

La inversión en I+D. ¿Es suficiente para incrementar el crecimiento económico? Un análisis a través de datos de panel dinámicos

Marcos Sánchez Calderón*, Cristián Gutiérrez Rojas**,
Carlos Plúas Rodríguez***

RESUMEN

En este estudio se examinan los efectos sobre el crecimiento económico de los gastos de investigación y desarrollo tecnológico (I+D), tanto en forma total como diferenciada por la naturaleza del financiamiento entre los sectores empresarial, estatal y de educación superior. Se utilizó un panel de datos de corte transversal y series de tiempo, durante el periodo 1980-2021, para una muestra de 22 países agrupados, según el nivel de ingreso, en economías avanzadas, emergentes y en desarrollo. Para proporcionar una caracterización dinámica a corto y largo plazo, se emplea el enfoque del modelo autorregresivo de rezagos distribuidos que utiliza el estimador *Pooled Mean Group* desarrollado por Pesaran, Shin y Smith (1999). Los resultados revelan una diferenciación en el aporte de las actividades de investigación al desarrollo. Así, el gasto de I+D realizado por las empresas y las universidades aportan de manera importante al crecimiento económico en las economías avanzadas; las economías emergentes han generado una asociación positiva entre investigación científica y crecimiento económico mediante las publicaciones formales de sus estudios, mientras que las economías en desarrollo aún no muestran un dinamismo positivo significativo entre la I+D y su crecimiento económico, pese a que se confirma la convergencia condicional, tal como predice la literatura empírica de crecimiento.

PALABRAS CLAVE: I+D, en desarrollo, emergentes, avanzados, crecimiento económico, PMG.

Investment in R&D. Is It Enough to Increase Economic Growth? An Analysis through Dynamic Panel Data

ABSTRACT

This study examines the economic effects of expenses in research and technological development (R&D), both considered totally and differentiated by the nature of the financing among business, state, and higher education sectors. A panel of cross-section-

* Departamento de Seguridad y Defensa, Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), Ecuador.

✉ mgsanchez7@espe.edu.ec.

** Facultad de Ingeniería y Empresa, Universidad Católica Silva Henríquez, Chile.

✉ cgutierrez@ucsh.cl.

*** Facultad de Ciencias Sociales, Educación Comercial y Derecho, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador.

✉ cpluasr@unemi.edu.ec.

Recibido junio de 2023 / Aceptado abril 2024.

nal data and time series was obtained, during the period 1980-2021, for a sample of 22 countries grouped according to income level, in advanced, emerging and developing economies. In order to provide a dynamic characterization in the short and long term, the autoregressive model of distributed lags approach is used, which uses the Pooled Mean Group estimator developed by Pesaran, Shin and Smith (1999). The results reveal a differentiation in the contribution of research activities to development; thus, the R&D expenditure carried out by companies and universities contributes significantly to economic growth in advanced economies; emerging economies have generated a positive association between scientific research and economic growth through the formal publications of their studies, while developing economies still do not show significant positive impact between R&D and its economic growth, despite the fact that conditional convergence is confirmed as predicted by the empirical growth literature.

KEYWORDS: R&D, developing, emerging, advanced, economic growth, PMG.

1. Introducción

El crecimiento económico es un factor clave para luchar contra la pobreza. Permite reducir el efecto de la escasez y disfrutar de más bienes y servicios, motivos por los cuales ha sido, es y será un tema de estudio frecuente. Para Destinobles (2005), los resultados de las investigaciones sobre este tema deben considerarse como parciales, complementarios y evolutivos, ya que contribuyen a explicar un tema tan complejo como es el identificar los diferentes factores que participan en el proceso de crecimiento de una economía.

Para encauzar el rumbo a seguir en la presente investigación es necesario realizar una breve reseña histórica. En la revolución industrial de mediados del siglo XIX surgen los primeros aportes teóricos sobre crecimiento económico, principalmente, de los denominados economistas clásicos de aquella época, como Adam Smith, David Ricardo y Thomas Maltus, que estudian las fuentes del crecimiento de la riqueza de las naciones a largo plazo. Ya en el siglo XX, según comenta Cuadrado (2001), surgen nuevos aportes de célebres economistas, como Schumpeter (1911), Ramsey (1928), Young (1928) y Knight (1944), que contribuyeron significativamente al conocimiento de las relaciones entre el crecimiento y el progreso tecnológico. Sin embargo, el hecho más relevante se presenta a mediados del siglo XX, cuando el análisis del crecimiento experimenta un nuevo impulso mediante la premiada publicación de Robert M. Solow y que sería desarrollada, paralelamente, por Trevor W. Swan en 1956.

El modelo de crecimiento de Solow y Swan suele tomarse de referencia para analizar el crecimiento moderno por parte de los economistas keynesianos y neoclásicos, el que básicamente resalta el tratamiento de la tecnología y aporta con el análisis introduciendo una función de producción con rendimientos constantes a escala y decrecientes para cada uno de los factores productivos, junto al supuesto de mercados perfectamente competitivos, lo cual conduce a la economía a una situación de equilibrio sostenido a largo plazo con pleno empleo (Galindo 2011: 5).

Sin embargo, en la década del ochenta del siglo pasado, muchos economistas e investigadores manifestaban una sensación de rechazo al modelo de Solow y Swan. Argumentaban que el análisis económico no explica cómo se producen las mejoras en la tecnología y que, debido al supuesto de rendimientos decrecientes, el crecimiento a largo plazo por la acumulación de capital es insostenible, alcanzando un punto donde el crecimiento se detiene. Entonces, surge la idea del progreso tecnológico endógeno, que explica cómo se producen los cambios tecnológicos. En estos nuevos modelos se enfatiza el aporte que tienen el desarrollo del capital humano, la innovación y la iniciativa empresarial. Según Hernández (2006), los representantes de esta visión son: Romer (1986,1989), Howitt y Aghion (1998), Lucas (1988), Nelson y Phelps (1966), Barro (1990), Grossman y Helpman (1991), entre otros.

Como respuesta a las nuevas tendencias de investigaciones teóricas que utilizaban modelos de crecimiento endógeno, en 1992 aparece el modelo Mankiw, Romer y Weil, conocido como modelo ampliado de Solow o modelo MRW, que establece el supuesto de que la tecnología crece de forma exógena. El modelo MRW permitió el resurgimiento del modelo de crecimiento neoclásico en la década de los noventa del siglo XX y, actualmente, es reconocido como uno de los modelos de crecimiento empírico más notables, que permite explicar analíticamente los hechos estilizados del crecimiento de una economía y su convergencia.

El modelo MRW ha generado una amplia literatura que utiliza la tecnología como variable motriz de los estudios de crecimiento a largo plazo. Este modelo no ha estado ausente de críticas, y diversos investigadores han señalado la necesidad de ahondar en los aspectos dinámicos y en los determinantes de la eficiencia técnica, así como en las características inobservables de cada país, recogidas a través de los efectos fijos (Álvarez 2007).

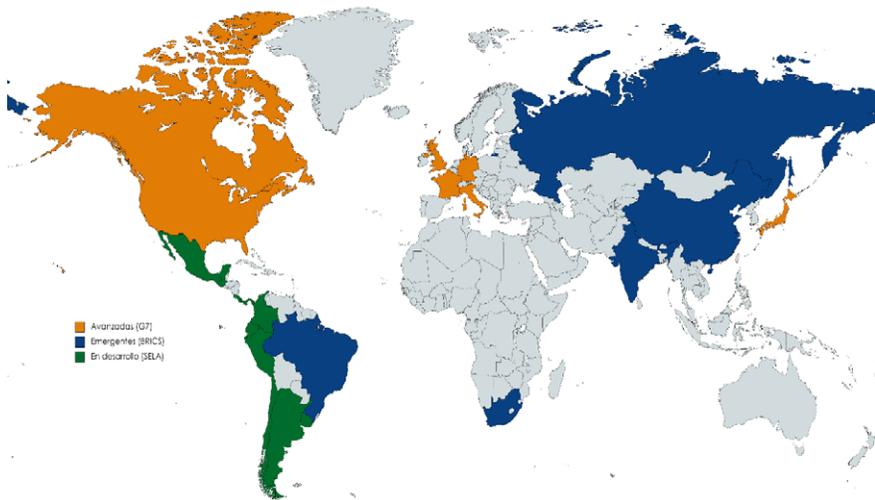
Como se aprecia, hay un amplio panorama teórico y cada aporte tiene su trascendencia en el estudio del crecimiento económico. Para los efectos que en este estudio interesan, se toma como referencia el modelo propuesto por Bassanini y Scarpetta (2001), quienes a su vez toman como referencia el modelo MRW y lo amplían con el propósito de identificar posibles vínculos a largo plazo entre el crecimiento económico y las variables que representan la acumulación de capital en sentido amplio (físico y humano), el crecimiento demográfico, la educación y las políticas e instituciones, especialmente, el gasto de investigación científica y desarrollo tecnológico (en adelante I+D). El gasto en I+D puede traducirse en nuevas tecnologías, una absorción más rápida de las existentes y formas más eficientes de utilizar los recursos disponibles de capital físico y humano; así, se espera que un mayor gasto en I+D pueda aumentar de forma permanente el crecimiento económico.

El enfoque metodológico consiste en aplicar el estimador econométrico *Pooled Mean Group*, desarrollado por Pesaran *et al.* (1999), que puede resumirse como un modelo de corrección de errores que utiliza un panel de datos de corte transversal y series de tiempo. Según Loayza y Ranciere (2005), los efectos a corto y largo plazo se estiman conjuntamente a partir de un modelo autorregresivo de rezagos distribuidos, donde se permite que los efectos a corto plazo varíen entre países. Los resultados son considerados relevantes al superar la endogénesis y validar las pruebas estadísticas entre las variables.

La contribución que se pretende realizar a la literatura existente es intentar medir el efecto del gasto en I+D producido por tres sectores — empresarial, de administración pública y de educación superior— sobre el crecimiento económico de las economías avanzadas, emergentes y en desarrollo, e identificar cuál es el comportamiento dinámico a largo plazo de las variables.

La principal fuente de información es la base de datos CANA, elaborada en la Universidad Complutense de Madrid (Castellacci y Natera 2011) y complementada con información estadística del Banco Mundial, del Instituto de Estadísticas de la UNESCO y de la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericana e Interamericana. La muestra que se utiliza se compone de 22 países clasificados en tres grupos de economías: avanzadas, emergentes y en desarrollo (figura 1); el periodo que abarca va de 1980 a 2021.

● FIGURA 1. TIPOS DE ECONOMÍAS



Fuente: elaboración propia.

El artículo se estructura de acuerdo con los siguientes apartados: en el primero, se ofrece una breve revisión de la literatura empírica; en el segundo apartado, se describe el modelo de crecimiento y la especificación econométrica; en el tercero, se describe la base de datos, las variables empleadas y se presentan los resultados de las estimaciones, para finalizar con las conclusiones y reflexiones finales.

2. Método de estimación y modelo econométrico

2.1. El modelo de crecimiento aumentado con políticas e instituciones

El marco subyacente del enfoque empírico para la presente investigación es el modelo de Mankiw, Romer y Weil, conocido como modelo MRW, que surge en 1992 y en su especificación general considera una economía cerrada, que utiliza como factores productivos el capital físico, la fuerza de trabajo y el capital humano; asume que la economía está dotada de una tecnología y lo modela con una función de producción tipo Cobb-Douglas con rendimientos constantes a escala (Brida y Gastón 2016).

Estudios como los de Bassanini y Scarpetta (2001), Arnold (2008) y Boulhol *et al.* (2008) toman como referencia este modelo buscando identificar los efectos que tienen las políticas e instituciones en el crecimiento económico mediante un enfoque de panel. En este contexto, es de especial interés medir la influencia que puede tener el gasto en I+D en el crecimiento. La I+D comprende el trabajo creativo (desarrollo de procesos y productos e investigación básica y aplicada) realizado de forma sistemática con el objetivo de generar nuevas aplicaciones y aumentar el acervo de conocimientos (OCDE 2002). Nkwoma (2014) comenta que, en las últimas décadas, han surgido innumerables investigaciones que consideran a la I+D como uno de los principales factores que contribuyen al crecimiento de las empresas individuales y, en consecuencia, a la mejora de la economía. En varios documentos de la OCDE se confirma que los gastos en I+D tienen un efecto positivo significativo en los niveles de PIB per cápita (PIBpc) a largo plazo (Bouis *et al.* 2011).

La investigación y el progreso tecnológico han contribuido significativamente en el crecimiento económico de las naciones y, al ser considerado un proceso acumulativo, su medición dependerá de la finalidad que se persigue:

Para conocer el nivel de crecimiento económico en el corto plazo, el indicador más utilizado es la tasa de aumento de la producción (PIB; en términos reales) con respecto al año anterior.

Sin embargo, para conocer el grado de desarrollo económico de un país, lo cual se materializa en el largo plazo, el indicador más apropiado es la evolución de la renta por persona. (Cuadrado 2001: 233)

En este contexto, medir el efecto que tiene el tiempo en el crecimiento representa un reto, debido principalmente a dos hechos que deben ser tratados estadísticamente: el primero es la necesidad de separar y estimar los efectos a corto y largo plazo sin necesidad de descomponer directamente los componentes tendenciales y cíclicos del crecimiento y las demás variables explicativas, y el segundo, se espera que las relaciones a largo plazo sean más homogéneas entre los países y, de manera simultánea, la heterogeneidad de los países sea particularmente relevante en las relaciones a corto plazo, por lo que es razonable pensar que los países considerados económicamente avanzados y emergentes compartan parámetros similares —como acceso a tecnología, productividad del trabajo,

comercio intrarregional e inversión extranjera directa— que faciliten una ampliación de la frontera de posibilidades de producción, mientras que este supuesto se cumple parcialmente o no se cumple en algunos países clasificados como en desarrollo, debido a que son más vulnerables y responden en grados muy diferentes a las crisis financieras, la desocupación y subocupación masiva, el comercio exterior desfavorable, las perturbaciones internas y externas, entre otras.

Previo a estimar la dinámica a corto y largo plazo es necesario examinar la presencia de variables integradas, y si existen relaciones de cointegración entre ellas. Para Díaz Quevedo (2012), las principales características que tienen las variables cointegradas son su respuesta a cualquier desviación en el logro del equilibrio a largo plazo, a la vez que se evitan las regresiones espurias, y los problemas inferenciales por el uso de series no estacionarias. Para el cumplimiento de los objetivos de este estudio es importante comprobar, por tanto, la estacionariedad de las variables que componen el modelo de crecimiento. Para probar la presencia de relaciones a largo plazo entre series de tiempo económicas, en este trabajo se utiliza el procedimiento de los modelos de regresión del tipo autorregresivo de rezagos distribuidos (ARDL), desarrollado por Pesaran *et al.* (2001), y que tiene entre algunas de sus ventajas el hecho de que el proceso de estimación puede aplicarse independientemente de si las variables son estacionarias en niveles o en primeras diferencias (Pesaran *et al.* 2001).

Ahora bien, se puede obtener una ecuación más sencilla de interpretar, generando el término de corrección de error y combinando variables en diferencias y combinaciones lineales de niveles de las series que son estacionarias. A este modelo se lo ha denominado mecanismo de corrección de errores (MCE) de Engle y Granger (Gujarati y Porter 2010). Algunas de las ventajas de la especificación del tipo MCE son: la multicolinealidad tiende a ser menor por cuanto la correlación lineal entre las variables en diferencias y las en niveles es baja, permitiendo una estimación más precisa de los parámetros, y este modelo puede captar mejor la información dinámica contenida en los datos de series de tiempo económicas, al incluir diferencias de todas las variables de corto plazo.

Esta metodología se asienta en el modelo de crecimiento aumentado con políticas e instituciones de Bassanini y Scarpetta (2001), que permite analizar los vínculos a corto y largo plazo entre el PIBpc y las variables

que representan la acumulación de capital físico, capital humano, crecimiento demográfico y políticas e instituciones. Estos autores recomiendan que en cualquier análisis cuantitativo del crecimiento se considere a las actividades de I+D como una forma adicional de inversión y se diferencie entre los distintos tipos de gastos en I+D. La metodología así concebida se considera aceptable estadísticamente si cumple dos requisitos: primero, que exista una relación a largo plazo entre las variables de interés, y segundo, que la especificación dinámica del modelo permita ser lo suficientemente incrementada (o rezagada) para que los regresores sean estrictamente exógenos y los residuales resultantes estén en serie no correlacionados (Loayza y Ranciere 2005).

La expresión algebraica básica, en la forma de corrección de errores, se puede escribir de la siguiente manera

$$\Delta \ln y_{i,t} = a_{0,i} - \phi_i \ln y_{i,t-1} + a_{1,i} \ln sk_{i,t} + a_{2,i} \ln h_{i,t} - a_{3,i} \ln n_{i,t} + \sum_{j=4}^m a_{j,i} \ln V_{i,t}^j + a_{m+1,i} t + b_{1,i} \Delta \ln sk_{i,t} + b_{2,i} \Delta \ln h_{i,t} + b_{3,i} \Delta \ln n_{i,t} + \sum_{j=4}^m b_{j,i} \Delta \ln V_{i,t}^j + \epsilon_{i,t} \quad [1]$$

Donde i denota países y t es una tendencia en el tiempo; y representa el crecimiento de la producción per cápita; ϕ es la velocidad de ajuste; sk es la propensión a la acumulación de capital físico; h es el *stock* de capital humano; n es el crecimiento demográfico; $a_{o,i}$ es el efecto fijo por país, y V^j es un vector de variables influenciadas por las políticas públicas y las instituciones que, para este caso en particular, se refieren a las actividades innovadoras. A continuación, se añaden los *b-regresores* que capturan la dinámica a corto plazo y es el término de error habitual. Las variables están especificadas en su forma logarítmica.

2.2. Especificación econométrica del modelo

Los avances tecnológicos en el tratamiento de la información han permitido que en las últimas décadas se disponga de datos con mayor frecuencia. Este hecho ha contribuido a que las investigaciones sobre modelos dinámicos se centren en paneles donde N (número de individuos) y t (años) son grandes en ambos casos.

Para estimar estos modelos se han desarrollado diversos métodos econométricos, como Dynamic Fixed Effect (DFE), que utiliza promedios

a largo plazo para muchos años o décadas, lo que implica una pérdida significativa de información y dificulta la explicación de la heterogeneidad no observada de los países; Mean Group (MG), propuesto por Pesaran y Smith (1995), que usa promedios a corto plazo (quinquenales) para encontrar influencias cíclicas, pero al cual se le ha cuestionado su efectividad dada la falta de sincronidad de los ciclos económicos entre países, y Pooled Mean Group (PMG), introducido por Pesaran *et al.* en 1999 y considerado como un estimador intermedio, el cual es particularmente útil cuando el largo plazo viene dado por condiciones que se espera sean homogéneas entre países (igual que el estimador DFE), mientras que el corto plazo depende de las características del país (igual que el estimador MG) (Arnold 2008).

La metodología PMG ofrece la mejor alternativa disponible en la búsqueda de consistencia y eficiencia sobre otros estimadores de corrección de errores de panel. Según Pesaran *et al.* (1999), el estimador PMG restringe los coeficientes de largo plazo para que sean iguales en todos los países, lo que provoca estimaciones eficientes y consistentes cuando las restricciones son ciertas; caso contrario, si el modelo es verdaderamente heterogéneo, las estimaciones de PMG son inconsistentes (el estimador MG proporciona estimaciones consistentes en cualquier caso, pero es menos eficiente que el estimador PMG). A corto plazo, el estimador PMG también genera estimaciones consistentes de la media de los coeficientes entre países, calculando el promedio simple de los coeficientes individuales de cada país (siempre que la dimensión transversal sea grande).

El proceso que sigue el estimador PMG, de manera formal, es el siguiente: en primer lugar, los coeficientes de la pendiente a largo plazo se estiman de manera conjunta para todos los países a través de un procedimiento de máxima verosimilitud, lo que permite probar si existe una condición de homogeneidad a largo plazo; en segundo lugar, se demuestra la existencia de heterogeneidad sin restricciones a corto plazo. La estimación de los interceptos, las varianzas de error y los coeficientes a corto plazo (incluyendo la velocidad de ajuste) se realizan tomando promedios simples de los países que constan en el panel, también a través de máxima verosimilitud y utilizando las estimaciones de los coeficientes de la pendiente a largo plazo previamente obtenidos (Loayza y Ranciere 2005, Kamaci *et al.* 2019).

Al aplicar el estimador econométrico PMG a la ecuación [1] se obtiene la versión restringida para proporcionar una caracterización dinámica a corto y largo plazo de los efectos de las diferentes variables sobre el crecimiento de los países:

$$\Delta \ln y_{i,t} = -\phi_i \{ \ln y_{i,t-1} - \theta_1 \ln k_{i,t} - \theta_2 \ln h_{i,t} + \theta_3 \ln n_{i,t} - \sum_{j=4}^m \theta_j \ln V_{i,t}^j - a_{m+1} t_i - \theta_{0,i} \} + b_{1,i} \Delta \ln k_{i,t} + b_{2,i} \Delta \ln h_{i,t} + b_{3,i} \Delta \ln n_{i,t} + \sum_{j=4}^m b_{j,i} \Delta \ln V_{i,t}^j + \epsilon_{i,t} \quad [2]$$

De manera similar, se tiene que γ representa la evolución con relación al tiempo del PIBpc. En la primera parte de la expresión se obtiene el comportamiento a largo plazo, que va a depender de su nivel inicial, de la acumulación del capital físico, del *stock* de capital humano, del crecimiento demográfico y un conjunto de factores normativos e institucionales que, en este caso, representan las actividades innovadoras. La hipótesis a largo plazo permite identificar directamente los parámetros que afectan la dinámica de transición al estado de equilibrio, denotada por los coeficientes estimados. Mientras que en la segunda parte de la expresión se añaden los *b-regresores* que representan los componentes cíclicos a corto plazo.

Al emplear el enfoque del modelo ARDL en la ecuación de crecimiento, los regresores a largo plazo pueden ser aumentados (rezagados), se calculan diferencias en los regresores a corto plazo para controlar los componentes cíclicos causados por las variaciones interanuales de la producción y se mantiene un solo factor de convergencia (la variable dependiente rezagada en niveles), lo que garantiza que el residuo del modelo de corrección de errores sea exógeno y no esté serialmente correlacionado (Loayza y Ranciere 2005).

Antes de estimar el modelo ARDL se recomienda probar la estacionariedad de los datos para evitar efectos espurios; es decir, adaptar los regresores estacionarios en niveles $I(0)$ o en primera diferencia $I(1)$. Para comprobar la existencia de raíz unitaria se utiliza la prueba de Dickey Fuller aumentada (ADF) en sus versiones Fisher χ^2 y Choi Z-stat (Pesaran *et al.* 2001). La validación de la metodología PMG requiere cumplir dos condiciones: 1) comprobar que hay evidencia sobre la existencia de una relación a largo plazo entre las variables (prueba de cointegración),

y 2) conciliar el comportamiento de corto plazo de las variables económicas con su comportamiento de largo plazo; es decir, se exige que el coeficiente del término de corrección de errores (ECT) sea negativo (bajo el supuesto de que las variables muestran un retorno hacia un equilibrio de largo plazo) y no inferior a -2 (es decir, dentro del círculo unitario) (Loayza y Ranciere 2005).

3. Datos y resultados

En esta sección se presentan los datos y resultados de las pruebas de raíces unitarias y cointegración en panel, así como las estimaciones obtenidas al aplicar el modelo de la ecuación [2].

3.1. Datos

La base de datos se ha construido considerando a cada país como unidad de análisis y el periodo de estudio es de 1980 a 2021. Se utilizan datos de varias fuentes: base de datos CANA, elaborada en la Universidad Complutense de Madrid por Castellacci y Natera (2011), estadísticas del Banco Mundial, estadísticas del UIS (Instituto de Estadísticas de la UNESCO) y estadísticas del portal GHDx¹. La muestra se compone de 22 países clasificados en tres tipos de economías: avanzadas (los siete países más industrializados del planeta); emergentes (cinco países con enormes potencialidades de desarrollo económico, conocidos como BRICS), y en desarrollo (diez países pertenecientes al Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe [SELA]). Se descartaron otros 16 países (que se señalan en la nota del apéndice I), debido a que no fue posible obtener información de series anuales continuas para la mayoría de las variables utilizadas en las ecuaciones de crecimiento durante la mayor parte del periodo bajo estudio, en particular, la desagregación del gasto en I+D por sector. Debido a que los conjuntos de países analizados tienen rasgos característicos distintos, se esperan diferentes resultados sobre la posible influencia del gasto en I+D en el crecimiento económico (figura 2).

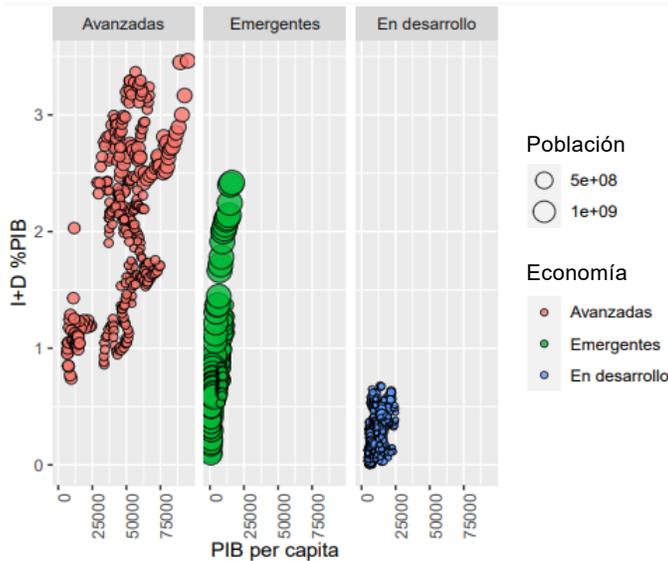
¹ <https://ghdx.healthdata.org/>

En el apéndice I se presenta la lista de países incluidos en la investigación; en el apéndice II se describen las variables utilizadas en el panel, así como también las fuentes bibliográficas; en el apéndice III se muestran las estadísticas descriptivas, y en el apéndice IV se presentan las correlaciones entre variables.

Para analizar el crecimiento económico se escogieron las siguientes variables, las que están expresadas en logaritmos naturales para facilitar su comparación y capturar los cambios proporcionales:

- *Variable dependiente* ($\ln Y_{pc}$). Crecimiento del PIB per cápita de la población entre 15 y 64 años, expresado en paridad de poder adquisitivo (PPA) de 2010.
- *Variable de Convergencia* ($\ln Y_{-t}$). PIB per cápita rezañado de la población entre 15 y 64 años, en PPA 2010.

● FIGURA 2. COMPORTAMIENTO DEL GASTO EN I+D SEGÚN EL NIVEL DE PIBPC



Fuente: elaboración propia.

- *Acumulación de capital físico* ($\ln sk$). Propensión a la acumulación de capital físico; se aproxima por la formación bruta de capital fijo respecto del PIB.

- *Stock de capital humano* ($\ln h$). Promedio de años de escolarización de la población entre 14 y 24 años.
- *Crecimiento de la población* ($\ln p$). Crecimiento de la población entre 15 y 64 años.

Con el propósito de analizar el posible efecto de las actividades de investigación y desarrollo y sus resultados innovadores en el desempeño económico de los países, se incluyeron las siguientes variables:

- *Solicitudes de patentes* ($\ln pat$). Solicitudes de patentes mundiales presentadas por no residentes a través del procedimiento del Tratado de Cooperación en Materia de Patentes o ante una oficina nacional de patentes para obtener derechos exclusivos sobre una invención.
- *Artículos de revistas científicas y técnicas* ($\ln art$). Número de artículos científicos y de ingeniería publicados en los siguientes campos (dividido por la población activa): física, biología, química, matemáticas, medicina clínica, investigación biomédica, ingeniería y tecnología, y ciencias de la tierra y del espacio.
- *Medidas de intensidad de I+D* ($\ln ID$). Están representadas por el gasto de investigación científica y desarrollo tecnológico como porcentaje del PIB. Con el objetivo de profundizar el análisis, se ha diferenciado el gasto I+D por sector: empresarial ($\ln ID_{emp}$), ejecutado por el Estado ($\ln ID_{est}$) y el realizado por las instituciones de educación superior ($\ln ID_{eds}$).

Las dos primeras variables corresponden a resultados del proceso innovador, mientras que la última refleja el esfuerzo innovador que realizan los países. Así, a través de la incorporación de variables *input* y *output*, se busca tener una mayor aproximación a los distintos sistemas de ciencia, tecnología, conocimiento e innovación de las naciones.

Siguiendo a Bassanini y Scarpetta (2001), todas las variables se incorporaron a la estimación del primer modelo con un retardo, a fin de recoger su impacto en el proceso productivo, mientras que, en el segundo modelo, más desagregado, es la propia técnica econométrica la que optimiza la inclusión de retardos dependiendo de la variable y el grupo de países.

3.2. Pruebas estadísticas

El estadístico de ADF en sus dos versiones: Fisher Chi² y Choi Z-stat ha permitido comprobar que ninguna de las variables tiene raíz de orden 2 [I(2)]; es decir, se encuentran en un orden mixto entre I(0) e I(1) (niveles o primeras diferencias), al rechazarse en cada caso la hipótesis nula de no estacionariedad. Al cumplir esta condición es posible continuar con el análisis (en la tabla 1 se presentan los estadísticos y su nivel de significancia).

● TABLA 1. PRUEBA DE RAÍZ UNITARIA

VARIABLES	DFA			
	INTEGRACIÓN	INCLUYE	FISHER CHI ²	CHOI Z-STAT
<i>Economías avanzadas</i>				
ΔlnYpc	Nivel	Constante y tendencia	85,28 **	-7,33 **
lnsk	I ^{ra}	Constante y tendencia	90,61 **	-7,64 **
lnh	I ^{ra}	Constante y tendencia	310,92 **	-15,80 **
tlnp	I ^{ra}	Constante y tendencia	83,87 **	-7,04 **
lnpat	I ^{ra}	Constante	71,69 **	-6,45 **
lnart	I ^{ra}	Constante y tendencia	86,41 **	-7,55 **
lnID	I ^{ra}	Constante y tendencia	58,61 **	-5,43 **
lnID_emp	I ^{ra}	Constante y tendencia	81,46 **	-7,08 **
lnID_est	I ^{ra}	Constante y tendencia	89,11 **	-7,58 **
lnID_eds	I ^{ra}	Constante y tendencia	79,35 **	-6,94 **
<i>Economías emergentes</i>				
ΔlnYpc	Nivel	Constante y tendencia	40,43 **	-4,43 **
lnsk	I ^{ra}	Constante	93,92 **	-8,34 **
lnh	I ^{ra}	Constante y tendencia	185,96 **	-10,31 **
tlnp	I ^{ra}	Constante y tendencia	32,95 **	-3,56 **
lnpat	I ^{ra}	Constante y tendencia	83,16 **	-7,39 **
lnart	I ^{ra}	Constante y tendencia	53,36 **	-5,73 **
lnID	I ^{ra}	Constante y tendencia	120,11 **	-9,71 **
lnID_emp	I ^{ra}	Constante y tendencia	112,84 **	-9,24 **
lnID_est	I ^{ra}	Constante y tendencia	74,84 **	-7,11 **
lnID_eds	Nivel	Constante	4,49 **	0,99 **
<i>Economías en desarrollo</i>				
ΔlnYpc	Nivel	constante	108,17 **	-8,04 **
lnsk	Nivel	constante	62,02 **	-5,13 **

lnh	Nivel	Constante y tendencia	195,46	**	-10,09	**
lnp	I ^{ra}	Constante	78,75	**	-5,06	**
lnpat	I ^{ra}	Constante	176,71	**	-11,15	**
tnart	I ^{ra}	Constante	174,68	**	-10,95	**
lnID	Nivel	Constante	44,35	**	-2,20	**
lnID_emp	Nivel	Constante y tendencia	35,46	**	-1,76	**
lnID_est	I ^{ra}	Constante y tendencia	147,87	**	-9,94	**
lnID_eds	I ^{ra}	Constante	177,50	**	-11,37	**

Fuente: elaboración propia.

Nota: ***, **, * indica significación de coeficientes en niveles del 1 %, 5 % y 10 %, respectivamente.

En la tabla 2 se muestran los resultados de la prueba de cointegración de Pedroni (relación a largo plazo) para el panel heterogéneo aplicado al modelo [2]. La mayoría de los estadísticos rechaza la hipótesis nula de no cointegración al 5 % de significancia, lo que respalda la existencia de un vínculo cointegrado entre las variables. Este hallazgo está en consonancia con Robledo (2012), quien explica que valores críticos negativos y su correspondiente nivel de significancia sitúan estos resultados en el sector de rechazo.

● TABLA 2. PRUEBAS DE COINTEGRACIÓN DE PEDRONI

NO. DE PANELES UNITARIOS:	7		5		14	
NO. DE OBSERVACIONES:	294		210		504	
REGRESORES:	7		7		7	
	<i>Avanzados</i>		<i>Emergentes</i>		<i>En desarrollo</i>	
	Panel	Grupo	Panel	Grupo	Panel	Grupo
V	-2,77		-2,270		-4,04	
rho	-3,87**	-1,97**	-1,34*	-1,89**	-2,55**	-2,55**
t	-9,77**	-8,02**	-4,53**	-7,01**	-8,04**	-9,86**
adf	-2,68**	-1,65**	-1,49*	-2,40**	-4,45**	-3,84**

Fuente: elaboración propia.

Nota: ***, **, * indica significación de coeficientes en niveles del 1 %, 5 % y 10 %, respectivamente.

En lo que respecta al coeficiente de ECT, que representa el término de corrección de error y que permite obtener la relación de largo plazo, se muestra negativo y cae dentro del rango de estabilidad dinámica en absolutamente todas las estimaciones (coeficiente de corrección de error, ec, en las tablas 3 y 4).

3.3. Resultados

La tabla 3 presenta los resultados de las pruebas de especificación y la estimación de los parámetros de largo plazo para cada grupo de países; la tasa de crecimiento del PIBpc está negativamente relacionada con el crecimiento de la población (tlnn) y positivamente relacionada con la acumulación de capital físico (lnsk); por tanto, reproducen los resultados estándar de la literatura empírica sobre el crecimiento económico y, consecuentemente, estas variables pueden tener un impacto a largo plazo para todos los países, lo que no sucede con la variable relacionada a la educación (lnh), donde solo es positiva y significativa para el grupo de países avanzados.

● TABLA 3. EFECTO DE LA I+D EN EL LARGO PLAZO SOBRE EL CRECIMIENTO ECONÓMICO, PERIODO 1980-2021 (ESTIMADOR POOLED MEAND GROUP, PMG)

VARIABLE DEPENDIENTE: ΔLNYPC	COEFICIENTE DE LARGO PLAZO			COEFICIENTE DE CORTO PLAZO		
	AVANZADAS	EMERGENTES	EN DESARROLLO	AVANZADAS	EMERGENTES	EN DESARROLLO
	ARDL (1,1,1,1,1,1,1,1)	ARDL (1,1,1,1,1,1,1,1)	ARDL (1,1,1,1,1,1,1,1)			
lnsk	0,92*** (0,005)	2,17*** (0,652)	1,69*** (0,232)	5,32** (1,113)	2,19*** (0,569)	2,70*** (0,552)
lnh	7,01*** (0,004)	-7,25 (6,786)	-1,55 (3,611)	-5,40 (3,855)	80,14** (43,665)	-8,18 (17,883)
tlnp	-125,29*** (56,147)	-22,56 (98,919)	-359,93*** (96,459)	64,97 (198,35)	990,15 (755,704)	1272,81** (700,979)
lnpat	-0,06 (0,086)	0,02 (0,243)	-0,06 (0,100)	0,67 (0,531)	0,02 (0,205)	-0,38** (0,229)
lnart	0,29** (0,152)	0,36** (0,211)	0,00 (0,000)	0,11 (0,144)	0,14 (0,123)	0,00 (0,000)
lnID	-0,66** (0,347)	0,07 (0,469)	0,14*** (0,049)	-1,89** (1,118)	-0,09 (0,615)	0,19 (0,217)
<i>Coefficiente convergencia</i>						
lny-1	-1,95*** (0,678)	-6,81*** (1,673)	-5,31*** (0,717)	0,67 (2,829)	-0,49 (0,321)	-0,64 (0,393)
Coef. Correc. error (ec)	-1,01*** (0,000)	-0,76*** (0,127)	-0,93*** (0,052)			

Constante	0,16 (0,112)	18,23*** (3,556)	19,32*** (1,121)
Tendencia	-0,03*** (0,006)	0,09*** (0,027)	0,03*** (0,006)
No. países	7	5	10
No. observac.	280	205	410
Log máxima verosimilitud	192	-10	-23
DFA residuos			
Fisher Chi ²	84,61***	73,15***	117,35***
Choi Z-stat	-7,43***	-7,04***	-8,48***

Fuente: elaboración propia.

Nota: Los errores estándar están en las segundas líneas. ***, **, * indica significación de coeficientes en niveles del 1 %, 5 % y 10 %, respectivamente.

En las variables que representan las actividades de investigación y desarrollo, sus resultados evidencian un comportamiento diferenciado: para las economías avanzadas y emergentes, las publicaciones científicas ($\ln art$) que reflejan el *stock* de conocimiento de las economías se han convertido en impulsoras del crecimiento, mientras que para las economías en desarrollo, el crecimiento económico se relaciona en el largo plazo de manera positiva y significativa con las actividades formales de I+D ($\ln ID$); es decir, con la variable de entrada del proceso de innovación.

La tabla 4 presenta los resultados de las estimaciones, pero ahora diferenciando la I+D entre gasto empresarial ($\ln ID_{emp}$), del Estado ($\ln ID_{est}$) y de educación superior ($\ln ID_{eds}$). Similar a los resultados de la primera estimación, se puede observar para el caso de las economías avanzadas que las variables capital físico ($\ln sk$), *stock* de capital humano ($\ln h$) y crecimiento de la población ($\ln p$) aparecen con los signos esperados y son altamente significativos. Sin embargo, los coeficientes para los otros grupos de países muestran marcadas diferencias, debido a la inclusión de las variables mencionadas. En los países emergentes y en desarrollo se mantiene significativa solo la variable de capital físico ($\ln sk$).

● TABLA 4. EFECTO DE LA I+D DIFERENCIADA SOBRE EL CRECIMIENTO ECONÓMICO, PERIODO 1980-2021 (ESTIMADOR POOLED MEAND GROUP, PMG)

VARIABLE DEPENDIENTE: ΔLNIPC	COEFICIENTE DE LARGO PLAZO			COEFICIENTE DE CORTO PLAZO		
	AVANZADAS	EMERGENTES	EN DESARROLLO	AVANZADAS	EMERGENTES	EN DESARROLLO
	ARDL (1,2,2,2,2,2,2,2)	ARDL (1,1,1,1,1,1,1,1)	ARDL (1,1,1,1,1,1,1,1)			
lnsk	1,15*** (0,294)	2,26*** (0,717)	2,17*** (0,289)	5,39*** (1,705)	2,12*** (0,331)	2,71*** (0,554)
lnh	4,98*** (1,573)	-12,19 (9,145)	-3,99 (3,724)	-6,53 (6,780)	70,69 (50,276)	-14,00 (12,039)
tlnp	-266,65*** (46,718)	-31,70 (106,317)	-388,00*** (105,307)	-56,29 (310,094)	886,82 (777,459)	1034,81** (445,796)
lnpat	-0,08 (0,083)	-0,08 (0,272)	0,08 (0,120)	0,89 (1,181)	0,24 (0,247)	-0,11 (0,385)
lnart	0,45*** (0,108)	0,73*** (0,263)	0,00 (0,000)	-0,24 (0,219)	-0,22 (0,196)	0,00 (0,000)
lnID_emp	4,89** (1,306)	0,81 (0,710)	0,05** (0,027)	0,98 (2,124)	0,45 (2,702)	0,68 (0,627)
lnID_est	-0,72** (0,347)	0,36 (0,470)	-0,08 (0,127)	1,30** (0,748)	1,16 (1,388)	1,21 (1,470)
lnID_eds	2,35*** (0,442)	0,16 (0,502)	-0,08 (0,125)	0,07 (0,753)	-0,76 (0,749)	0,94 (0,844)
<i>Coefficiente convergencia</i>						
lny-1	-1,54*** (0,386)	-8,30*** (2,065)	-4,58*** (0,668)	-1,43 (2,829)	-0,49 (0,304)	-0,55*** (0,247)
Coef. Correc. error (ec)	-1,01*** (0,175)	-0,67*** (0,136)	-0,93*** (0,006)			
Constante	11,55 (2,216)	20,25*** (4,609)	17,78*** (1,273)			
Tendencia	-0,04*** (0,007)	0,11*** (0,029)	0,04*** (0,004)			
No. países	7	5	10			
No. observac.	273	205	410			
Log máxima verosimilitud	276	-4	-16			
DFA residuos						

Fisher Chi ²	94,00***	64,11***	129,50***
Choi Z-stat	-7,91***	-6,50***	-9,19***

Fuente: elaboración propia.

Nota: Los errores estándar están en las segundas líneas. ***, **, * indica significación de coeficientes en niveles del 1 %, 5 % y 10 %, respectivamente.

En las economías avanzadas, el aporte de los gastos en I+D de las empresas privadas ($\ln ID_{emp}$) más que duplican los realizados por las instituciones de educación superior ($\ln ID_{eds}$). Los resultados muestran la existencia de una relación positiva entre la investigación consolidada en artículos científicos y el PIBpc, mientras que la contribución estatal a la I+D ($\ln ID_{est}$) tiene un impacto negativo y no significativo al 1 %, lo que da cuenta de la poca eficiencia de este gasto. Desde el punto de vista económico implicaría que si un país destina en promedio un 1 % de su PIB para actividades de I+D en el sector empresarial, la tasa de crecimiento del PIBpc aumentará en 4,89 puntos porcentuales, mientras que un similar aumento en el sector de educación superior mejoraría la tasa de crecimiento del PIBpc en 2,35 puntos porcentuales.

En el caso de las economías en desarrollo, se evidencia que el sector privado contribuye al desarrollo económico de los países y son parte integrante del sistema de investigación. De hecho, un incremento del 1 % de su PIB gastado por las empresas innovadoras representaría un aumento de la tasa de crecimiento del PIBpc en 0,05 puntos porcentuales.

Las economías emergentes muestran que las investigaciones publicadas en revistas científicas son la principal actividad que genera una sinergia entre la investigación tecnológica y el crecimiento económico. Por otro lado, la poca eficiencia en las actividades de gasto o esfuerzo en I+D no permite que se muestren impactos relevantes en el comportamiento del crecimiento económico.

Los coeficientes de corto plazo cuentan una historia diferente. Así, se encuentra evidencia de una relación a corto plazo preferente entre la tasa de crecimiento del PIBpc y la acumulación de capital físico en todas las estimaciones. Según Bangake y Eggoh (2012), el coeficiente de corto plazo refleja, principalmente, el ajuste de la economía a las perturbaciones; por lo tanto, los resultados que se obtuvieron sugieren que el resto de las variables analizadas no son los principales determinantes en el corto plazo, a excepción del gasto de I+D realizado por las administraciones públicas en los países avanzados.

En todas las especificaciones el parámetro estimado de convergencia ($\ln Y_t$) es negativo y significativo, lo que sugiere que los países menos desarrollados en el sentido tecnológico crecen más rápido y, por ende, el proceso de convergencia condicional se producirá más rápidamente que en los países desarrollados. En la tabla 4 se aprecia que la velocidad con la que los países convergen a sus respectivos estados estacionarios de PIB per cápita es relativamente más rápida en los países emergentes y en desarrollo ($-8,30$ y $-4,58$, respectivamente), en comparación con los países desarrollados, donde este efecto se ve más atenuado ($-1,54$).

Esto es así dado que la velocidad de convergencia puede ser muy diferente según el tipo de país, su retraso económico inicial y sus circunstancias específicas (convergencia condicional). En el caso de los países emergentes y en desarrollo, la convergencia es muy rápida, debido a que aún no opera la productividad marginal decreciente en su principal factor de producción —el capital físico—. Por lo mismo, una vez llegado a un cierto nivel de desarrollo, la velocidad de convergencia de estos países debería empezar a ralentizarse.

4. Conclusiones

En este estudio se analiza la relación entre las variables de acumulación de capital físico, promedio de años de escolarización, crecimiento de la población, las políticas e instituciones (enfocándose en la I+D) y el proceso de crecimiento para una muestra de 22 países, clasificados sobre la base del nivel de ingresos en tres submuestras denominadas como avanzadas, emergentes y en desarrollo. Esto plantea una de las principales limitantes del estudio, toda vez que, debido a la falta de disponibilidad de información, 16 países fueron excluidos de la muestra final. Lo anterior tiene importantes implicancias acerca de la extrapolación de los resultados obtenidos y si bien se confirma la validez de las propiedades de muestras finitas en las estimaciones realizadas, la consistencia de las estimaciones en muestras grandes debería confirmarse en estudios posteriores que incluyan a más unidades de análisis.

Para el análisis se ha utilizado un panel dinámico por el periodo 1980-2021 y la técnica econométrica PMG para modelar las dinámicas

a corto y largo plazo. La metodología planteada permitió reproducir los resultados estándar de la literatura empírica sobre el crecimiento, destacando entre otros temas que los coeficientes de las variables capital físico se presentan con signo positivo y significativo en todas las especificaciones, lo que sugiere que es clave detrás del proceso de crecimiento a largo plazo, tal como se predice desde los ya clásicos trabajos de Solow (1957) y Mankiw *et al.* (1992). Los resultados obtenidos insinúan que el efecto del capital humano es relevante solo en las economías avanzadas, como lo predicen Mankiw *et al.* (1992). Sin embargo, la utilización de la variable años promedio de escolarización si bien es homogénea para los grupos de países y los años considerados, puede no ser lo suficientemente representativa para capturar este efecto.

Por otro lado, las economías difieren en el crecimiento a largo plazo por las actividades de investigación. El crecimiento de las economías avanzadas y emergentes depende en gran medida de su *stock* de conocimiento científico, mediante las publicaciones formales de sus investigaciones, y en el caso de las economías en desarrollo, el gasto en I+D se muestra positivo y relevante, debido a la adopción de acertadas políticas tecnológicas relacionadas con la inversión en conocimiento. Todo lo anterior en línea con lo encontrado en otros estudios, como Bassanini y Scarpetta (2001), Arnold (2008) y Boulhol *et al.* (2008).

Cuando se analiza el gasto de I+D clasificado por sectores, se aprecia que la I+D financiada por el sector empresarial es la que impulsa la asociación positiva entre la investigación tecnológica y el crecimiento económico en los países avanzados. Similar efecto se aprecia en los países en desarrollo, pero en menor proporción, y aparentemente sin un impacto significativo en el crecimiento de las economías emergentes. Respecto al gasto en I+D financiado por el sector gubernamental, este tiene un impacto negativo, pero no significativo, al 1 % en las economías avanzadas, atribuido a su poca eficacia; para los países en desarrollo y emergentes, la inversión es escasa y no se muestra relevante, y se puede interpretar como una ralentización de la intensidad de investigación financiada mayoritariamente por las administraciones públicas. Finalmente, el gasto en I+D financiado por el sector educación superior tiene un efecto positivo en el crecimiento de las economías avanzadas. Las capacidades públicas y de educación superior en investigación no son

opuestas, sino complementarias, debido a que los centros de nivel universitario, institutos tecnológicos y otros centros postsecundarios están financiados, en lo esencial, por las administraciones públicas, y buena parte de los proyectos de investigación realizados por las instituciones de enseñanza superior cuenta con financiamiento público.

El análisis de los efectos a corto plazo revela que solo la variable que representa la acumulación de capital físico influye positiva e inmediatamente en el proceso de crecimiento de los países. Por lo mismo, los Gobiernos deberían fortalecer la implementación de políticas con alcance de corto plazo sobre temas como educación, I+D, apoyo a la invención, a los derechos de propiedad intelectual y a la inversión. La promoción del crecimiento es un objetivo importante para todos los países y, por consiguiente, la I+D sigue siendo vital para aumentar el crecimiento económico, especialmente para los países considerados emergentes y en desarrollo. Evaluar la naturaleza de las fuentes de financiamiento de las actividades de investigación es una tarea necesaria para determinar las áreas que requieren más inversión.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, I. 2007. Enfoques de oferta en la teoría del crecimiento económico. *Principios*, 105-107.
- Arnold, J. 2008. Do Tax Structures Affect Aggregate. *OECD Economics Department Working*, 28.
- Bangake, C. y Eggoh, J. 2012. Pooled Mean Group Estimation on International Capital Mobility in African Countries. *Research in Economics*, 7-17.
- Barro, R. J. 1990. Government Spending in a Simple Model of Endogenous Growth. *Journal of Political Economy* 98(5, part 2), S103-S125.
- Bassanini, A. y Scarpetta, S. 2001. The Driving Forces of Economic Growth: Panel Data Evidence for the OECD Countries. *OECD Economic Studies* II(33), 10-53.
- Bouis, R., Duval, R. y Murtin, F. 2011. The Policy and Institutional Drivers of Economic Growth: New Evidence from Growth Regressions. *Economics Department Working Papers*, 35.
- Boulhol, H., De Serres, A. y Molnar, M. 2008. The Contribution of Economic Geography to GDP Per. *OECD Economics Department Working Papers*.
- Brida, J. y Gastón, C. 2016. El modelo de Mankiw-Romer-Weil con tasa de crecimiento de la población decreciente (1-14), En *Advances in Dynamic Macroeconomics*. Italia: Free University of Bozen-Bolzano.
- Castellacci, F. y Natera, J. M. 2011. A New Panel Dataset for Cross-Country Analyses of National Systems, Growth and Development (CANAN). *Innovation and Development*, 51.

- Cuadrado, J. 2001. *Política económica: objetivos e instrumentos*. Madrid: McGraw-Hill.
- Destinobles, G. 2005. El modelo de Mankiw, Romer y Weil (1992) en el Programa de Investigación Neoclásico. *Revista de la Facultad de Economía, BUAP*, X(30).
- Díaz Quevedo, O. 2012. Identificación de booms crediticios en América Latina. *Banco Central de Bolivia*, 1-35.
- Galindo, M. A. 2011. Crecimiento económico. *Tendencias y Nuevos Desarrollos de la Teoría Económica ICE* (858), 39-55.
- Grossman, G. M. y Helpman, E. 1991. Trade, Knowledge Spillovers, and Growth. *European Economic Review* 35(2-3), 517-526.
- Gujarati, D. y Porter, D. 2010. *Econometría*. México D. F.: McGraw Hill.
- Hernández, J. 2006. Visiones exógena y endógena de las teorías del crecimiento económico. *Contribuciones a la Economía*.
- Howitt, P. y Aghion, P. 1998. Capital Accumulation and Innovation as Complementary Factors in Long-Run Growth. *Journal of Economic Growth* 3, 111-130.
- Kamaci, A., Cyhan, M. y Pece, M. 2019. The Analysis of the Effect of Real Interests on Income Distribution with RDL Model Approach. *Afro Eurasian Studies*, 39-54.
- Knight, F. H. 1944. Diminishing Returns from Investment. *Journal of Political Economy* 52(1), 26-47.
- Loayza, N. y Ranciere, R. 2005. Financial Development, Financial Fragility, and Growth. *IMF Working Paper*, 2-31.
- Lucas Jr., R. E. 1988. On the Mechanics of Economic Development. *Journal of Monetary Economics* 22(1), 3-42.
- Mankiw, N., Romer, D. y Weil, D. 1992. A Contribution to the Empirics of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 408-437.
- Nelson, R. R. y Phelps, E. S. 1966. Investment in Humans, Technological Diffusion, and Economic Growth. *The American Economic Review* 56(1/2), 69-75.
- Nkwoma, J. 2014. The Contribution of R&D Expenditure to Economic Growth in Developing Economies. *Business Media Dordrecht*, 727-745.
- OCDE. 2002. Frascati Manual 2002: Proposed Standard Practice for Survey on Research and Experimental Development. En *The Measurement of Scientific and Technological Activities*. OECD Publishing.
- Pesaran, H. y Smith, R. 1995. Estimating Long-Run Relationships from Dynamic. *Journal of Econometrics*, 79-113.
- Pesaran, H., Shin, Y. y Smith, R. 1999. Pooled Mean Group Estimation of Dynamic Heterogeneous Panels. *Journal of the American Statistical Association*, 621-634.
- Pesaran, M., Shin, Y. y Smith, R. 2001. Bounds Testing Approaches to the Analysis of Level Relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 289-326.
- Ramsey, F. P. 1928. A Mathematical Theory of Saving. *The Economic Journal* 38(152), 543-559.
- Robledo, J. 2012. Impacto de las patentes sobre el crecimiento económico: un modelo panel cointegrado. *Grupo de Estudios Económicos, Superintendencia de Industria y Comercio, Colombia*, No. 2, 1-18.
- Romer, P. M. 1986. Increasing Returns and Long-Run Growth. *Journal of Political Economy* 94(5), 1002-1037.
- Romer, P. M. 1989. *What Determines the Rate of Growth and Technological Change?* World Bank Publications, vol. 279.
- Schumpeter, J. A. 1911. *The Theory of Economic Development. An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

- Solow, R. M. 1957. Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics* 39(3), 312-320.
- Young, A. A. 1928. Increasing Returns and Economic Progress. *The Economic Journal* 38(152), 527-542. DOI: <https://doi.org/10.2307/2224097>

Apéndice I

● LISTA DE PAÍSES INCLUIDOS EN LA MUESTRA

CLASIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	PAÍSES MIEMBROS
Países avanzados	Se denomina con el numerónimo G7 a un grupo informal de países del mundo cuyo peso político, económico y militar es considerado como relevante a escala global.	Alemania, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia, Japón y Reino Unido.
Países emergentes	Se emplea la sigla BRICS para referirse conjuntamente a estos países. Estas naciones tienen en común una gran población, un enorme territorio, una gigantesca cantidad de recursos naturales y, lo más importante, las enormes cifras que han presentado de crecimiento de su PIB y de participación en el comercio mundial en los últimos años.	Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica
Países en desarrollo	Se emplea el acrónimo SELA para referirse al Sistema Económico Latinoamericano y del Caribe. Es un organismo intergubernamental dirigido a promover un sistema de consulta y coordinación para concertar posiciones y estrategias comunes.	Argentina, Chile, Colombia, Ecuador, Costa Rica, Guatemala, México, Panamá, Perú y Uruguay

Nota 1: Se ha excluido a Bahamas, Barbados, Belice, Cuba, Haití y Suriname debido a la falta de series anuales continuas para la mayoría de las variables necesarias en las ecuaciones de crecimiento para el periodo 1980-2021.

Nota 2: En las estimaciones que requieren clasificación de las actividades de I+D, se ha excluido también a Bolivia, El Salvador, Guyana, Honduras, Jamaica, Nicaragua, Paraguay, República Dominicana, Trinidad y Tobago y Venezuela, ya que no se pudo obtener información específica de estos países.

Apéndice II

● LISTA DE VARIABLES, DEFINICIONES Y FUENTES DE DATOS

INDICADOR	DESCRIPCIÓN	FUENTE	PÁGINA WEB
Crecimiento del PIB por habitante ($\Delta \ln Y$)	Comprende el PIB a precio de comprador, que es la suma del valor agregado bruto de todos los productores residentes en la economía más todo impuesto a los productos, menos todo subsidio no incluido en el valor de los productos. Se calcula sin hacer deducciones por depreciación de bienes manufacturados o por agotamiento y degradación de recursos naturales. Los datos se expresan en dólares de los Estados Unidos a precios constantes del año 2010 por habitante. Las cifras en dólares del PIB se obtuvieron convirtiendo los valores en monedas locales utilizando los tipos de cambio oficiales del año 2010.	Banco Mundial	https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KD

Acumulación de capital físico (lnSk)	<p>Representado por la formación bruta de capital fijo (% del PIB), y comprende los desembolsos en concepto de adiciones a los activos fijos de la economía más las variaciones netas en el nivel de los inventarios. Los activos fijos incluyen los mejoramientos de terrenos (cercas, zanjas, drenajes, etc.); las adquisiciones de planta, maquinaria y equipo, y la construcción de carreteras, ferrocarriles y obras afines, incluidas las escuelas, oficinas, hospitales, viviendas residenciales privadas y los edificios comerciales e industriales. Los inventarios son las existencias de bienes que las empresas mantienen para hacer frente a fluctuaciones temporales o inesperadas de la producción o las ventas, y los "productos en elaboración". De acuerdo con el SCN de 1993, las adquisiciones netas de objetos de valor también constituyen formación de capital.</p>	CANA	https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/277901
Stock de capital humano (lnh)	<p>Se aproxima por el número medio de años de escolarización de la población entre 14 y 24 años de edad, incluyendo la educación primaria, secundaria y terciaria.</p>	CANA	https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/277901
Crecimiento de la población ($\Delta \ln p$)	<p>Crecimiento de la población activa. Comprende el porcentaje de la población total en el grupo etario de 15 a 64 años.</p>	Banco Mundial	https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.POP.1564.TO.ZS?view=chart

Solicitudes de patentes (Inpat)	Las solicitudes de patentes, no residentes por habitante. Solicitudes de patentes mundiales presentadas a través del procedimiento del Tratado de Cooperación en Materia de Patentes o ante una oficina nacional de patentes para obtener derechos exclusivos sobre una invención.	CANA	https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/277901
		Banco Mundial	https://datos.bancomundial.org/indicador/IP.PAT.NRES?view=chart
Artículos de revistas científicas y técnicas (Inart)	Número de artículos científicos y de ingeniería publicados en los siguientes campos: física, biología, química, matemáticas, medicina clínica, investigación biomédica, ingeniería y tecnología, y ciencias de la tierra y del espacio por habitante (población activa).	CANA	https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/277901
		Banco Mundial	https://datos.bancomundial.org/indicador/IP.JRN.ARTC.SC?view=chart
Gasto I+D (InID)	Gasto en investigación y desarrollo tecnológico (% del PIB). Son gastos corrientes y de capital (público y privado) en trabajo creativo realizado sistemáticamente para incrementar los conocimientos, incluso los conocimientos sobre la humanidad, la cultura y la sociedad, y el uso de los conocimientos para nuevas aplicaciones. El área de investigación y desarrollo abarca la investigación básica, la investigación aplicada y el desarrollo experimental.	CANA	https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/277901
		Banco Mundial	https://datos.bancomundial.org/indicador/GB.XPD.RSDV.GD.ZS
		RICYT	http://dev.ricyt.org/ui/v3/comparative.html?indicator=GASTOxPBI

<p>Gasto I+D sector empresarial (lnIDemp)</p>	<p>Gasto I+D realizado por la empresa de negocios. Gasto interno en I+D durante el año de referencia de las instituciones que corresponden a la empresa de negocios, independientemente del origen de los fondos y se expresa como un porcentaje del PIB.</p>
<p>Gasto I+D sector Gobierno (lnIDgob)</p>	<p>Gasto I+D realizado por el Gobierno. Gasto interno en I+D durante el año de referencia de las instituciones que corresponden al Gobierno, independientemente del origen de los fondos y se expresa como un porcentaje del PIB.</p>
<p>Gasto I+D sector Gobierno (lnIDgob)</p>	<p>Gasto I+D realizado por la educación superior. Gasto interno en I+D durante el año de referencia de las instituciones que corresponden a la educación superior, independientemente del origen de los fondos y se expresa como un porcentaje del PIB.</p>

CANA <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/277901>

UNESCO <http://data.uis.unesco.org/?lang=en&SubSessionId=cd396999-b8ff-4716-971a-2876a516cddb&themetreeid=-200>

Apéndice III

● ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LAS VARIABLES, PERÍODO 1980-2021

VARIABLE	ECONOMÍAS AVANZADAS					ECONOMÍAS EMERGENTES					ECONOMÍAS EN DESARROLLO						
	MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA	MÍNIMO	MÁXIMO	MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA	MÍNIMO	MÁXIMO	
Ypc	53.595	12.646	28.599	95.048	7.879	5.063	688	24.006	11.688	5.076	4.557	25.041					
sk	2	4	15	36	27	10	12	51	22	6	8	44					
H	12	2	9	16	9	2	4	14	9	2	4	14					
P	65M	53M	16M	216M	350M	351M	167M	988M	15M	17M	10M	84M					
pat	38.506	65.575	439	337.707	20.145	32.090	1.817	161.107	1.885	3.321	25	16.707					
art	89.068	99.595	5.876	478.475	52.669	105.750	601	578.926	1.733	3.261	2	18.507					
ID	2	1	1	3	1	0	0	2	0	0	0	1					
ID_emp	64	8	47	80	47	19	2	78	21	16	0	94					
ID_est	14	5	5	30	39	21	11	94	29	16	2	90					
ID_eds	20	7	9	43	15	11	2	43	32	14	1	73					
Número de observaciones	294															210	420

Apéndice IV

● MATRIZ DE CORRELACIONES, POR TIPO DE ECONOMÍAS AVANZADAS

	$\Delta \ln Y$	LNSK	LNH	$\Delta \ln P$	LNPAT	LNART	LNID	LNIDEMP	LNIDGOB	LNIDEST
$\Delta \ln Y$	1,00									
lnSk	0,21*	1,00								
lnh	-0,10	-0,16*	1,00							
$\Delta \ln p$	-0,04	-0,03	-0,27*	1,00						
Lnpat	0,06	0,27*	0,24*	0,24*	1,00					
Lnart	-0,02	-0,16*	0,59*	-0,14*	0,52*	1,00				
lnID	0,09	0,40*	0,12*	-0,19*	0,61*	0,55*	1,00			
lnIDemp	0,12*	0,21*	0,13*	-0,32*	0,48*	0,58*	0,82*	1,00		
lnIDgob	0,02	-0,14*	-0,70*	0,21*	-0,36*	-0,50*	-0,37*	-0,41*	1,00	
lnIDest	-0,13*	-0,22*	0,22*	0,16*	0,45*	-0,40*	-0,67*	-0,80*	-0,11*	1,00

● MATRIZ DE CORRELACIONES (CONTINUACIÓN)

<i>Emergentes</i>											
	$\Delta \ln Y$	LNSK	LNH	$\Delta \ln P$	LNPAT	LNART	LNID	LNIDEMP	LNIDGOB	LNIDEST	
$\Delta \ln Y$	1,00										
$\ln Sk$	0,37*	1,00									
$\ln h$	-0,01	0,02	1,00								
$\Delta \ln p$	0,02	-0,23*	-0,69*	1,00							
$\ln pat$	0,29*	0,40*	0,50*	-0,42*	1,00						
$\ln art$	0,35*	0,31*	0,47*	-0,54*	0,83*	1,00					
$\ln ID$	-0,10	0,09	0,51*	-0,48*	0,64*	0,48*	1,00				
$\ln IDemp$	-0,12	0,09	0,78*	-0,44*	0,48*	0,19*	0,65*	1,00			
$\ln IDgob$	0,25*	0,02	-0,55*	0,32*	-0,28*	0,00	-0,57*	-0,76*	1,00		
$\ln IDest$	-0,23*	-0,57*	-0,02	0,31*	-0,13*	-0,39*	-0,01	0,18*	-0,37*	1,00	

● MATRIZ DE CORRELACIONES (CONTINUACIÓN)

<i>En desarrollo</i>	$\Delta \ln Y$	LNSK	LNH	$\Delta \ln P$	LNPAT	LNART	LNID	LNIDEMP	LNIDGOB	LNIDEST
$\Delta \ln Y$	1,00									
lnSk	0,27*	1,00								
lnh	0,16*	0,29*	1,00							
$\Delta \ln p$	-0,12*	0,14*	-0,50*	1,00						
lnpat	0,02	0,03	0,47*	-0,42*	1,00					
lnart	-0,03	0,05	0,24*	-0,20*	0,77*	1,00				
lnid	0,08	0,22	0,61*	-0,33*	0,38*	0,24*	1,00			
lnidemp	-0,03	-0,21*	0,26*	-0,37*	0,39*	0,21*	0,27*	1,00		
lnidgob	0,03	0,22*	0,21*	-0,02	0,12*	0,13*	0,11*	-0,17*	1,00	
lnidest	-0,06	-0,31*	-0,03	-0,22*	0,32*	0,19*	0,06	0,37*	-0,24*	1,00

Nota: Un asterisco junto a los coeficientes denota que son estadísticamente significativos con un nivel de confianza del 5 %.