



**From the SelectedWorks of Vicente German-
Soto**

January 2015

Convergencia en tecnología

Contact
Author

Start Your Own
SelectedWorks

Notify Me
of New Work

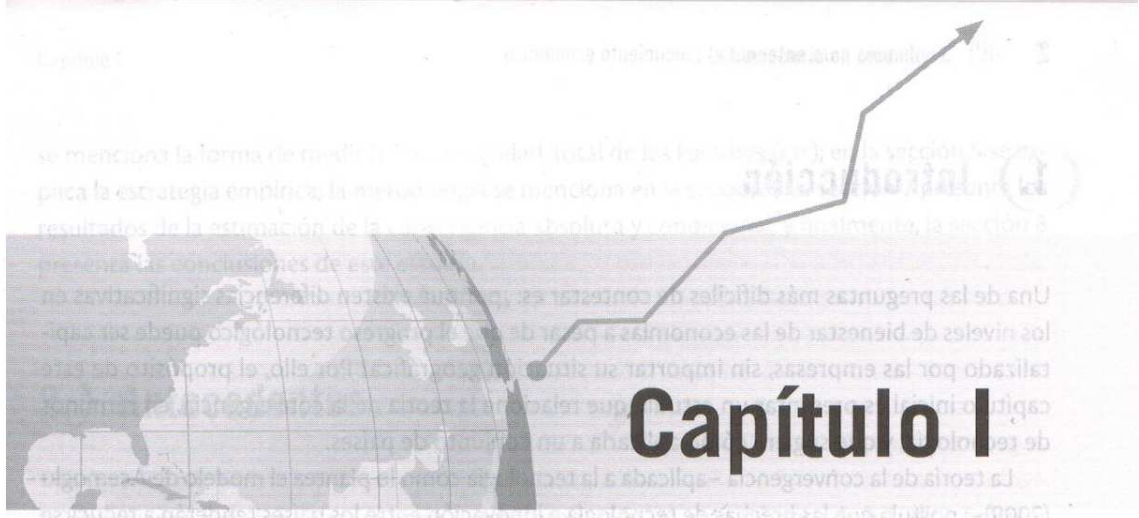
Coordinadora
Cinthya Caamal Olvera

5 Enfoques para entender el crecimiento económico



ALWAYS LEARNING

PEARSON



Capítulo I

Convergencia en tecnología

Cintha Caamal Olvera
Claudia Sánchez Vela
Vicente Germán-Soto

1. Introducción

Una de las preguntas más difíciles de contestar es: ¿por qué existen diferencias significativas en los niveles de bienestar de las economías a pesar de que el progreso tecnológico puede ser capitalizado por las empresas, sin importar su situación geográfica? Por ello, el propósito de este capítulo inicial es presentar un estudio que relacione la teoría de la convergencia, en términos de tecnología, y que sugiera cómo aplicarla a un conjunto de países.

La teoría de la convergencia –aplicada a la tecnología como lo plantea el modelo de Acemoglu (2009)–, postula que las brechas de tecnología e innovación entre los países tenderán a reducirse a largo plazo, por lo que debe existir una relación negativa y estadísticamente significativa entre tasas de crecimiento y los niveles iniciales de la variable bajo análisis. Para verificar este supuesto, la teoría analiza, por lo menos, dos escenarios.

En el primero de ellos, tal proceso de convergencia tecnológico puede ocurrir sin necesidad de atender las diferencias estructurales existentes entre los países –es decir, de forma absoluta–, por lo que a esta hipótesis se le conoce como *convergencia absoluta*, y requiere únicamente de los valores iniciales y las tasas de crecimiento de la Productividad Total de los Factores (PTF) en las ecuaciones de regresión. Las condiciones de este escenario son muy estrictas, ya que implican que invariablemente todas las economías tienden al mismo estado estacionario, algo que difícilmente puede cumplirse, pues hay enormes diferencias en las capacidades de cada economía.

El segundo escenario de análisis abandona el supuesto acerca de la tendencia a un único estado estacionario al señalar que es más razonable la pluralidad de éstos: cada economía converge hacia *su propio* estado estacionario; esta hipótesis es conocida como *convergencia condicional*, ya que tal proceso de convergencia está condicionado por las características individuales de cada economía. Para este escenario son necesarias, además de las cifras sobre PTF, variables que logren captar las diferencias estructurales entre las economías. Por ejemplo, la teoría del crecimiento económico sostiene que dos de los factores más influyentes en la economía son la acumulación de capital físico y de capital humano, en virtud de que en numerosos estudios se les ha identificado como los determinantes del crecimiento económico de los países (véanse entre otros: Lucas, 1988; Mankiw, Romer y Weil, 1992; Jones y Manuelli, 1997; De la Fuente, 1997, y Turner, Tamura y Mulholland, 2013).

Una limitante de este segundo análisis es encontrar una medida precisa de tecnología que sea comparable entre países a través del tiempo, para tal propósito se cuenta con la información que proporciona *Penn World Tables*. Para efectos prácticos, la tecnología se mide usando la PTF reportada en esta base de datos. Además, se probará la hipótesis de convergencia absoluta y condicional para ciertos países de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), los países integrantes de la Unión Europea (UE) y los países de América Latina (AL). Los resultados indican que la convergencia en tecnología es más fuerte entre países de la OCDE y la Unión Europea.

La organización del capítulo es la siguiente: en la sección 2 se presentan los antecedentes de la teoría de crecimiento neoclásico; en la sección 3 se expone el modelo teórico; en la sección 4

se menciona la forma de medir la Productividad Total de los Factores (PTF); en la sección 5 se explica la estrategia empírica; la metodología se menciona en la sección 6; la sección 7 presenta los resultados de la estimación de la convergencia absoluta y condicional, y finalmente, la sección 8 presenta las conclusiones de este estudio.

2. Antecedentes

El crecimiento económico es un tema que ha producido un gran número de estudios teóricos y empíricos, aplicados a algún país en particular o de carácter comparativo. La literatura especializada en el tema ha generado distintos modelos que incluyen los factores que contribuyen al crecimiento económico, como la acumulación de capital físico y humano, la acumulación de tecnología, los recursos naturales y las instituciones.

El modelo neoclásico propuesto por Solow (1956) y Swan (1956) constituye el modelo básico para entender el crecimiento económico; asume que la acumulación de capital depende directamente del ahorro constante y exógeno de una proporción de la producción total en cada periodo. Sin embargo, al relajar los supuestos de tasa de ahorro constante y exógena, como lo plantea el modelo de Ramsey-Cass-Koopmans (Ramsey, 1928; Cass, 1965; Koopmans, 1965), o bien, permitiendo la posibilidad de reemplazo poblacional (Diamond, 1965), la conclusión en torno al crecimiento económico es la misma: la tecnología es el único factor capaz de generar crecimiento del producto per cápita en el largo plazo.

El modelo de Solow-Swan explica las diferencias entre el nivel de ingreso per cápita y las tasas de crecimiento de los países. Asimismo, supone una función de producción con rendimientos marginales decrecientes en el capital, lo que implica la convergencia de una economía hacia su equilibrio en el largo plazo. De este modo, una economía con bajo nivel de ingreso per cápita crecerá más rápido que una economía con nivel de ingreso per cápita más alto. A este fenómeno se le conoce como *convergencia absoluta* en el Producto Interno Bruto (PIB) per cápita, y se presenta en grupos de países similares, como es el caso de las naciones integrantes de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

Por otro lado, si consideramos que las economías son heterogéneas y tienen distintos equilibrios a largo plazo, entonces la rapidez de convergencia hacia este equilibrio dependerá del nivel inicial de ingreso per cápita en relación con el equilibrio, por lo que los países más alejados de su equilibrio tenderán a crecer más rápido que los países que se encuentran más cerca del suyo a largo plazo. A este tipo de convergencia se le conoce como *relativa o condicional*. Distintos investigadores (Baumol, 1986; Barro, 1991; Barro y Sala-i-Martin, 1995; Mankiw, Romer y Weil, 1992; Islam, 1995, entre otros) han estimado la hipótesis de la convergencia entre países.

Los modelos de crecimiento neoclásico permiten entender la dinámica de transición al estado estacionario. Sin embargo, estos modelos definen la tecnología de manera ambigua, y la asumen como exógena, por lo que no se conoce qué es o cómo se genera la tecnología.

Los modelos de crecimiento endógeno, en cambio, incorporan la acumulación de tecnología en los modelos de crecimiento neoclásico; algunos ejemplos son Romer (1986, 1990,

2006); Grossman y Helpman (1991); Aghion y Howitt (1992); Kremer (1993) y Jones (2002), entre otros. Uno de estos modelos es el de Investigación y Desarrollo (R&D, por sus siglas en inglés), que postula la existencia de dos sectores económicos: uno dedicado a producir bienes de consumo, y el otro a producir conocimiento y tecnología.

Otra forma de incorporar la tecnología de manera endógena consiste en abandonar el supuesto de los rendimientos marginales decrecientes en el capital; de hecho, es posible generar crecimiento económico a largo plazo incluso sin un cambio tecnológico, como en el Modelo AK.

Los modelos de crecimiento endógeno proporcionan un marco teórico para entender cómo se genera el *stock* de conocimiento a través del tiempo. Sin embargo, no proporcionan fundamentos para entender las diferencias del ingreso entre países. Parente y Prescott (2000), encontraron que las diferencias en los niveles de ingreso son consecuencia de las políticas específicas de cada país en torno a la aplicación del conocimiento para mejorar los procesos de producción en el nivel individual de la empresa. Este tipo de políticas se definen como barreras o restricciones implementadas con el fin de proteger a ciertos grupos o empresas, por tanto, implican diferencias en la producción, como proporción del insumo, y reflejarán diferencias en la productividad total de los factores (PTF). De acuerdo con Parente y Prescott (2000), las diferencias en los ingresos entre países son consecuencia de las diferencias en la PTF.

Prescott (1998) señala que las diferencias en el ingreso per cápita se explican por las dotaciones iniciales de recursos naturales; también establece que las diferencias en el capital per cápita no explican las diferencias en el producto per cápita y que la razón por la que los países ricos tienen una razón capital per cápita mayor es porque la productividad total de los factores es más alta en países ricos. Asimismo, la PTF determina indirectamente la productividad del factor trabajo. Sin embargo, la convergencia en la productividad total de los factores no ha sido tan explorada, como lo ha señalado Miller y Upadhyay (2002). Y precisamente ése es el tema que nos interesa analizar en este capítulo.

Parente y Prescott (2000) sostienen que Corea del Sur es una economía que ha sabido aprovechar el *stock* de conocimientos disponible, pues ha reducido las barreras para el aprovechamiento de técnicas más eficientes en la producción. Los autores mencionan que ésta ha sido la causa del incremento en la PTF en Corea del Sur. Éste es un ejemplo de que las economías menos desarrolladas no requieren de inventar o generar conocimiento para incrementar el bienestar de su población, aunque sí se requiere inversión en investigación y desarrollo para poder aplicar las ideas o técnicas eficientes dado el conocimiento existente en la producción de bienes y servicios.

Restuccia (2004) incluye la elección de la tecnología en un modelo de crecimiento neoclásico con barreras en la acumulación del capital y muestra que éstas pueden explicar las diferencias de ingreso entre países. Su modelo implica que las barreras provocan que los recursos deben ser asignados a tecnologías existentes, lo cual genera endógenamente una baja productividad total de los factores.

3.) Modelo teórico

Los países guardan una interdependencia tanto en términos de comercio de bienes y servicios como en tecnología. La tecnología, a diferencia del capital y el trabajo, es un *bien no rival*, es decir, dos o más países pueden hacer uso de la misma tecnología al mismo tiempo. Para que un país poco desarrollado utilice tecnología, no necesita invertir en investigación y desarrollo para generarla, mientras pueda importarla de otro país que sí invierte en la generación de tecnología. En este caso, como lo señala Acemoglu (2009), un país o grupo de países avanzados son los que generan una frontera de tecnología mundial que será difundida hacia los otros países. Entender la interdependencia en tecnología podría ayudar a entender las diferencias del ingreso entre países y el crecimiento económico a través del tiempo.

Acemoglu (2009) propone un modelo para entender el proceso de difusión de la tecnología entre países, y considera una frontera de tecnología mundial. El modelo que desarrolla sigue el de Solow-Swan, en el que se supone una función de producción neoclásica¹ para cada país i , en un tiempo determinado t .

Al nivel de tecnología más avanzada existente en t se le conoce como la *frontera (E) de tecnología mundial*, formalizada como $A_E(t)$. El nivel de tecnología de algún país i en el tiempo t podría estar por debajo de este nivel o podría tener un nivel similar de tecnología:

$$A_i(t) \leq A_E(t) \quad (1)$$

El nivel de progreso tecnológico es el resultado de *absorber* el conocimiento tecnológico del mundo. Acemoglu (2009) representa la acumulación de tecnología para cada país i de la siguiente forma:

$$\dot{A}_i(t) = \sigma_i [A_E(t) - A_i(t)] + \lambda_i A_i(t) \quad (2)$$

en donde σ_i es positiva, exógena y representa la tasa de absorción de la tecnología existente en el mundo llevada a cabo en el país i . Este parámetro varía entre países debido a diferencias en capital humano, inversión, cuestiones institucionales o por barreras para la adopción de tecnología. La diferencia $[A_E(t) - A_i(t)]$ implica que, suponiendo el mismo valor para el parámetro σ_i , países con poca tecnología en relación con la frontera tecnológica mundial mostrarán tasas de cambio mayores, pues tendrán que absorber más tecnología; esta tendencia implica una convergencia absoluta en tecnología. El parámetro λ_i captura la rapidez con la que el progreso ocurre debido al nivel de conocimiento ya existente en el país. Según Acemoglu (2009), la ecuación (2) resume dos formas de progreso tecnológico que experimentan los países: 1) absorción de la frontera de tecnología mundial, y 2) avances debido al nivel de la tecnología local ya alcanzado.

Para simplificar, se asume que la tasa de crecimiento de la frontera de tecnología del mundo crece exógenamente a una tasa constante en cada t :

¹ Romer (2002) expone con más detalles el Modelo neoclásico de Solow-Swan.

$$g_E(t) \equiv \frac{\dot{A}_E(t)}{A_E(t)} \quad (3)$$

Mientras que la tasa de crecimiento de la tecnología en un país i en t se define:

$$g_i(t) \equiv \frac{\dot{A}_i(t)}{A_i(t)} \quad (4)$$

El proceso de transferencia de tecnología entre países es lento, a pesar del libre flujo de información. Los países podrían no absorber toda la tecnología o el conocimiento existente, incluso si tienen acceso a esta información. La relación entre el nivel de tecnología entre un país frontera (E) se representa como:

$$A_{iE}(t) \equiv \frac{A_i(t)}{A_E(t)} \quad (5)$$

Por lo que, al obtener la tasa de crecimiento de la tecnología entre un país y la frontera, se tiene la siguiente expresión:

$$g_{iE}(t) = \frac{\dot{A}_i(t)}{A_i(t)} - \frac{\dot{A}_E(t)}{A_E(t)} = g_i(t) - g_E(t) \quad (6)$$

Acemoglu (2009) resuelve el sistema de ecuaciones diferenciales para encontrar el equilibrio, el estado estacionario que caracteriza la distribución de la tecnología y el ingreso per cápita de la economía mundial, y compara la tecnología existente en cada país en relación con la tecnología existente en la frontera (E). La ecuación de la evolución de la tecnología de un país i en relación con la frontera (E) de tecnología mundial se representa de la siguiente forma:

$$g_{iE}(t) = \frac{\sigma_i}{A_{iE}(t)} - \sigma_i + \lambda_i - g_E(t) \quad (7)$$

La ecuación (7) implica que, habiendo alcanzado el equilibrio, el país i estará muy cercano al nivel de tecnología de la frontera (E), por lo que tenderá a la tasa de crecimiento de la frontera de tecnología mundial $g_E(t)$. Esta ecuación resume la hipótesis de la convergencia, establece que cuanto menos tecnología tenga algún país, la asimilación de la misma será más rápida.

4. Medición de la Productividad Total de los Factores

La Productividad Total de los Factores (PTF) refleja el cambio en la eficiencia, economías de escala, cambio tecnológico y variación en la utilización de la tecnología; también se conoce como *residual de Solow*. Las críticas a este concepto se basan en la causalidad y los posibles errores de medición. En este caso, como lo indica Abramovitz (1957) sería una medida de ignorancia porque en el residual se incluirían variables que no se conocen, pero que están influyendo en la ecuación de la contabilidad del crecimiento.

La productividad de un país puede funcionar como una medida para relacionar su nivel de producción, dados ciertos niveles de factores de producción. Como mencionamos en la introducción, en este trabajo nos interesa estudiar si existe convergencia en la productividad de los países, a lo cual llamamos hipótesis de convergencia en productividad. En la ecuación (7), que se deriva del modelo de Acemoglu (2009), observamos que a mayor nivel de productividad de un país respecto de la frontera $A_{iE}(t)$, menor tasa de crecimiento de esta variable $g_{iE}(t)$. Idealmente, para probar esta hipótesis necesitamos datos de estas dos variables; puesto que no contamos con ellos, en este trabajo tomamos la medida de productividad que provee la *Penn World Table* (PWT) Version 8.0 (PWT8.0). Esta variable, en lugar de ser una medida relativa a la frontera, es relativa a Estados Unidos, por lo que los resultados no deberán ser interpretados como medidas respecto a la frontera, sino respecto a Estados Unidos. Esta base de datos, elaborada anteriormente por Heston, Summer y Aten (2012), proporciona información de variables socioeconómicas comparables para una gran cantidad de países y a través del tiempo.

Inklaar y Timmer (2013) explican la medida de productividad total de los factores del país i (CTFP por su sigla en inglés: *Total Factor Productivity* es como se denomina en PWT8.0). Esta medida es relativa a Estados Unidos (que por suposición se considerará el país E), y se define como:

$$PTF_{iE} = \frac{CGDP_i}{CGDP_E} / Q_{iE}^T \quad (8)$$

donde $CGDP_i$ es la medida del PIB real del país i en PWT8.0, tomando en cuenta el poder de paridad de compra (PPP) que nos permite hacer comparaciones entre países. La variable Q_{iE}^T es un índice que se construye a partir de los niveles de capital y de trabajo de ambos países, así como de las elasticidades que resultan de estos factores de producción; este índice es útil para comparar la productividad entre los países i y E en un momento dado en el tiempo.² La ecuación (8) se aplica cada año, generando una serie en el tiempo de niveles relativos de que es comparable entre países.

Para el presente trabajo se consideraron las estadísticas reportadas por este instituto sobre PTF, capital físico y capital humano. De la base de datos de PWT8.0, la fuerza laboral de un país se obtiene de multiplicar la población económicamente activa por el nivel de capital humano. Para

² $Q_{iE}^T = (K_i^{\alpha_{iE}} L_i^{1-\alpha_{iE}}) / (K_E^{\alpha_{iE}} L_E^{1-\alpha_{iE}})$; $\alpha_{iE} = (\alpha_1 + \alpha_E) / 2$. Este valor es uno para Estados Unidos, esto es, para $i=E$.

medir el capital humano del país i en tiempo t , utilizan el método tradicional en la literatura, combinan el promedio de años de estudio de la población de 15 y más años de la base de datos de Barro y Lee (2012), y suponen la tasa de retorno como en Psacharopoulos (1994).

Por otra parte, la estimación de los niveles de capital $K(t)$ se basa en la acumulación y depreciación de inversiones hechas en el pasado utilizando el método de inventarios perpetuos (PIM), que permite conocer el valor del inventario en cualquier momento para distintos tipos de inversiones como infraestructura, tecnología y otros tipos de inversiones; esto permite considerar que la inversión no es homogénea y así obtener tasas de depreciación para cada tipo de activo. El resultado es que la depreciación del capital varía entre países y a través del tiempo.

La PWT8.0 presenta el total de las remuneraciones al trabajo y se compone del ingreso laboral tanto de los empleados como de los autoempleados. A diferencia del primero, el ingreso laboral de los autoempleados no es observable. Para salvar este obstáculo, Inklaar y Timmer (2013) explican el procedimiento a detalle para seleccionar la “mejor estimación” de la participación del trabajo según las características del país.

5. Estrategia empírica

Como aclaramos en la sección anterior, para fines prácticos, el nivel de tecnología de un país i en relación con la frontera E —según la teoría expuesta por Acemoglu (2009)— está representado por la productividad total de los factores, PTF, que se obtiene de la PWT8.0 en forma relativa a Estados Unidos:

$$A_{iE}(t) \approx PTF_{iE,t} \quad (9)$$

Por tanto, la tasa de crecimiento de la productividad del país i en relación con Estados Unidos en un tiempo determinado es:

$$g_{iE} = \frac{A_{iE,T} - A_{iE,0}}{A_{iE,0}} \quad (10)$$

Para propósitos de esta sección, se calculará el crecimiento entre el último año del periodo, T , y el año inicial del periodo, 0. Al resultado de la ecuación (10) le llamaremos *crecimiento de la productividad del país i durante el periodo estudiado*. El periodo de estudio y la muestra de países definidos en este trabajo responden a criterios prácticos. Idealmente, para un estudio sobre la convergencia internacional debería contemplarse la totalidad de los países o una muestra razonablemente significativa de ellos; sin embargo, la disponibilidad de información para un periodo de estudio suficientemente largo condiciona nuestro criterio de selección. En cuanto al periodo de estudio, el año inicial con información para una amplia muestra de países se ubicó en 1960, mientras que el último año con información fue 2010, de tal manera que el periodo de 1960 a 2010 constituye el intervalo de análisis de la convergencia en PTF.

Debido a los diferentes criterios que pueden existir para definir los miembros de cada uno de estos grupos de países, en el cuadro 1 se reporta la clasificación internacional, así como los miembros de cada grupo considerados en el estudio.

Cuadro 1. Países y grupos de países que integran este estudio

América Latina	Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Jamaica, México, Perú, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela.
OCDE	Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Suiza, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Gran Bretaña, Irlanda, Islandia, Italia, Japón, Luxemburgo, Holanda, Noruega, Nueva Zelanda, Portugal y Suecia.
Unión Europea	Austria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Gran Bretaña, Grecia, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Malta, Holanda, Noruega, Portugal y Suecia.
Muestra Global	Todos los países de los tres grupos.

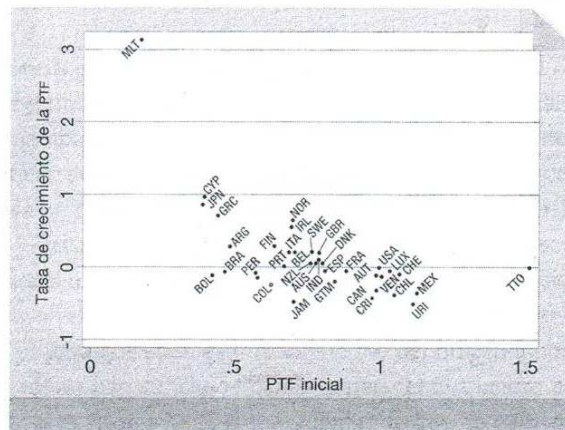
Fuente: base de datos de Penn World Table.

Nota: la muestra de países fue decidida con base en criterios de disponibilidad de información sobre las variables usadas en el trabajo y para el periodo 1960-2010.

Puesto que la medida de PTF se presenta en términos relativos a la de Estados Unidos, la hipótesis de la convergencia de la tecnología se interpreta en términos relativos, es decir, se trata de ver si durante el periodo de estudio aquellos países que inicialmente partían de un nivel de PTF relativo más bajo (en comparación con el nivel de PTF de los Estados Unidos) tendieron a exhibir tasas de crecimiento en PTF más elevadas o, alternativamente, si aquellos países con un nivel de PTF relativo más elevado registraron tasas de crecimiento en PTF más bajas.

La gráfica 1 muestra las observaciones correspondientes a los países que estudiaremos; la variable dependiente es la tasa de crecimiento de la PTF para cada país según la ecuación (10), la variable independiente es el nivel de PTF en el año inicial del periodo. En esta gráfica se puede apreciar que a mayor nivel inicial de PTF, menor tasa de crecimiento de esta variable.

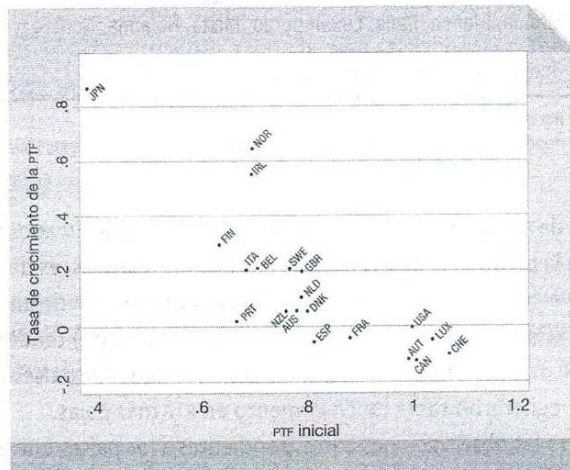
Gráfica 1. Crecimiento de la PTF vs. nivel Inicial de la PTF para la muestra de países



Fuente: cálculos propios utilizando información de PWT8.0.

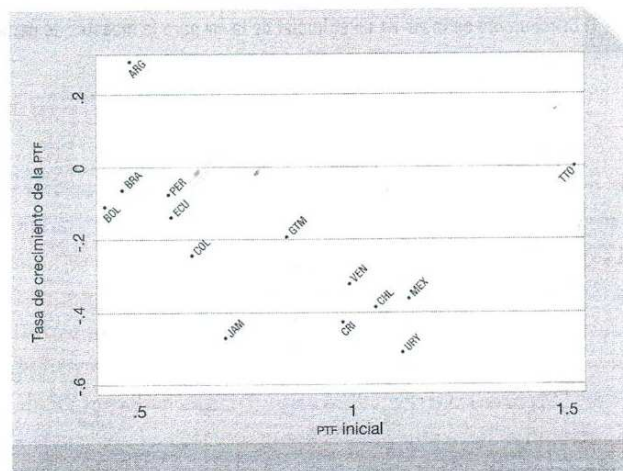
Por otro lado, la tendencia a converger tiene mayor validez entre grupos de economías más similares, por lo que además de la muestra global, correspondiente a los países con información disponible, se consideran tres subgrupos de economías: los países que pertenecen a la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), los países integrantes de la Unión Europea (UE) y los países de América Latina (AL). La gráfica 2 corresponde a los países miembros de la OCDE y la gráfica 3 a los países de América Latina. En ellas, es posible observar que el proceso de convergencia en productividad es más notorio para los países de la OCDE que para los países latinoamericanos.

Gráfica 2. Crecimiento de la PTF para los países miembros de la OCDE



Fuente: cálculos propios utilizando información de PWT8.0.

Gráfica 3. Crecimiento de la PTF en Latinoamérica



Fuente: cálculos propios utilizando información de PWT8.0.

En cuanto a econometría, es deseable obtener una ecuación lineal que relacione las variables de interés. Como podemos observar, la ecuación (7) no es una ecuación lineal en $A_{iE}(t)$; sin embargo, podemos obtener la aproximación lineal de Taylor alrededor del punto correspondiente a la observación de Estados Unidos en el periodo de la muestra como se usa en la ecuación (10), esto es, para $A_{iE,0} = 1$ y $g_{iE} = 0$, ya que $g_i = g_e$. El resultado es una ecuación lineal que relaciona el crecimiento en productividad g_{iE} con el nivel inicial de la productividad $A_{iE,0}$. La ecuación resultante tiene la forma

$$g_{iE} \approx \varphi_i + \beta_i A_{iE}(t); \beta_i = -\sigma_i \quad (11)$$

Observamos que los coeficientes de la ecuación resultante dependen del país i , pues también lo hacen de σ_i . En el marco teórico vimos que σ_i representa la tasa de absorción de la tecnología existente en el país i , y que este parámetro es distinto entre países debido a diferencias en el capital humano, inversión, cuestiones institucionales, entre otras. Las diferencias en este parámetro implican que las tasas de crecimiento de la tecnología varíen no solo por diferencias en el nivel inicial de PTF, sino también por cuestiones estructurales. Para probar la hipótesis de convergencia absoluta asumiremos que estas diferencias estructurales no existen, de tal manera que $\sigma_i = \sigma$ para toda i , esto es, para todos los países, lo que implica la siguiente ecuación:

$$g_{iE} \approx \varphi + \beta A_{iE}(t); \beta = -\sigma \quad (12)$$

Probar la hipótesis de convergencia absoluta es equivalente a mostrar que $\beta < 0$, esto es, a mayor $A_{iE}(t)$, menor g_{iE} .

El supuesto sobre el parámetro σ_i puede ser relajado un poco si suponemos que la condición $\sigma_i = \sigma$ sólo se debe cumplir entre países similares; en este trabajo se estima la ecuación (12) y la misma hipótesis nula, pero para cada grupo por separado.

6. Metodología

Para probar las hipótesis de la convergencia en tecnología (absoluta y condicional), en cada muestra de países se estiman ecuaciones de regresión mediante panel de datos, utilizando variables *dummies* de tiempo e individuo y la metodología de datos de panel dinámico (DPP) con variables instrumentales: este método resulta ideal para regresiones que contemplan la variable dependiente rezagada un periodo como una variable explicativa adicional en el modelo (véase Maddala y Kim, 1998; Baltagi, 2008, entre otros). Ambas herramientas se aplican bajo dos criterios diferentes sobre el uso de la información. El primero de ellos considera la relación entre tasas de crecimiento y niveles iniciales de PTF en el periodo global. Este criterio implica una regresión de corte transversal, ya que en su estimación no hay periodos temporales intermedios.

Algunos investigadores han concluido que esta perspectiva ignora procesos intermedios que pudieron alterar la relación a largo plazo, además de que no controla por problemas de correlación serial y los cambios en el ciclo económico tampoco logran captarse (Islam, 1995,

Caselli, Esquivel y Lefort, 1996, entre otros). Para captar procesos intermedios que pudieran afectar la relación a largo plazo, se construye una base de datos con información sobre tasas de crecimiento y niveles iniciales en intervalos de cada cinco años, con lo que se origina un panel integrado por todos los países participantes en cada muestra y los diez periodos quinquenales extraídos del periodo global 1960-2010.

7. Resultados

Evidencia sobre convergencia absoluta

Una primera aproximación a la relación entre tasas de crecimiento en PTF y sus valores iniciales se obtiene a partir de una regresión básica por medio de Mínimos Cuadrados Ordinarios en forma lineal (MCO). El cuadro 2 muestra los resultados correspondientes a esta perspectiva de corte transversal.

Variable	OCDE	Unión Europea	América Latina	Muestra global
Constante	0.0239*** (0.0038)	0.0484*** (0.0070)	0.0003*** (0.0032)	0.0231*** (0.0048)
PTF inicial	-0.0270*** (0.0048)	-0.0579*** (0.0095)	-0.0053 (0.0037)	-0.0272*** (0.0060)
R ² ajustado	0.61	0.69	0.08	0.35
Estadístico F	31.31	36.69	2.09	20.48
Prob-F	0.00	0.00	0.17	0.00
Observaciones	20	17	14	37

Fuente: elaboración propia con datos de Penn World Table.

Nota: errores estándar entre paréntesis.

*** indica significancia a 1% o menos.

Según esta visión más restringida sobre el proceso de convergencia global en tecnología, se infiere que los diversos grupos de países considerados han exhibido un proceso de convergencia en PTF, tal y como predice la teoría, excepto en América Latina donde el coeficiente estimado, aunque negativo, fue no significativo y muy cercano a cero. En el resto de las muestras, e incluso para la muestra global, la convergencia absoluta no puede ser rechazada. De acuerdo con esta hipótesis, la reducción de las distancias en términos de PTF fue de 2.7% entre los países de la OCDE, y un valor muy similar se estimó para el conjunto global de países que componen la muestra total. Se aprecia que la tasa de convergencia absoluta más elevada se dio entre integrantes de la Unión Europea, misma que fue estimada en cerca de 5.8%. Este resultado sobre la UE es favorable al proceso impulsado por este grupo de países hacia una mayor cohesión, que en la práctica se ha manifestado en reducciones notables de las diferencias de ingreso y, en el presente caso, también de tecnología e innovación.

Sin embargo, recordemos que las estimaciones lineales y la estructura de análisis global tienen ciertas desventajas sobre el cumplimiento de los supuestos sobre los que están contruidos. Con el fin de atenuar algunos de los inconvenientes, el cuadro 3 muestra los resultados de convergencia absoluta mediante mínimos cuadrados no lineales y correspondientes a una estructura de panel conformada a partir de los cortes temporales de cada cinco años.

Cuadro 3. Convergencia absoluta en PTF, con información quinquenal, 1960-2010

Variable	OCDE	Unión Europea	América Latina	Muestra global
Constante	0.0626*** (0.0109)	0.1009*** (0.0159)	0.0475*** (0.0126)	0.0659*** (0.0078)
PTF inicial	-0.0666*** (0.0122)	-0.1093*** (0.0185)	-0.0698*** (0.0135)	-0.0784*** (0.0095)
β estimada	-0.0128*** (0.0023)	-0.0207*** (0.0035)	-0.0135*** (0.0033)	-0.0151*** (0.0018)
R ² ajustado	0.39	0.42	0.29	0.26
Estadístico F	5.46	5.70	3.47	3.91
Prob-F	0.00	0.00	0.00	0.00
Observaciones	200	170	140	370

Fuente: elaboración propia con datos de *Penn World Table*.

Notas: estimaciones mediante mínimos cuadrados de panel con dummies de tiempo e individuo. Errores estándar entre paréntesis.

*** indica significancia a 1% o menos.

Como se aprecia, el coeficiente de la PTF inicial es negativo y altamente significativo en todos los casos ensayados, lo que puede ser atribuible a que una estructura de panel posiblemente sea más favorable hacia procesos de convergencia a largo plazo. También se aprecia que las velocidades de convergencia son ahora relativamente más pequeñas que las mostradas en el cuadro 2. El valor estimado de β indica reducciones de las disparidades en términos de PTF del orden del 1.2% entre países de la OCDE, 2% entre países miembros de la UE, 1.3% para países de América Latina y una tasa de 1.5% cuando se considera la muestra total de países.

Estas velocidades de convergencia son ahora más realistas; sin embargo, tal y como se indicó desde la teoría, estas tasas no contemplan las diferencias estructurales entre cada economía, por lo que estimaciones más correctas sobre el proceso de convergencia deben derivarse a partir de controlar por las diferentes sendas de crecimiento de los países. Éste es precisamente el objetivo de las regresiones de la convergencia condicional.

Evidencia sobre convergencia condicional

Para abordar la hipótesis de la convergencia condicional en tecnología se toman en cuenta los valores para cada país: de capital físico y capital humano, ambos reportados por la PWT8.0. Para obtener la primera variable, a los flujos de inversión se les resta la depreciación y la obsolescencia de inversiones antiguas, con lo que resulta una aproximación al *stock* de capital que cada año se encuentra en funcionamiento en la economía. La segunda variable, el capital humano, es aproximada a partir del índice de escolaridad promedio del país para la población de 15 y más años.

Para controlar por diferencias estructurales, se incluye el capital físico y el capital humano en las ecuaciones de regresión con datos de panel. Las estimaciones se generan mediante la metodología de panel con *dummies* de tiempo e individuo, en el caso de que el rezago de la variable dependiente no se incluya como variable de control, y con la metodología de panel dinámico para el caso de estimar el impacto en las tasas de crecimiento de la PTF del rezago de la variable dependiente.

Los resultados en la primera de las situaciones se muestran en el cuadro 4. El signo del coeficiente estimado de la convergencia y su elevada significancia indican que los resultados aquí se encuentran en armonía con las predicciones teóricas. Sin embargo, las velocidades de la convergencia son ahora ligeramente superiores a las del cuadro 3, donde no se controló por diferencias estructurales. Las correcciones en las tasas de convergencia pueden ser reflejo de las diferencias estructurales existentes entre las economías, es decir, quizá los diferentes grupos de países no comparten un estado estacionario común en términos de crecimiento en PTF.

Un análisis interesante, que se desprende de los resultados del cuadro 4, es sobre la importancia de las dotaciones de capital físico y humano en el proceso de convergencia condicional. Como consecuencia de que ambas variables se introdujeron como sus valores iniciales, es posible deducir directamente el papel desempeñado por la acumulación de factores en el acercamiento exhibido por los países en cuanto a innovación y tecnología.

Por ejemplo, el capital físico sólo fue significativo en la muestra de países de la OCDE, pero no en las muestras restantes. Una interpretación de este resultado llevaría a indicar que sólo en los países de la OCDE las dotaciones iniciales de capital fueron importantes para reducir la brecha en cuanto a tecnología e innovación. El signo negativo y significativo de esta variable sugiere que dotaciones más elevadas de capital físico se relacionan con tasas más bajas de crecimiento de la PTF, un resultado que favorece la hipótesis de la convergencia.

Cuadro 4. Convergencia condicional en PTF con información quinquenal (1960-2010)

Variable	OCDE	Unión Europea	América Latina	Muestra global
Constante	0.2902*** (0.0665)	0.3899*** (0.1240)	0.1154* (0.0629)	0.1099*** (0.0345)
PTF inicial	-0.0684*** (0.0121)	-0.1226*** (0.0184)	-0.0785*** (0.0169)	-0.0869*** (0.0099)
Capital físico inicial	-0.0153** (0.0063)	-0.0140 (0.0115)	-0.0004 (0.0083)	0.0020 (0.0052)
Capital humano inicial	-0.0223* (0.0124)	-0.0501** (0.0193)	-0.0275** (0.0032)	-0.0239*** (0.0091)
β estimada	-0.0132*** (0.0023)	-0.0231*** (0.0034)	-0.0151*** (0.0032)	-0.0166*** (0.0018)
R ² ajustado	0.43	0.45	0.07	0.22
Estadístico F	5.88	5.98	1.68	3.71
Prob-F	0.00	0.00	0.05	0.00
Observaciones	200	170	140	370

Fuente: elaboración propia con datos de *Penn World Table*.

Notas: estimaciones mediante mínimos cuadrados de panel con *dummies* de tiempo e individuo. Errores estándar entre paréntesis. ***, **, * indican significancia 1, 5 y 10% respectivamente.

De forma diferente, la acumulación de capital humano sí fue relevante para reducir las brechas de tecnología en todas las muestras aquí consideradas. Este resultado está relacionado con las predicciones teóricas, ya que el signo negativo y significativo indica que el conocimiento y la innovación tienden a diseminarse rápidamente entre los países. Es decir, los países que partieron de niveles iniciales de educación más bajos tendieron a exhibir tasas de crecimiento de PTF más elevadas, lo que sugiere que durante el periodo tuvieron lugar procesos de absorción y estandarización de nuevas tecnologías que llevaron a acercar los niveles de PTF entre los países, como lo establece el modelo de Acemoglu (2009).

¿Qué tanto influyen los resultados de crecimiento en PTF de periodos pasados en los resultados de crecimiento de periodos actuales? Dado que la teoría de series de tiempo subraya que la evolución temporal de las variables está afectada por sus valores pasados, es posible que exista alguna relación dinámica que no ha sido captada por las regresiones de panel del cuadro 4 y que, no obstante, deba ser estimada.

Obtener estimaciones de convergencia condicional en la tecnología en un contexto dinámico es el objetivo de estimar regresiones mediante la metodología de DPD con variables instrumentales. Los resultados se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Convergencia condicional dinámica en PTF, con información quinquenal, 1960-2010

Variable	OCDE	Unión Europea	América Latina	Muestra global
Y rezagada un periodo	0.1188*** (0.0136)	-0.0200 (0.0155)	0.01514*** (0.0243)	0.0419*** (0.0059)
PTF inicial	-0.1123*** (0.0096)	-0.1039*** (0.0145)	-0.0813*** (0.0143)	-0.0795*** (0.0009)
Capital físico inicial	0.0027 (0.0041)	0.010 (0.0072)	-0.0005 (0.0133)	0.0003 (0.0031)
Capital humano inicial	-0.0183*** (0.0057)	-0.0301*** (0.0102)	-0.0306** (0.0124)	-0.0243*** (0.0050)
β estimada	-0.0212*** (0.0018)	-0.0198*** (0.0027)	-0.0156*** (0.0027)	-0.0152*** (0.0001)
Estadístico J	17.61	16.15	13.03	34.99
Instrument Rak	20	17	14	37
Observaciones	160	136	112	296

Fuente: elaboración propia con datos de Penn World Table.

Notas: estimaciones mediante datos de panel dinámico. Los instrumentos son el segundo rezago de la variable dependiente y 1 o 2 rezagos de las variables regresoras. Errores estándar entre paréntesis. ***, ** indican significancia a 1 y 5% respectivamente.

Hay varias observaciones interesantes que se desprenden del cuadro 5. Primero, los niveles iniciales de capital físico no parecen ser determinantes en el crecimiento de la PTF relativa, ya que en ninguna de las muestras resultaron significativos. Segundo, el capital humano se convierte en un factor importante, ya que en todos los casos resultó significativo y con el signo correcto. Tercero, hay una corrección en las velocidades de la convergencia que en la mayoría de los casos

aumentan en relación a las estimadas en el cuadro 4, excepto para la Unión Europea, en la que se obtiene una estimación ligeramente inferior. Sin embargo, nótese que en todos los casos, excepto en el de la Unión Europea, el panel dinámico indica que la tasa de crecimiento rezagada un periodo es importante en el modelo de regresión, lo que se traduce en que esta variable lleva a una mejor especificación del proceso de convergencia. Esta observación es fortalecida por los valores estimados del *instrument Rank* y el *estadístico J*, los cuales indican que ha mejorado la especificación del modelo.

De acuerdo con las tasas de convergencia estimadas por este último modelo, la menor tasa de convergencia se observa en la muestra global, como era de esperarse, ya que constituye la más disímil; después está el grupo de países de América Latina, con una tasa de convergencia del 1.5%, la Unión Europea con 1.9% y, finalmente, con la mayor tasa de convergencia los países de la OCDE, con una velocidad estimada superior al 2 por ciento.

Finalmente, y dado que la tasa de crecimiento de la PTF rezagada un periodo no resultó significativa en el grupo de países de la Unión Europea, la mejor especificación econométrica para este conjunto debe ser la del cuadro 4 —que no incluye esta variable—, en la cual se estimó una velocidad de convergencia del 2.3 por ciento.

8. Conclusiones

Si la teoría de la convergencia anticipa que las diferencias de ingresos de un conjunto de economías similares tenderán a desaparecer a largo plazo, la verificación de esta hipótesis en términos de PTF debe ser más evidente. Los resultados estimados en este trabajo para varias muestras de países confirman esta aseveración. Además, también indican que las velocidades han sido diferentes y en función del estado estacionario al que tiende cada economía.

Las velocidades de convergencia estimadas fueron mayores en los países más avanzados (como los miembros de la OCDE y la UE), y menores en los países de América Latina y en la muestra global. Este resultado coincide con los preceptos teóricos de que la innovación y el cambio tecnológico tienen mayor presencia en los países más avanzados, por lo que en ellos tienden a igualarse con mayor rapidez. Éste es un resultado que las estimaciones de regresión han podido verificar. También se concluye que el capital humano ha sido un factor decisivo en reducir las diferencias de PTF, como era de esperarse, ya que ésta tiene mayor relación con la PTF puesto que es una medida de la innovación y del cambio tecnológico que surge de la acumulación de capital humano en la sociedad.

Referencias Bibliográficas

- Acemoglu, A. (2009). *Introduction to Modern Economic Growth*. Nueva Jersey: Princeton University Press.
- Aghion, Philippe y Peter Howitt (1992). "A Model of Growth through Creative Destruction". *Econometrica*, 60, marzo.
- Baltagi, Badi H. (2008). *Econometric Analysis of Panel Data*, Nueva York: Wiley.
- Barro, Robert J. (1991). "Economic growth in a cross section of countries". *Quarterly Journal of Economics*, 106, 407-443.
- Barro, Robert y Sala-i-Martin, Xavier (1995). *Economic Growth*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Barro, Robert J. y Jong-Wha Lee (2012). "A New Data Set on Educational Attainment in the World, 1950-2010". *Journal of Development Economics*, 104, 184-198.
- Baumol, William (1986). "Productivity growth, convergence, and welfare: what the long-run data show". *American Economic Review*, 76, 1072-1085.
- Cass, David (1965). "Optimum Growth in an Aggregative Model of Capital Accumulation". *Review of Economic Studies*, 32, julio.
- Caselli, Francesco; Gerardo Esquivel; Fernando Lefort (1996). "Reopening the Convergence Debate: A New Look at Cross-Country Growth Empirics", *Journal of Economic Growth*, 1, 363-389.
- De la Fuente, Ángel (1997). "The Empirics of Growth and Convergence: A Selective Review". *Journal of Economic Dynamics and Control*, 21, 23-73.
- Diamond, Peter (1965). "National Debt in a Neoclassical Model Growth Model", *American Economic Review*, 55, diciembre.
- Grossman, Gene y Elhanan Helpman (1991). *Innovation and Growth in the Global Economy*. Cambridge: The MIT Press.
- Heston, Alan; Robert Summers y Bettina Aten (2012). *Penn World Table Version 7.1*, Center for International Comparisons of Production, Income and Prices, at the University of Pennsylvania, julio 2012.
- Inklaar, Robert y Marcel P. Timmer (2013) "Capital, labor and TFP in PWT8.0" http://www.rug.nl/research/ggdc/data/pwt/v80/capital_labor_and_tfp_in_pwt80.pdf
- Islam, Nazrul (1995). "Growth Empirics: A Panel Data Approach", *Quarterly Journal of Economics*, 110, 1127-1170.
- Jones, Charles I. (2002). "Sources of U.S. Economic Growth in a World of Ideas", *American Economic Review*, 92, 220-239.
- Jones, Larry E. y Rodolfo E. Manuelli (1997). "The Sources of Growth". *Journal of Economic Dynamics & Control*, 21, 75-114.
- Koopmas, Tjalling (1965): "On the Concept of Optimal Economic Growth". En *The Economic Approach to Development Planning*. Amsterdam: Elsevier.
- Kremer, Michael (1993). "Population growth and technological change: one million B.C. to 1990". *Quarterly Journal of Economics*, 108, 681-716.
- Lucas, Robert E. (1988): "On the Mechanics of Economic Development", *Journal of Monetary Economics*, 22(1), 3-42.

- Maddala, G.S. y In-Moo Kim (1998). *Unit Roots, Cointegration, and Structural Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mankiw, N. Gregory; David Romer; David N. Weil (1992). "A Contribution to the Empirics of Economic Growth", *Quarterly Journal of Economics*, 107(2), 407-437.
- Miller, Stephen M. y Mukti P. Upadhyay (2002). "Total factor productivity and the convergence hypothesis". *Journal of Macroeconomics*, 24, 267-286.
- Parente, S.L. y Prescott, E. (2000). *Barriers to Riches*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Prescott, E. (1998). "Needed: A Theory of Total Factor Productivity", *International Economic Review*, Vol. 39, pp. 525-552.
- Psacharopoulos, George (1994). "Returns to investment in education: A global update". *World Development* 22 (9), 1325-1343.
- Ramsey, F.P. (1928). "A Mathematical Theory of Saving". *Economic Journal*, 38, diciembre.
- Restuccia, Diego (2004). "Barriers to Capital Accumulation and Aggregate Total Factor Productivity", *International Economic Review*, vol. 45(1), 225-238.
- Romer, David (2006). *Advanced Macroeconomics*. 4a Ed. Nueva York: McGraw-Hill.
- Romer, Paul (1990). "Endogenous Technological Change". *Journal of Political Economy*, 98, octubre.
- Solow, Robert (1956), "A Contribution to the Theory of Economic Growth", *Quarterly Journal of Economics*, vol. 70, pp. 65-94.
- Swan, Trevor W. (1956). "Economic Growth and Capital Accumulation". *Economic Record*, vol. 32 (2), pp.334-61.
- Turner, Chad; Robert Tamura y Sean E. Mulholland (2013). "How Important are Human Capital, Physical Capital and Total Factor Productivity for Determining State Economic Growth in the United States, 1840-2000?", *Journal of Economic Growth*, 18(4): 319-371.