



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN FACULTAD DE ECONOMÍA CENTRO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS

El capital humano como factor determinante en el aprovechamiento de la inversión en Investigación y Desarrollo (I+D) para el crecimiento económico

Human capital as a determining factor in leveraging investment in Research and Development (R&D) for economic growth

Fanny Abisai López Cardona* Daniel Aarón Delgado Blanco** Miriam Shaday García Rosas***

Daniela Alessandra Rivera Mendoza**** Melissa Monserrath Treviño Guerrero*****

| Información del artículo | Resumen |
|---|---|
| <p>Recibido: 17/06/2025 Aceptado: 30/06/2025</p> <hr/> <p>Clasificación JEL: O30, J24, O47, O57 Palabras clave: Inversión en Investigación y Desarrollo, Crecimiento Económico, Capital Humano, PCSE, Solow-Swan.</p> | <p>El capital humano es esencial para optimizar la inversión en I+D y potenciar el crecimiento económico, sobre todo en economías en desarrollo. Corea del Sur sirve de ejemplo, mostrando el impacto de la inversión en I+D junto a un sólido capital humano. Esta investigación analizó datos de siete países emergentes y en desarrollo (clasificados por el FMI), usando el modelo de Solow (Solow-Swan, 1956). Tras detectar heteroscedasticidad, se aplicó PCSE para asegurar la precisión de los resultados. Los hallazgos confirman que el desarrollo del capital humano es clave para que estos países capitalicen la I+D y logren un crecimiento económico sostenido.</p> |
| Article information | Abstract |
| <p>Received: 17 Jun 2025 Accepted: 30 Jun 2025</p> <hr/> <p>JEL Classification: O30, J24, O47, O57 Keywords: Research and Development investment, Economic Growth, Human Capital, PCSE, Solow-Swan</p> | <p>Human capital is essential for optimizing R&D investment and fostering economic growth, especially in developing economies. South Korea exemplifies the positive impact of robust R&D investment combined with strong human capital. This study analyzed data from seven emerging and developing countries (classified by the IMF) using the Solow growth model (Solow-Swan, 1956). After detecting heteroskedasticity, PCSE was applied to ensure result accuracy. Findings confirm that human capital development is key for these countries to capitalize on R&D and achieve sustained economic growth.</p> |

*Universidad Autónoma de Nuevo León
abisai.lopezcrdn@uanl.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0005-3106-1492>

****Universidad Regiomontana
dalerime11@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0007-9477-6967>

**Autor de correspondencia
Universidad Autónoma de Nuevo León
daniel.delgado@uanl.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0006-2115-7172>

*****Universidad Autónoma de Nuevo León
monserrath.trevinogrrr@uanl.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0007-5717-7930>

***Universidad Autónoma de Nuevo León
miriam.garciar@uanl.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0002-7153-3640>

1. Introducción

El crecimiento económico es de alta relevancia y complejidad debido a la interacción de múltiples factores. Entre ellos se encuentra el capital humano que es esencial para el desarrollo y la innovación, y su impacto en la inversión en investigación y desarrollo (I+D).

Esta investigación examina el papel del capital humano para optimizar la inversión en I+D y potenciar el crecimiento económico, específicamente en economías en desarrollo. Nuestro objetivo es determinar si un mayor stock de capital humano mejora la capitalización de la I+D, ofreciendo una mayor comprensión de los mecanismos de desarrollo.

Diversos estudios como los de Solow (1956), Mankiw, Romer & Weil (1992) y Quadri & Waheed (2011) destacan la importancia del capital humano como motor del crecimiento económico. Por su parte, Coe & Helpman (1995) muestran cómo los incrementos en la inversión en I+D tienen efectos positivos sobre el crecimiento. Otros (Mayer, 2001; Romer, 1990) subrayan que la interacción entre capital humano e I+D fortalece este impacto. En este contexto, la principal contribución de este trabajo es aportar evidencia empírica que demuestra cómo un mayor nivel de capital humano amplifica la efectividad de la inversión en I+D, ofreciendo un análisis específico para siete economías emergentes.

Para explorar cómo la I+D impacta el crecimiento económico según el capital humano en países emergentes, nuestra pregunta es: "¿Cómo afecta la inversión en I+D al crecimiento económico en función del stock de capital humano en países emergentes?". Empleamos el modelo Solow-Swan aumentado con datos panel de siete países (Bulgaria, Bielorrusia, China, India, Corea del Sur, México y Polonia) de 1996-2019. Debido a heteroscedasticidad y autocorrelación serial, se aplicó PCSE (Panel Corrected Standard Errors) para asegurar la robustez de los resultados. Las variables clave incluyen PIB, formación bruta de capital fijo, años de escolaridad y una variable de interacción.

Nuestros resultados más relevantes aportan evidencia significativa que respalda nuestra hipótesis: un sólido capital humano potencia la inversión en I+D, contribuyendo positivamente al crecimiento económico. Esta evidencia resalta la importancia de políticas que fomenten el capital humano para maximizar los retornos de la inversión en I+D en estas economías.

El presente trabajo está conformado de la siguiente forma: la próxima sección presenta una revisión de la literatura que contextualiza los principales aportes teóricos y empíricos sobre capital humano, I+D y crecimiento económico; la sección tres describe los datos utilizados, la selección de países y la metodología econométrica aplicada; la sección cuatro expone y analiza los resultados obtenidos, destacando la relación entre las variables y las pruebas de robustez; finalmente, la sección cinco ofrece las conclusiones principales y propone recomendaciones de política pública orientadas a fortalecer la interacción entre capital humano e I+D en economías emergentes.

2. Revisión de Literatura

La discusión sobre el crecimiento económico se ha centrado en la interconexión de factores productivos, donde el modelo de Solow (1956) sentó las bases al vincularlo al progreso tecnológico. Sin embargo, el reconocimiento del capital humano como determinante crucial impulsó su ampliación. Mankiw, Romer & Weil (1992) seminalmente incorporaron el capital humano al modelo de Solow, destacando su impacto en el crecimiento, a diferencia de estudios previos que se enfocaban en niveles de ingreso o ahorro (Gutiérrez *et al.* 2004; Rodríguez, 2016). Esta evolución teórica subraya la necesidad de considerar la acumulación de capital humano para comprender las disparidades y trayectorias de crecimiento.

La medición del capital humano ha generado debate. Mientras Guisáb & Neira (2002) y Valero (2022) utilizan la educación, Romer (1989) opta por la alfabetización, y Bernal (2017) considera el gasto público en educación. Pese a las divergencias métricas –como años de escolaridad, gasto o calidad educativa (PISA)–, la literatura converge en el efecto positivo de la educación sobre la productividad y el crecimiento (Guisáb &

Neira, 2002). En esta investigación, el capital humano se aproxima mediante los años promedio de escolaridad, una medida consolidada y ampliamente utilizada para comparaciones a nivel nacional.

La medición de la tecnología es inherentemente más abstracta, abarcando desde innovaciones y descubrimientos hasta la investigación y desarrollo (I+D). Investigadores como Jaffe (1984) y Park (1995) han explorado cómo los indicadores de I+D y capital de I+D (doméstico, extranjero, público, privado) reflejan la eficiencia técnica y el estado del conocimiento. Coe & Helpman (1995) demostraron que un mayor volumen de importaciones de I+D foráneo amplifica el PIB, sugiriendo que la apertura económica potencia los beneficios de la I+D. En este estudio, aunque la tecnología se trata como un componente no observable, se aproxima parcialmente a través del gasto en I+D.

La interacción entre capital humano y tecnología (I+D) es fundamental para el crecimiento sostenido. Quadri & Waheed (2011) encontraron una correlación positiva entre capital humano (educación y salud) y crecimiento en Pakistán. Mayer (2001) y Romer (1990) enfatizan la complementariedad de la inversión en capital humano y la innovación en I+D, argumentando que su efecto combinado es crucial para la producción. Esto sugiere que ninguna variable por sí sola es suficiente para el crecimiento sostenido. Aunque otros autores abordan el tema desde una perspectiva más amplia, incluyendo infraestructura social y políticas gubernamentales (Jones, 2015; Hall & Jones, 1999), nuestro enfoque se centra en la sinergia directa entre el capital humano y la inversión en I+D.

Si bien la literatura establece la importancia individual del capital humano y la I+D, existe una necesidad de profundizar en cómo un sólido stock de capital humano en países emergentes maximiza los retornos de su inversión en I+D para el crecimiento económico. Esta investigación busca llenar esa brecha, ofreciendo evidencia empírica en un contexto crucial para el desarrollo global.

3. Datos y Metodología

Esta sección detalla la estrategia empírica del estudio, presentando las características de los datos utilizados y la metodología econométrica empleada para probar hipótesis de investigación.

3.1. Datos

La investigación se basa en un panel de siete países emergentes y en desarrollo, clasificados por el Fondo Monetario Internacional (FMI): Bulgaria, Bielorrusia, China, India, Corea del Sur, México y Polonia. La selección se fundamentó en la disponibilidad y calidad de los datos para el periodo 1996-2019, evitando sesgos asociados a la pandemia de COVID-19. Otros países dentro de la misma categoría fueron considerados inicialmente; sin embargo, se priorizaron aquellos países cuya información cumplía con los criterios de consistencia y completitud requeridos, es decir, los que contaban con series históricas suficientemente completas y comparables para permitir un análisis riguroso, razón por la cual no se incorporaron otras economías dentro de la misma clasificación mencionada.

Para comprender el crecimiento económico, se hizo especial énfasis en las variables de años promedio de escolaridad (capital humano) y gasto en I+D. La base de datos fue construida a partir de diversas fuentes, principalmente The World Bank y el UNESCO Institute for Statistics, así como el Institute for Management Research de la Radboud University.

Se realizó una transformación de las variables agregadas a términos “por trabajador”, dividiendo por la población trabajadora (L), excepto para los años de escolaridad (H) debido a que estos provienen de una muestra de adultos mayores de 20 años y ya representan un promedio individual (véase la Tabla A.1 y A.2 en el Apéndice para mayor comprensión sobre las definiciones de las variables y sus transformaciones). Adicionalmente, se construyó una variable de interacción ($Inter$) entre capital humano (medido por los años promedio de escolaridad) y el gasto en I+D como porcentaje del PIB, multiplicando este gasto en I+D por los años de

escolaridad; para capturar un posible efecto proporcional conjunto, se incluye en el modelo una versión logarítmica (*Inter*), definida como la multiplicación de los logaritmos de cada variable.

Además, para contextualizar el conjunto de datos, la Tabla A.3 en el Apéndice, presenta los promedios de las variables agregadas por trabajador, para cada país durante el periodo de estudio.

Un análisis preliminar de los datos por trabajador revela que Corea del Sur ocupa los primeros puestos en PIB, capital físico, años promedio de escolaridad y la variable de interacción, lo cual es coherente con la hipótesis del estudio. En contraste, China, a pesar de su alta inversión en I+D, muestra un nivel de PIB por trabajador inferior y años de escolaridad modestos, sugiriendo la relevancia de la interacción entre (capital humano)*(I+D). Por su parte, India se mantiene en los niveles más bajos de las variables, con un crecimiento más lento. Polonia, por otro lado, destaca como el país con mayor escolaridad, pero se mantiene en el tercer lugar en cuanto niveles de PIB, esto puede atribuirse a que en el resto de las variables mantiene niveles modestos e incluso rezagados (Capital). Con el propósito de ilustrar las relaciones clave del modelo se presenta la Gráfica 1 en el Apéndice, en ella es posible visualizar la correlación positiva existente entre el PIB y la variable Interacción. Además, el tamaño de los círculos en el gráfico corresponde al Gasto en Investigación y Desarrollo mismo que también presenta una relación positiva con la variable dependiente. De lo anterior se puede concluir que un mayor gasto en I+D coincide con un alto nivel de PIB.

3.2. Metodología

Para evaluar el impacto del capital humano y la inversión en I+D sobre el crecimiento económico, se emplea el modelo de crecimiento de Solow-Swan (1956) aumentado. La función de producción inicial se expresa como:

$$Y(t) = F(K(t), A(t)L(t))$$

Asumiendo una forma Cobb-Douglas, la función se define como:

$$Y(t) = K(t)^\alpha (A(t)L(t))^{1-\alpha}$$

donde $\alpha \in (0,1)$. El trabajo (L) y la tecnología (A) crecen a tasas exógenas y constantes (n y g , respectivamente).

Uno de los principales supuestos de los modelos neoclásicos, incluido el de Solow, es que una fracción constante de la producción se destina a la inversión. Tomando como base el trabajo de Mankiw, Romer & Weil (1992), que incorpora el capital humano (H_{it}), la función de producción se amplía. Puesto que la tecnología es difícil de cuantificar, se mantiene como residual, y se enfoca el análisis en el capital humano y su interacción con la inversión en I+D. Al transformar las variables por trabajador y aplicar logaritmos, se obtiene la ecuación (1) a estimar:

$$Y_{it} = K_{it}^\alpha (A_{it}L_{it}H_{it})^{1-\alpha}$$

$$\ln\left(\frac{Y_{it}}{L_{it}}\right) = \alpha \ln\left(\frac{K_{it}}{L_{it}}\right) + (1-\alpha) \ln\left(\frac{H_{it}}{L_{it}}\right) + (1-\alpha) \ln(A_{it}) \quad (1)$$

Adicionalmente, se estima una variante de la ecuación en la que se integra una variable de interacción entre el capital humano y la inversión en I+D. Esta es la ecuación (2):

$$\ln\left(\frac{Y_{it}}{L_{it}}\right) = \alpha_1 \ln\left(\frac{K_{it}}{L_{it}}\right) + \alpha_2 \ln\left(\frac{H_{it}}{L_{it}}\right) + \alpha_3(Inter) + \alpha_4 \ln(A_{it}) \quad (2)$$

Donde $Inter = \ln\left(\frac{H_{it}}{L_{it}}\right) * \ln(RD_{it})$.

Dado que se identificaron problemas de heteroscedasticidad y autocorrelación serial en los datos panel, se empleó la metodología PCSE (Panel Corrected Standard Errors). Este enfoque permite obtener estimaciones robustas y eficientes, corrigiendo la varianza de los errores y asegurando la validez de las inferencias estadísticas, a diferencia de los modelos de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) que asumirían errores homocedásticos y no autocorrelacionados.

A manera de robustecer las estimaciones se analizaron dos ecuaciones adicionales:

$$\ln\left(\frac{Y_{it}}{L_{it}}\right) = \beta_1 \ln\left(\frac{K_{it}}{L_{it}}\right) + \beta_2 \ln\left(\frac{H_{it}}{L_{it}}\right) + \beta_3 \ln(RD_{it}) + \beta_4 \ln(A_{it}) \quad (3)$$

$$\ln\left(\frac{Y_{it}}{L_{it}}\right) = \gamma_1 \ln\left(\frac{K_{it}}{L_{it}}\right) + \gamma_2 \ln\left(\frac{H_{it}}{L_{it}}\right) + \gamma_3(inter) + \gamma_4 \ln(RD_{it}) + \gamma_5 \ln(A_{it}) \quad (4)$$

Dónde se agrega el gasto en I+D como variable independiente (*RD*) de manera individual.

4. Resultados y discusión

El objetivo principal de este estudio fue demostrar cómo un elevado nivel de capital humano en países emergentes optimiza la inversión en I+D, potenciando el crecimiento económico. Para ello, se propuso una variable de interacción entre ambas, fundamentada en la literatura que sugiere que un capital humano eficiente mejora la productividad de la inversión en I+D (Romer, 1989; Jörg Mayer, 2001). Esto se explica porque trabajadores mejor instruidos son más propensos a generar nuevas ideas y utilizar de manera provechosa la maquinaria y el equipo.

Siguiendo la literatura de Valero-Gil & Valero (2022) y Mankiw, Romer & Weil (1990), se espera que la variable de capital humano (*H*) tenga un coeficiente positivo, dada su reconocida influencia en las diferencias de los niveles de producción por trabajador. Asimismo, el capital físico por trabajador (*K/L*) se espera que presente un signo positivo, lo cual es un hallazgo común en la vasta literatura sobre crecimiento económico.

4.1. Pruebas Diagnósticas y Metodología de Estimación

Para la robustez de las estimaciones, se realizaron diversas pruebas diagnósticas. La prueba de Breusch-Pagan recomendó el uso de un panel de datos en lugar de MCO. La prueba de Hausman recomendó utilizar EF para las ecuaciones 2 y 4, mientras que para las ecuaciones 1 y 3 se recomendó el uso de EA; no obstante, después de realizar pruebas adicionales para descartar problemas de series de tiempo, la prueba de Wooldridge reveló problemas de autocorrelación serial, y la prueba modificada de Wald identificó problemas de heteroscedasticidad. En consecuencia, se optó por emplear la metodología PCSE (Panel Corrected Standard Errors) para todas las ecuaciones.

4.2. Presentación y Discusión de Resultados

Los resultados de las estimaciones para las ecuaciones se presentan en la Tabla 1. En resumen, la ecuación 1 presenta un modelo simple sin interacción; la ecuación 2 introduce una variable de interacción entre capital humano e inversión en I+D; la ecuación 3 incluye ambas variables por separado, y la ecuación 4 retoma esa especificación añadiendo nuevamente la interacción. En la mayoría de los resultados, ambas variables independientes muestran coeficientes positivos y son estadísticamente significativas, lo cual corrobora los hallazgos previos de la literatura.

La ecuación 1 muestra que un aumento del 1 % en el capital físico por trabajador se asocia con un incremento del 0.23% en el PIB por trabajador, mientras que el capital humano por trabajador incide en un 1.46%. Al agregar la interacción de capital humano con inversión en I+D (ecuación 2) notamos que el impacto del capital físico disminuye a 0.11%, asimismo, se evidencia la falta de significancia estadística del capital humano, además de presentar un signo negativo; este resultado es consistente con lo reportado por Mayer (2001). Por su parte, nuestra variable de interacción impacta positivamente en un 0.37% al PIB por trabajador; este término resulta clave para capturar la importancia del capital humano en el aprovechamiento de la inversión en I+D y confirma parcialmente nuestra hipótesis inicial.

Es importante señalar que la disminución en la elasticidad del capital humano al incluir la variable de interacción es similar a lo que encontraron Mankiw, Romer & Weil (1990) y Mayer (2001) al integrar el capital humano, sugiriendo que la importancia atribuida previamente al capital físico y humano por sí mismos podría haber sido sobrevalorada, siendo la interacción la que explica parte de los niveles de PIB por trabajador.

Con la adición de la inversión en I+D como variable independiente se observan resultados relevantes. En la ecuación 3 un incremento de 1% en I+D aumenta 0.37% el PIB por trabajador y el impacto del capital humano es 0.82%, lo cual contrasta notablemente con la ecuación 2, donde la presencia del término de interacción modifica significativamente el impacto. Esto indica que los efectos podrían ser mayores de forma individual.

No obstante, en la ecuación 4 notamos que la variable de interacción presenta un signo negativo, lo que podría reflejar una relación compleja o de rendimientos marginales decrecientes entre sus componentes. Una posible explicación es que la muestra está compuesta exclusivamente por países en desarrollo donde la debilidad institucional, la baja calidad educativa y la desconexión entre investigación y sector productivo limitan la capacidad de transformar la inversión en I+D en crecimiento económico sostenido.

A pesar de ello, destaca especialmente el impacto del capital humano y la inversión en I+D: en presencia de la Interacción, aumentan a 2.30% y 0.82% respectivamente. Esto representa un aumento de aproximadamente el doble en comparación con las elasticidades obtenidas en la ecuación 3 y podría interpretarse como evidencia de que el capital humano y la I+D tienen un efecto individual mayor sobre el PIB por trabajador en presencia de una interacción que captura la estructura de la relación entre las mismas. Esto abre un área de oportunidad para profundizar en la incorporación de variables adicionales y sus relaciones o diferentes mediciones de capital humano y otros factores contextuales.

Tabla 1. Resultados de las estimaciones

| $\ln\left(\frac{Y}{L}\right)$ | Ecuación (1) | Ecuación (2) | Ecuación (3) | Ecuación (4) |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| $\ln\left(\frac{K}{L}\right)$ | 0.2359*** (0.0422) | 0.1183*** (0.0348) | 0.0909*** (0.0319) | 0.0845*** (0.0307) |
| $\ln\left(\frac{H}{L}\right)$ | 1.4646*** (0.1366) | -0.2547 (0.1788) | 0.8285*** (0.1105) | 2.3026*** (0.4133) |
| $\ln(\text{RD})$ | | | 0.3775*** (0.0297) | 0.8274*** (0.1326) |
| Inter | | 0.1464*** (0.0130) | | -0.1913*** (0.0536) |
| Constante | 4.0969*** (0.2674) | 5.8527*** (0.2906) | 3.2216*** (0.1705) | -0.1819 (0.9581) |
| N | 168 | 168 | 168 | 168 |
| R ² | 0.9729 | 0.9820 | 0.9841 | 0.9845 |
| Prob > Chi2 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| Países | 7 | 7 | 7 | 7 |

Nota: El error estándar se muestra entre paréntesis. *, **, y *** corresponde al nivel de significancia del 10%, 5% y 1%, respectivamente.

Fuente: Elaboración de los autores.

5. Conclusiones y Recomendaciones

La finalidad de este trabajo fue investigar cómo el capital humano en países emergentes maximiza la efectividad de la inversión en investigación y desarrollo (I+D) para impulsar el crecimiento económico. Los resultados generales confirman que un sólido stock de capital humano y la inversión en I+D, de manera individual y conjunta, desempeñan un papel sumamente importante para explicar diferencias en niveles de PIB por trabajador, validando nuestra hipótesis central. Este hallazgo, consistente con la literatura (Mayer, 2001; Romer, 1990), subraya la relevancia de la interacción entre capital humano e I+D como un motor de desarrollo en economías en crecimiento.

Nuestra principal contribución es la evidencia empírica, obtenida mediante la metodología PCSE, que destaca esta sinergia en un panel de siete países emergentes. Esto enriquece la frontera del conocimiento al especificar cómo el capital humano no solo es un factor de producción, sino un catalizador esencial para la productividad de la innovación.

En términos de política pública, los resultados tienen claras implicaciones: las naciones emergentes no solo deben incrementar su inversión en I+D, sino, priorizar políticas que fortalezcan el capital humano como reformas STEM, incentivos fiscales o APP's en innovación. Países como México o India podrían replicar modelos exitosos para cerrar brechas de productividad, transformando la I+D de un gasto a una inversión transformadora. Estas medidas conjuntas son clave para fomentar un crecimiento económico sostenido.

Referencias

- Belarús refuerza su sistema de PI para promover la innovación y el crecimiento económico. (2019). *WIPO Magazine*. https://www.wipo.int/wipo_magazine/es/2019/05/article_0008.html
- Bernal M., M. C. (2017). La Educación y el Crecimiento Económico: Caso Empírico del Modelo de Solow. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2008). *Educación India, una historia de miles de años - Programa Asia Pacífico*. Observatorio Asia Pacífico. <https://www.bcn.cl/observatorio/asiapacifico/noticias/educacion-india-historica-tradicion>
- Coe, D. T., & Helpman, E. (1995). International R&D Spillovers. *European Economic Review*, 39(5), 859-887.
- Coe, D. T., Helpman, E., & Hoffmaister, A. A. (2009). International R&D spillovers and institutions. *European Economic Review*, 53(7), 723-741. <https://doi.org/10.1016/j.eurocorev.2009.02.005>
- Cordis, C. (2005, enero 19). *La investigación es fundamental para el Plan nacional de Desarrollo de Polonia*. CORDIS | European Commission. <https://cordis.europa.eu/article/id/23204-research-central-to-polish-national-development-plan/es>
- Cordis, C. (2007, septiembre 12). *La innovación en Bulgaria: cierta mejora, pero mucho por hacer*. CORDIS | European Commission. <https://cordis.europa.eu/article/id/28331-innovation-in-bulgaria-some-improvement-but-much-more-to-be-done/es>
- Fernández, M. (2020, febrero 9). *El milagro educativo de Polonia: las claves de una reforma que generó resultados de élite*. Infobae. <https://www.infobae.com/educacion/2020/02/09/el-milagro-educativo-de-polonia-las-claves-de-una-reforma-que-genero-resultados-de-elite/>
- Goel, R. K. (1995). Spillovers, Rivalry and R&D Investment. *Southern Economic Journal*, 62(1), 71-76.
- Griliches, Z. (1979). Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth. *Bell Journal of Economics*, 10(1), 92-116.
- Griliches, Z. (1990). Patent Statistics as Economic Indicators: A Survey. *Journal of Economic Literature*, 28(4), 1661-1707.
- Guerrero Olvera, M. (2018, julio). La educación en México a través de los tiempos: cambios y reformas. *Revista Glosa*, 11.
- Guisán, M. C., & Neira, I. (2002). *Modelos econométricos de capital humano*. www.usc.es/economet

- Gutiérrez Londoño, E. E., Rendón Acevedo, J. A. & Álvarez García, R. D. (2004). El crecimiento económico en el modelo de Solow y aplicaciones. *Semestre Económico*, 7(14), 15-29. Recuperado de: <http://revistas.udem.edu.co/index.php/economico/article/view/1129>.
- Hall, R. E., & Jones, C. I. (1999). Why Do Some Countries Produce So Much More Output Per Worker Than Others? *The Quarterly Journal of Economics*, 114(1), 83-116. <https://doi.org/10.1162/003355399555954>
- India and the GII: an Innovation Success Story. (n.d.). Global Innovation Index. https://www.wipo.int/web/global-innovation-index/w/news/2019/news_0001
- Jaffe, A. (1984). Market Demand, Technological Opportunity and Research Spillovers on R&D Intensity and Productivity Growth. *National Bureau of Economic Research*. <https://doi.org/10.3386/w1432>
- Jones, C. I. (2015). The facts of Economic Growth. *Handbook of Economic Growth*, 2, 3-69.
- Jones, C. I. (2016). *The Facts of Economic Growth*. Chapter 1.
- Kim, E. (n.d.). *Análisis de la política educativa en Corea del Sur: estudio del sistema educativo y pruebas PISA*. [Master's thesis, Pontificia Universidad Javeriana]. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21650/KimEunha2016tesis.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Labra Lillo, R., & Juan, M. (2017). El sistema de ciencia y tecnología de Corea del Sur: ¿Un ejemplo de colaboración internacional para Europa? *Revista de Estudios Empresariales. Segunda época*, (2), 48-76. <https://doi.org/10.17561/ree.v0i1.3191>
- Long, M. (2021). La educación de China en 70 años: éxitos y experiencias. *Revista Argentina de Investigación Educativa*, 1(1), 95-109. <https://static1.squarespace.com/static/53b1eff6e4b0e8a9f63530d6/t/5ce5e767eb39313fcfe28156/1558570857699/Mariana+Guerrero+art.pdf>
- Magisnet. (2007, enero 10). *Bulgaria: La insoportable pesadez del Estado*. <https://www.magisnet.com/2007/01/bulgaria-la-insoportable-pesadez-del-estado/>
- Mankiw, N. G., Romer, D., & Weil, D. N. (1992). A Contribution to the Empirics of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 107(2), 407-437. <https://doi.org/10.2307/2118477>
- Mayer, J. (2001). *Technology Diffusion, Human Capital and Economic Growth in Developing Countries* (No. 154).
- OpenAI. (2023). *ChatGPT4* Used as an occasional support tool to find formal words that enriched the text (grammar, spelling, and punctuation).
- Park, W. G. (1995). International R&D Spillovers and OECD Economic Growth. *Economic Inquiry*, 33(4), 571-591. <https://doi.org/10.1111/j.1465-7295.1995.tb01882.x>
- Qadri, F., & Waheed, A. (2011). Human Capital and Economic Growth: Time Series Evidence from Pakistan. *Pakistan Business Review*, 1(2011), pp. 815-833.
- Rodríguez Arana, A. (2017). Crecimiento Económico y Capital Humano: Metodología para la Simulación de una Variante del Modelo de Lucas con Aplicación a México. *Revista Mexicana de Economía y Finanzas*, 12(2), 23-47. <https://doi.org/10.21919/remef.v12i2.89>
- Romer, P. (1989). *Human Capital and Growth: Theory and Evidence*.
- Romer, P. (1990). Endogenous Technological Change. [Missing publication details].
- Valero-Gil, J. N., & Valero, M. (2021). Human capital and state income differences in Mexico. *Applied Economics*, 54(13), 1544-1561. <https://doi.org/10.1080/00036846.2021.1980197>
- Xiwei, Z., & Xiangdong, Y. (n.d.). La reforma del Sistema de Ciencia y Tecnología y su impacto en el Sistema Nacional de Innovación de China. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-952X2007000200005

Apéndice

Tabla A.1. Descripción de variables

| Variable | Descripción | Fuente |
|-------------------------------------|---|--|
| Producto Interno Bruto (Y) | Millones de USD a precios constantes de 2010. | The World Bank |
| Población trabajadora (L) | Millones de personas. 15-64 años. | UNESCO Institute for Statistics |
| Formación bruta de capital fijo (K) | Millones de USD a precios constantes de 2010. | The World Bank |
| Años promedio de escolaridad (H) | Años promedio anuales. | Institute for Management Research Radboud University |
| Gasto en I+D | Producto del PIB en millones de USD a precios constantes de 2010 por el gasto en I+D como porcentaje del PIB. Millones de USD a precios constantes de 2010. | The World Bank |

Fuente: Elaboración de los autores.

Tabla A.2. Descripción de variables por trabajador

| Variable | Descripción |
|---|---|
| PIB por trabajador (Y/L) | División del PIB (Y) entre la Población Trabajadora (L). |
| Capital Físico por trabajador (K/L) | División de la Formación Bruta de Capital Fijo (K) entre la Población Trabajadora (L). |
| Capital Humano por trabajador (H/L) | Años de Escolaridad del personal trabajador |
| Interacción del Capital Humano con el I+D de los países (Inter) | Propuesta: multiplicación del gasto en I+D como porcentaje del PIB por los años de escolaridad. |

Fuente: Elaboración de los autores.

Tabla A.3. Promedios de las variables por trabajador

| Países/Variables | PIB por trabajador (Y/L) | Capital físico por trabajador (K/L) | Capital humano por trabajador (H/L) | Interacción H*I+D (Inter) |
|------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| Bulgaria | 8,249.73 | 1,762.27 | 10.40 | 264,127.24 |
| Bielorrusia | 6,272.10 | 1,773.28 | 11.07 | 308,578.24 |
| China | 7,247.69 | 2,920.60 | 6.52 | 77,311,654.00 |
| India | 1,927.31 | 600.71 | 5.00 | 5,175,166.50 |
| Corea del Sur | 32,489.20 | 10,187.99 | 11.32 | 42,744,146.00 |
| México | 15,566.63 | 3,529.95 | 7.73 | 3,080,809.00 |
| Polonia | 14,176.10 | 2,785.10 | 12.07 | 3,686,098.50 |

Fuente: Elaboración de los autores.