realiza en el capítulo siguiente, pero, lo presentado puede comenzar a develar distintas opciones para poder pensar en cómo introducir el capital humano a través de los años de estudio promedio, la calidad educativa y de la edad de las personas para la explicación de la productividad siguiendo la lógica de la difusión tecnológica.

3.5 Consideraciones finales

Al inicio de esta parte del texto se realiza un desglose de los datos estadísticos que podían ser utilizados para validar las hipótesis aquí presentadas en los ejercicios que se realizan en el capítulo siguiente y en concordancia con la teoría de los dos primeros capítulos. Conocer a fondo los detalles y la forma de elaboración de cada una de las series de datos utilizadas permite hacer eficiente el uso de cada uno de esos registros, además de reconocer que, para algunos casos, no existe una única fuente de información y que cada una de ellas ofrece ventajas y dificultades específicas.

En este sentido, lo presentado permitió discernir entre la elección de una u otra serie de datos, por ejemplo, el uso de los datos de KLEMS frente a los de Penn World Table, a la par de corroborar la similitud entre los datos de la prueba PISA y los de Angrist, Djankov, Goldberg y Patrinos.

Una vez seleccionadas las series estadísticas, estas se modificaron para que representen lo más fidedignamente posible la idea original de los modelos de difusión tecnológica, es decir, la productividad de un país no se utiliza directamente como variable independiente, sino más bien la brecha tecnológica proveniente de su nivel de productividad en comparación con aquel registro más alto para esa variable en todos los países. Lo mismo sucede con las variables restantes, al usar el registro original y modificarlo en función de la teoría.

Pensando en el modelo de Benhabib y Spiegel $g_A = \Phi(h) + \theta(h) * \left(\frac{A}{T}\right) * \left(\frac{T-A}{A}\right)$, la productividad, la brecha tecnológica y el capital humano son las variables clave y cada uno de esos factores encuentra similitud con las variables del modelo, apelando a que g_A se refiere a la productividad, usando variaciones o tasas, y que la brecha tecnológica $(T - A)$ puede representar tanto las ventajas del atraso $\left(\frac{T-A}{A}\right)$ como las desventajas de este $\left(\frac{A}{T}\right)$, haciendo necesario un análisis posterior de los resultados para establecer una interpretación en torno a la preponderancia de uno u otro efecto. Esto abre la posibilidad de introducir una diferenciación entre países en función de su stock tecnológico o su productividad actual.

La concepción de brecha aplicada a la frontera tecnológica hace necesaria la aplicación de la misma lógica a las variables que se refieren a la calidad de la educación. En ese sentido, a partir de *pisa* y de *learning* se construyen *lgap*, *lgapp*, *pisagap*, *pisagapp*.

Debe mencionarse que, al pensar en el capital humano, una cuestión fundamental de discusión en la que se deberá ahondar en el siguiente capítulo es el hecho de que cualquier variable proxy de h , como *pisa*, *learning*, *edad* o *estudio* pueda representar al capital humano en relación con la difusión tecnológica (en el sentido de $\theta(h)$), pero no necesariamente a la generación de tecnologías propias $\Phi(h)$, si bien es un factor inserto en la lógica de los modelos como los de Benhabib y Spiegel.

Como se mencionó anteriormente existe una seria dificultad para representar a esa porción de capital humano, ya que el modelo tiene inserto ya una variable que utiliza esos datos; utilizar otra podría implicar problemas de colinealidad e ir en contra del principio de parsimonia. Pero esto también implica la posibilidad de una sobrerrepresentación de los países que sí utilizan a la difusión de tecnologías como mecanismo preferencial para el aprovisionamiento de conocimiento, frente a aquellos países que primen la generación de tecnologías propias.

El dilema es que justo el sesgo contrario, hacia países más desarrollados, está implícito en la base de datos, dado que los países menos desarrollados no suelen estar del todo presentes en los registros y pruebas estandarizadas de calidad educativa.

Más adelante se dará un argumento matemático en el cual se muestra la equivalencia entre las estimaciones tanto con el nivel de productividad como la misma variable, pero representada en forma de brecha. Sin embargo, si aún se considerara que existe un sesgo, una posible salida es el uso de una variable cualitativa que divida a los países en función de su productividad actual, apelando a que ello describe tanto su nivel de ingreso como su stock tecnológico. Una opción viable para no tener que añadir variables de manera arbitraria es separar a los países de manera manual (utilizando la mediana, por ejemplo), para no tener que utilizar variables auxiliares, lo cual posibilita la creación de segmentos por niveles de productividad.

Teniendo ya las ideas de que los resultados al menos para los primeros años concuerdan en gran medida con lo expuesto en los primeros dos capítulos, puede extenderse el análisis a la totalidad de años de la base de datos y la totalidad de variables modificadas en función de la teoría presentada.

4. Estimación de la importancia del capital humano y la difusión tecnológica para la productividad

En el capítulo anterior se introdujo el modelo básico a partir del cual podría estimarse la importancia del capital humano para la explicación de la productividad en conjunto con la frontera tecnológica y bajo los supuestos de los modelos de difusión tecnológica.

El modelo base $A = \beta_0 + \beta_1(\gamma) + \beta_2(h) + \varepsilon_i$ y las posibles variantes individuales para el capital humano $A = \beta_0 + \beta_2(h) + \varepsilon_i$ y para la frontera tecnológica $A = \beta_0 + \beta_1(\gamma) + \varepsilon_i$ se conjuntan con todas las variables estimadas también en el capítulo anterior, a saber, *edad, estudio, pisa, learning, lgap, lgapp, pisagap, pisagapp, tgap* y *tgapp* para la explicación de la PTF (A) en sus diversas concepciones *ptf, ga* y *a gap*.

En ese sentido, este penúltimo capítulo inicia extendiendo el análisis ya realizado para los datos 2015 hacia atrás (hasta el año 2000) y hacia adelante (hasta el 2018) para todos los registros salvo para las variables *learning* y sus conceptualizaciones alternas *lgap* y *lgapp* pues para 2018 aún no se tienen registros.

Lo primero que se realiza es un análisis para la verificación de que cada una de las variables es significativa en la regresión estimada, verificando también la obtención del coeficiente con el signo que se pronostica a partir de la teoría presentada anteriormente. Esto se realiza tanto para la estimación de *ptf* como de *ga* y de *gap*.

Posteriormente, en función de la capacidad explicativa que hayan reportado cada una de las variables construidas, se acota la base de datos general para seleccionar aquellos registros que mejor estimen a la variable dependiente.

Una vez seleccionadas las variables se realizan sub-ejercicios de estimación para poder encontrar y analizar patrones de comportamiento en la predicción de cada una de las variables independientes, filtrando en subconjuntos de países en función del nivel de productividad actual, edad de la población y años de estudio promedio.

En la parte final del capítulo se realizan regresiones de manera conjunta para establecer interacción entre las dos variables explicativas fundamentales, el capital humano y la brecha tecnológica, para la estimación de la productividad.

Finalmente se brindan las pre-conclusiones emanadas tanto de un cúmulo de 378 regresiones lineales distintas y diversos análisis estadísticos (mostrados en el presente capítulo), como del respaldo teórico presentado previamente, a forma de cierre de capítulo

y como una introducción de las conclusiones, implicaciones y recomendaciones que se presentarán en el capítulo final.

4.1 Significancia y coeficientes esperados.

La realización parcial de esta tarea utilizando únicamente los datos para 2015 de la mayoría de las variables da cierre al capítulo anterior y marca la ruta que se sigue en este capítulo. A partir de lo ya analizado se pueden encontrar algunas generalidades, como el hecho de que la mayoría de las variables empleadas sí resultan significativas para la explicación de la productividad en los ejercicios de regresión individual.

Con el ejercicio para 2015 también resulta notorio que los signos de los coeficientes que se esperaban sí fueron los arrojados por las regresiones estimadas, salvo el caso de la variable *edad*. Entonces, a sabiendas de ello se espera que ese patrón específico se repita en los demás años que se estiman a continuación; en otras palabras, a partir de ahora se asume que el coeficiente esperado para la variable *edad* será positivo dado lo que se obtuvo para los datos 2015.

Es así como, al extender el análisis a los años 2000 al 2018 se espera que cada una de las variables de capital humano ya analizadas *edad, estudio, pisa, learning* y las aún no analizadas *lgap, lgapp, pisagap, pisagapp* sean significativas para la explicación de la productividad y que el coeficiente relacionado con cada una de ellas sea positivo.

Para la frontera tecnológica *tgap* y *tgapp* se espera el mantenimiento de la significancia y que el coeficiente estimado sea negativo, tal y como sucedió con los datos del 2015.

Debe mencionarse que esta base de datos presenta registros de hasta 88 países, todos aquellos que han tenido estimaciones de calidad educativa en algún momento comprendido de 2000 y 2018 y basadas en PISA. Sin embargo, el número de observaciones de cada una de las estimaciones varían, en función de las intersecciones de cada conjunto de datos de cada variable y para cada año. Por ejemplo, si Kosovo tiene datos de calidad educativa pero no de PTF para algún año, por obviedad, su dato no estará incluido en esa regresión en particular. Entonces, dependiendo de la variable en cuestión, el tamaño de las observaciones totales varía tal y como se muestra en las tablas del capítulo tercero.

Lo anterior implica que independientemente del total de países que se encuentren disponibles para cada regresión, existen 10 variables distintas independientes para la estimación de *ptf* y para el periodo trianual de 2000 a 2018 (siete registros), con la

particularidad de que no existe registro (aún) para la variable *learning* para el año 2018, lo cual implica que tampoco existe *lgap*, *lgapp* ya que se construyen a partir de la variable no disponible. Teniendo esto en cuenta existen 67 posibilidades de regresiones individuales distintas. Ahora, si se aborda el tema de la significancia de cada una de ellas y el coeficiente asignado a cada una de las variables, entonces tenemos 134 parámetros para observar.

Entonces, por ahora los datos que resultan de interés son el coeficiente de b_1 y el resultado de la prueba t $P>|t|$, dado que hasta este punto el enfoque solo se sitúa en si la variable resulta significativa y si el signo reportado por el coeficiente asignado mediante la regresión corresponde a lo esperado. Para facilitar la presentación de dichos resultados y no mostrar 67 tablas en bruto, la tabla 4A muestra específicamente los coeficientes de b_1 para cada una de las regresiones y la tabla 4B hace lo propio con los resultados de la prueba t $P>|t|$. Los resultados corresponden a las regresiones que tienen como variable dependiente a la PTF y se muestran para cada variable y para cada uno de los años en los cuales se tiene registro.

Tabla 4A. Resultados de la prueba t para evaluar la significancia obtenida a través de regresiones lineales para la estimación de *ptf* por cada una de las variables posibles.

Año	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
Variable proxy	$P> t $	$P> t $	$P> t $	$P> t $	$P> t $	$P> t $	$P> t $
pisa	0.004	0.002	0.002	0.000	0.087	0.006	0.005
pisagap	0.004	0.002	0.002	0.000	0.087	0.006	0.005
pisagapp	0.003	0.002	0.004	0.000	0.075	0.007	0.005
learning	0.001	0.001	0.010	0.000	0.089	0.027	-
lgap	0.001	0.001	0.010	0.000	0.089	0.027	-
lgapp	0.001	0.001	0.020	0.000	0.079	0.022	-
edad	0.000	0.000	0.020	0.003	0.165	0.018	0.033
estudio	0.023	0.004	0.020	0.000	0.001	0.000	0.000
tgap	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
tgap	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Elaboración propia a través de 67 regresiones utilizando STATA 13.

Con base en los resultados presentados en la tabla es notorio que para la mayoría de los casos los resultados que se obtuvieron al final del capítulo anterior se mantienen, lo cual habla de una regularidad existente, si bien aún no se ha discutido lo referente a la capacidad explicativa de cada una de estas variables ni de su bondad de ajuste, ya que este primer apartado únicamente se refiere a la significancia y al signo de los coeficientes asignados.

Tabla 4B. Coeficientes obtenidos a través de regresiones lineales para la estimación de *ptf* por cada una de las variables posibles.

Año	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
Variable proxy	b_1	b_1	b_1	b_1	b_1	b_1	b_1
pisa	0.0017314	0.0024623	0.0017613	0.0015667	0.0010972	0.0012022	0.0010443
pisagap	0.0017314	0.0024623	0.0017613	0.0015667	0.0010972	0.0012022	0.0010443
pisagapp	0.5765943	0.8746154	0.5622031	0.5409595	0.3959579	0.4144215	0.3477237
learning	0.0021758	0.0019321	0.0019496	0.001744	0.001188	0.000858	-
lgap	0.0021758	0.0019321	0.0019496	0.001744	0.001188	0.000858	-
lgapp	0.7833512	0.732282	0.6906225	0.6585681	0.4619378	0.3553941	-
edad	0.0178916	0.0189626	0.0150154	0.0121299	0.0068918	0.0087993	0.008267
estudio	0.0346182	0.041215	0.0401014	0.0388855	0.0343402	0.0380836	0.0397988
tgap	-1.064711	-0.9930599	-0.9519173	-0.9065091	-0.9811062	-0.7358302	-1.000912
tgapp	-0.2346637	-0.21766	-0.225035	-0.2507959	-0.2118143	-0.2093521	-0.0619242

Elaboración propia a través de 67 regresiones utilizando STATA 13.

Podemos notar que para la totalidad de las observaciones el coeficiente reportado por las regresiones es el esperado, haciendo énfasis en lo ya mencionado sobre que a partir de las observaciones del capítulo pasado ahora se espera que el aporte de la variable edad sea positivo.

Ahora, en cuanto a la significancia de cada una de las variables, resalta el hecho de que en casi el 90% de los casos las variables resultan significativas. De hecho, si las perturbaciones ocasionadas por los datos de 2012 no fueran tales, la totalidad de las observaciones resultarían significativas para la explicación de la productividad.

En este sentido, resulta necesario analizar los patrones de 2012 que, dado que afectan no solo a una variable sino a una multiplicad de estas, no parecen ser sucesos atípicos sino más bien la muestra de una irregularidad en alguno de los registros.

Sin embargo, antes de avanzar en esa dirección, debe acotarse que al momento de explorar las conceptualizaciones de productividad no solo se postuló a la *ptf*, sino también a *ga* y a *gap*, que provienen de las estimaciones de la variación interanual de la productividad total de los factores, $PTF_t - PTF_{t-1}$ y de la tasa de crecimiento de dicha variable $\frac{PTF_t - PTF_{t-1}}{PTF_t}$. Por ello conviene replicar un análisis similar a lo presentado recientemente, pero referido a estos dos registros como variables dependientes.

4.1.1 Estimaciones para conceptualizaciones alternas de productividad.

El ejercicio del inciso pasado en el cual mediante 67 regresiones distintas se encuentran patrones para la explicación de la productividad a través del capital humano y la brecha tecnológica se refirió únicamente a la estimación de la variable *ptf*.

En ese sentido, la tabla 4C replica parcialmente dicho ejercicio, pero para la estimación de *ga*. La interpretación de cada uno de los datos es análoga a lo propuesto para la tabla 4A. Continuando con la misma lógica, la tabla 4D muestra los resultados de b_1 para la estimación de *gap*.

Tabla 4C. Significancia de las variables de capital humano y brecha tecnológica para la explicación de *ga* en regresiones lineales.

Año	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
Variable proxy	P> t	P> t	P> t	P> t	P> t	P> t	P> t
pisa	0.210	0.442	0.009	0.720	0.120	0.730	0.551
pisagap	0.210	0.442	0.009	0.720	0.120	0.730	0.551
pisagapp	0.141	0.456	0.014	0.774	0.071	0.869	0.518
learning	0.107	0.445	0.006	0.670	0.112	0.931	-
lgap	0.107	0.445	0.006	0.670	0.112	0.931	-
lgapp	0.080	0.581	0.009	0.712	0.069	0.818	-
edad	0.132	0.460	0.001	0.856	0.001	0.124	0.980
estudio	0.155	0.808	0.029	0.573	0.029	0.460	0.974
tgap	0.004	0.685	0.001	0.001	0.086	0.000	0.956
tgapp	0.020	0.275	0.002	0.006	0.008	0.006	0.985

Elaboración propia a través de 67 regresiones utilizando STATA 13.

En el punto 3.3 del capítulo anterior se menciona la posibilidad de una deficiencia metodológica en el intento de estimación de tasas de variación con el uso de variables independientes que tienen una periodicidad trianual y quinquenal.

Esto queda de manifiesto al notar que los reportes de las tablas 4C y 4D nos muestran que las variables independientes, en su mayoría, no resultan significativas para la explicación de ninguna de las dos variables dependientes, además de no revelar patrón alguno. Por ello el análisis de coeficientes al estilo de lo realizado en la tabla 4B no resulta relevante, ante variables que ni siquiera muestran significancia.

A su vez, las tablas 4C y 4D, además de mostrar la necesidad de decantarnos por la explicación de la variable *ptf* dejando de lado a *ga* y a *gap* por las deficiencias metodológicas ya mencionadas, develan también un comportamiento que quizá no resulta notorio a primera vista pero que será de utilidad en lo que se describe en el apartado 4.2,

por lo que eventualmente se retomarán los resultados de estas tablas aun cuando aquí parecen poco útiles.

Tabla 4D. Significancia de las variables de capital humano y brecha tecnológica para la explicación de *gap* en regresiones lineales.

Año	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
Variable proxy	P> t	P> t	P> t	P> t	P> t	P> t	P> t
pisa	0.167	0.300	0.007	0.561	0.113	0.540	0.660
pisagap	0.167	0.300	0.007	0.561	0.113	0.540	0.660
pisagapp	0.092	0.262	0.014	0.603	0.068	0.438	0.590
learning	0.107	0.389	0.005	0.512	0.105	0.317	-
lgap	0.107	0.389	0.005	0.512	0.105	0.317	-
lgapp	0.064	0.588	0.009	0.543	0.066	0.237	-
edad	0.244	0.497	0.000	0.985	0.001	0.006	0.733
estudio	0.206	0.712	0.041	0.986	0.010	0.465	0.783
tgap	0.262	0.095	0.000	0.045	0.088	0.025	0.412
tgapp	0.341	0.003	0.000	0.102	0.003	0.653	0.027

Elaboración propia a través de 67 regresiones utilizando STATA 13.

4.1.2 Observaciones referidas a 2012.

Los patrones de estimación para 2012 no parecen ser una mera cuestión casual, dado que se repiten para la mayoría de las variables independientes. Por ello resulta intuitivo plantear que dicho comportamiento se relaciona con la variable dependiente, ya que esta es la intersección única de todas las estimaciones no significativas pues ella interactúa con todas las demás variables en cada una de las regresiones.

En la tabla 4D puede notarse que los valores de la media y la desviación estándar para todos los datos de Productividad Total de los Factores se mantienen constantes a lo largo del tiempo. Lo mismo puede decirse del valor mínimo²⁹ de la serie que, si bien tiene fluctuaciones constantes, éstas son tanto crecientes como decrecientes y aparecen en todo el largo de la serie.

Sin embargo, para el valor máximo y, obviamente, para la diferencia entre el máximo y la media de la distribución, existe un pico enorme en 2012, donde Macao (China), reporta una PTF muy alta respecto a los registros históricos. Dicha perturbación no puede atribuirse

²⁹ Quitando Venezuela que tiene una caída estrepitosa con 0.198 en 2015 y 0.065 en 2018. Ambos datos se suprimen para este y otros varios análisis de aquí en adelante. Esta modificación se menciona cada que se realiza.

totalmente a un incremento sostenido de la productividad ya que el valor máximo para los años posteriores vuelve a sus parámetros registrados previo a ese incremento atípico.

Tabla 4E. Estadística descriptiva de la Productividad Total de los Factores de 2000 a 2018.

	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
Media	0.7410372	0.7437183	0.7674877	0.7343989	0.7526489	0.7190326	0.7274638
Desviación estándar	0.2804264	0.2795577	0.2642357	0.2261857	0.26471	0.1916183	0.1908425
Mínimo	0.2129372	0.264865	0.2958263	0.3666813	0.4269286	0.383257	0.3860817
Máximo	1.261545	1.525214	1.691444	1.692694	2.383753	1.374071	1.305392
Diferencia entre la media y el máximo	0.5205078	0.7814957	0.9239563	0.9582951	1.6311041	0.6550384	0.5779282

Elaboración propia con los datos de la serie *ptf* de 2000 a 2018.

En estricto sentido no es un fenómeno únicamente reportado en 2012, ya que desde 2011 dicha nación rompe la barrera del 2 en la PTF y este comportamiento se mantiene hasta 2014, volviendo a reportar 1.37 para 2015. La cuestión es que dentro del periodo de la perturbación el único dato utilizado para los fines de este texto es el de 2012, dada la periodicidad trianual de la serie de calidad educativa.

Estos fenómenos son más fácilmente constatables en la gráfica 4A, en donde es notorio que la mayoría de las tendencias son constantes, salvo la del máximo registro para el 2012, que termina por arrastrar a la diferencia de este con la media de la distribución.

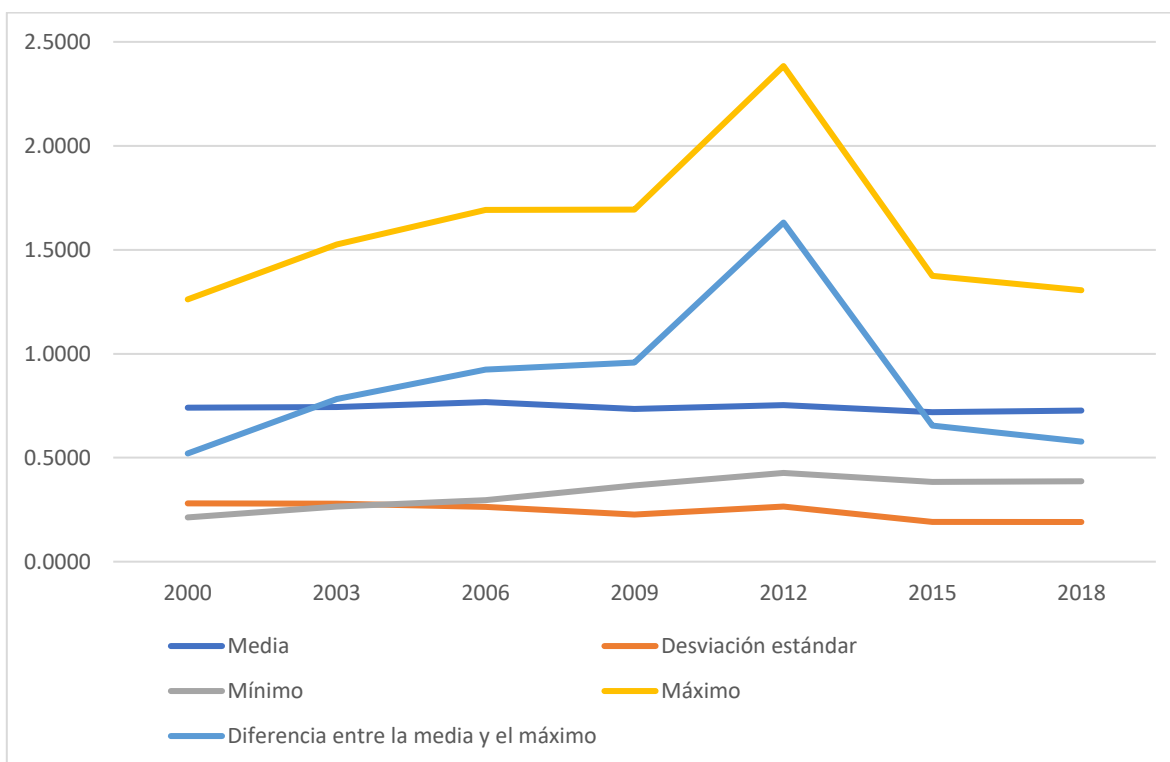
También puede notarse en la tabla y en el gráfico que el valor mínimo tiene un ligero incremento, sin embargo, si se analiza cuánto cambió el mínimo de 2009 a 2012 y cuánto lo hizo el máximo, las comparaciones porcentuales resultan en una proporción de casi 1:3, dado que el incremento porcentual para el mínimo fue de 16% y para el máximo de 40%.

Entonces, el origen del poco ajuste de las estimaciones para el año 2012 puede rastrearse desde los picos de productividad del líder, que por obviedad afectan a cualquier estimación que utilice productividad total de los factores. Esta perturbación no parece afectar a la media ni a la desviación estándar de los datos, ya que ambos registros son muy similares a lo reportado en los demás años de la base de datos.

Este pequeño apartado se propone dado que resulta importante analizar los patrones de comportamiento de las variables en este periodo, pues si la no significancia solo afectara a las variables relacionadas con la calidad educativa podrían atribuirse las distorsiones a la medición de *pisa* y de *learning*, sin embargo, el fenómeno se extiende a la variable *edad*,

que de hecho esta es la variable que más lejos se encuentra de ser significativa para 2012, reportando un $t = 0.165$, mientras que para las variables *pisa* y *learning* los valores son de $t = 0.087$ y de $t = 0.089$ respectivamente. Los años de estudio promedio de la población son la única variable descriptiva de capital humano que permanece significativa incluso en 2012.

Gráfico 4A. Estadística descriptiva de la Productividad Total de los Factores de 2000 a 2018.



Elaboración propia con los datos de la tabla 4E.

4.2 De la selección de variables y capacidad explicativa.

Habiendo explicado lo anterior, se puede discernir entre todas las variables construidas en el capítulo anterior. En 4.1 se utilizaron 10 variables independientes distintas para estimar otras 3 variables dependientes; de esas últimas tres se descartaron a *ga* y a *gap* pues la relación de las variables explicativas con *ptf* es mucho más intensa, significativa y respaldada por la teoría y el tipo de variables que representan, al ser o stocks o flujos.

Ahora, es notorio que salvo para los registros de *edad* y de *estudio*, las otras variables tienen formas alternas de estimación, dada la construcción de variables ponderadas. Para la brecha tecnológica existe la posibilidad de usar *tgap* o *tgapp*, para los datos de la prueba

PISA se tiene $pisa$, $pisagap$ y $pisagap$, similar a lo que sucede con los datos de *learning*, que podrían verse también desde la óptica de $lgap$ o de $lgapp$. Entonces, debe realizarse una elección entre las distintas formas de interpretación de dichas variables.

Previo a esta elección, debe enfatizarse una particularidad estadística en cuanto a las variables medidas como brecha absoluta. Si bien cada una de ellas puede encontrar una interpretación teórica relevante, en el caso de que estas sean usadas dentro de métodos de estadística que impliquen el uso de varianzas (correlación, regresión lineal, etc.), entonces dichas brechas, sin importar la carga teórica contenida, no encuentran diferencia real con la variable base que les da origen. Es decir, para cuestiones metodológico-estadísticas, resulta indiferente usar la *ptf* de manera directa a usar la brecha tecnológica *tgap*.

Puede sonar extraño, pero no es un suceso difícil de conceptualizar. Una forma de notarlo es pensar que, la prueba PISA, por ejemplo, puede ser concebida como una medida de la distancia del puntaje obtenido de un país A con el puntaje mínimo de cero puntos. Ahora, si elegimos al líder de calidad educativa, la brecha entre el país líder y cualquier país también puede ser pensada como una medida de distancia. Ya sea medido respecto del cero o respecto al puntaje del líder, el registro del país A puede ser conceptualizado como una distancia o como valor absoluto. La única diferencia sustancial es la interpretación del símbolo; respecto al cero tenemos una magnitud siempre positiva y respecto del líder el reporte será siempre negativo.

Ahora, dado un país B, la distancia respecto del cero o respecto del líder de calidad educativa, son proporcionales a los registros análogos para el país A, dos comparaciones entre distancias relativa. Sean $PisaA$, $PisaB$ y $PisaL$ los puntajes de la prueba Pisa de un país A, B y del país líder (el que obtuvo mayor puntaje).

Si se cumple que $PisaA > PisaB$, agregando que por obviedad $PisaA, PisaB < PisaL$, entonces es fácilmente demostrable que:

$$PisaA - PisaB = (PisaL - PisaB) - (PisaL - PisaA)$$

Lo cual implica que:

$$PisaA - PisaB = -[(PisaL - PisaA) - (PisaL - PisaB)]$$

Por ello, si lo que se buscan son diferencias entre países, es irrelevante³⁰ medir a las naciones con los datos PISA mediante la variable en bruto *pisa* o en forma de brecha *pisagap*. La distribución de los datos de los puntajes o de las brechas entre ellos seguirán la misma distribución con varianzas homogéneas, lo único que sería susceptible de cambiar es el signo del coeficiente asignado, partiendo de si la brecha se midió como ventaja o como desventaja³¹, pero el valor estimado sería siempre el mismo como también lo sería la capacidad explicativa de la variable.

Es allí donde la variable ponderada *pisagapp* adquiere relevancia, dado que pondera a las variables en función de su reporte inicial y no solo dependiendo de la magnitud absoluta de la brecha. Es por ello por lo que algunas de las variables construidas, aunque teóricamente tengan sentido, para el uso de métodos estadísticos en realidad se estén duplicando. Es decir, en lo que a cuestiones puramente estadísticas se refiere, $pisa \approx pisagap$ y $learning \approx lgap$ por lo que las variables ponderadas *pisagapp* y *lgapp* son aún más importantes y la elección real debe ser entre *pisa* o *pisagapp* y entre *learning* o *lgapp*.

Entre líneas puede inferirse que esto adquiere aún mayor relevancia si se reflexiona en el cómo está construida la conceptualización de brecha tecnológica a partir de la selección de un líder, dado que es un proceso muy similar. Si la variable *tgap* está construida a partir de los registros de PTF en el tiempo $t - 1$, entonces podemos esperar que $ptf_{t-1} \approx tgap$ para cuestiones de análisis estadístico.

Si se analizan la tabla 4B es evidente que los coeficientes de *pisa* o *pisagapp* y los de *learning* o *lgapp* son idénticos. Esto se refuerza con lo mostrado en las siguientes tablas, en donde las variables de tipo brecha guardan una correlación de 1 (o -1 según la conceptualización) con la variable que les da origen.

Lo anterior es un patrón que ya resultaba evidente desde el principio del capítulo, ya que si se analizan a detalle las tablas 4C y 4D es notorio que la equivalencia entre variables es un resultado esperado, dado que al posar la atención en los resultados de la prueba t para la

³⁰ Las diferencias solo son relevantes si el término constante β_0 fuera de interés. Si solo se posa la atención en los coeficientes entonces no existe diferencia alguna teniendo en cuenta que la interpretación puede ser positiva o negativa, como se menciona en el texto, pero la magnitud no varía.

³¹ Teóricamente la existencia de la brecha tecnológica según la lógica de la difusión tecnológica es positiva, siguiendo los postulados de las ventajas del atraso. Contrario a una brecha educativa que, según la misma teoría, sería negativa. Por ello el cálculo puede ser en un sentido u en otro.

estimación de ga y de gap puede inferirse la igualdad para los registros de las estimaciones a partir de variables en bruto o en brecha, no así para las brechas ponderadas.

Tabla 4F. Correlaciones para $learning$, $pisa$ y $tgap$ en conjunto con las variables ponderadas.

Variable proxy	tgap	ptft1	pisa	pisagap	learning	lgapp
tgap	1					
ptft1	-1	1				
pisa	-0.2747	0.2747	1			
pisagap	-0.2747	0.2747	1	1		
learning	-0.207	0.207	0.96	0.96	1	
lgapp	-0.2134	0.2134	0.9724	0.9724	0.9885	1

Elaboración propia con STATA13.

Es curioso que la no significancia y los coeficientes distintos a los esperados, es decir, la aparente inoperancia de las variables para la estimación de ga y de gap nos muestran la similitud estadística entre las variables. Técnicamente, al menos para estimar ga y gap los pares de variables mostradas son exactamente iguales en su deficiencia.

Entonces, lo anterior nos muestra que las decisiones de qué variables usar se remiten únicamente a ptf_{t-1} o $tgapp$, $pisa$ o $pisagapp$ y $learning$ o $lgapp$, dejando de lado todas aquellas variables que propongan una brecha sin estar ponderada. Establecido lo anterior puede iniciarse un análisis de cada uno de estos pares de variables para indagar en la conveniencia en el uso de una u otra.

Iniciando con ptf_{t-1} o $tgapp$, es claro que el uso de la frontera tecnológica en términos absolutos $tgap$, dada su igualdad estadística $ptf_{t-1} \approx tgap$ ya comentada, ocasionaría que la regresión fuera el equivalente a un modelo con rezagos. Esto tiene sustento teórico, dado que la brecha tecnológica y la productividad son fenómenos que podrían entenderse bajo la lógica del *path dependence*, sin embargo, los alto registros de R^2 de dicha variable ponen en entredicho la posible interacción con otro tipo de variables que tengan una bondad de ajuste menor, como el capital humano y sus distintas formas de medición.

La tabla 4G nos muestra que la variable $tgap$, que para el caso funciona igual que ptf_{t-1} , reporta sistemáticamente una mayor bondad de ajuste que $tgapp$. Sin embargo, justamente estos los altos reportes donde casi la totalidad de la variable ptf está explicada por $tgap$ pueden decantar la elección hacia $tgapp$, en la búsqueda de poder establecer alguna interacción con otra variable en el momento que se estimen las regresiones multivariadas.

Tabla 4G. R^2 ajustada en la estimación de la ptf al utilizar las variables referidas a la brecha tecnológica.

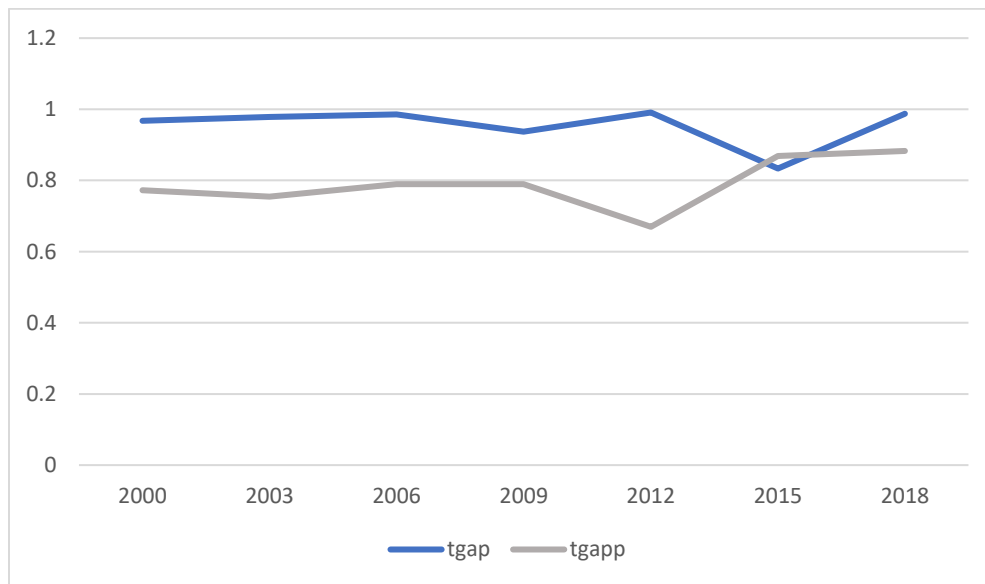
	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
tgap	0.9679	0.9785	0.9856	0.9367	0.991	0.8335	0.9879
tgapp	0.7729	0.7546	0.7899	0.7892	0.6698	0.8686	0.8829

Elaboración propia a partir de los resultados de 14 regresiones en STATA13³².

Además, la formulación al estilo $\frac{T-A}{A}$ respeta el legado clásico de los modelos de difusión tecnológica pues es la brecha exacta propuesta por Nelson y Phelps. Dicha variable reporta una R^2 ajustada alta, pero en el mejor de los casos dejando aún espacio para la interacción con otras variables, como las referidas al capital humano.

En el gráfico 4B resulta notorio que, salvo para el caso de 2015, la R^2 obtenida a partir de la variable $tgap$ permanece por encima de aquella obtenida con $tgapp$. Sin embargo, por los motivos ya mencionados puede preferirse a la variable $tgapp$ sobre $tgap$.

Gráfico 4B. R^2 ajustada en la estimación de la ptf al utilizar las variables referidas a la brecha tecnológica.



Elaboración propia con los datos de 4G.

³² Para los años 2015 y 2018 se elimina el dato de Venezuela, dada la caída de su productividad de forma estrepitosa, que sesga la distribución de los datos. Solo en el periodo mencionado la productividad de dicha nación se redujo a menos de un noveno de lo que era en 2014, por causas no estrictamente relacionadas a los fenómenos analizados en este texto.

Ahora, al posar la atención en las variables que representan a la calidad educativa y que utilizan a la prueba PISA, como puede resultar obvio dada la explicación ya ofrecida, la R^2 obtenida a partir de la variable *pisa* es exactamente la misma de aquella obtenida con *pisagap*. La tabla 4H muestra dichos valores y, apelando a que $pisa \approx pisagap$, en el gráfico 4C ya solo se muestran dos variables, cuyos comportamientos son bastante similares.

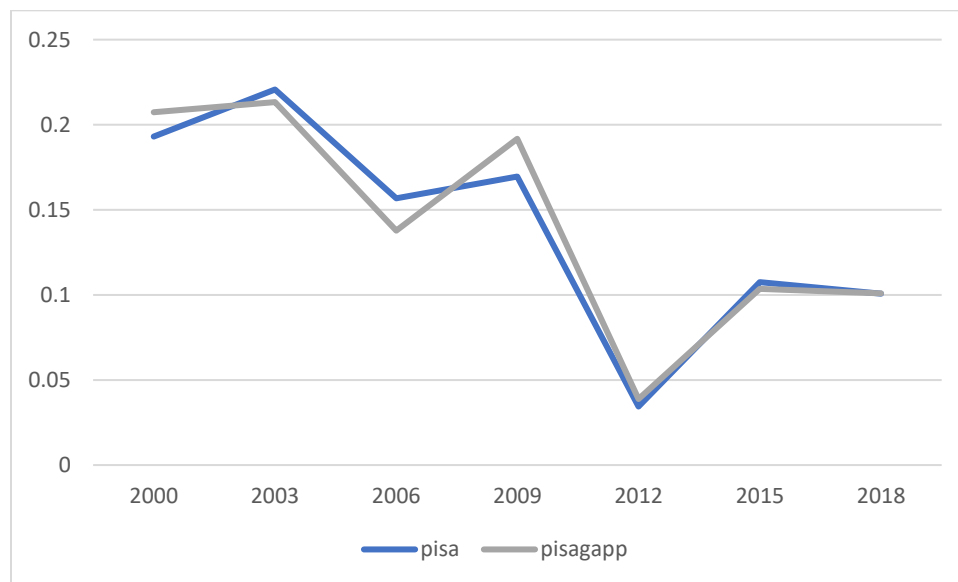
El gráfico 4C muestra los mismos resultados de la tabla 4H para poder notar de manera visual la similitud en las capacidades explicativas de *pisa* y de *pisagap*. Por obviedad la variable *pisagap* no se incluye en el gráfico pues la línea correspondiente estaría superpuesta a aquella de *pisa*. Los comentarios a detalle de esta gráfica se realizan en los párrafos venideros y en conjunto con lo relacionado con la variable *learning*.

Tabla 4H. R^2 ajustada en la estimación de la *ptf* al utilizar las variables referidas a la calidad educativa medidas con prueba PISA.

	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
<i>pisa</i>	0.193	0.2207	0.1568	0.1695	0.0344	0.1075	0.1007
<i>pisagap</i>	0.193	0.2207	0.1568	0.1695	0.0344	0.1075	0.1007
<i>pisagapp</i>	0.2073	0.2133	0.1377	0.1917	0.0388	0.1036	0.1009

Elaboración propia a partir de los resultados de 21 regresiones en STATA13.

Gráfico 4C. R^2 ajustada en la estimación de la *ptf* al utilizar las variables referidas a la calidad educativa medidas con prueba PISA.



Elaboración propia con los datos de 4H.

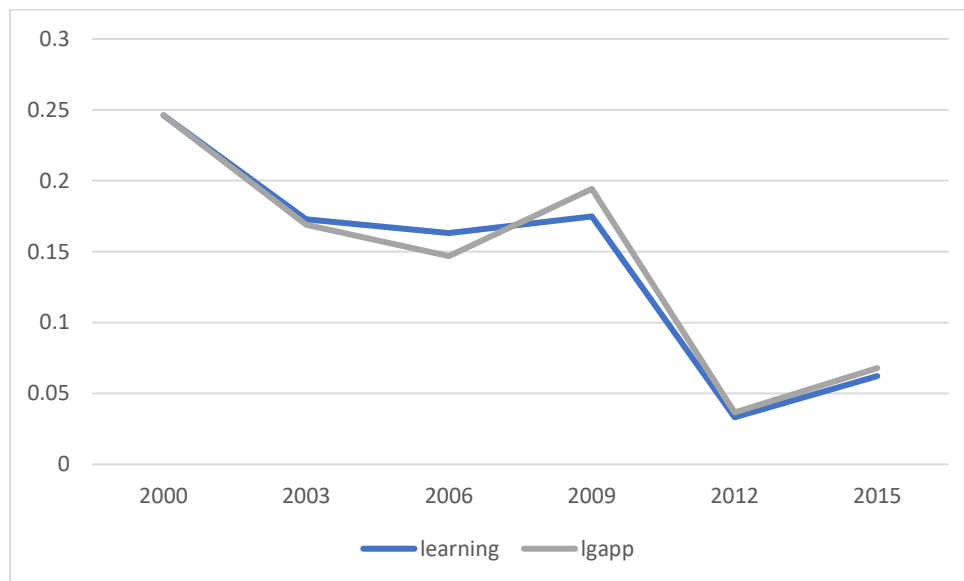
De manera similar a lo que sucede con los datos provenientes de PISA, la variable *learning* sigue un comportamiento similar como se muestra en la tabla 4I. Como se puede intuir, dado que $learning \approx lgap$, los resultados arrojados para ambas variables son los mismos. Por ello en el gráfico 4D se utilizan únicamente dos variables, *learning* y *lgapp*.

Tabla 4I. R^2 ajustada en la estimación de la *ptf* al utilizar las variables referidas a la calidad educativa medidas con la variable *learning*.

	2000	2003	2006	2009	2012	2015
<i>learning</i>	0.2461	0.1729	0.1631	0.1748	0.0332	0.0622
<i>lgap</i>	0.2461	0.1729	0.1631	0.1748	0.0332	0.0622
<i>Lgapp</i>	0.2462	0.169	0.1469	0.1943	0.0366	0.0678

Elaboración propia a partir de los resultados de 18 regresiones en STATA13.

Gráfico 4D. R^2 ajustada en la estimación de *ptf* al utilizar las variables referidas a la calidad educativa medidas con la variable *learning*.



Elaboración propia con los datos de 4I.

A partir de lo mostrado en el gráfico 4D (y recuperando lo visto en el gráfico 4C) no existe una diferencia importante entre el uso de los datos en bruto respecto al uso de brechas ponderadas, como sí sucedió con la brecha tecnológica en el cual los valores cambiaron sustancialmente. Esto puede atribuirse a un sesgo en la medición de la calidad educativa por los formatos tipo examen en donde las diferencias entre un “buen” estudiante y uno “malo” (obtener 5 y 10 en la nota de un examen, por ejemplo) no están en la misma

proporción que las diferencias de un país con una alta productividad y uno con bajos registros en dicha variable, en donde técnicamente la productividad “no tiene” límite superior.

Para el año 2015 que es el más reciente del que se dispone la totalidad de la base de datos, por el faltante de *learning* en 2018, la diferencia entre el registro más alto de *ptf* que es Macao, y el menor registro que pertenece a Tailandia (Venezuela, Ucrania y Kirguistán reportan una menor cifra, pero para ese año no tienen registros de calidad educativa ni de *pisa* ni de *learning*), hay una brecha de magnitud mayor a 4, mientras que utilizando a esos mismos países pero tomando la brecha en la calidad educativa la magnitud no llega ni a 1.

Es cierto que las diferencias en las productividades de los países pudieran argumentarse como mayores respecto a las diferencias en cuestiones educativas, sin embargo, la naturaleza misma de los datos de calidad de la educación en conjunto con la muestra de países que integran a la prueba PISA hace que las diferencias en dichos resultados no sean tan exacerbadas. Técnicamente no existe un tope para qué tan productivo pueda ser un país, como sí lo existe para el máximo puntaje obtenible para un alumno X en un examen tipo PISA.

Además, es también entendible que los países que pudieran reportar una brecha más grande en la calidad educativa no realicen siquiera dichas mediciones. Aunque para la construcción de la variable *learning* se realiza un gran esfuerzo por extender las bases de datos hacia países menos representados, la realidad es que los países con mayores deficiencias educativas casi nunca se encuentran dentro de las evaluaciones estandarizadas, lo cual exagera este sesgo.

Para finalizar este apartado conviene realizar una comparativa entre las variables *learning* y *pisa*, dado que intentan estimar el mismo concepto y tienen correlaciones bastante altas entre ellas.

La tabla 4J presenta la diferencia de valores entre la R^2 ajustada al tomar el valor reportado por la regresión al usar la variable *pisa* y restarle el mismo valor, pero referido a *learning*. Es decir, el valor es positivo si para ese año la variable *pisa* tiene una capacidad explicativa mayor; caso contrario, si es que *learning* tiene un mayor registro de R^2 ajustada el valor presentado en tablas será negativo.

Tabla 4J. Diferencia entre la R^2 ajustada en la estimación de la *ptf* al utilizar ambas variables referidas a la calidad educativa.

	2000	2003	2006	2009	2012	2015
pisa vs learning	-0.0531	0.0478	-0.0063	-0.0053	0.0012	0.0453

Elaboración propia a partir de los resultados de 12 regresiones en STATA13.

Es notorio que no existen muchas diferencias entre ambas variables ya que los valores obtenidos a partir de las restas tienden a cero, además de que de los seis valores estimables tres de ellos son positivos y tres negativos. En otras palabras, si se apela a la refinación de los resultados no existen razones de peso para utilizar una u otra variable, tal como se espera por las altas correlaciones entre ambas.

Sin embargo, los atributos de temporalidad y robustez de la base de datos pueden ocasionar la decantación hacia una u otra fuente de información dependiendo de la cuestión que se analice. La tabla 4K muestra el número de registros disponibles para cada una para ambas variables. Para los años 2000 y 2013 existe una notoria diferencia a favor de *learning*, de 2006 a 2012 las diferencias son de apenas una observación, aumentando a 4 en 2015, todas ellas también a favor de *learning*. Sin embargo, para el 2018 la prueba PISA obviamente sí tiene registros y la variable *learning* aún no.

Tabla 4K. Número de observaciones para cada una de las regresiones presentadas en la tabla 4I.

	2000	2003	2006	2009	2012	2015
learning	40	56	54	68	59	63
pisa	37	38	53	67	58	59

Elaboración propia en función del total de datos disponibles para las regresiones presentadas en la tabla 4J.

Entonces, para estimar el impacto de la calidad educativa en la productividad resulta poco relevante cuál de ambas variables se usen, a menos que se refieran al caso específico de 2003 en donde conviene usar *learning* o a un análisis en el cual se precise el dato 2018 y convenga utilizar *pisa*.

Por ello, al no existir diferencias sustanciales, en los siguientes ejercicios se utilizan ambas series, en el intento de dar aún más validez y robustecer el argumento de la importancia de la calidad educativa en el análisis del crecimiento económico y la no suficiencia de los años de estudio promedio de la población, teniendo más datos, regresiones y resultados que respalden esta postura. Entonces, para todas las estimaciones en las que se haga

referencia a calidad educativa, se utilizan ambas series indicando específicamente cuál se usa en cada uno de los casos.

Para finalizar este apartado vale la pena presentar la capacidad explicativa de dos variables en torno a las cuales no se tiene que discernir pues son registro único, pero sus resultados se presentan para dar el mismo seguimiento y tratamiento que se realizó con las otras variables.

La tabla 4L nos muestra que, salvo para el atípico 2012, la variable *edad* reporta datos consistentes en cuanto a lo que se refiere a la capacidad explicativa cuando se está estimando a la productividad. De igual manera esto sucede con la variable *estudio*, aunque esta no tiene el problema del año 2012, al mantener tanto la significancia, como se mostró en párrafos anteriores, y los niveles de R^2 ajustada tal y como se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 4L. R^2 ajustada en la estimación de la *ptf* al utilizar las variables *edad* y *estudio*.

	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
<i>edad</i>	0.1478	0.1709	0.1158	0.1007	0.0131	0.0625	0.0489
<i>estudio</i>	0.0584	0.1001	0.1215	0.171	0.1384	0.1578	0.1514

Elaboración propia a partir de los resultados de 14 regresiones en STATA13.

Una vez acotada la base de datos a las variables *ptf*, *tgapp*, *pisa*, *learning*, *edad* y *estudio*, se pueden hacer sub-ejercicios estadísticos y econométricos para el refinamiento de la estimación del impacto en la productividad de cada una de las variables, y también para la corroboración de la (no) existencia de alguno de los posibles sesgos de medición que fueron mencionados en el capítulo anterior.

4.3 Frontera tecnológica

Los subejercicios siguientes inician con la variable *tgapp*, dado que es la que mayor relevancia en la explicación de la productividad. Recordando lo presentado en apartados anteriores, es posible postular que la brecha tecnológica ponderada al estilo de Nelson y Phelps tenga una mayor representatividad para la explicación de la productividad de los países menos desarrollados respecto a las naciones con altas productividades. Esto porque la porción $\frac{T-A}{A}$ suele representar a las *desventajas del atraso*, las cuáles, teórica y matemáticamente son cada vez menores en función del desarrollo de un país, es decir cuando $A \rightarrow T$.

Entonces, para analizar lo anterior, podemos subdividir la muestra de 74 países con datos disponibles tanto de *ptf* como de *tgapp* en dos muestras de 37 naciones, ordenadas de menor a mayor. Esto se consigue de manera sencilla con el comando *sort ptf* y posteriormente con el complemento *drop in 1/37* o *drop in 38/88*, en función de si se va a analizar al primer grupo o con el segundo³³.

Para todos los ejercicios subsiguientes se utilizan los mismos comandos, *sort* para ordenar en función de la variable seleccionada y *drop in* para eliminar un cúmulo de datos y dejar únicamente los registros de interés; los números que complementa el comando *drop in* estarán en función de cuántos datos haya disponibles para poder formar dos grupos con el mismo número de registros, siempre dejando al menos 30 observaciones por cuestiones estadísticas.

El primer grupo, mostrado como *tgappA*, está conformado por los países más productivos para cada año, dado que el orden es ascendente, si quitamos los primeros 37 registros nos quedaríamos con los países más productivos; en el caso contrario, el grupo dos o *tgappB* está formado por los países menos productivos. Es claro que un país puede estar en grupo A para un año y después estar en grupo B, dado que ni el nivel de productividad ni la distribución de países en la base de datos son constantes.

Tabla 4M. R^2 ajustada en la estimación de la *ptf* al utilizar la variable *tgapp* y los dos subgrupos divididos por nivel de productividad.

	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
<i>tgapp</i>	0.7729	0.7546	0.7899	0.7892	0.6698	0.8686	0.8829
<i>tgapp A</i>	0.7747	0.8323	0.8452	0.6738	0.8245	0.8368	0.9108
<i>tgapp B</i>	0.8946	0.8973	0.9319	0.9188	0.934	0.8277	0.938

Elaboración propia a partir de los resultados de 21 regresiones en STATA13.

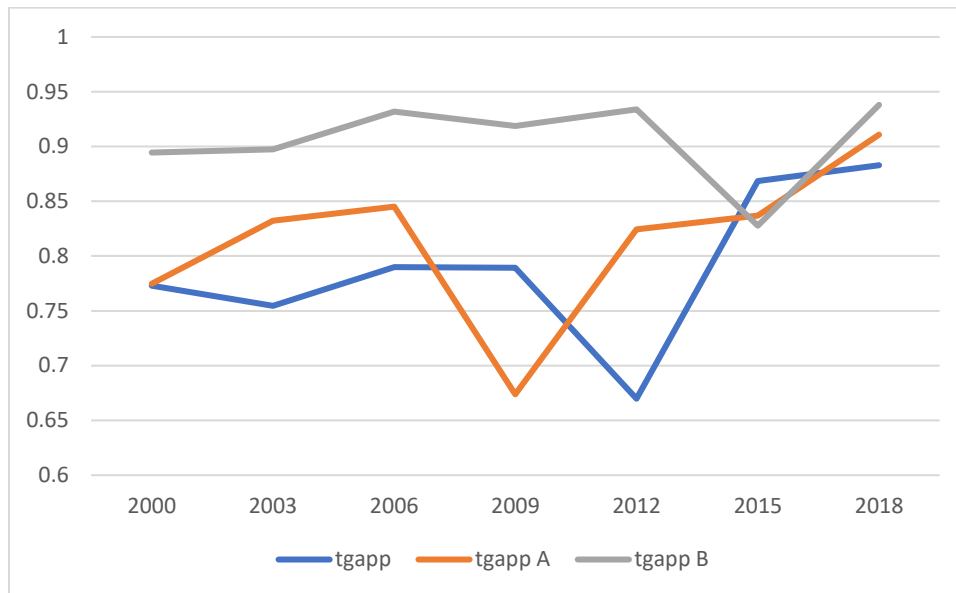
Tanto en la tabla 4M como en el gráfico 4E es notorio que la capacidad de estimación de *tgapp* y de *tgappA* son similares, mientras que la de *tgappB* resulta ser sistemáticamente mayor.

Esto nos muestra que la brecha tecnológica es de suma importancia para la explicación de la productividad en general, tanto para países desarrollados como para aquellos con productividades relativamente menores, aunque es válido postular que para la mayoría de los casos suele estar más relacionada con los países de productividades más bajas. Este

³³ Ya se mencionó que para 2015 y 2018 el dato de Venezuela se omite en estas regresiones.

fenómeno es más fácilmente perceptible al visualizar el gráfico 4E en donde la línea que representa a los países menos productivos se encuentra constantemente por encima del grupo A y del total de países.

Gráfico 4E. R^2 ajustada en la estimación de la ptf al utilizar la variable $tgapp$ y los dos subgrupos divididos por nivel de productividad.



Elaboración propia a partir de los datos de la tabla 4M.

Esto es una muestra del argumento que se ha introducido desde los capítulos iniciales, la importancia de la brecha tecnológica para el entendimiento de los países en desarrollo. Sin embargo, el efecto de la brecha tecnológica y el aprovisionamiento de conocimiento mediante esta vía no es la única explicación de la alta bondad de ajuste de dicha variable.

Por el cómo se construye este indicador y por la similitud estadística ya descrita en donde $ptf_{t-1} \approx tgap$ y dado que al final $tgapp = \frac{tgap}{A}$, las estimaciones de esta variable tienen inserto el *path dependence* de la tecnología y la productividad de los países.

Entonces, se puede dar solidez al argumento de la importancia de la frontera y brechas tecnológicas en la explicación de la productividad de las economías, tanto de aquellas con altas productividades y más aún para aquellas con productividades medio-bajas. La productividad se presenta como un fenómeno persistente, altamente relacionado con el qué tan productivo se era en periodos pasados.

Para finalizar este apartado, al escribir el párrafo anterior se hace una omisión intencional de los países con productividades bajas, dado que la base de datos actual no permite hacer inferencia en esa dirección. Si se ordena para 2018 a las naciones en función de su PTF y en orden ascendente, los primeros países en aparecer (los menos productivos) son Ucrania, Perú, China Continental e Indonesia. Ucrania e Indonesia pueden ser los países menos productivos de entre los que tienen registros de calidad educativa, variable que acota la base de datos, pero no representan totalmente a los países de escasos recursos. Por ello las conclusiones se ven acotadas al menos a países de renta media-baja.

4.4 Calidad de la educación

La segunda variable es la calidad educativa, medida a través de la prueba PISA y de la base de datos de Angrist, Djankov, Goldberg y Patrinos; se espera que, dada la alta relación entre ambas series *pisa* y *learning*, los resultados estimados sean similares entre ambos registros.

Contrario a lo que sucede con la variable de brecha tecnológica, en el sentido de que era esperable teóricamente que al diferenciar a los países por su nivel de productividad se encontrarán resultados distintos en las estimaciones, para el caso de la calidad educativa no se esperan distinciones significativas al usar sub-grupos de estimación divididos por productividad.

Es necesario precisar que para los primeros años en los que se midió la calidad educativa con los estándares aquí analizados, los países incluidos en la medición no representan una muestra de magnitud considerable como para pensar en hacer subconjuntos representativos. Es decir, si para el año 2000 *learning* tiene solo 40 observaciones y *pisa* 37, no puede plantearse una subdivisión en grupos aún más pequeños. Conforme la muestra de países analizados crece las particiones se posibilitan, por lo que la subdivisión inicia en 2003 para *learning* y en 2006 para *pisa* para apelar a la normalidad de distribución con al menos $n=30$.

Entonces, en un primer momento se analiza a la calidad educativa medida con la prueba PISA separando a los países por sus niveles de productividad de cada año. De la misma manera que en el apartado 4.3, los países del grupo A son las más productivos para el año en cuestión y los del grupo B aquellos con menor productividad.

La tabla 4N muestra que la subdivisión por países no arroja resultados significativos para ningún año en ningún subgrupo de análisis. En este caso los valores mostrados son los

referidos a la prueba *t*. Esto puede dar luz al hecho de que al disminuir el tamaño de la muestra la variable pierde significancia, lo cual no sucedería en el caso de que dicha variable sí representase de mejor manera a alguno de los dos grupos de países.

Tabla 4N. Resultados de la prueba *t* para la significancia en la estimación de la *ptf* al utilizar la variable *learning* y los dos subgrupos divididos por nivel de productividad.

	2000	2003	2006	2009	2012	2015
learning	0.001	0.001	0.010	0.000	0.089	0.027
learning A		0.154	0.572	0.382	0.567	0.298
learning B		0.173	0.056	0.059	0.597	0.355

Elaboración propia a partir de los resultados de 16 regresiones en STATA13.

El mismo análisis se replica para la calidad educativa pero medida con la variable *pisa*. Como se muestra en la tabla 4Ñ y como era de esperarse, los resultados son análogos a lo que se obtiene con *learning* y no existe representatividad para ninguno de los registros.

Tabla 4Ñ. Resultados de la prueba *t* para la significancia en la estimación de la *ptf* al utilizar la variable *pisa* y los dos subgrupos divididos por nivel de productividad.

	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
pisa	0.004	0.002	0.002	0.000	0.087	0.006	0.005
pisa A			0.347	0.406	0.492	0.248	0.025
pisa B			0.057	0.078	0.647	0.664	0.224

Elaboración propia a partir de los resultados de 17 regresiones en STATA13.

Dados los resultados de las dos tablas anteriores es notorio que el dividir a las economías por productividad actual no cobra relevancia para la estimación de la productividad utilizando a la calidad educativa como variable independiente. Ello puede interpretarse en el sentido de que la calidad educativa resulta de importancia para la explicación de la productividad del total de países, independientemente de qué nivel de productividad tengan.

Otra parte de la interpretación aparece desde la óptica de la capacidad explicativa de las variables de capital humano; como se analizó al final del capítulo tercero. Los R^2 estimados, aunque pequeños, son consistentes con los reportados por otros estudios como el de Hanushek y Woessmann (2012). Sin embargo, es cierto también que no llegan a los niveles de explicación de otras variables sumamente relevantes, como la brecha tecnológica.

En ese sentido, en general cuando se separa a la muestra original en dos submuestras, a menos de que el efecto sobre la variable dependiente sea bastante fuerte, la capacidad

explicativa podría perder significancia. Para el caso de la calidad educativa, ninguna de las dos formas de subdivisión en función de la productividad goza de tal relevancia.

Esto se replica y da solidez al argumento anterior si se piensa en la frontera tecnológica y la brecha, que son maneras alternas de analizar la productividad actual de una economía.

Si se replican los análisis anteriores, pero ahora ordenando a los países en función del tamaño de la brecha tecnológica ponderada y no de su productividad actual, las estimaciones permanecen sin lograr ser significativas tal y como se muestra en la tabla 4O. Salvo para el registro del grupo A en el año 2006, tanto para *pisa* como para *learning*, todas las demás estimaciones no son significativas.

Tabla 4O. Resultados de la prueba *t* para la significancia en la estimación de la *ptf* al utilizar las variables *pisa* y *learning* y los dos subgrupos divididos por la magnitud de la brecha tecnológica ponderada para cada una.

	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
Pisa	0.004	0.002	0.002	0.000	0.087	0.006	0.005
pisa A			0.016	0.083	0.96	0.517	0.586
pisa B			0.665	0.348	0.377	0.130	0.045
Learning	0.001	0.001	0.010	0.000	0.089	0.027	
learning A		0.217	0.015	0.089	0.927	0.243	
learning B		0.542	0.761	0.432	0.441	0.174	

Elaboración propia a partir de los resultados de 33 regresiones en STATA13.

Ahora, la subdivisión en grupos parece no haber adquirido relevancia alguna si solo se presta atención a la parte de la tecnología y los conceptos alternos a ella, sin embargo, si se utiliza un análisis similar subdividiendo las muestras en función de la edad promedio de la población los resultados son interesantes.

Al replicar el análisis anterior, pero realizando la subdivisión de grupos por edades y estimando la PTF con la variable independiente *learning*, el grupo B conformado por los países con edades promedio de la población menores reporta valores significativos, mientras que para el grupo A esto no sucede. Recordando, al utilizar el comando *sort* y clasificar a los países en dos grupos con base en su edad, el primer grupo representa a los países con mayor edad promedio y el grupo B lo haría con los países con edades promedio más bajas.

Tabla 4P. Resultados de la prueba *t* para la significancia en la estimación de la *ptf* con *learning* y los dos subgrupos divididos por la edad promedio de la población.

	2000	2003	2006	2009	2012	2015
learning	0.001	0.001	0.01	0.000	0.089	0.027
learning A		0.328	0.060	0.081	0.093	0.575
learning B		0.017	0.013	0.006	0.174	0.036

Elaboración propia a partir de los resultados de 16 regresiones en STATA13.

Sabiendo que los valores de estimación sí son significativos para uno de los subgrupos dado lo mostrado en la tabla 4P, puede analizarse el cómo varía la capacidad explicativa de esta variable. La tabla 4Q muestra que la R^2 ajustada obtenida por *learning* al estimar la PTF y subdividir por grupo de edades, salvo para el atípico 2012, aumenta de manera residual si se usa solo al grupo B respecto a la utilización del total de países. Para los países con edades promedio más altas no se reporta significancia en sus estimaciones, por ello no se muestran sus valores de R^2 ajustada.

Tabla 4Q. R^2 ajustada en la estimación de la *ptf* al utilizar la variable *learning* y los dos subgrupos divididos por edad promedio de la población.

	2000	2003	2006	2009	2012	2015
learning	0.2461	0.1729	0.1631	0.1748	0.0332	0.0622
learning B		0.1569	0.1729	0.19		0.1137

Elaboración propia a partir de los resultados de 11 regresiones en STATA13.

Este patrón se comprueba si se utilizan los datos de la prueba PISA de manera directa, con los cuales el incremento es incluso mayor en el reporte de R^2 ajustada, tal y como se muestra en la tabla 4R, que muestra tanto los valores de $P > |t|$ como de R^2 ajustada obtenidos por PISA al estimar PTF y subdividir en grupos de países. Nuevamente, para los países con edades promedio más altas no se reporta significancia en sus estimaciones, por ello no se muestran sus valores de R^2 ajustada.

Lo anterior puede ser una señal de que una población con edad menor aprovecha de mejor manera las ventajas que una educación de calidad ofrece. En principio puede parecer contraintuitivo, pero tiene sentido en el contexto de la difusión tecnológica, dado que la calidad educativa suele referirse a un concepto relacionado con la educación básica obligatoria y con la capacidad de aprender a aprender e incorporar nuevos saberes en nuestro stock de conocimiento.

Tabla 4R. Significancia y R^2 ajustada en la estimación de la *ptf* al utilizar la variable *pisa* y los dos subgrupos divididos por edad promedio de la población.

	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
pisa	0.004	0.002	0.002	0.000	0.087	0.006	0.005
pisa A			0.074	0.101	0.200	0.152	0.072
pisa B			0.013	0.005	0.183	0.008	0.012
	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
pisa	0.193	0.2207	0.1568	0.1695	0.0344	0.1075	0.1007
pisa B			0.1727	0.2031		0.1748	0.1105

Elaboración propia a partir de los resultados de 17 regresiones en STATA13.

Por ello, una población joven pudiera aprovechar de mejor manera las ventajas de una educación de calidad en un contexto de variaciones de la productividad apalancadas por la difusión tecnológica. Esta explicación se complementa con el análisis de los resultados de la variable *edad* presentados en el apartado siguiente.

Para finalizar con la cuestión de la calidad educativa, debe indagarse en la relación que existe con la cantidad de años de estudio promedio. Ya se ha comentado que ambas variables no tienen una correlación siquiera alta (para 2018 no llega ni a 0.6), por lo que no debiese existir la idea de que el uso de una sola de ambas variables pudiera solventar la explicación de todos los efectos de la educación en la economía.

El sustento para rebatir dicha idea se encuentra al subdividir por grupos de años promedio de estudio a la base de datos tal y como se ha hecho en tablas anteriores. Los datos para el grupo A están conformados por aquellos países con poblaciones que en promedio tienen un mayor logro educativo, mientras que los países agrupados en B son aquellos con un número menor de años de estudio promedio de la población.

Como es notorio en la tabla 4S, al dividir a los países en función del logro educativo y después utilizar a las variables *learning* y *pisa* para la estimación de la PTF se encuentra que los resultados no son significativos. Esto es solo una prueba más de que la relación directa entre ambas variables no existe y dicho argumento cobra fuerza, dado que ambas variables de calidad de la educación presentan el mismo fenómeno.

Todo lo anterior posibilita la reflexión en torno a que la calidad ofertada en la educación es una variable tan relevante para el entendimiento de la productividad como lo son los años

de estudio promedio de la población, sin embargo, su aporte ha sido omitido en el análisis convencional y más aún en el análisis bajo la lógica de la difusión tecnológica.

Además, es interesante notar que independientemente de cuál forma de distinción entre países se proponga, pareciera no haber diferencia para entender el cómo la calidad educativa abona a la comprensión del fenómeno, ya que resulta importante para los países sin importar ni su nivel tecnológico ni la brecha que a partir de ello se genere o el número de años de estudio promedio de la población.

Tabla 4S. Resultados de la prueba *t* para la significancia en la estimación de la *ptf* al utilizar las variables de calidad educativa y los dos subgrupos divididos por años de estudio de la población.

	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
learning	0.2461	0.1729	0.1631	0.1748	0.0332	0.0622	
learning A		0.720	0.282	0.012	0.224	0.505	
learning B		0.002	0.013	0.086	0.653	0.720	
	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
pisa	0.193	0.2207	0.1568	0.1695	0.0344	0.1075	0.1007
pisa A			0.329	0.015	0.312	0.233	0.158
pisa B			0.049	0.08	0.864	0.606	0.814

Elaboración propia a partir de los resultados de 17 regresiones en STATA13.

En la única subdivisión en donde podría argumentarse que sí existe una diferencia al clasificar a las naciones en dos grupos es en aquella realizada a partir de la edad de las personas, donde la calidad educativa se convierte en una variable explicativa más relevante para aquellas naciones que tienen una menor edad promedio de la población.

4.5 Edad de las personas y años de estudio promedio

Resta analizar a las variables *edad* y *estudio*, que son aquellas que provienen de datos directos y en bruto. Respecto a la edad promedio de las personas, como es notorio en la tabla 4T, esta variable no encuentra nivel de significancia al dividir a los países por su nivel tecnológico actual. Es decir, la explicación de qué tan importante es la edad promedio de las personas para la explicación de la productividad no encuentra diferencia en el nivel brecha tecnológica que se encuentren.

Ahora, los datos presentados en la tabla 4U, muestran que, al menos para el periodo de 2000 a 2009, para los países con menores registros en los años promedio de educación la variable edad promedio de la población sí resulta significativa. Este patrón se desvanece a partir de 2012 y no parece tener una explicación teórica relevante.

Tabla 4T. Resultados de la prueba *t* para la significancia en la estimación de la *ptf* al utilizar la variable *edad* y los dos subgrupos divididos por nivel de productividad.

	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
edad	0.000	0.000	0.020	0.003	0.165	0.018	0.033
edad A	0.453	0.439	0.789	0.843	0.765	0.777	0.362
edad B	0.275	0.154	0.086	0.097	0.058	0.046	0.003

Elaboración propia a partir de los resultados de 21 regresiones en STATA13.

Tabla 4U. Resultados de la prueba *t* para la significancia en la estimación de la *ptf* al utilizar la variable *edad* y los dos subgrupos divididos por años de estudio promedio.

	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
edad	0.000	0.000	0.020	0.003	0.165	0.018	0.033
edad A	0.072	0.126	0.613	0.743	0.520	0.734	0.31
edad B	0.003	0.000	0.025	0.039	0.293	0.294	0.14

Elaboración propia a partir de los resultados de 21 regresiones en STATA13.

Aunque parece ser que los resultados de las últimas dos tablas no ofrecen ninguna patrón o tendencia interesante, si se posa la atención a un resultado que ya fue expuesto anteriormente, puede extraerse una observación particular. En 4V se muestra que existe una tendencia hacia el cero en el valor del coeficiente asignado por la regresión lineal en la estimación de la PTF con la edad de las personas.

Tabla 4V. Coeficiente obtenido en la estimación de la *ptf* al utilizar la variable *edad*.

	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
edad	0.0178916	0.0189626	0.0150154	0.0121299	0.0068918	0.0087993	0.008267

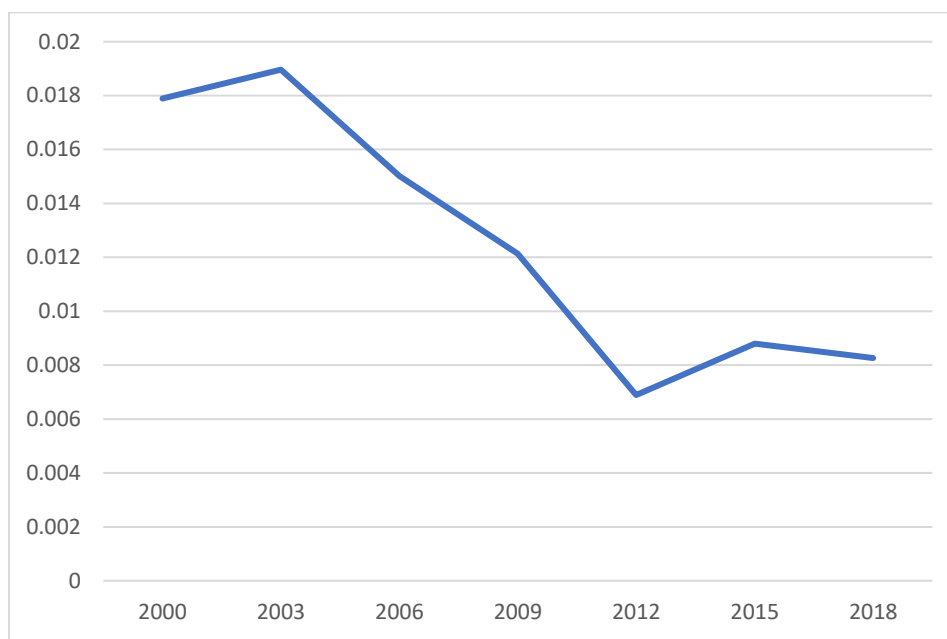
Elaboración propia a partir de los resultados de 7 regresiones en STATA13.

Las dificultades de explicación de la variable *edad* se han planteado desde los primeros capítulos de este texto, con argumentos basados en la idea de que existen fenómenos en direcciones contrarias a partir del envejecimiento de las personas. No puede hacerse inferencia precisa de cómo se comportarán las variables en 2021 y 2024 que serán los registros siguientes, pero la tendencia de los datos de la tabla 4W parece ser decreciente y, de continuar esta tendencia, puede romper la barrera de cero dado que este número no está planteado como cota inferior.

El cambio de patrón a partir de 2012 y la tendencia claramente decreciente pudieran ser indicadores del comienzo en la predominancia del efecto negativo de la edad sobre el efecto positivo. En el desarrollo de los primeros capítulos se plantea que se esperaba que el

coeficiente asignado a la edad promedio de las personas en el análisis de la productividad fuese negativo, sin embargo, los datos muestran que es positivo, aunque cada vez menos, tal y como se representa de manera gráfica en 4F.

Gráfico 4F. Tendencia del coeficiente obtenido en la estimación de la *ptf* al utilizar la variable *edad*.



Elaboración propia a partir de los resultados de la tabla 4W.

Avanzando hacia el análisis de los años de estudio promedio de las personas, tampoco existe diferencia en la explicación de la productividad si dividimos a los países en función de su nivel de PTF actual, dado que para ambos grupos de subdivisión la variable deja de ser significativa. Al igual que con la explicación de las variables de calidad educativa, esto podría mostrarnos que independientemente del nivel de desarrollo productivo de las naciones, el cuánto estudien las personas que conforman su población termina por afectar el nivel de productividad. Estos resultados se muestran en la 4W.

Tabla 4W. Resultados de la prueba *t* para la significancia en la estimación de la *ptf* al utilizar la variable *estudio* y los dos subgrupos divididos por nivel de productividad.

	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
Estudio	0.000	0.000	0.020	0.003	0.165	0.018	0.033
estudioA	0.493	0.943	0.580	0.401	0.944	0.689	0.536
estudioB	0.697	0.801	0.342	0.208	0.056	0.154	0.053

Elaboración propia a partir de los resultados de 21 regresiones en STATA13.

Ahora, si la división no se realiza en función del nivel de productividad general si no por la edad promedio de la población, los resultados confirman los fenómenos referidos en párrafos pasados. La tabla 4Y muestra que, a partir del 2009, los años de estudio promedio son significativos para la explicación de la productividad de los países con una menor edad promedio. Contrario a esto, en seis de siete registros no se encuentra significancia para la explicación de la productividad de los países con una edad promedio mayor.

Tabla 4X. Resultados de la prueba *t* para la significancia en la estimación de la *ptf* al utilizar la variable *estudio* y los dos subgrupos divididos por edad promedio de la población

	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
estudio	0.000	0.000	0.020	0.003	0.165	0.018	0.033
estudioA	0.851	0.790	0.315	0.243	0.079	0.111	0.017
estudioB	0.225	0.153	0.117	0.007	0.003	0.006	0.019

Elaboración propia a partir de los resultados de 21 regresiones en STATA13.

Entonces, los años de estudio promedio de la población son una variable clave para entender la productividad de los países y, a partir del periodo post crisis 2008 y hasta la fecha, parecen serlo aún más para los países con poblaciones más jóvenes.

Dos efectos deben ser destacados, el primero es el hecho de que la educación, medida cuantitativamente mediante *estudio* y cualitativamente mediante *learning* y *pisa*, reportan mayores efectos en poblaciones más jóvenes.

En cuanto al segundo aspecto destacable, es interesante notar cómo el efecto de la edad quizá no sucede de manera directa dentro del modelo econométrico, sino que se refleja en el cómo pueden aprovecharse las ventajas de la educación. Ello va con lo lógica de las tendencias recientes en el estudio del crecimiento económico, conocidas como los *determinantes fundamentales del crecimiento*.

4.6 Regresiones conjuntas

Para comenzar el cierre de capítulo conviene reflexionar que, en los modelos de difusión tecnológica, tanto en el modelo seminal de Nelson y Phelps $g_A = \theta(h) * \left(\frac{T-A}{A}\right)$ como la versión extendida de Benhabib y Spiegel $g_A = \Phi(h) + \theta(h) * \left(\frac{A}{T}\right) * \left(\frac{T-A}{A}\right)$, el capital humano y la frontera tecnológica aparecen en una sola ecuación, por lo que valdría la pena estimar la productividad a partir del uso de las variables independientes en interacción.

La cuestión es que, ante la disparidad de capacidad explicativa de la frontera tecnológica frente a cualquiera de las variables de capital humano, dicho registro eclipsa el aporte de los otros registros.

Las variables *pisa*, *learning* y *estudio* tienen capacidades explicativas menores a la frontera tecnológica, pero que van acorde a lo presentado por la literatura de capital humano y que se adecúan a lo que en este texto se esperaba. La variable *edad* por su parte, tiene una tendencia decreciente en el coeficiente estimado y una capacidad explicativa más reducida respecto a las demás variables referidas en el capital humano.

Contrario a todas ellas, la frontera tecnológica y su expresión en forma de brecha podrían por si solas explicar en más de dos tercios a la productividad de los países y este hecho tiene fundamentos tanto estadísticos como teóricos. Estadísticamente esto es esperable por el cómo están construidas las variables y cómo se disponen los datos. En cuanto a la parte teórica, dados los mecanismos de aprovisionamiento de conocimiento de los países y el *path dependence* de la tecnología y la productividad no es sorprendente que la brecha tecnológica sea la variable preponderante en la explicación de la productividad.

Por ello no es raro que, al introducir todas las variables en conjunto, en la mayoría de los casos, las variables de capital humano pierdan significancia mientras que la variable *tgapp* permanezca con un $t \rightarrow 0.000$.

La tabla 4Y muestra los resultados de la prueba *t* para cada una de las variables de capital humano obtenidas en la estimación de la PTF mediante regresiones bivariadas en conjunto con la variable *tgapp*. En total se realizan 27 regresiones y en todas ellas la variable *tgapp* permanece significativa y con el signo que se esperaba, por lo que no tiene sentido representar sus resultados en este momento y puede enfocarse la atención en los resultados de significancia únicamente de las variables de capital humano.

Tabla 4Y. Resultados de la prueba *t* para la significancia de cada una de las variables de capital humano en la estimación de la *ptf* en conjunto con la variable *tgapp*.

	2000	2003	2006	2009	2012	2015	2018
<i>pisa</i>	0.096	0.267	0.499	0.474	0.530	0.049	0.108
<i>learning</i>	0.042	0.082	0.492	0.430	0.528	0.105	
<i>edad</i>	0.034	0.168	0.708	0.938	0.221	0.134	0.205
<i>estudio</i>	0.038	0.030	0.203	0.336	0.304	0.933	0.001

Elaboración propia a partir de los resultados de 27 regresiones en STATA13.

La tabla muestra que solo para el 22% de los casos la variable de capital humano permanece siendo significativa. Lo anterior es una muestra fehaciente del gran efecto de la variable *tgapp* sobre la productividad y cómo este minimiza el aporte de las variables de capital humano en la mayoría de los casos.

Esto lleva a pensar que, aunque los postulados relacionados con la “*golden rule of education*”, de Nelson y Phelps propongan que la tecnología y el capital humano deben aparecer de manera conjunta, al pasar al análisis empírico las estimaciones del aporte de cada variable pueden necesitar ser calculados de manera separada.

La brecha existente entre variables teóricas y variables estimables es amplia, lo que se traduce en que las mediciones muchas veces no pueden respetar algunos de los supuestos de los modelos de manera fidedigna. Ahora, el hecho de no preservar de manera estricta el supuesto de la regla de oro de Phelps no implica que los postulados generales de la difusión tecnológica no se mantengan, ya que estos yacen fundamentalmente en el entendimiento prioritario de la productividad como la variable explicada o como símil del residuo de Solow para posteriormente impactar en el crecimiento económico.

Es posible que una metodología en la cual las capacidades de estimación dispares no interfieran en la significancia de las variables abone a la interpretación de la interacción de ambos fenómenos de manera sinérgica.

4.7 Consideraciones finales.

El análisis de 378 regresiones distintas, que combinan de diversas maneras las variables en este texto propuestas, posibilita la detección de algunas rutas de pensamiento que, en conjunto con los tres primeros capítulos, llevan a las reflexiones y conclusiones que se comienzan a esbozar a continuación y que se matizan en el capítulo siguiente.

Las pruebas econométricas realizadas muestran que en general el capital humano y la difusión de tecnologías a partir del concepto de brecha tecnológica son parte importante para el entendimiento del crecimiento económico siempre que la explicación circule a través de la productividad o residuo de Solow. Ambas variables resultan significativas para la explicación de la productividad con distintos niveles de bondad de ajuste, tal y como se ha presentado.

En específico el capital humano medido con distintas fuentes de información (no solamente con los años de estudio promedio) reportó significancia en la estimación de la PTF para

casi la totalidad de los registros. En los pocos casos en los que no resulta significativa la regresión realizada puede argumentarse que algunos registros se ven afectados por sucesos atípicos reportados en 2012 y que pueden tener su explicación al analizar tanto las variaciones de las estimaciones de PTF en la época de la crisis 2009 como también la historia económica reciente del líder tecnológico de esos años (Macao).

La difusión de tecnologías (en específico su medición en formada de brecha) reporta una alta bondad de ajuste, lo cual es previsible de principio por razones tanto teóricas como empíricas. Por una parte, las trayectorias tecnológicas y de innovación posibilitan el hecho de que un país con alta productividad (o baja) reporte un registro similar en el periodo siguiente, postulando a la productividad y a la tecnología como fenómenos persistentes y con *path depende*. Empíricamente el cómo se construye la variable de brecha tecnológica devela la alta correlación con la productividad.

Por otra parte, la brecha tecnológica y el capital humano (en cualquiera de sus formas de medición) presentan una importante disparidad en la capacidad explicativa al referirse a la productividad. Esta abrumadora diferencia en las bondades de ajuste entre ambas variables condiciona la significancia de las variables de capital humano, las cuales de manera aislada son significativas y reportan un coeficiente asignado con direccionalidad correcta según lo esperado teóricamente, pero al verse insertas en regresiones bivariadas en interacción con la brecha tecnológica se ven minimizadas y no obtienen resultados satisfactorios en los tests de significancia.

Ante la dificultad de estimación utilizando ambas variables, es necesario posar la atención en los resultados que reporta cada registro de manera aislada, por ejemplo, la brecha tecnológica tiene resultados más importantes para los países con menor productividad, tal y como se esperaba teóricamente.

En cuanto a los datos que se refieren a la educación, tanto a la calidad (medido de dos formas distintas) como a la cantidad, ambos son de mayor relevancia para explicar la productividad de los países con poblaciones más jóvenes que de aquellos con poblaciones más longevas.

En ese sentido, la edad de las personas tiene dos cuestiones relevantes para comentar. Primero el hecho de que contrario a lo que era esperable a partir de las hipótesis iniciales, el coeficiente reportado por la regresión en la estimación de la productividad es positivo, aunque con una tendencia decreciente. En otras palabras, si bien los resultados no fueron

los esperados, parece existir una tendencia hacia la comprobación de esta hipótesis en el futuro.

Por otra parte, la edad parece jugar un papel secundario en la explicación de la productividad, ya que al dividir a los países por sus edades promedio se pueden obtener conclusiones interesantes. Entonces, la variable sin entrar directamente en el modelo funciona como clasificador e interviene de manera indirecta para la estimación de diferenciales en la productividad.

Cada una de las conclusiones y patrones emanados de los análisis teóricos y empíricos puede desencadenar implicaciones de política económica, educativa e incluso de ciencia y tecnología. Por ello conviene indagar de manera específica en las conclusiones e implicaciones particulares tal y como se realiza en el capítulo siguiente.

Además, los resultados de los ejercicios empíricos muestran que, como cualquier investigación, este texto presenta una serie de condicionamientos metodológicos que deben ser remarcados, por ello también en el siguiente capítulo se discute sobre las limitaciones y los alcances de los resultados obtenidos, mencionando también las posibles líneas de investigación que emanan de lo aquí presentado.

5. Capital humano y difusión de tecnologías para la explicación del crecimiento económico. Conclusiones, recomendaciones, alcances y limitaciones.

La literatura en torno al aporte del capital humano al crecimiento económico suele abordar el análisis de esta variable desde un enfoque basado en los modelos de acumulación y no en los modelos de difusión como aquí se ha hecho. Por ello el aporte crucial de este texto se basa en la utilización de la teoría de la difusión tecnológica en conjunto con distintas variables proxy de capital humano para posibilitar la búsqueda de explicaciones al crecimiento económico alternas a lo convencionalmente realizado.

Además de resaltar la valía la teoría de la difusión tecnológica, en este trabajo se exponen también tanto al capital humano como a la brecha tecnológica como variables trascendentales para la explicación del crecimiento económico.

En el siguiente apartado se presentan las conclusiones fundamentales del texto, haciendo énfasis en cada una de las variables explicativas y su relevancia para el entendimiento del crecimiento económico. Estas conclusiones emanan del análisis de una base de datos que va desde el año 2000 al 2018 y que aglutina a todos los países que tienen datos de calidad educativa en formato PISA. Ello implica que las conclusiones son interpretables en esta temporalidad y para un tipo específico de países.

Luego de la presentación de las conclusiones se exponen también una serie de implicaciones y recomendaciones fundamentadas en los resultados expuestos; en este punto se hace énfasis en los resultados específicos para el caso mexicano.

Posteriormente se analizan las principales limitaciones del estudio realizado y los posibles sesgos existentes ya que los resultados e implicaciones mostrados están supeditados a contextos específicos resultantes de la configuración de la base de datos y la fundamentación teórica seleccionada.

Por último, se analizan posibles líneas de investigación emergentes a partir de lo planteado en este trabajo ya que tanto los resultados como las limitaciones del trabajo plantean diversas perspectivas de análisis nacientes de lo aquí presentado.

5.1 Conclusiones fundamentales.

Las conclusiones que se presentan a continuación emanan tanto de la conjunción de las teorías de la difusión tecnológica y del capital humano como del análisis de una base de datos que va desde el año 2000 al 2018 y que aglutina a todos los países que tienen datos

de calidad educativa en formato PISA. Ello implica que, como ya se mencionó, las conclusiones son interpretables solo en esta temporalidad y para un tipo específico de países.

Si se analiza al “capital humano”, el concepto mismo es muy amplio, controvertido, y comúnmente ha sido o excesivamente resumido a la variable proxy “años de estudio promedio de la población” o bien empleado únicamente desde el enfoque la teoría neoclásica del crecimiento económico y los modelos de acumulación.

El aporte de este texto gira en torno a la utilización de la teoría de la difusión tecnológica como marco teórico, postulando que el capital humano puede ser conceptualizado de manera más amplia al utilizar otras variables proxy además del logro educativo. Esto requiere de la interacción del capital humano con la “tecnología”, en el sentido de la *golden rule of education* de Nelson y Phelps, y a través de estos mecanismos se obtienen las conclusiones presentadas a continuación.

Primero, la variable preponderante para la explicación del crecimiento económico en el sentido de las teorías de la asimilación es la brecha tecnológica. La teoría de la difusión tecnológica ofrece una explicación de la productividad o residuo de Solow y la evidencia recabada muestra que el qué tan productivo es un país está estrechamente relacionado tanto con su distancia respecto a la frontera tecnológica como a qué tan productiva era esta nación en periodos anteriores.

Esto adquiere relevancia si se plantea que la brecha tecnológica incrementa su bondad de ajuste si el análisis se posa en los países con un mayor registro en esta variable (los que tienen una menor productividad). En otras palabras, la brecha tecnológica tiene una alta capacidad explicativa para la productividad en general, la cual aumenta si la base de datos se reduce únicamente a los países con menores niveles de productividad, los que por ende tienen una mayor brecha tecnológica. Esto da evidencia empírica para respaldar tanto a las teorías de Nelson y Phelps como a los postulados fundamentales de Gerschenkron.

Por otra parte, la conclusión en torno a que el qué tan productiva sea una economía depende fundamentalmente de cuán productiva esta era en registros pasados se basa en la trayectoria semi estacional de la productividad y las bajas desviaciones mostradas en la base de datos. Los resultados de los ejercicios empíricos respaldan la conclusión de que la productividad es un fenómeno persistente y con *path dependence*, conclusión que se encuentra alineada con la literatura de la tecnología y la innovación.

La cuestión adversa en torno a la preponderancia de la brecha tecnológica en la explicación de la productividad es que tal es su importancia para el entendimiento de la variable dependiente que eclipsa la porción explicable de esta por parte de las variables de capital humano. Esto imposibilita la verificación de la *golden rule of education* y obliga al uso de estimaciones de la significancia de la brecha tecnológica y del capital humano de manera independiente.

Ahora, en cuanto a la educación como variable proxy del capital humano, tanto para la calidad como para la cantidad de educación, la primera conclusión importante es en torno a su capacidad de explicar la productividad, que en las mejores estimaciones llega a un cuarto de la totalidad del fenómeno.

Esto se relaciona con la preponderancia en la explicación de la productividad por parte de la brecha tecnológica, ocasionando que en general las variables de capital humano sean insuficientes por sí solas para el entendimiento del fenómeno del crecimiento económico desde la óptica de la difusión tecnológica. Las R^2 reportadas no son altas, aunque ello no implica una limitante de la investigación dado que dichos registros sí son consistentes tanto con la literatura de capital humano como con los planteamientos fundamentales de este texto. El capital humano abona para la explicación de la productividad tanto teórica como empíricamente, pero no es una variable que por sí sola pueda explicar la mayor parte de los incrementos de la productividad.

Hablando específicamente de la cantidad de educación, respecto al logro educativo o años de estudio promedio, los resultados respaldan el hecho de que sea la variable normalmente utilizada para las estimaciones del stock de capital humano, ya que los registros obtenidos son consistentes a lo largo del tiempo. De hecho, la única variable de capital humano que permaneció sin variaciones en el atípico año 2012 fue justamente el logro educativo.

Entonces, es claro que existen argumentos por los cuales los años de estudio promedio podrían ser la variable preponderante para entender al capital humano, sin embargo, los resultados aquí mostrados también exhiben que, en algunas ocasiones, la calidad de la educación tiene una capacidad explicativa comparable. Esto sumando al hecho de la arbitrariedad que implica la elección entre calidad y cantidad de educación llevan a plantear la necesidad de repensar el papel que pueden tener la calidad educativa y otras variables de capital humano en la explicación del crecimiento económico.

Por ello, en referencia específicamente a la calidad de la educación, además de la bondad de ajuste de la variable, en cuanto a su direccionalidad y otras características, su efecto parece no diferenciar entre países con niveles dispares de productividad. Los resultados muestran que sin importar el nivel de brecha tecnológica de los países los beneficios de la calidad educativa son constatables. Esto abona a argumentar la direccionalidad desde la educación hacia el crecimiento económico y no al contrario que, aunque indudablemente existe, no era la ruta de investigación en este texto. Si solo existiera la direccionalidad desde el crecimiento hacia la educación bajo el argumento de que “los países ricos tienen buena educación porque tienen ingresos para pagarla” la diferenciación por productividad sería al menos significativa. Entonces, independientemente del nivel de productividad de los países, cada nación puede encontrar beneficios en el hecho de ofertar educación de calidad, lo cual sustenta la direccionalidad desde la educación hacia el crecimiento.

Contrario a lo que sucede con el nivel de productividad, la división de países en subgrupos a partir de la edad de su población para luego estimar los efectos de la educación en la productividad da indicios de que las economías con poblaciones más jóvenes pueden aprovechar de mejor manera los beneficios que una educación de calidad reporta y esta conjetura parece también poder extenderse a los datos de cantidad de educación. Esto introduce el análisis de la siguiente variable de capital humano.

La edad de las personas, a primera vista, no reporta el comportamiento que en principio se esperaba. Bajo un enfoque de difusión tecnológica lo más adecuado, teóricamente hablando, es que se reporten ventajas a partir de una población más joven, es decir, que el aporte de la edad fuese negativo. Sin embargo, el coeficiente asignado para la totalidad de regresiones que utilizaron dicha variable y que fueron significativas fue positivo.

Pero incluso cuando los resultados obtenidos no son los esperados, ello deja dos cuestiones relevantes para comentar. La primera es que el aporte positivo reportado por dicha variable en las regresiones presentadas tiene una marcada tendencia decreciente la cual, de mantenerse en el mediano plazo, podría terminar por develar un coeficiente negativo tal y como en principio se esperaba. Esto cobra relevancia para el planteamiento de posibles líneas de investigación futuras una vez que existan más datos disponibles, como se comenta más adelante.

Además, los resultados también muestran la posibilidad de que la edad promedio de las personas no sea una variable independiente que necesariamente se deba ver inserta en

las regresiones estimadas ya que su aporte podría ser taxonómico, en el sentido de clasificar a los países y ver cómo las distintas variables tienen efectos diferenciados para la explicación de la productividad. Al clasificar países por la edad promedio de su población puede notarse que las ventajas de la educación son mayormente aprovechables para las poblaciones más jóvenes. En las posibilidades de crecimiento a partir de la educación pueden concebirse tanto las cuestiones cuantitativas como las cualitativas, es decir, tanto la calidad de la educación como los años promedio de estudio.

Para cerrar este apartado, es claro que el capital humano no brinda una explicación total al crecimiento económico, ni por la vía neoclásica ni por la difusión tecnológica, por lo que no resultará ser la variable mediante el cual logremos comprender a cabalidad las diferencias en los niveles de ingreso ni de productividad de las economías. Sin embargo, no por ello su aporte debe ser subestimado y menos aún algunas de sus variables proxy, como la calidad educativa, omitidas del análisis convencional del crecimiento económico.

De hecho, la basta literatura de crecimiento económico parece ser concluyente en al menos una cuestión, la insuficiencia de cualquier variable por sí sola para el entendimiento del crecimiento. En ese sentido, una explicación fundamentada en el capital humano y la tecnología es igualmente válida frente a cualquier otra variable siempre y cuando la teoría y los datos generen respaldo.

Aunado a ello, en la corta historia que tiene el capital humano dentro de la estimación de importancia empírica de variables para el crecimiento económico (menos de setenta años) se ha logrado mostrar que quizá esta variable es más importante de lo que parecía ser en principio. En este mismo sentido debe reconocerse que cualquier estimación de crecimiento económico tienen detrás teoría, metodología e historia; por ello y por el breve periodo en el que ha existido interés por contabilizar y analizar el papel de las variables de capital humano (y aún más breve para la calidad educativa en especial) es posible que falte un largo trecho de historia económica para la generación de más observaciones de hechos estilizados para lograr entender el aporte de la educación a la economía.

Entonces existe también un aporte teórico y metodológico a partir de este trabajo. Teórico en el sentido de que a partir de esta investigación pueden, por lo menos, dilucidarse patrones y generalidades en los comportamientos de las variables de capital humano analizadas. Claro está, falta aún más investigación, análisis e historia económica representada en series estadísticas que en conjunto posibilite la existencia de conclusiones

más precisas. Pero justo ello es el aporte de este trabajo, al generar rutas de pensamiento y de posible investigación en torno a variables en la cuales no se ha profundizado como se debería; en cuanto a ello, en el apartado 5.4 se analizan algunas propuestas de investigación nacientes.

Ahora, en cuanto al aporte metodológico, este texto expone que incluso cuando existen bases de datos reducidas y desbalanceadas pueden encontrarse mecanismos de análisis que permitan extraer conclusiones relevantes. Este trabajo muestra que la descomposición de los registros en subgrupos de países (con base en la edad de la población, por ejemplo) puede ayudar a lidiar con una base de datos tan acotada e incompleta en algunos periodos.

Todas estas conclusiones (y las implicaciones del apartado siguiente) deben ser interpretadas bajo las limitaciones y sesgos que se desarrollan en el apartado 5.3, quizá el más importante de ellos es que la base de datos representa, como mucho, a los países de renta media, y no es posible indagar en los países de renta baja. En este sentido, una última conclusión surge de reflexionar que, dado que las conclusiones referidas tanto a capital humano como a brecha tecnológica no representan a países de bajos ingresos, pero sí a aquellos de renta media, estas pueden ayudar a la comprensión de uno de los fenómenos del crecimiento económico de las cuales se sabe menos y que además tiene mayores implicaciones para nuestro país: las trampas de ingresos medios.

5.2 Implicaciones y recomendaciones.

Las conclusiones presentadas en el apartado anterior y que fueron obtenidas a partir de la discusión teórica y el análisis empírico llevan a conjeturas en torno a posibilidades de acción por parte de distintos agentes económicos. El foco central de las implicaciones a continuación expuestas serán las posibilidades de incentivar el incremento de la productividad para propiciar el crecimiento económico, a través del acrecentamiento del stock de capital humano y en encadenamiento con las políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI), aprovechando los contextos específicos de ciertos tipos de países.

Las primeras dos implicaciones resultan del hecho de que la frontera tecnológica sea la variable preponderante en la explicación de la productividad. La primera de ellas se relaciona con el hecho de que, aunque la brecha tecnológica implique ciertas ventajas para acelerar el ritmo de crecimiento de la productividad, es cierto también que deben incentivarse los mecanismos para que mínimamente esta crezca a un ritmo poco superior a γ , que teóricamente es el ritmo al cuál crece T . En caso de que este ritmo no sea al menos

igual a γ , las ventajas del atraso a la Gershenkron podrían tornarse en desventajas al estilo Abramovitz, generando un estancamiento irremediable de la productividad. Pensando en el *path dependence* que tiene la productividad según la evidencia mostrada, se sabe que la trayectoria de la tecnología no suele cambiar de manera abrupta, por lo que la necesidad de toma de acción para algunos países es urgente.

En este sentido, la segunda implicación es que, dado que el marco teórico que fundamenta estas implicaciones está basado en la teoría de la difusión tecnológica, las estrategias de incremento de la productividad deben primar los mecanismos de aprovisionamiento de tecnología más utilizados en cada una de las distintas economías. En el largo plazo puede resultar deseable que todos los países produzcan tecnologías propias, pero en el inicio de la convergencia de la productividad la adopción tecnológica (e incluso la copia o ingeniería inversa) es un mecanismo igualmente válido que puede ser susceptible de incentivos dentro de las políticas de CTI. El acrecentamiento del stock tecnológico puede suceder promoviendo el patentamiento, pero también con mecanismos que primen la adopción de tecnologías externas.

Independientemente de la estrategia de acrecentamiento de tecnología que se elija, debe enfatizarse que, bajo el esquema teórico desarrollado en este texto, cada uno de los fenómenos relacionados con tecnología y productividad debe estar irremediamente apalancado por el capital humano. Entonces, cualquier recomendación que se desprenda de este trabajo hacia las políticas de ciencia y tecnología implícitamente requiere la coordinación y la planeación de manera conjunta con las políticas educativas. Es aventurado proponer que la política educativa sea considerada como una herramienta inserta dentro de la política económica y en especial en las decisiones de CTI, pero es evidente que no considerar las condiciones y limitantes del stock de capital humano supone un truncamiento en el corto plazo de los objetivos que cualquier política de este tipo. Es mandatorio plantear que para México y para cualquier país las condiciones de calidad y cantidad de la educación ofertada son uno de los sustentos que comprometen la efectividad de cualquier política de ciencia y tecnología, en el sentido de la *golden rule of education*.

Esto cobra aún mayor relevancia si se piensa en la educación y su forma de medición. Cuando se analiza la cantidad de la educación de los países los mejores registros reportan 12-13 años de estudio promedio, lo cual implica que incluso las naciones con más educación rozarían recién el ingreso a las universidades. Por otra parte, la calidad de la educación suele ser medida en personas de 15 años, próximas a ingresar al bachillerato.

Ello implica que las estimaciones del efecto de la educación en la economía suelen estar más relacionadas con la educación básica y no con la educación de licenciatura y posgrado. Esto da un mayor sustento para reflexionar en torno al papel de la educación, particularmente la básica, en los procesos de innovación y desarrollo tecnológico.

Es cierto que la formación de capital humano especializado, ingenieros e investigadores, puede representar bondades para el incremento de la productividad, pero ello no implica la posibilidad de desestimar a la educación básica en las decisiones de CTI, ya que en realidad es la parte del total de la educación que más sustento empírico tiene para poder relacionarla con el crecimiento económico, dadas las formas de medición comentadas. Entonces, la educación (particularmente la educación básica) funciona como base para la implementación de cualquier política que intente acrecentar la productividad total de los factores, por lo que las acciones de política educativa no pueden encontrarse alejadas y sin articulación con la política económica y de CTI.

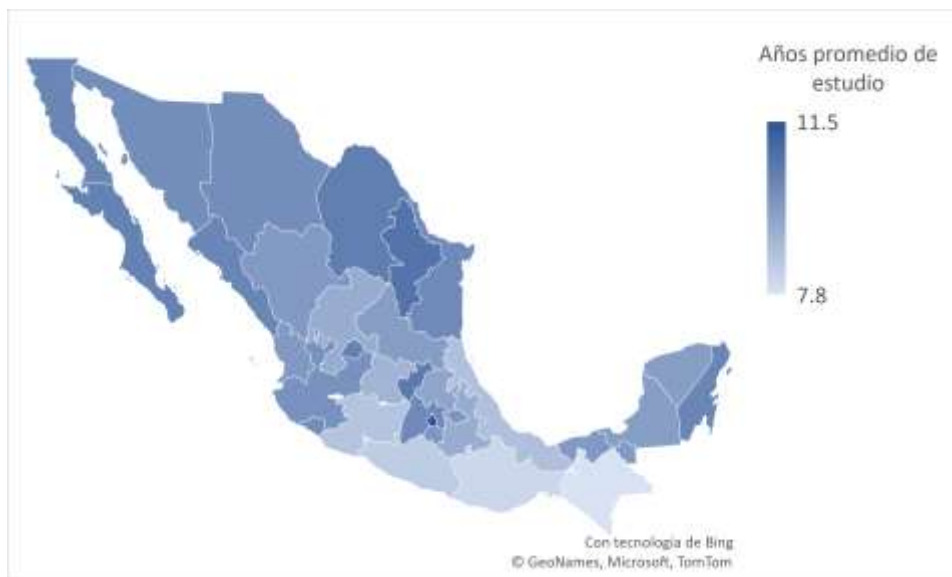
En este sentido, una vez que se ha develado la importancia de la educación en general y de la educación básica en particular, existen algunas implicaciones importantes que son interpretables para la realidad mexicana. Una primera cuestión es que, aunque cada vez las brechas entre las cantidades de educación en los países son menores, ello no implica que dentro de las naciones no existan disparidades. Por ello no deben conceptualizarse a las disparidades educativas como un fenómeno únicamente a nivel mundial.

La figura 5A muestra las entidades federativas de México en función de sus años promedio de estudio. Recordando que el promedio de años de estudio para México ronda los 9, es sorprendente concientizar que en la Ciudad de México se estudian 11.5 años en promedio, con cifras de INEGI para 2020. Esto implica que los habitantes de la capital estudian 2.5 años más que el promedio nacional, implicando la casi finalización del bachillerato y reportando algo similar a los promedios nacionales reportados por Francia y Singapur. Estas disparidades se exacerban si se analiza el peor registro de una entidad federativa mexicana para 2020, reportado por Chiapas con 7.8 años, lo cual implica que la población chiapaneca en promedio no tiene terminada la educación secundaria. La resolución de las disparidades de la oferta en la educación es una urgencia social, pero también resulta impostergable desde las perspectivas económica y tecnológica.

Las implicaciones para México pueden extrapolarse a escala global (o al menos para los países contenidos en el estudio) en el sentido de la necesidad de homogenización de los

registros educativos. En cuanto a la cantidad de la educación se han dado grandes pasos hacia el mejoramiento de la cobertura educativa y los registros cada década son mejores, si bien en la muestra utilizada en este estudio aún hay asimetría negativa, lo cual implica que aún hay trabajo por realizar.

Gráfico 5A. Años de estudio promedio por entidad federativa, México 2020.



Elaboración propia con datos del INEGI.

En cuanto a la parte de la calidad educativa, es complejo plantear la homogenización de una variable en la cual se encuentran registros tan dispares y países sin mediciones. Sin embargo, la proposición de rutas de acción es necesaria ya que es evidente que esta es una variable de interés para la explicación de la productividad y del crecimiento económico, pero además existen innumerables beneficios sociales, civiles y culturales en el hecho de ofertar educación de calidad; teóricamente educar mejor podría ser deseable per se, más allá de los efectos de la educación en la difusión tecnológica, la productividad y el crecimiento económico.

En este sentido, para la mejora de las cifras de calidad de la educación en el mundo entero, resulta trascendental incrementar los esfuerzos de medición de esta variable ya que ni siquiera la mitad de los países del mundo ha dimensionado el problema debido al desconocimiento de su realidad por no ser partícipes de pruebas estandarizadas. Extender los intentos de medición de la calidad de la educación es una necesidad del mundo entero.

En sintonía con el párrafo anterior, no solo deben extenderse las mediciones de esta variable sino incentivar a que los países que ya miden la calidad de su educación continúen haciéndolo. Recientemente hubo rumores y controversia sobre que México no participaría en la prueba PISA 2021(22)³⁴ y existen países que han participado una o dos veces únicamente. Independientemente de si México y otros países participarán en la siguiente edición PISA, la necesidad de su inclusión no debería estar en discusión. Lo que no se mide no puede modificarse.

En cuanto a ello, es claro que medir más no es una acción suficiente para elevar la calidad de la educación, lograr estas mejoras según la evidencia recabada parece no ser un proceso sencillo además de ser un camino lentamente transitable. Las cifras muestran que las variaciones de corto plazo en los resultados en las pruebas estandarizadas son marginales, incluso cuando las mediciones son cada tres años.

En ese sentido, la historia económica y educativa mediante los estudios comparados del desarrollo puede orientarnos sobre las rutas a seguir para los casos específicos de cada país. Lo poco que puede mejorar la calidad de la enseñanza en periodos trianuales es muestra de lo duro que debiera trabajarse para conseguir este fin, mientras que los registros de alta calidad en la enseñanza de naciones con sistemas educativos relativamente jóvenes (Singapur tiene 57 como nación independiente) dan luz y certeza de que el sendero a transitar tiene rutas más y menos eficientes.

Sin importar que se esté hablando de calidad o de cantidad de la educación, debe mencionarse que estos conceptos implican la existencia de brechas educativas. En el mismo sentido de la brecha tecnológica de Nelson y Phelps, si los registros educativos no mejoran a un ritmo al menos similar al cual avanza el líder, las diferencias educativas en el mediano plazo serán aún mayores y más difícilmente franqueables. Esta reflexión adquiere una mayor validez para la parte de la calidad de la educación, ya que los datos muestran estacionalidad, lo que implica que la variación de estos registros no será veloz.

Para cerrar la parte de la educación y apelando tanto a la educación en cantidad como en calidad, la pandemia de coronavirus supuso retos y dificultades serias para los sistemas educativos que se vieron mermados por la imposibilidad de asistir a las aulas y por otras condiciones generadas por el COVID-19. Incluso en ese mar de adversidades puede encontrarse una oportunidad, ya que la educación online demostró que quizá en 2020 no

³⁴ <https://imco.org.mx/mexico-dejara-de-ser-parte-de-la-edicion-2021-de-pisa/>

se estaban explotando las herramientas tecnológicas tan a fondo como podrían, pero la emergencia sanitaria orilló a su utilización intensiva. Ello implica una necesidad de replantear a la educación en la época postpandemia utilizando todos los aprendizajes adquiridos para intentar mejorar las cifras de calidad y cantidad de la educación. Una lección de la pandemia fue mostrar que el uso intensivo de las tecnologías puede ayudar tanto a aumentar la cantidad de educación ofertada como también a enseñar de manera más efectiva.

Ahora, en cuanto a las implicaciones emanadas de las conclusiones del estudio de la edad promedio de la población, dado que no es una variable sobre la cual se tenga un control endógeno al país en cuestión, la recomendación fundamental es el aprovechamiento por parte de algunos países (incluido México) de la oportunidad para el crecimiento de la productividad a partir de la difusión tecnológica utilizando el bono demográfico. El aprovechamiento de la condición de tener una población *joven* puede utilizar tanto a los mecanismos de educación como los de aprovisionamiento de conocimiento por distintas vías, descritos en párrafos anteriores.

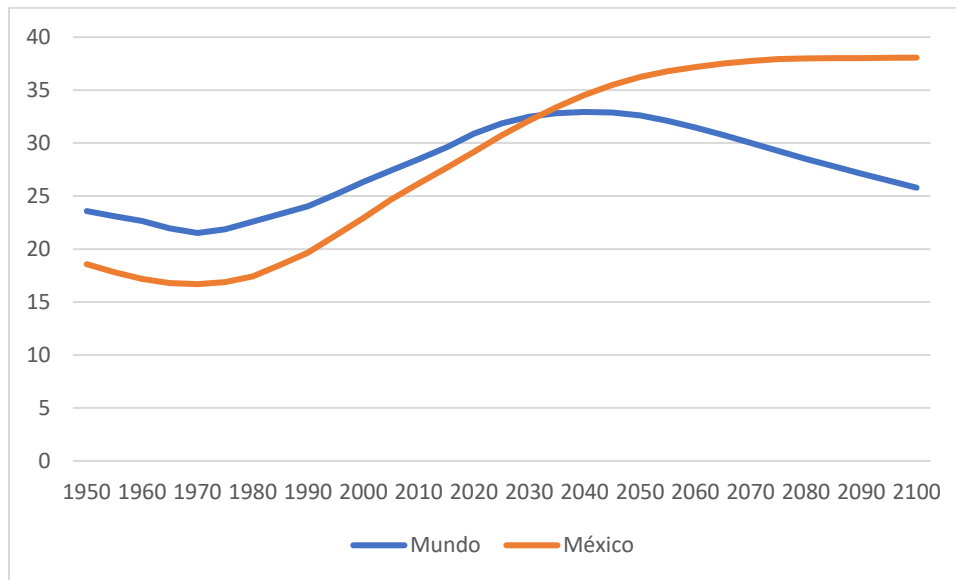
Sin embargo, esta recomendación puede ser leída a modo de advertencia, dado que el bono demográfico para esos países y para el mundo parece agotarse. Ello implica que algunas naciones se encuentran en un momento histórico irrepetible para la explotación máxima de las bondades de la difusión tecnológica, ya que la edad promedio del mundo parece tener una senda de crecimiento sostenido al menos hasta la década de 2040.

El gráfico 5B muestra la serie histórica 1950-2020 de edad promedio del Mundo y también la del caso mexicano a modo de comparación. En ese mismo gráfico se muestran también las estimaciones y pronósticos para esa misma cifra de 2025 a 2100 realizadas por el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de la Secretaría de las Naciones Unidas en su *World Population Prospects 2019*.

Con lo expuesto en párrafos anteriores se infiere que el grueso de los beneficios de más y mejor educación son mayormente explotables cuando las poblaciones son más jóvenes. Si se ordena la base de datos usada en este texto para 2018 de menor a mayor en función de la edad, México aparece en el octavo lugar, es decir, para los análisis que se mostraron en el capítulo anterior nuestro país se encuentra en el grupo B, formado por los países con una edad promedio menor. México, al igual que otros países, se encuentra en un punto de inflexión en donde los beneficios de la educación, en calidad y cantidad, son aprovechables

de mejor manera para el devenir económico, aunque esta ventana de oportunidad está próxima a desvanecerse.

Gráfico 5B. Edad promedio del mundo y de México de 1950 a 2100.



Elaboración propia con datos de United Nations. (2019).

Es claro que los beneficios de la educación no se limitan a la productividad ni a la economía, sin embargo, los alcances de este texto solo permiten referirse esta variable económica, pero sin demeritar la existencia de todos los demás aportes que una educación duradera y de calidad pueden dar a la sociedad mexicana.

Entonces, dados los sólidos argumentos de que el capital humano sí es una variable relevante para la explicación del crecimiento económico y la evidencia empírica mostrada para el caso específico de México, puede argumentarse que parte del lento crecimiento económico registrado en nuestro país en los últimos 30 años puede atribuirse al stock de capital humano. Al respecto se debate de manera directa con Ros (2013b, capítulo 5) quien argumenta que el lento crecimiento mexicano no tiene una explicación inserta en el capital humano y postula la falta de acumulación de esta variable con una de las “tesis equivocadas” para la explicación de la trampa de lento crecimiento mexicano. La cuestión medular es quizá empírica y no teórica, ya que las conclusiones a la cual llega el autor nacen de utilizar directamente los hallazgos de Benhabib y Spiegel (2005) cuyo análisis, como ya se revisó, concibe al capital humano únicamente desde la lógica de los años de estudio promedio y en un contexto muy acotado.

El amplio desarrollo teórico y empírico de esta tesis abre la oportunidad de al menos repensar el hecho de que hay ciertas áreas de oportunidad desde la acumulación de capital humano para incrementar la productividad e impulsar el crecimiento económico en México. La acumulación de capital humano deberá estar apalancada mayoritariamente por la educación ya que como se mostró en el gráfico 5B, la ventana de oportunidad del bono demográfico no parece ser sostenible en el mediano plazo.

Entonces, la acumulación de capital humano requiere la atención de la calidad educativa, como ya se mencionó y puede robustecerse el efecto de esta al atender las brechas regionales de cantidad de la educación. Ello con miras a potenciar el aporte del capital humano en la productividad mexicana.

El caso particular mexicano sirve para introducir una implicación teórica ya que parece ser que todas las conclusiones mostradas anteriormente sustentan la idea de que el enfoque de difusión tecnológica posibilita el análisis de economías con distintos niveles de productividad y producción lo cual implicaría que dentro del análisis podrían encontrarse aquellos países que se encuentran en trampas de ingreso medio.

Las trampas de ingreso medio son un objeto teórico en el cual aún no se ha profundizado a plenitud. La teoría del crecimiento económico ofrece respuesta para el *catching-up* de países de renta media con aquellos de renta alta, mientras que también ofrece perspectivas teóricas para el análisis de economías que dejan el subdesarrollo e inician procesos de industrialización. Sin embargo, no hay aún claridad teórica de cómo se logra el salto desde la renta media hacia la renta media alta, o desde la industria naciente hacia la industrialización plena. Parece que existe tanto un vacío teórico como un punto de quiebre en las trayectorias de crecimiento de los países, en el cual se dificulta la continuación del crecimiento del ingreso per cápita y existen pocas regularidades de análisis.

Sobre esta interrogante la historia económica ofrece pistas interesantes pero que mayoritariamente son aplicables a contexto específicos muy particulares. En ese sentido, los modelos teóricos de la difusión de tecnologías pueden fundamentar investigaciones en torno a cómo un país que prioriza la utilización de la adopción de tecnologías externas en el sentido de $\theta(h) * \left(\frac{T-A}{A}\right)$ puede convertirse en un productor de tecnologías domésticas en el sentido de $\Phi(h)$. Existe un largo camino de discusión teórica por recorrer para poder postular una teoría sólida sobre las trampas de ingreso medio y lento crecimiento, sin

embargo, lo que se ha expuesto ofrece una ruta de análisis válida para comenzar las conjeturas en torno a este tema tan poco explorado.

Esta breve intervención teórica nos devuelve al caso mexicano para el planteamiento de una última implicación basada en la premisa de que el marco de la difusión tecnológica es una herramienta para el entendimiento y análisis de países con disímiles niveles de productividad y producción, así ello puede extrapolarse al análisis a nivel local para el estudio de las regiones de México. Esto cobra relevancia si se reconoce que una de las argumentaciones más comunes para explicar el lento crecimiento mexicano es la relacionada con las disparidades de productividad de sus regiones, particularmente con el retraso del sur (ver Ros, 2015, capítulo 1). El poder postular a la difusión tecnológica como una herramienta para analizar las disparidades globales y regionales en México redobla los argumentos para considerar a esta teoría como una pieza fundamental en el análisis del crecimiento económico en general y del lento crecimiento mexicano en particular.

Como ya se mencionó, tanto las conclusiones del apartado anterior como las implicaciones recientemente presentadas deben ser interpretadas bajo las limitaciones y sesgos que se desarrollan en el apartado siguiente.

5.3 Alcances y limitaciones.

Las conclusiones, recomendaciones e implicaciones enunciadas en párrafos anteriores deben ser interpretadas dentro del espectro de análisis acotado que sustenta a este texto, el cual está supeditado a unas condiciones de análisis específicas, mayoritariamente relacionadas con la estructura de la base de datos.

La principal limitación del trabajo de investigación yace en la intención de incluir a la calidad educativa en el análisis del capital humano ya que, si bien existen esfuerzos notables en la medición y estimación de esta variable, los registros más amplios, fidedignos y recientes no se extienden más allá de 20 años y ninguno de ellos ha llegado si quiera a 90 países. Además, la base de datos de estas mediciones normalmente es trianual, dada la dificultad logística de la realización y análisis de pruebas estandarizadas a nivel mundial de manera anual.

Entonces, se tiene una base de datos corta y trianual, acotada a un cúmulo específico de países, lo cual ocasiona dificultades y sesgos tanto transversal como longitudinalmente como se expone a continuación.

Cuando se analizan indicadores socioeconómicos, las bases de datos más robustas proporcionan datos de entre 180 a 190 naciones. Tener casi 90 registros implica que se cubre a casi la mitad de los países del mundo, lo que a primera vista parece conveniente y estadísticamente significativo. Sin embargo, el cúmulo de estas naciones no resulta de una selección por un proceso aleatorio, sino que parecen estar sesgadas hacia países de renta media-alta o alta, como podría inferirse dado que son países que tienen capacidades e intenciones de medir la calidad de la educación. Este sesgo se traduce en que normalmente se están evaluando a países más longevos y con una mayor educación promedio, ocasionando que las conclusiones no sean extrapolables a países de rentas bajas.

Por ejemplo, tanto los años promedio de estudio como la edad promedio de la población son variables que cuentan con muchos más registros que las variables de calidad educativa. Ambas bases, en ocasiones, ofrecen más de 180 datos por año, lo cual representa casi el triple de observaciones de las que se tienen disponibles para calidad educativa en algunos de los periodos trianuales de medición.

En este sentido, y al tener al menos dos variables de capital humano que podrían ser estimadas en mayor amplitud transversal la base de datos se acota por las mediciones de la calidad de educación en al menos dos sentidos. Primero, existe un sesgo hacia naciones con edades promedio mayores. Níger, Mali y Chad son las naciones en promedio más jóvenes, reportando edades de casi 15 años, sin embargo, los países más jóvenes suelen ser naciones del continente africano en donde no suele medirse la calidad de la educación mediante PISA, solo Argelia, Marruecos y Túnez participan de manera sistemática en esta prueba y son países que además representan solo a la parte árabe de África. En contraparte, Japón e Italia son las naciones con edades promedio más altas, rondando los 48 años y son países que obviamente sí reportan datos PISA.

La edad promedio del mundo es de 31 años, mientras que el reporte para los países que han medido calidad de la educación es de 38 años, mayor por casi 7 años que la edad promedio mundial cuando se utilizan los datos totales disponibles. En conclusión, existe un sesgo hacia países más longevos, y la evidencia muestra que en la mayoría de las ocasiones son países de renta alta.

Lo mismo sucede para los años promedio de estudio. De los 185 registros disponibles el menor de ellos es Burkina Faso (1.6 años), que obviamente no reporta calidad educativa, como sí lo hace Alemania quien tiene el mayor registro (14.2 años). El menor registro para

los países que sí miden calidad de la educación es Marruecos con 5.5 años, que es 3.5 veces mayor respecto a Burkina Faso, el peor registro mundial. El promedio de años de estudio para las 184 naciones de las cuales se tiene registro es de 8.5 años mientras que para los países que en algún momento han medido calidad de la educación es de 10.85 años de estudio, considerablemente mayor que el promedio para todos los países del mundo. Entonces, también existe un sesgo hacia países con un mayor logro educativo y la evidencia muestra que en la mayoría de las ocasiones son países de renta media o media-alta.

Es notorio que el sesgo ocasionado por la medición de la calidad educativa repercute en cualquier otra variable seleccionada, incluso si se reflexiona en torno a la salud de las personas que finalmente quedó relegada del análisis. Para datos 2019 (antes de la pandemia cuando las cifras de esperanza de vida se modificaron atípicamente), los peores registros de esperanza de vida pertenecen a la República Centroafricana, a Chad y a Lesoto, naciones que apenas rozan los 54 años de esperanza de vida promedio de su población. Por otra parte, todos los 10 países que reportan mayores esperanzas de vida, de entre 83 y 84.9 años, tienen también mediciones constantes de calidad educativa. De haberse utilizado esta variable, existiría un sesgo incluso mayor hacia países con una mayor esperanza de vida, lo cual nuevamente implicaría que se analizan a países con niveles de ingreso superiores.

Entonces, es claro que los países poco desarrollados están subrepresentados en las dos muestras de calidad educativa que se utilizan en este texto por lo cual este sesgo impide la realización de inferencia para países con rentas bajas. Ello tiene una doble implicación dado que, por las conclusiones mostradas para la calidad de la educación y su capacidad de explicación del crecimiento económico, la productividad y la difusión tecnológica, si los países con menor productividad no miden esta variable, existe un círculo negativo de estancamiento de la productividad por deficiencias en el capital humano, deficiencias que ni siquiera son medidas o concebidas. Esto refuerza una de las implicaciones mencionadas en el apartado anterior, relacionada con la necesidad de ampliar las mediciones de la calidad de la educación.

Por otra parte, además de las limitaciones de corte transversal, existen también limitaciones longitudinales originadas también por la inclusión de la calidad de la educación. Al tener registros de 18 años, pero en periodos trianuales, ello implica que la temporalidad es de únicamente siete datos. Esto imposibilita la utilización de metodologías más robustas, como

las series de tiempo o los datos de panel. Aunado a ello, necesariamente se hacen suposiciones sobre la estacionalidad de algunas series, basadas en la evidencia de la estadística descriptiva, pero sin pruebas específicas de estacionalidad por lo acotado de la base de datos.

Por último, una limitación importante se origina a partir de la disparidad de la frontera tecnológica frente a cualquiera de las variables de capital humano en cuanto a sus capacidades explicativas. Esto impide que se puede indagar en los efectos conjuntos de ambas variables en el sentido de la *golden rule of education* con las metodologías disponibles para el tipo de base de datos construida, ya que al tener una variable preponderante la otra termina por no ser individualmente significativa.

La *golden rule of education* de Phelps es uno de los supuestos básicos de la formulación de la difusión tecnológica y da fundamento teórico a una de las implicaciones mencionadas en el apartado anterior, pero no puede validarse con métodos de econometría convencional, ya que el principio de parsimonia combinado con la alta bondad de ajuste de la productividad y su *path dependence*, imposibilitan la interacción con variables con menores capacidades explicativas.

A primera vista parece que la inclusión de la calidad de la educación no reporta beneficio alguno al limitar a la investigación tanto transversal como longitudinalmente, implicando la imposibilidad de aplicación de algunos métodos estadísticos y sesgando la muestra hacia países de renta media-alta como menos. Sin embargo, los resultados que muestran que la calidad de la educación sí es relevante para la explicación de la productividad de los países y las importantes implicaciones mencionadas en el apartado anterior reafirman la valía de este tipo de investigaciones y pueden colaborar para evidenciar la importancia de los incrementos de los esfuerzos en la medición de esta variable en el mundo entero, para que en el futuro estos sesgos metodológicos disminuyan.

Existe un *trade-off* entre la inclusión de la calidad educativa en la investigación frente a la posibilidad de realización de otro tipo de ejercicios empíricos si se deja fuera esta variable; la valoración entre ambas posibilidades depende de los intereses de investigación. La interpretación bajo la lógica desarrollada en este texto es que las conclusiones, implicaciones y recomendaciones resultantes validan el análisis de una variable tan heterogénea como la calidad educativa. De existir más análisis en torno a esta variable, independientemente de los sesgos o dificultades metodológicas, ello implicaría aumentar la

visibilidad de estas cuestiones, abonando a la conceptualización del fenómeno educativo desde diversas ópticas y haciendo notar la urgente necesidad de extensión de las mediciones de calidad educativa hacia nuevas zonas geográficas.

El esfuerzo de inclusión de una variable tan relevante implica la existencia de sesgos y limitaciones en la investigación realizada. Sin embargo, en algunos casos estas restricciones pueden ser interpretadas como nacientes líneas de investigación, mismas que se desarrollan en el siguiente y último apartado.

5.4 Líneas de investigación resultantes.

Las conclusiones, implicaciones y las limitaciones de la investigación que se presentan en apartados anteriores se entrelazan para fundamentar la existencia de posibles líneas de investigación futuras, las cuales se enuncian a continuación. Estas se agrupan en dos distintos conjuntos, aunque se presentan de manera combinada.

El primer grupo se relaciona con posibles extensiones de esta investigación a partir de una ampliación de la base de datos, ampliación que puede ocurrir tanto por la aparición de nuevos registros como por el libramiento de la acotación establecida por la variable de calidad de la educación. Por otra parte, el segundo grupo de posibles líneas de investigación se basa en la posibilidad de profundizar en cada uno de los hallazgos más importantes de esta tesis y que fueron presentados anteriormente.

Primero, si se reflexiona en torno a la variable años promedio de estudio de la población, esta cuenta con registros para más de 150 países con periodicidades anuales, lo cual posibilita la realización de inferencia con métodos más sofisticados que los aquí empleados por la robustez alcanzable de los datos. Por otra parte, las mediciones de edad de las personas que aglutinan a más de 120 países se realizan de manera quinquenal, sin embargo, hay datos al menos desde 1950, lo cual representa que existen más del doble de observaciones de edad promedio de las personas que de calidad de la educación y el cuádruple si se plantea un análisis con las tendencias mencionadas anteriormente, ya que estas se extienden hasta el año 2100.

Ello implica que si se construye una base de datos que no esté acotada por las observaciones de calidad educativa podrían realizarse inferencias más profundas tanto para los años promedio de estudio como para la edad de la población y específicamente en el sentido de la difusión de tecnologías y la estimación de la productividad, para establecer

una diferencia con la abundante literatura que revisa estas variables desde una óptica neoclásica.

Entonces, el análisis de ambas variables puede ser extendido tanto transversal como longitudinalmente para poder explorar de manera más profunda los fenómenos analizados en este texto. Pero particularmente resulta interesante indagar en los fenómenos relacionados con la edad de las personas pues si se extiende la periodicidad tanto a los registros anteriores, a los próximos a publicarse y a las proyecciones, será relevante analizar el *impase de Mincer*, es decir, la bidireccionalidad del efecto de la edad en la productividad y notar si la tendencia hacia un efecto negativo (efecto positivo pero que tiende a cero) existe desde periodos anteriores al 2000, que es el año a partir del cual se tiene información PISA. Esto podría representar un aporte de relevancia tanto a la literatura de la economía de la tecnología como a la del aprendizaje y la obsolescencia de conocimientos.

Para los años promedio de estudio es quizá menor la necesidad de extensión del análisis, dado que es la variable más estudiada de capital humano, tal y como se ha mostrado durante todo el texto. La valía de una extensión del análisis puede fundamentarse, como ya se mencionó, en el planteamiento de la investigación desde la difusión tecnológica y no un análisis bajo la lógica neoclásica, además de la posibilidad de existencia de análisis regionales como se indica más adelante y como se comentó en las implicaciones para el caso mexicano.

Por otra parte, al recordar que la variable preponderante en la explicación de la productividad es la frontera tecnológica, igual que sucede con las variables *edad* y *estudio*, al quitar la acotación de la calidad de la educación el volumen de la información disponible sobre PTF (y por ende de brecha tecnológica) incrementa en cuanto a número de países, lo cual podría motivar futuras investigaciones sobre la frontera tecnológica (o la PTF) pero con una base de datos más robusta, sin importar si estas investigaciones se relacionan o no con el capital humano.

En resumen, al tener una base de datos con mayores registros tanto transversales como longitudinales, pueden emplearse distintos métodos de inferencia que no son susceptibles de aplicarse en una base de datos tan acotada como la que se usa en este estudio. Ello puede implicar la exploración de las tendencias de la productividad de los países, tanto

relacionadas con el capital humano como en relación con otras variables que se articulan con la tecnología y la brecha tecnológica, como la innovación, por ejemplo.

Por otra parte, en referencia al análisis de la calidad de la educación se puede extender la investigación hacia el pasado utilizando los resultados de la prueba TIMSS que fue mencionada en el punto 3.1.3. Los resultados de la variable independiente tomados de la Penn World Table están disponibles para la mayoría de las naciones a partir de 1954, por lo que pueden utilizarse la totalidad de mediciones de TIMSS para validar la importancia que tuvo la calidad educación en la productividad y poder indagar en el crecimiento económico en el sentido de la difusión de tecnologías.

Además, TIMSS no es la única prueba de calidad educativa alterna a PISA. Por ejemplo, las mediciones del LLECE también fueron mencionadas en el apartado 3.1.3 y pueden permitir hacer inferencia de corte transversal al menos para la región latinoamericana intentando explicar distintas trayectorias de crecimiento y productividad entre países con grandes similitudes en sus patrones de industrialización y desarrollo. El análisis del caso mexicano en el entorno latinoamericano quizá es mayormente interpretable respecto a lo que sucede en el contexto de PISA, rodeado únicamente por países pertenecientes a la OCDE.

Ahondando en las particularidades regionales, a nivel país pueden realizarse análisis relevantes para distintas naciones, siempre que la periodicidad y los datos lo permitan, dado que para algunos años y en algunos países, la prueba PISA levanta una muestra de exámenes determinada que permite hacer inferencia regional tal y como se menciona en el capítulo tercero. Más aún, existen análisis totalmente regionales coordinados por las autoridades educativas de cada país, como la prueba ENLACE (o PLANEA que sustituyó a ENLACE que estuvo vigente solo hasta 2013) para el caso mexicano.

En este sentido, las conclusiones de esta tesis muestran que los niveles de calidad educativa tienen una influencia sustancial en los resultados de productividad, lo cual cobra relevancia dado que la calidad de la educación es una variable altamente heterogénea, incluso cuando se supone que los países que realmente estiman dicha variable son, como menos, países de renta media. Las altas disparidades en los reportes de esta variable son una muestra de la relevancia de indagar en ella; si existen datos de calidad de educación y de productividad a nivel local pueden hacerse investigaciones para explicar las disparidades de la productividad y del crecimiento de las regiones en una misma nación.

En específico para México, en un país tan poco homogéneo en sus regiones es interesante plantear análisis regionales de los niveles de productividad y de ingreso basados en los resultados de calidad educativa por región. Como se muestra en el capítulo tercero, la prueba PISA en México en 2003 fue elaborada con una muestra más grande de lo habitual para poder extrapolar sus resultados hacia la cuestión regional, lo que posteriormente dio forma a evaluaciones locales como ENLACE o PLANEA.

Los resultados de ambas pruebas pueden ser analizados en conjunto con los datos socioeconómicos de México para encontrar patrones interesantes en torno a los efectos de la calidad de la educación en las regiones de nuestro país.

Al hablar de inferencia regional, puede repensarse también a la variable de años promedio de estudio como una medida que describe la disparidad entre las regiones. La gráfica 5A mostrada anteriormente revela las disparidades educativas en México en cuanto a logro educativo. Ello implica que puede indagarse en las diferencias regionales de productividad apelando a diferencias educativas, tanto de calidad como de cantidad. Los años de estudio promedio de la población han sido ampliamente estudiados a nivel país, por lo que puede haber una ventana de oportunidad para análisis regionales en países con regiones tan dispares como México.

Por otra parte, y con miras al futuro, esta investigación puede extenderse con nuevos datos que se añadan en la base de datos en el corto plazo. Será interesante observar cómo los patrones encontrados aquí se confirman (o cambian) con los resultados de la siguiente prueba PISA. Dicha prueba estaba programada para 2021, pero las dificultades que la educación atravesó con la pandemia la convirtieron en inviable y la prueba fue pospuesta, esperando que los resultados de 2022 se reporten a finales de 2023.

En esa misma línea de pensamiento, una vez que existan datos para los periodos de 2021 en adelante, será interesante analizar cómo la educación, la productividad y las distintas variables utilizadas en este estudio han sido afectadas por la pandemia de COVID-19. Es indudable que la educación en cuanto a calidad y cantidad se vio mermada por las dificultades de la educación a distancia o la cancelación total de las clases. De igual manera, la estructura etaria de la población ha cambiado como resultado de la crisis sanitaria, ya que se han modificado las cifras de esperanza de vida y de edad promedio de la población por el alto número de defunciones de personas pertenecientes a grupos específicos de edad. La pandemia de COVID-19 tuvo efectos económicos en el corto plazo, pero de verse

trastocados los stocks de capital humano, dichas perturbaciones pueden ser constatables y perdurar también en el largo plazo, por lo cual será interesante hacer análisis de posibles cambios estructurales en el capital humano y sus efectos en el crecimiento económico en el futuro inmediato.

Por último, en un orden de ideas muy distinto y no relacionado estrictamente con la teoría del crecimiento, es interesante indagar en las metodologías de estimación de PTF para notar cómo los cálculos y registros del líder tecnológico pueden verse afectados por sucesos atípicos como con el caso de Macao. Tanto indagar en la construcción metodológica de los indicadores como en el análisis del caso particular de dicha nación son rutas de investigación válidas y que resultan de esta tesis.

Todas estas posibilidades de investigación se suman a lo propuesto en las conclusiones de esta tesis para intentar avanzar en la comprensión del crecimiento económico y sus procesos tangenciales. El intento del entendimiento de la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones dio origen a la ciencia económica, mientras que la historia del pensamiento económico devela que cada vez que se da un paso hacia la resolución de dicho cuestionamiento, irremediablemente se están abriendo una multiplicidad de interrogantes nuevas que parecen mostrar que en realidad sabemos poco. La valía de los estudios del crecimiento económico radica en que cuando se parte de la premisa de que no se sabe nada, se está en posición de poder aprenderlo todo.

6. Referencias.

- Abramovitz, M. (1986). Catching up, forging ahead, and falling behind. *Journal of Economic History* 46: 385–406.
- Acemoglu, D. y Johnson, S. (2007). Disease and development: the effect of life expectancy on economic growth. *Journal of political Economy*, 115(6), 925-985.
- Ahmed, Abdullahi y Messinis, George (2009). Human Capital, Innovation and Technology Diffusion. CSES Working Paper No. 43. Disponible en: <http://vuir.vu.edu.au/15937/1/15937.pdf>
- Alders, P. (2005). Human capital growth and destruction: The effect of fertility on skill obsolescence. *Economic Modelling*, 22 (3), 503-520.
- Angrist, N., Djankov, S., Goldberg, P., y Patrinos, H. (2021). Measuring human capital using global learning data. *Nature*, 592(7854), 403-408.
- Angrist, N., Djankov, S., Goldberg, P., & Patrinos, H. A. (2019). Measuring human capital. Working Paper Available at SSRN 3339416.
- Amaro, M. (2017). La gobernanza del conocimiento en el paradigma de la convergencia tecnológica, en: Stezano, F., Casalet, M. y de Gortari R. *Convergencia científica y tecnológica. Industria, investigación, políticas y gobernanza. México. CONACYT.*
- Antonelli, C. (2008). *Localised technological change: towards the economics of complexity.* Routledge.
- Arrow, K. J. (1962a). The economic implications of learning by doing. *Review of Economic Studies* 29, 155–73.
- Arrow, K. (1962b). 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.
- Bhargava, A., Jamison, D., Lau, L. y Murray, C. (2001). Modeling the effects of health on economic growth. *Journal of health economics*, 20(3), 423-440.
- 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.
- Baumol, W. (1986). Productivity growth, convergence, and welfare: What the long-run data show. *American Economic Review*, 76(5), 1072–1085.
- Becker, G. (1962). Investment in human capital: A theoretical analysis. *Journal of political economy*, 70 (5, Part 2), 9-49.
- Becker, G. (1964). Human capital. A theoretical and empirical analysis with special reference to education. New York: Columbia University Press for the NBER.
- Becker, G. (1994). Human capital revisited. In *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis with Special Reference to Education*, Third Edition (pp. 15-28). The University of Chicago Press.
- Bell, M., & Pavitt, K. (1992). Accumulating technological capability in developing countries. *The World Bank Economic Review*, 6(suppl_1), 257-281.
- 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.
- Brian, K. (2007). OECD Insights Human Capital How what you know shapes your life: How what you know shapes your life. OECD publishing.
- Castelló, A. y Doménech, R. (2002). Human capital inequality and economic growth: some new evidence. *The economic journal*, 112(478), C187-C200.
- Cervellati, M. y Sunde, U. (2011). Life expectancy and economic growth: the role of the demographic transition. *Journal of economic growth*, 16(2), 99-133.
- 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.
- 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.
- Fagerberg, J. (1987). A technology gap approach to why growth rates differ. *Research policy*, 16(2-4), 87-99.
- Fagerberg, J., & Srholec, M. (2017). Global dynamics, capabilities and the crisis. In *Foundations of Economic Change* (pp. 83-106). Springer, Cham.
- Feenstra, R., Inklaar R y Timmer M. (2015), "The Next Generation of the Penn World Table" *American Economic Review*, 105(10), 3150-3182.
- Feenstra, R. C., Inklaar, R., & Timmer, M. (2013). PWT 8.0—a user guide. URL <http://www.ggdcc.net/pwt>
- Fisher, I. (1906). *The nature of capital and income*. Macmillan.
- 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.
- Hall, R. y Jones, C. (1999). Why do some countries produce so much more output per worker than others? *Quarterly Journal of Economics*, 114, 83–116.
- Hanushek, E. y Kimko, D. (2000). Schooling, labor-force quality, and the growth of nations. *American economic review*, 90(5), 1184-1208.
- Hanushek, E. y Wößmann, L. (2007). The role of school improvement in economic development (No. w12832). National Bureau of Economic Research.
- Hanushek, E. y Woessmann, L. (2012). Do better schools lead to more growth? Cognitive skills, economic outcomes, and causation. *Journal of economic growth*, 17(4), 267-321.
- Harrod, R. (1939). An essay in dynamic theory. *The economic journal*, 49(193), 14-33.
- 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.
- Juselius, K. (2006). *The cointegrated VAR model: methodology and applications*. Oxford University Press.

- Klenow, P. y Rodríguez-Clare, A. (1997). The neoclassical revival in growth economics: Has it gone too far? In B. Bernanke & J. Rotemberg (Eds.), NBER macroeconomics annual 1997 (pp. 73–102). Cambridge, MA: MIT Press.
- Lewis, W. A. (1954). Economic development with unlimited supplies of labour. *The Manchester School*, 22(2), 139-191.
- 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.
- Mincer, J. (1958). Investment in human capital and personal income distribution. *Journal of political economy*, 66(4), 281-302.
- Nelson, R. (1959). The simple economics of basic scientific research. *Journal of political economy*, 67(3), 297-306.
- Nelson, R. (2005). *Technology, institutions and economic growth*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Nelson, R. y E. Phelps (1966), Investment in humans, technological diffusion and economic growth, *American Economic Review* 56: 69–75.
- OCDE (2008). El programa PISA de la OCDE. Qué es y para qué sirve. México, Santillana. Disponible en: <https://www.oecd.org/pisa/39730818.pdf>
- OCDE (2007). Insights Human Capital How what you know shapes your life: How what you know shapes your life. OECD publishing. Disponible en: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=7c8bdd691d43e866af2ce96c8928eebfefb56da5a>
- Phelps, E. S. (1966). Golden rules of economic growth: studies of efficient and optimal investment. *Golden rules of economic growth: studies of efficient and optimal investment*.
- 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: further update. *Education economics*, 12(2), 111-134.
- Prescott, E. (2002). Prosperity and depression. *AER Papers and Proceedings*, 92, 1–15.
- Prescott, E. (2004). Why do Americans work so much more than Europeans? *Federal Reserve Bank of Minneapolis Quarterly Review*, 28(1), 2–13.

- Ragan, K. (2013). Taxes and time use: Fiscal policy in a household production model. *American Economic Journal: Macroeconomics*, 5(1), 168–192.
- Reyna, F. (2018). Un modelo de crecimiento endógeno: capital humano y difusión de tecnologías.
- Romer, P. (1986), Increasing returns and long-run growth, *Journal of Political Economy* 94: 1002–37.
- 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. (1962). *Diffusion of innovations*. Free Press.
- Romer, P. (1990). Capital, labor and productivity. *Brookings Papers on Economic Activity Microeconomics*, special issue, 337-67.
- Romer, P. (1990b), Endogenous technological change. *Journal of Political Economy* 98 (part 2): 71–102
- Romer, P. (1990c). Human capital and growth: theory and evidence. En *Carnegie-Rochester conference series on public policy* (Vol. 32, pp. 251-286). North-Holland.
- Ros, J. (2015). ¿Cómo salir de la trampa del lento crecimiento y alta desigualdad? El Colegio de México AC.
- Ros, J. (2013). *Rethinking economic development, growth, and institutions*. Oxford University Press.
- Ros, J. (2013b). *Algunas tesis equivocadas del crecimiento económico de México*. El Colegio de México AC.
- Ros J. (2004). *La teoría del desarrollo y la economía del crecimiento*. Fondo de Cultura Económica.
- Sato, K. (1974). The neoclassical postulate and the technology frontier in capital theory. *The Quarterly Journal of Economics*, 88(3), 353-384.
- Schultz, T. (1959). Investment in man: An economist's view. *Social Service Review*, 33(2), 109-117.
- Schultz, T. (1961). Investment in human capital. *American Economic Review*, 51 (1), 1-17.
- Smith, A. (2018). *Investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones*, FCE, México. (Original, 1776).

- Solow, R. (2018). La teoría del crecimiento: una exposición. Fondo de Cultura Económica.
- Solow, R. (1962). Technical progress, capital formation, and economic growth. *The American Economic Review*, 52(2), 76-86.
- Solow, R. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *Review of Economics and Statistics*, 39, August 312–320
- Solow, R. (1956), A contribution to the theory of economic growth, *Quarterly Journal of economics*. 70(1), 65-94.
- Stezano, F. (2017). Conceptualizaciones y visiones en torno al concepto de convergencia, en: Stezano, F., Casalet, M. y de Gortari R. *Convergencia científica y tecnológica. Industria, investigación, políticas y gobernanza*. México. CONACYT.
- Stiglitz, J. y Greenwald, B. (2015). La creación de una sociedad del aprendizaje. *Crítica*.
- Stokey, N. (2015). Catching up and falling behind. *Journal of Economic Growth*, 20(1), 1-36.
- United Nations. (2019). *World population prospects 2019: highlights*. Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- Wang, Y. y Yao, Y. (1999). Sources of China's economic growth, 1952–99: incorporating human capital accumulation. The World Bank.
- Weil, D. (2007). Accounting for the effect of health on economic growth. *The quarterly journal of economics*, 122(3), 1265-1306.