



UADY
UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
DE YUCATÁN

Revista de Economía,

Facultad de Economía, Universidad Autónoma de Yucatán

La calidad y la cobertura educativa y su papel en el crecimiento económico, la innovación y la convergencia de ingresos

Educational quality and coverage and their role in economic growth, innovation and income convergence

Gerardo Angeles Castro¹ - José Manuel García Flores²

Resumen

El acelerado crecimiento de la innovación y de la economía que en años recientes se ha presentado en algunos países y que se enmarca en un contexto de economía del conocimiento, se ha detonado, entre otras cosas, por mejoras en la calidad y cobertura educativa, pero también ha generado divergencia de ingresos promedio entre naciones, sobre todo entre países en desarrollo y desarrollados. Esta investigación tiene como objetivo analizar el efecto de la calidad y cobertura educativa en la innovación, el crecimiento y la convergencia de las economías, en una muestra de países en desarrollo y desarrollados, y en un periodo de tiempo reciente, desagregando los efectos por niveles de ingreso y periodos en el tiempo, para lo cual se aplican metodologías de variables *dummy* de pendiente interactiva y datos panel. Los resultados muestran que la calidad educativa tiene mayor efecto positivo en el PIB per cápita y en la innovación que la cobertura educativa; el efecto de la calidad y la cantidad educativa en la innovación es mayor en los países en desarrollo que en los desarrollados, pero el efecto de las variables educativas en el ingreso promedio es mayor en los países desarrollados que en los países en desarrollo; las variables en educación no generan convergencia de ingresos entre países.

Palabras clave: educación, innovación, ingreso promedio, convergencia de ingreso, economía del conocimiento, dummies de pendiente interactiva, datos panel.

Clasificación JEL: C23 D31 E22 I21.

1- Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Economía, México, Correo electrónico: gangeles@ipn.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6024-7924>

2- Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Economía, México, Correo electrónico: jmgarciaf@ipn.mx

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8018-4633>



Abstract

The accelerated growth of innovation and economy that has occurred in some countries in recent years within the context of the knowledge economy, has been triggered, among other things, by improvements in educational quality and coverage, but has also generated divergence in average incomes between nations, especially between developing and developed countries. This research is aimed at analyzing the effect of educational quality and coverage on innovation, growth, and convergence of economies in a sample of developing and developed countries over a recent period, disaggregating the effects by income levels and time periods. For this purpose, interactive slope dummy variable and panel data methodologies are applied. The results indicate that educational quality has a greater positive impact on GDP per capita and innovation than educational coverage; the effect of educational quality and quantity on innovation is greater in developing countries than in developed countries, but the effect of educational variables on average income is greater in developed countries than in developing countries; educational variables do not generate income convergence between countries.

Keywords: education, innovation, average income, income convergence, knowledge economy, slope interactive dummy variables, panel data.

JEL Classification: C23 D31 E22 I21.

1. Introducción

La teoría neoclásica argumenta una tendencia positiva del capital con rendimiento decreciente en relación con el PIB per cápita de los países (Solow, 1956, Swan, 1956, Sala-I-Martin, 1990), lo cual genera convergencia de ingreso incondicional entre naciones, sujeta al PIB per cápita inicial de cada economía. Esto, sin embargo, sólo ha sido probado en algunos casos, tales como países de Europa (Nurul Hossain y Munim Joarder, 2014; Chapsa *et al.*, 2015; Holobiuc, 2020; Milutinovic y Stanišić, 2022) o los estados de la Unión Americana (Barro y Sala-I-Martin, 1990; Carlino y Mills, 1996; James *et al.*, 2023).

Por el contrario, diversos estudios no respaldan la hipótesis de convergencia incondicional en regiones o en amplias muestras de países: Sala-I-Martin (1996) en una muestra de 110 países en varios periodos; Grier y Grier (2007) en una muestra de 90 países entre 1961 y 1999; Chiquiar (2005) en regiones de México; Silva Lopes (2025) a través de una muestra de 90 países; García *et al.* (2025) en tres clubes de países de la Unión Europea.

Ante la insuficiencia de sustento de la hipótesis de convergencia incondicional, la teoría endógena o ‘nueva’ teoría del crecimiento plantea la formación de capital humano como un factor para revertir el rendimiento decreciente de capital y propiciar convergencia de ingreso condicionada a factores que impulsan el capital humano como investigación, innovación y difusión

tecnológica, infraestructura, salud y educación (Barro y Sala-i-Martin, 1997; Benhabib y Spiegel, 1994) o bien otros factores asociados a la gobernanza e institucionalidad como estabilidad política (Alesina y Rodrik, 1994) o libertad económica y financiera (Fung, 2009; Damásio, *et al.* 2024). Adicionalmente a estos factores, se plantean políticas públicas de integración regional, en particular en la Unión Europea, como motores para impulsar convergencia de ingresos (Alemu, *et al.* 2024).

Aunque no presentan un análisis de razones o determinantes, Kremer, *et al.* (2022) encuentran convergencia absoluta entre países en las dos últimas décadas, en particular desde el año 2000 y argumentan que hay una tendencia hacia la convergencia de ingreso entre naciones, contrario a lo que se observaba en estudios de décadas anteriores. Por otra parte, Johnson y Papageorgiou (2020), plantean una falta de progreso de las naciones en desarrollo para cerrar más aceleradamente la brecha de ingreso con economías desarrolladas y afirman que una revisión literaria soporta sus conclusiones; sin embargo, ellos también afirman que la desigualdad global tiende a caer desde 2000.

Previamente, la escuela Schumpeteriana puso énfasis en la importancia de la innovación y el emprendimiento para impulsar el crecimiento económico, bajo un marco de institucionalidad, y en un entorno de ciclos estructurales de largo plazo sustentados en cambios tecnológicos relevantes (Howitt y Aghion, 1998; Aghion, 2004).

Existen algunas investigaciones que han relacionado de manera directa los resultados en pruebas internacionales como PISA y el crecimiento económico. Al respecto, Hanushek y Woessmann (2020) manifestaron que existe un proceso en el que la calidad educativa, medida a través de habilidades cognitivas incluidas en las pruebas como PISA, puede impulsar el crecimiento económico. El proceso que sugieren es que en una primera instancia la productividad laboral aumenta porque la fuerza laboral activa incrementa su educación, lo que se ve reflejado en un nivel de equilibrio de producción mayor. En segundo lugar, la educación puede incrementar la capacidad de innovación en la economía; esto se traduce en nuevas tecnologías, productos y procesos que promueven el crecimiento. Por último, la mejora en la educación facilita el proceso y comprensión de innovaciones generadas por otros con adaptabilidad a su propio entorno, lo cual se ve reflejado en la transmisión del conocimiento que potencia el crecimiento económico (Hanushek y Woessmann, 2020).

Los países que han logrado consolidar la formación de capital humano, bajo un entorno de instituciones sólidas y estables y en un marco de gobernanza, han presenciado avances sustanciales en innovación (Kwan y Chiu, 2015); esto, adicionalmente, ha propiciado un acelerado patentamiento en las últimas décadas. Estos países logran, a su vez, revertir rendimientos decrecientes de capital y mantienen tasas de crecimiento que permiten mejorar sus ingresos y converger con economías de mayor desarrollo (Zagler y Zanzottera, 2009; Shkolnykova y Wedemeier, 2025). Este comportamiento se sustenta teóricamente en los postulados de la teoría endógena y la escuela Schumpeteriana, en donde la educación y la formación de capital humano pueden ser considerados determinantes de innovación, crecimiento y convergencia.

Al paradigma de desarrollo en el que los países producen bienes y servicios mediante procesos abundantes en capital y mano de obra calificada, en entornos de estabilidad institucional y gobernanza se le ha llamado economía del conocimiento (Unger, 2022). En este modelo es imprescindible avanzar hacia sistemas educativos que sean el sustento para mejorar la innovación y el ingreso económico de un país (Naveed *et al.* 2023). En este contexto, es importante estudiar el rol de la educación en economías desarrolladas que se han integrado a la economía del conocimiento, pero también lo es analizar el desempeño de los países en desarrollo que tienden a carecer de sistemas educativos sólidos.

Por otra parte, resulta importante analizar en un concepto más amplio el desarrollo de los sistemas educativos, a través de dos factores principales, cobertura y calidad, para poder determinar cómo estos impactan en variables económicas de interés.

Esta investigación tiene como objetivo analizar el efecto de la calidad y cobertura educativa en la innovación, el crecimiento y la convergencia de las economías, en una muestra de países en desarrollo y desarrollados, y en un periodo de tiempo reciente, desagregando los efectos por niveles de ingreso y periodos en el tiempo, utilizando indicadores de educación que representan calidad y cobertura.

La metodología aplicada es econométrica, a través de modelos de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) con *dummies* de pendiente interactiva para desagregar pendientes por niveles de ingreso y por periodos en el tiempo. A su vez se utilizan modelos de datos panel de efectos fijos (EF), efectos aleatorios (EA) y panel dinámico, con datos agregados.

Para tal fin se desarrolla una base de datos con *proxis* de educación que involucran resultados de la prueba PISA y matrícula de educación secundaria y terciaria. Como variables dependientes se incorporan patentes solicitadas por residentes por cada millón de habitantes y PIB per cápita. Adicionalmente se incorporan variables para controlar efectos institucionales y económicos. La muestra involucra 93 países y ocho observaciones en el tiempo entre los años 2000 y 2022.

Los hallazgos o contribuciones principales del estudio a la literatura son:

- La calidad en la educación básica tiene un efecto positivo en la innovación y en el ingreso de los países, el cual es mayor que el efecto de la cobertura educativa a nivel secundario y terciario, a pesar de que la cobertura ha tendido a crecer más que la calidad en la educación en los últimos años.
- El efecto de las variables en educación en la innovación se mantiene constante en el tiempo, pero éste se acelera marginalmente en el último periodo de la muestra. Por el contrario, el efecto de las variables en educación en el ingreso promedio se desacelera con el tiempo.
- El efecto de la calidad y la cantidad educativa en la innovación es mayor en los países en desarrollo que en los desarrollados, pero el efecto de las variables educativas en el ingreso promedio tiende a ser mayor en los países desarrollados que en los países en desarrollo.
- No se encuentra evidencia de convergencia. Una razón puede ser que tanto la calidad como la

cantidad educativa no crecen más en los países en desarrollo que en los países desarrollados; además de que el efecto de las variables educativas, tanto de calidad como de cantidad, es mayor en países desarrollados que en desarrollo.

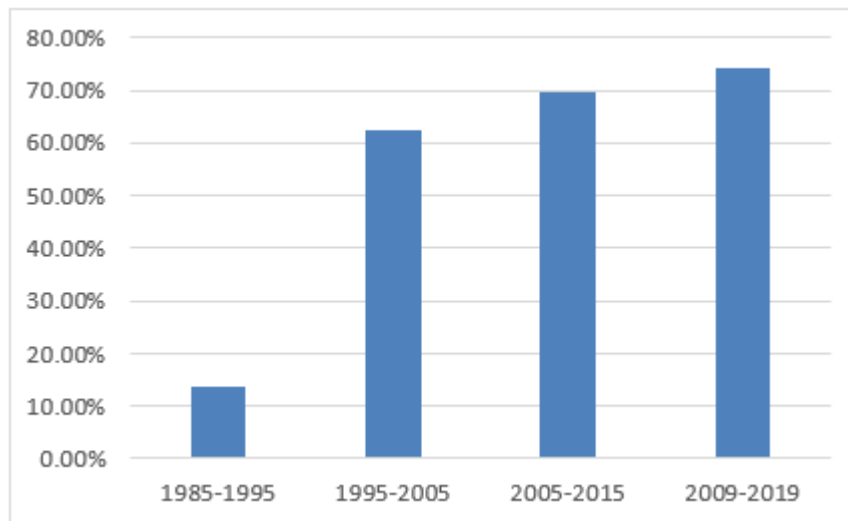
- Por último, se encuentra que el ingreso inicial y variables que representan institucionalidad y libertad económica muestran una relación positiva con la innovación y el ingreso promedio; no obstante, el ingreso inicial genera divergencia de ingresos entre países en desarrollo y desarrollados.

La estructura del artículo es como sigue: en la segunda sección se analizan las condiciones actuales en materia de educación, innovación y crecimiento económico. En la tercera sección se describe la base de datos y adicionalmente se plantea la metodología econométrica, en la cuarta sección se discuten los resultados, y finalmente en la quinta sección se presentan conclusiones y políticas implicadas.

2. Educación, innovación y crecimiento económico

A lo largo de las últimas décadas se ha presentado un acelerado crecimiento del número de solicitudes de patentes a nivel mundial; entre 1985 y 1995 el número aumentó 13.72 por ciento, mientras que en las siguientes décadas la variación ha sido superior a 60.00 por ciento. En la década que transcurrió de 2009 a 2019, previo a la crisis sanitaria mundial, la cifra creció 74 por ciento (Figura 1).

Figura 1. *Crecimiento porcentual del total de solicitudes de patentes a nivel mundial por década*



Fuente: Cálculos propios con cifras de Organización Mundial de la Propiedad Intelectual, OMPI (2024).

Los países que más destacan en número de solicitudes de patentes realizadas por residentes y normalizadas por millón de habitantes (al menos 220 solicitudes de patentes por año) y por presentar crecimiento de dicha variable en el periodo son China, Singapur, Corea, Bélgica, Suiza, Dinamarca, Austria, Estados Unidos, Italia, Países Bajos y Francia. En este caso todos los países de la lista ostentan factores de desarrollo consolidados, en términos de educación, gobernanza e institucionalidad¹ en un entorno de economía del conocimiento, con excepción de China, la cual representa un caso de estudio ya que puede generar altos niveles de innovación sin consolidación de factores de desarrollo.

El desempeño educativo de los países tiene efectos en el crecimiento económico (Bonal, 2016), y la mejora de los sistemas educativos involucra dos principales componentes, cobertura (cantidad) y calidad (Zagler y Zanzottera, 2009). En este estudio utilizamos los resultados de PISA como la variable para representar la calidad en la educación de una nación, los cuales se encuentran disponibles en 8 años en el período de 2000 a 2022. Para representar cobertura educativa utilizamos la matrícula a nivel secundario y terciario, obtenida del Banco Mundial (2024a).

Los países que tienen la totalidad de observaciones de los resultados de la prueba PISA son alrededor de 30. En la mayoría de ellos no se aprecia un incremento en las cifras entre los años 2000 y 2022, pero sí se observan caídas marginales tanto en matemáticas como en lectura y ciencias. Sólo cuatro países presentan un incremento (Brasil, Latvia, Polonia y Portugal) y estos son economías emergentes o en desarrollo –salvo el caso de Portugal, que es clasificado como economía de alto ingreso per cápita. La evolución de estos indicadores muestra que los países desarrollados alcanzan mejoras en la calidad educativa y posteriormente se mantienen o incluso retroceden marginalmente. La información también refleja que existe poco avance en materia de calidad educativa en países en desarrollo evaluados por la prueba PISA.

Estos datos representan un riesgo para validar la hipótesis de convergencia condicional a la calidad educativa, porque esta variable no ha crecido significativamente más en países de ingreso bajo y medio que en países de ingreso alto.

La cobertura educativa ha sido representada en diversos estudios por la matrícula bruta, que es la matrícula total existente en un nivel académico relativa a la población en edad de atender el respectivo nivel académico² (Okuneye y Adelowokan, 2014; Kotásková *et al.* 2018). En la Tabla 1 se presenta la matrícula de la muestra de países que contiene PISA y se promedia en los ocho periodos disponibles entre 2000 y 2022, en los dos niveles de ingreso (bajo y medio, y alto) y en los dos niveles educativos (secundario y terciario).

¹ Con excepción de China, todos los países de la lista se encuentran en la clasificación de alto nivel de desarrollo humano en 2022 según el PNUD (2024) y además son considerados países de alto ingreso per cápita por el Banco Mundial (2024)

² La cifra puede ser mayor a 100 porque el número de alumnos matriculados por nivel académico puede ser mayor al número de habitantes en edad de atender dicho nivel académico. Esto sucede en el caso en que hay personas adultas, con edades superiores a las específicas para cada nivel, que cursan estudios de nivel secundario o terciario y por consiguiente el número de matriculados es mayor a la población en edad de atender un nivel académico.

Tabla 1. *Matrícula bruta promedio, por nivel educativo secundario y terciario*

Año	Matrícula en nivel educativo			
	Ingreso bajo y medio		Ingreso alto	
	Secundario	Terciario	Secundario	Terciario
2000	73.8	27.9	101.1	44.9
2003	81.1	32.4	104.4	53.1
2006	81.6	36.4	101.5	57.8
2009	87.9	39.9	102.6	59.8
2012	89.7	45.8	106.6	63.6
2015	93.7	49.1	110.5	69.2
2018	88.5	47.6	110.4	70.1
2022	88.7	47.0	110.2	76.1
Variación en puntos 2022 vs 2020	14.9	19.1	9.1	31.2

Fuente: Elaboración propia con información de Banco Mundial (2024 y 2024a).

De esta información resaltan tres puntos principales: Uno, el crecimiento de la matrícula en los niveles de escolaridad secundaria y terciaria ha crecido en promedio en los dos niveles, pero más aceleradamente en el terciario. Dos, los países de ingreso alto tienen mayor matrícula en ambos niveles educativos. Tres, la matrícula secundaria crece más en países de ingreso bajo y medio, mientras que la matrícula terciaria crece más en países de ingreso alto.

La información presentada sugiere una relación positiva de la educación e innovación con el PIB per cápita, pero es dudoso que se dé un proceso de convergencia condicional a la educación. Para que este proceso de convergencia exista es importante que en ambos niveles educativos la matrícula crezca más aceleradamente, en países tanto de ingreso bajo como de ingreso medio, pero principalmente en el primer bloque.

Conforme a los datos presentados en esta sección podemos plantear dos hipótesis:

H01: La expansión de la oferta y la mejora de la calidad educativa tienen una relación directa con el crecimiento de la innovación y del PIB per cápita en las economías; sin embargo, el efecto de la oferta es mayor que el de la calidad educativa, porque la oferta ha crecido más aceleradamente en años recientes.

H02: No existe convergencia de ingresos entre las economías condicionadas a la calidad u oferta educativa porque la calidad ha crecido lentamente en países tanto de ingreso bajo y medio como de ingreso alto, y porque la oferta en el nivel terciario ha crecido más aceleradamente en países de ingreso alto que en los países de ingreso bajo y medio.

3. Base de datos y planeamiento metodológico

Para poder analizar el efecto de la educación en la innovación, el ingreso y la convergencia de ingresos entre países y probar las dos hipótesis formuladas en la segunda sección de la investigación, se compila una base de datos con cortes transversales y longitudinales. La variable explicativa de interés es la educación y se separa en calidad y cantidad. La calidad se representa con los resultados en matemáticas de la prueba PISA (OCDE, 2024). No se ocupan los resultados en ciencias y lectura para evitar multicolinealidad y porque la variable en matemáticas es más robusta en el análisis.

La cantidad o cobertura se analiza con la variable de matrícula bruta en el nivel secundario y terciario; ésta se calcula dividiendo la matrícula total existente en un nivel académico relativa a la población en edad de atender el respectivo nivel académico, expresada en porcentaje, por lo que puede exceder el 100 por ciento, debido a que pueden existir estudiantes matriculados por arriba o por debajo de la edad considerada oficial para atender el respectivo nivel académico (Banco Mundial, 2024a). El nivel secundario involucra la escolaridad posterior al nivel básico (primario) y previo a la educación universitaria (nivel terciario).

Adicionalmente se incorporan variables para controlar efectos de factores que también son considerados determinantes de innovación, ingreso y convergencia de ingreso y, de esta forma, aislar el efecto de las variables en educación. Con la incorporación de estas variables se busca controlar tres principales factores económicos que son desarrollo humano, institucionalidad y gobernanza, y libertad económica.

Como variable de desarrollo humano se agrega a la ecuación la expectativa de vida al nacer en total de años. Esta variable es uno de los tres componentes que se ocupan en la construcción del índice de desarrollo humano. La institucionalidad y gobernanza se representa con la formación bruta de capital fijo como porcentaje del producto interno bruto, en virtud de que la eficiencia gubernamental y consolidación de instituciones está asociada directamente a la formación de capital. Por último, la libertad económica se representa con el volumen de exportaciones como porcentaje del PIB. Un criterio adicional de selección de las tres variables de control es que cuentan con observaciones para cubrir la muestra de países y los periodos de tiempo que conforman la base de datos. En todos los casos la fuente es el Banco Mundial (2024a).

Las variables dependientes son dos. La primera es un *proxy* de innovación para la cual se utiliza el número de patentes solicitadas por residentes por millón de habitantes, la fuente es OMPI (2024). La segunda es la variable de ingreso representada por el PIB per cápita en dólares estadounidenses a precios de 2015 (Banco Mundial, 2024a).

Para normalizar las variables y facilitar su interpretación, estas se transforman a logaritmos, excepto la formación bruta de capital fijo y las exportaciones, las cuales se mantienen como porcentaje del PIB.

La extensión de la base está sujeta a la muestra utilizada en PISA; de la información disponible se logra compilar una muestra longitudinal trianual de 8 años (2000, 2003, 2006, 2009, 2012, 2015, 2018 y 2022). La última muestra se obtuvo después de cuatro años, en 2022, por las condiciones impuestas por la crisis sanitaria mundial en 2021. La muestra transversal agrupa 93 países, con lo que se logra construir un panel de datos no balanceado por la falta de disponibilidad de información en algunas observaciones.

A continuación, en la Tabla 2 se presentan estadísticas descriptivas básicas de las variables para la totalidad de la muestra (panel A), países de ingreso bajo y medio (panel B), y países de ingreso alto (panel C). En ella se puede apreciar la enorme disparidad en nivel de patentamiento e ingreso per cápita entre países. Existen naciones que presentan una sola patente por año y por millón de habitantes, mientras que el PIB per cápita anual más bajo de la muestra puede llegar a 488 USD en algún periodo (Camboya). Por otra parte, existen otros países que generan hasta 3,559 patentes (Corea) y ostentan un PIB per cápita que puede llegar a 167,809 USD (Liechtenstein).

De igual forma los resultados de PISA en matemáticas oscilan ampliamente entre 318 (Quatar) y 613 (China). En este caso cabe resaltar que Quatar, un país considerado desarrollado, ha llegado a presentar los más bajos resultados en PISA en algún período, mientras que China, un país considerado en desarrollo, los más altos.

También se aprecia que el promedio de patentes es nueve veces mayor en países desarrollados (359) que en desarrollo (40), y el PIB per cápita promedio en países desarrollados (35,222) supera por casi siete veces al promedio de países en desarrollo (5,096).

Estas enormes disparidades ponen de manifiesto que es importante lograr una convergencia de países en términos de ingreso, lo cual, conforme a la teoría endógena de crecimiento, se puede lograr con avances en la educación de los países que se encuentran en rezago.

Tabla 2. *Estadísticas descriptivas básicas de las variables en la totalidad de la muestra y por países en desarrollo y desarrollados.*

Variable	Observaciones	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
A) Muestra completa					
Patentes/residente/millones	558	216	468	1	3,559
GDP pc USD 2015	710	21,432	22,310	488	167,809
PISA matemáticas	477	465	57	318	613
PISA lectura	476	462	52	312	570
PISA ciencias	477	469	52	330	580
Matrícula bruta secundaria	566	96.97	18.70	19.07	164.08
Matrícula bruta terciaria	575	51.62	23.81	2.31	138.39

Variable	Observaciones	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Expectativa de vida	720	76.10	4.57	58.63	85.38
FBCF/GDP	695	23.02	5.45	1.23	52.88
Exportaciones/GDP	697	49.69	34.40	8.78	228.04
B) Países de ingreso bajo y medio					
Patentes/residente/millones	251	40	108	1	1,037
GDP pc USD 2015	325	5,096	2,906	488	14,055
PISA matemáticas	149	409	50	325	613
PISA lectura	149	409	44	314	570
PISA ciencias	149	417	44	330	580
Matrícula bruta secundaria	249	85.76	16.38	19.07	133.16
Matrícula bruta terciaria	273	40.90	20.36	2.31	115.46
Expectativa de vida	328	72.71	3.47	58.63	79.73
FBCF/GDP	322	23.43	6.34	1.23	52.88
Exportaciones/GDP	323	38.17	17.52	8.78	119.81
C) Países de ingreso alto					
Patentes/residente/millones	307	359	586	1	3,559
GDP pc USD 2015	385	35,222	22,255	4,567	167,809
PISA matemáticas	328	490	40	318	575
PISA lectura	327	486	35	312	556
PISA ciencias	328	492	36	349	563
Matrícula bruta secundaria	317	105.77	15.43	64.39	164.08
Matrícula bruta terciaria	302	61.31	22.53	5.56	138.39
Expectativa de vida	392	78.94	3.26	69.10	85.38
FBCF/GDP	373	22.67	4.52	10.24	40.89
Exportaciones/GDP	374	59.63	41.59	9.04	228.04

Fuente: cálculos en Stata con datos de Banco Mundial (2024 y 2024a), OCDE (2024), OMPI (2024)

La metodología utilizada consiste en tres tipos de modelos: el primero es mínimos cuadrados ordinarios (MCO) con desagregación de pendientes a través de variables *dummy* de pendiente interactiva. El segundo son datos panel de efectos fijos y aleatorios. El tercero son paneles dinámicos sistema (Blundell y Bond, 1998)

El modelo de MCO con *dummies* de pendiente interactiva se aplica porque permite desagregar las pendientes para dos clasificaciones de ingreso de países y para los ocho periodos que comprende la muestra; adicionalmente las pendientes se desagregan para las tres variables

explicativas en educación. De esta forma se logra contar con pendientes específicas por variable, por nivel de ingreso y por período de tiempo.

La metodología de datos panel de efectos fijos y aleatorios se utiliza de manera agregada y se aplica como una prueba de robustez (*robustness check*) para analizar la estabilidad y confiabilidad de los modelos MCO.

El panel de datos dinámico de Blundell y Bond (1998), se ocupa también como una prueba de robustez del modelo agregado de MCO en la ecuación de convergencia. Mediante esta estimación se sustituye la variable de ingreso inicial por una variable dependiente rezagada.

A través de la aplicación de las tres metodologías se cuenta con un modelo inicial desagregado que es el MCO y dos pruebas de robustez con modelos agregados de datos panel y panel dinámico.

Iniciamos con un modelo *pooled* de datos agrupados o mínimos cuadrados ordinarios como en la Ecuación 1:

$$Y_{it} = \alpha + \sum_{j=1}^3 \theta_j X_{jit} + \sum_{k=1}^3 \delta_k Z_{kit} + u_{it} \quad (1)$$

Donde:

- Y = variable dependiente que puede ser ingreso promedio (PIB per cápita) o patentes solicitadas por residentes por millón de habitantes.
- α = ordenada al origen
- X = variables de educación (resultados de pisa en matemáticas y matrícula bruta secundaria y terciaria)
- Z = variables de control (formación bruta de capital fijo y exportaciones como razón del PIB y expectativa de vida al nacer)
- u = residual que sigue principios de ruido blanco, independientemente distribuido, con media cero y varianza σ^2 constante, esto es $u \sim id(0, \sigma^2)$
- i, t = subíndices que representan países y años respectivamente
- j, k = subíndices que representan variables de educación y variables de control respectivamente
- α, θ, δ = coeficientes por estimar

Los resultados se presentan en la columna 1 de la Tabla 3 para la ecuación de patentes y en la columna 1 de la Tabla 5 para la ecuación de ingreso promedio.

Posteriormente desagregamos las variables explicativas de educación, que son resultados de PISA en matemáticas y matrícula bruta en nivel secundario y terciario, a través de niveles de ingreso bajo y medio (países en desarrollo) e ingreso alto (países desarrollados), con el uso de *dummies* de pendiente interactiva que resultan de multiplicar *dummies* dicótomas de los dos niveles de ingreso por las tres variables en educación. La especificación del vector de variables de

control se mantiene sin cambio. El modelo se representa en la Ecuación 2.

$$Y_{it} = \alpha + \sum_{l=1}^3 \theta_l X_{lit} + \sum_{h=1}^3 \theta_h X_{hit} + \sum_{k=1}^3 \delta_k Z_{kit} + u_{it} \quad (2)$$

Donde:

- l = subíndices que representan variables de educación para países de ingreso bajo y medio
- h = subíndices que representan variables de educación para países de ingreso alto

Los resultados se presentan en las columnas 2, 3 y 4 de la Tabla 3 para la ecuación de patentes y de la Tabla 5 para la ecuación de ingreso promedio. La ecuación 2 es útil para determinar si los efectos de las variables en educación sobre el patentamiento y el ingreso varían entre países en desarrollo y países desarrollados.

Adicionalmente, se generan dos modelos de datos panel, efectos fijos y efectos aleatorios, con la totalidad de la muestra. Esto se hace como una prueba de robustez (*robustness check*) para analizar la confiabilidad o validez de los resultados del modelo de MCO, probando si éstos cambian al modificar el método de estimación econométrica. Los resultados del modelo de efectos fijos y de efectos aleatorios se muestran en las columnas 5 y 6 respectivamente de la Tabla 3 para la ecuación de patentes y de la Tabla 5 para la ecuación de ingreso medio.

Para el caso del modelo de efectos fijos partimos de la ecuación (A), en la que se resta la media de grupo y se agrega la media de todas las observaciones en cada uno de sus términos. Este modelo es equivalente a un MCO con variables *dummy* de grupo o tiempo, en el cual se desagregan ordenadas al origen para cada grupo o periodo, según sea el caso, a través del uso de *dummies* dicótomas.

$$Y_{it} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_{it} = (\alpha_{it} - \bar{\alpha}_i - \bar{\alpha}_{it}) + (X_{it} - \bar{X}_i - \bar{X}_{it}) + (w_{it} - \bar{w}_i - \bar{w}_{it}) \quad (A)$$

Donde:

- Y = variable dependiente
- α = ordenada al origen
- X = variable explicativa
- w = residual que sigue principios de ruido blanco
- i, t = subíndices que representan grupos y períodos respectivamente

Para probar el modelo de efectos fijos, la prueba F de inclusión o exclusión de variables está disponible, su hipótesis nula es: $H_0: DG_i=0$, donde DG representa cada una de las *dummies* de grupo, o en su caso también puede ser utilizada para *dummies* de tiempo. El resultado se reporta en la columna 5 de las Tablas 3 y 5.

El modelo de efectos aleatorios trata la heterogeneidad entre grupos o períodos como un componente aleatorio. Las diferencias longitudinales o transversales se capturan a través de un término aleatorio compuesto como se muestra en la ecuación (B)

$$\omega_{it} = u_i + \varepsilon_{it} \quad (B)$$

de tal forma que la especificación general del modelo de efectos aleatorios es conforme a la ecuación (C):

$$Y_{it} = \alpha_0 + \beta_1 X_{kit} + u_i + \varepsilon_{it} \quad (C)$$

Donde u_i es un término aleatorio no observable que representa el componente del residual debido al efecto específico de grupo, mientras que ε_{it} es el componente de error combinado de series de tiempo y corte transversal.

Para probar la presencia de efectos aleatorios, la prueba del multiplicador de Lagrange (BPLM) (Breusch y Pagan, 1979) está disponible. La hipótesis nula detrás de la prueba plantea que la varianza de los efectos específicos de grupo o tiempo, según sea el caso, es igual a cero, como sigue: $H_0: \sigma^2_{ui} = 0$. Si la hipótesis nula es verdadera, entonces no hay efectos aleatorios (efectos específicos de grupo o tiempo) y el modelo no es conveniente. La prueba en muestras amplias sigue una distribución chi-cuadrada con un grado de libertad. Los resultados de la prueba BPLM se reportan en la columna 6 de las tablas 3 y 5.

En el supuesto en que ambos modelos, efectos fijos y aleatorios, sostengan la presencia de efectos específicos de grupo o tiempo, se realiza una prueba Hausman (1978) para determinar cuál de las dos especificaciones es más conveniente. Esta prueba compara los estimadores de ambos modelos y parte del principal supuesto del modelo de efectos aleatorios, el cual plantea que el efecto específico de grupo no observable no está correlacionado con las variables (X_{kit}).

La prueba sigue una distribución asintótica χ^2 con grados de libertad igual al número de coeficientes X_{kit} . La hipótesis nula se construye con base en el supuesto de efectos aleatorios $H_0: \text{Corr}(X_{kit}, u_{ij}) = 0$; o bien, H_0 : Diferencia en coeficientes no sistemática. Si se satisface H_0 se producen efectos aleatorios; de lo contrario, efectos fijos. Los resultados se presentan en la columna 6 de las tablas 3 y 5.

En la Ecuación 3 se desagregan las pendientes del vector de variables de la Ecuación 1, pero ahora a través de ocho *dummies* de pendiente interactiva para cada uno de los períodos de la muestra, éstas se generan multiplicando la variable en educación por las ocho *dummies* dicótomas de tiempo, y se genera una ecuación para cada una de las tres variables en educación.

$$Y_{it} = \alpha + \sum_{j=1}^8 \theta_{j1} X_{j1it} + \sum_{j=2}^8 \theta_{j2} X_{j2it} + \sum_{j=3}^8 \theta_{j3} X_{j3it} + \sum_{k=1}^3 \delta_k Z_{kit} + u_{it} \quad (3)$$

Donde:

- $j1$ = subíndice que representa los ocho años de la muestra de la variable de resultados PISA en matemáticas
- $j2$ = subíndice que representa los ocho años de la muestra de la variable de matrícula bruta nivel secundario
- $j3$ = subíndice que representa los ocho años de la muestra de la variable de matrícula bruta nivel terciario

Los resultados se presentan en la Tabla 4 para la ecuación de patentes y en la Tabla 6 para la ecuación de ingreso promedio. A su vez, en las columnas 1, 2 y 3 de cada una de las tablas se muestra la desagregación de la variable explicativa X para los resultados en matemáticas de PISA, la matrícula bruta del nivel académico secundario, y la matrícula bruta del nivel académico terciario respectivamente.

La Ecuación 3 se genera para determinar si los efectos de las variables en educación en el número de patentes solicitadas por residentes por millón de personas y en el ingreso promedio varía a través de los ocho períodos de la muestra.

Las Ecuaciones de la 1 a la 3 se despliegan para probar la Hipótesis H_{01} . De estas especificaciones, adicionalmente se obtiene información para determinar si los efectos de las variables en educación en las variables dependientes varían con el nivel de ingreso y al paso de los años.

Para analizar si la hipótesis de convergencia condicional a la calidad y cantidad de la educación en países se sostiene, y a su vez probar la formulación de la Hipótesis H_{02} , se presenta la Ecuación 4. Esta agrega una variable de PIB per cápita inicial a la Ecuación 1 como sigue:

$$Y_{it} = \alpha + \beta_i Q_i + \sum_{j=1}^3 \theta_j X_{jit} + \sum_{k=1}^3 \delta_k Z_{kit} + u_{it} \quad (4)$$

Donde:

- Q = ingreso per cápita inicial
- β = β convergencia

La Ecuación 4 se muestra con 5 especificaciones distintas en la Tabla 7, excluyendo cada una de las tres variables en educación (columnas 1, 2, 3), excluyendo las tres variables a la vez (columna 4) y conservando todas las variables (columna 5). De esta forma podemos determinar si la convergencia condicional no se sostiene con la exclusión de las variables en educación y si esta se hace presente con la inclusión de las variables. Existe convergencia condicional de ingreso per cápita entre naciones cuando β es negativa y estadísticamente significativa.

Adicionalmente la ecuación 4 se estima a través de efectos aleatorios de grupo y tiempo y se aplica la prueba *BPLM* a los resultados, que se presentan en las columnas 6 y 7 de la Tabla 7 respectivamente³.

Aunado a los modelos de la Tabla 7, se generó un panel dinámico sistema, como el propuesto por Blundell y Bond (1998). Para este ejercicio se toma como base la ecuación 4 pero se sustituye la variable de PIB per cápita inicial por el rezago de la variable dependiente. Esto se realiza como una prueba de robustez (*robustness check*) para analizar la confiabilidad o validez de los resultados del modelo de convergencia, probando si éstos cambian al modificar el método de estimación econométrica.

4. Resultados

La estimación de la Ecuación 1, reportada en la columna 1 de la Tabla 3, muestra que un incremento de uno por ciento de la calidad educativa (resultados de PISA en matemáticas) repercuten en un incremento de más de 10 por ciento en la innovación (solicitudes de patentamiento de residentes por millón de habitantes), lo cual indica que el patentamiento de residentes en un país es altamente elástico a la calidad educativa en su etapa básica. El coeficiente es estadísticamente significativo al 99 por ciento

El efecto de la cobertura o cantidad educativa a nivel secundario en la variable dependiente no es estadísticamente significativo, pero sí lo es la cobertura a nivel terciario a un 99 por ciento. Un incremento de uno por ciento de esta variable aumenta en 1.05 por ciento el patentamiento. En este primer análisis podemos constatar que el efecto de la calidad educativa es mayor que el de la cantidad en la variable de innovación. Las variables de control de expectativa de vida y formación bruta de capital fijo como porcentaje del PIB entran positiva y estadísticamente significativas en la ecuación a un 99 y 95 por ciento respectivamente. La variable de exportaciones como porcentaje del PIB es negativa y estadísticamente significativa al 99 por ciento.

Cuando se desagregan las pendientes de las tres variables de educación para países en desarrollo y desarrollados en las columnas 2 y 4 respectivamente, conforme a la Ecuación 2, observamos que el efecto de las variables de calidad y cantidad educativa (de educación terciaria) en la variable proxy de innovación es mayor en países en desarrollo. Los coeficientes de variables en educación y de control mantienen signo y nivel de significancia estadística; las últimas no se desagregan (columna 3) y mantienen magnitudes similares a las de la columna 1. La prueba *F* rechaza la hipótesis nula de que los coeficientes de *dummies* de pendiente interactiva de nivel de ingreso son iguales a cero.

Los resultados de los modelos de efectos fijos y aleatorios de tiempo se presentan en las columnas 5 y 6 respectivamente. La significancia y los signos de los coeficientes de las variables no cambian en relación con los modelos de MCO. Esto se debe a que las pruebas *F* y *BPLM* no

³ En este caso no se estima el modelo de efectos fijos porque la variable de PIB per cápita inicial es constante en el tiempo y se anula a través de la formulación del modelo.

reflejan la presencia de efectos no observables de tiempo. La prueba Hausman no rechaza H0: no hay diferencia sistemática en los coeficientes, por lo que los estimadores de ambos modelos no son estadísticamente distintos⁴.

Tabla 3. *Efectos de los indicadores educativos sobre las solicitudes de patentes de residentes por millón de personas utilizando variables dummy de pendiente interactiva para dos niveles de ingreso.*

Variables y pruebas	Desagregación de pendientes por ingreso									
	Pendientes agregadas		Países ingreso bajo y medio		Pendientes agregadas		Países ingreso alto		Efectos fijos de tiempo	
	(1)		(2)		(3)		(4)		(5)	(6)
Resultados PISA en matemáticas	10.38	*	10.25	*			9.95	*	10.71	*
Matrícula nivel secundario	-0.37		-1.09				-0.14		-0.32	
Matrícula nivel terciario	1.05	*	1.37	*			0.77	*	0.97	*
Expectativa de vida	5.62	*			5.92	*			5.09	*
FBKF/PIB	0.02	**			0.03	**			0.02	•
Exportaciones/PIB	-0.02	*			-0.02	*			-0.02	*
Constante	-86.24	*			-84.80	*			-85.85	*
Observaciones	294				294		294		294	
F test variables <i>dummy</i> de pendiente interactiva					78.66	*				
F test de efectos fijos de grupo									0.68	
BPLM test										0.00
Hausman test										2.07
R ²	0.750				0.752				0.741	0.741

Fuente: Elaboración propia con información de OCDE (2024), OMPI (2024) y Banco Mundial (2024a).

Notas: Variable dependiente es el logaritmo de solicitudes de patentes por residentes por millón de habitantes.

*Estadísticamente significativo al 99 por ciento, **Estadísticamente significativo al 95 por ciento,

•Estadísticamente significativo al 90 por ciento

La Tabla 4 reporta los resultados de la Ecuación 3, la cual es una especificación para desagregar pendientes de las variables en educación a través del tiempo. Los resultados son consis-

⁴ Adicionalmente, se desarrollan los modelos de efectos fijos y aleatorios de grupo. En este caso sí se encuentra la presencia de efectos no observables de grupo en ambos modelos. El signo y niveles de significancia de los coeficientes de las variables en educación no cambia, sin embargo, la magnitud de los coeficientes disminuye considerablemente con respecto a los modelos MCO. No obstante, la variable de calidad educativa continúa siendo la de mayor impacto en la variable dependiente de innovación.

tentes dado que los coeficientes mantienen signos y magnitudes similares a los de la Tabla 3. De igual forma, los coeficientes son estadísticamente significativos a niveles convencionales, excepto los de matrícula secundaria. La prueba F rechaza la hipótesis nula de que los coeficientes de *dummies* de pendiente interactiva de tiempo son iguales a cero.

Lo relevante de estos resultados es que los coeficientes de calidad y cantidad educativa, a nivel terciario, prácticamente no cambian en el tiempo. Solamente se aprecia un incremento marginal de los coeficientes de ambas variables en el último año 2022.

La hipótesis nula H_{02} , se satisface en el sentido de que las variables de calidad educativa y de cantidad educativa, solamente en términos de educación terciaria, determinan positivamente la innovación de un país. No obstante, no queda de manifiesto que el efecto de la cantidad sea mayor que el de la calidad, dado que los resultados demuestran lo contrario.

Hallazgos adicionales son que los efectos de las variables de educación son mayores en países en desarrollo que en países desarrollados, y este efecto crece marginalmente en el último periodo en ambos bloques de países. Este resultado es consistente con el planteamiento de que el patentamiento se acelera en los últimos años a nivel mundial (Castillo-Fraga *et al.* 2019). La educación secundaria no tiene impacto en la innovación, pero si la educación terciaria.

Tabla 4. Efectos de los indicadores educativos sobre las solicitudes de patentes de residentes por millón de personas utilizando variables dummy de pendiente interactiva por períodos de tiempo.

Variables y pruebas	Desagregación de pendientes por períodos					
	Matemáticas Resultados (1)		Matrícula nivel se- cundario (2)		Matrícula nivel terciario (3)	
Resultados PISA en matemáticas 2000	10.671	*				
Resultados PISA en matemáticas 2003	10.635	*				
Resultados PISA en matemáticas 2006	10.635	*				
Resultados PISA en matemáticas 2009	10.643	*				
Resultados PISA en matemáticas 2012	10.631	*				
Resultados PISA en matemáticas 2015	10.636	*				
Resultados PISA en matemáticas 2018	10.628	*				
Resultados PISA en matemáticas 2022	10.709	*				
Matrícula nivel secundario 2000			-0.403			
Matrícula nivel secundario 2003			-0.452			
Matrícula nivel secundario 2006			-0.453			
Matrícula nivel secundario 2009			-0.441			
Matrícula nivel secundario 2012			-0.460			
Matrícula nivel secundario 2015			-0.453			
Matrícula nivel secundario 2018			-0.463			

Variables y pruebas	Desagregación de pendientes por períodos					
	Matemáticas Resultados (1)		Matrícula nivel secundario (2)		Matrícula nivel terciario (3)	
Matrícula nivel secundario 2022			-0.356			
Matrícula nivel terciario 2000					1.078	*
Matrícula nivel terciario 2003					1.022	*
Matrícula nivel terciario 2006					1.019	*
Matrícula nivel terciario 2009					1.033	*
Matrícula nivel terciario 2012					1.012	*
Matrícula nivel terciario 2015					1.020	*
Matrícula nivel terciario 2018					1.006	*
Matrícula nivel terciario 2022					1.123	*
Resultados PISA en matemáticas			10.630	*	10.592	*
Matrícula nivel secundario	-0.441				-0.445	
Matrícula nivel terciario	1.019	*	1.021	*		
Expectativa de vida	5.678	*	5.697	*	5.714	*
Formación bruta de capital fijo/PIB	0.020	•	0.020	•	0.021	•
Exportaciones/PIB	-0.017	*	-0.017	*	-0.017	*
Constante	-87.516	*	-87.527	*	-87.404	*
Observaciones	294		294		294	
F test a variables <i>dummy</i> de pendiente interactiva	39.08	*	1.15		4.86	*
R ²	0.7571		0.7572		0.7570	

Fuente: Elaboración propia con información de OCDE (2024), OMPI (2024) y Banco Mundial (2024a).

Notas: Variable dependiente es el logaritmo de solicitudes de patentes por residentes por millón de habitantes.

*Estadísticamente significativo al 99 por ciento, **Estadísticamente significativo al 95 por ciento,

•Estadísticamente significativo al 90 por ciento

El efecto de las variables en educación sobre el ingreso promedio de países, de acuerdo con la especificación de la Ecuación 1, se presenta en la Tabla 5. En la columna 1 observamos que la calidad educativa tiene mayor efecto que la cantidad en el ingreso promedio. Un incremento de uno por ciento en los resultados de matemáticas incrementa en 3.407 por ciento el ingreso promedio en los países, mientras que uno por ciento de incremento de la matrícula secundaria mejora en 1.15 por ciento el ingreso promedio. Es necesario resaltar que la matrícula terciaria aparece negativa y estadísticamente significativa en la ecuación.

En lo que respecta a las variables de control, la expectativa de vida y la formación bruta de capital fijo como razón del PIB son significativas, pero la primera es positiva y la segunda negativa.

Todas las variables en la columna 1 son estadísticamente significativas a niveles convencionales excepto las exportaciones como razón del PIB.

Al desagregar coeficientes de variables en educación para países en desarrollo (columna 2) y desarrollados (columna 4), de acuerdo con la especificación de la ecuación 2, resulta que los efectos de calidad educativa y matrícula secundaria son mayores en países desarrollados que en los países en desarrollo. De hecho, la matrícula secundaria se vuelve no significativa en países en desarrollo. La matrícula terciaria se vuelve positiva y significativa en países en desarrollo y no significativa en desarrollados.

Las variables de control se mantienen similares en signo y magnitud, en lo que respecta a niveles de significancia estadística. Ahora la variable de exportaciones como razón de PIB pasa a ser significativa (columna 3).

En las columnas 5 y 6 se muestran los resultados de los modelos de efectos fijos y aleatorios de tiempo respectivamente. La significancia y los signos de las variables en educación no cambian sustancialmente con respecto al modelo de MCO. Las pruebas *F* y BPLM reportan la presencia de efectos específicos de tiempo, mientras que la prueba Hausman rechaza : no existe diferencia sistemática de los coeficientes, por lo que el modelo de efectos fijos es conveniente. La magnitud de los coeficientes entre los modelos de MCO y efectos fijos no cambia sustancialmente en todas las variables, mientras que la calidad educativa continúa mostrando un mayor efecto en el PIB per cápita que el resto de las variables en educación⁵.

Tabla 5. *Efectos de los indicadores de educación sobre el PIB per cápita (USD 2015) utilizando variables dummy de pendiente interactiva por dos niveles de ingreso.*

Variables y pruebas	Desagregación de pendientes por ingreso					
	Pendientes agregadas	Países ingreso bajo y medio	Pendientes agregadas	Países ingreso alto	Efectos fijos de tiempo	Efectos aleatorios de tiempo
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Resultados PISA en matemáticas	3.41 *	2.06 *		2.14 *	2.55 *	2.74 *

⁵ Adicionalmente se estimaron los modelos de efectos fijos y aleatorios de grupo, y en ellos también se encuentra la presencia de efectos específicos no observables. En estos modelos se observa que la magnitud de los coeficientes disminuye con respecto a los modelos MCO.

Matrícula nivel secundario	1.15 *	0.46		1.07 *	1.06 *	1.09 *	
Matrícula nivel terciario	-0.36 *	0.08 *		-0.59	-0.16 *	-0.21 *	
Expectativa de vida	9.92 *		8.86 *		10.81 *	10.52 *	
Formación bruta de capital fijo/PIB	-0.02 *		-0.01 **		-0.02 *	-0.02 *	
Exportaciones/PIB	0.00		0.00 *		0.00	0.00	
Constante	-57.68 *		-43.88 *		-56.68 *	-56.52 *	
Observaciones	346		346		346	346	
F test variables <i>dummy</i> interactivas			56.93 *				
F test de efectos fijos de tiempo					4.18 *		
BPLM test						19.18 *	es.
Hausman test						1.80	
R ²	0.786		0.827		0.775	0.776	

Al desagregar las pendientes de las variables de educación a través de 8 períodos (Tabla 6), de acuerdo con la especificación de la Ecuación 3, encontramos que la magnitud de los coeficientes, el signo y los niveles de significancia estadística, tanto para variables en educación como para variables de control, se mantienen similares a los resultados agregados de la columna 1 en la Tabla 5.

El hallazgo más relevante es que el efecto positivo de la calidad educativa y la cantidad, representada por matrícula secundaria, tiende a ser mayor en los tres primeros periodos (2000, 2003 y 2006) que en los últimos cinco (2009, 2012, 2015, 2018 y 2022), lo cual es consistente con la desaceleración del crecimiento del PIB per cápita a nivel mundial (Castillo-Fraga *et al.* 2019).

La hipótesis nula H_{01} se satisface en el sentido de que el crecimiento del PIB per cápita en las economías está determinado positivamente por la calidad educativa y la cantidad, pero solamente por la cantidad en el nivel secundario, porque el efecto de la matrícula terciaria tiende a ser negativo. H_{01} no se satisface en el sentido de que el efecto positivo de la calidad educativa en el PIB per cápita no es menor que el de la cantidad; por el contrario, la calidad educativa produce un mayor efecto.

Tabla 6. Efectos de los indicadores de educación sobre el PIB per cápita (USD 2015) utilizando variables dummy de pendiente interactiva por períodos de tiempo.

Variables y pruebas	Desagregación de pendientes por períodos		
	Matemáticas	Matrícula nivel	Matrícula
	Resultados	secundario	nivel terciario
	(1)	(2)	(3)
Resultados PISA en matemáticas 2000	3.038 *		
Resultados PISA en matemáticas 2003	3.008 *		
Resultados PISA en matemáticas 2006	3.022 *		
Resultados PISA en matemáticas 2009	2.991 *		
Resultados PISA en matemáticas 2012	2.986 *		
Resultados PISA en matemáticas 2015	2.977 *		
Resultados PISA en matemáticas 2018	2.981 *		
Resultados PISA en matemáticas 2022	2.999 *		
Matrícula nivel secundario 2000		1.197 *	
Matrícula nivel secundario 2003		1.158 *	
Matrícula nivel secundario 2006		1.177 *	
Matrícula nivel secundario 2009		1.136 *	
Matrícula nivel secundario 2012		1.130 *	
Matrícula nivel secundario 2015		1.117 *	
Matrícula nivel secundario 2018		1.123 *	
Matrícula nivel secundario 2022		1.147 *	
Matrícula nivel terciario 2000			-0.219 **
Matrícula nivel terciario 2003			-0.261 *
Matrícula nivel terciario 2006			-0.237 *
Matrícula nivel terciario 2009			-0.282 *
Matrícula nivel terciario 2012			-0.293 *
Matrícula nivel terciario 2015			-0.305 *
Matrícula nivel terciario 2018			-0.299 *
Matrícula nivel terciario 2022			-0.271 *
Resultados PISA en matemáticas		3.003 *	3.033 *
Matrícula nivel secundario	1.141 *		1.148 *
Matrícula nivel terciario	-0.260 *	-0.263 *	
Expectativa de vida	10.459 *	10.452 *	10.441 *
Formación bruta de capital fijo/PIB	-0.020 *	-0.020 *	-0.021 *
Exportaciones/PIB	0.000	0.000	0.000
Constante	-57.871 *	-57.879 *	-57.963 *
Observaciones	20.22 *	6.20 *	4.64 *
F test variables <i>dummy</i> de pendiente interactiva	346	346	346
R ²	0.7971	0.7969	0.7962

Fuente: Elaboración propia con información de OCDE (2024), OMPI (2024) y Banco Mundial (2024a).

Notas: Variable dependiente es el logaritmo de solicitudes de patentes por residentes por millón de habitantes.

*Estadísticamente significativo al 99 por ciento, **Estadísticamente significativo al 95 por ciento.

Por último, en la Tabla 7 se desarrolla la Ecuación 4 para probar convergencia condicional de ingresos. Cuando se sustrae cualquiera de las tres variables en educación de la ecuación (columnas 1, 2 y 3) o las tres variables de forma conjunta (columna 4), observamos que el coeficiente del PIB per cápita inicial (β convergencia) es positivo y estadísticamente significativo al 99 por ciento, lo cual es evidencia de divergencia de ingresos entre países.

Al agregar el vector de variables X en la columna 5 esperaríamos convergencia de ingresos sujeta al efecto de la educación, sin embargo β convergencia se mantiene positivo y significativo, lo cual confirma la ausencia de convergencia condicional. Es importante resaltar que las variables en educación X y las variables de control Z entran en todas las ecuaciones de manera positiva y estadísticamente significativa a niveles convencionales. Más aun, el coeficiente de todas las variables disminuye en magnitud, pero el efecto de la calidad educativa permanece mayor que el efecto de las variables de cantidad.

Estos resultados confirman la hipótesis nula H_{02} en el sentido de que no existe convergencia condicional entre los ingresos de los países en la muestra.

Un hallazgo adicional es que el ingreso inicial sí es un determinante del ingreso, al grado de que reduce los efectos de las variables incorporadas en el análisis, aunque estas siguen significativas.

En las columnas 6 y 7 se presentan los resultados del modelo de efectos aleatorios de grupo y tiempo respectivamente. Tanto los signos como la significancia estadística de ambos modelos no cambian con respecto al modelo agregado de MCO, mientras que la magnitud de los coeficientes presenta algunas variaciones.

Por otra parte, los resultados del panel dinámico sistema (Blundell y Bond, 1998) señalan un coeficiente de la variable dependiente rezagada con signo positivo y estadísticamente significativo, lo que confirma un proceso de divergencia económica entre países de la muestra

Tabla 7. Convergencia del PIB per cápita entre países y el papel de la educación.

Variables	Variables excluidas				Todas las variables incluidas	Efectos aleatorios de grupo	Efectos aleatorios de tiempo
	Matemáticas resultados	Matrícula nivel secundario	Matrícula nivel terciario	Todas las variables			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
PIB per cápita inicial	0.763 *	0.716 *	0.715 *	0.774 *	0.736 *	0.667 *	0.737 *
Resultados PISA en matemáticas		0.551 *	0.444 *		0.317 **	-0.110	0.131
Matrícula nivel secundario	0.177 *		0.276 *		0.152 *	0.177 **	0.198 **
Matrícula nivel terciario	0.139 *	0.142 *			0.155 *	0.177 *	0.172 *

Expectativa de vida	1.893	*	1.595	*	1.595	*	2.78	*	1.192	*	3.401	*	1.147	*
Formación bruta de capital fijo/PIB	0.006	*	0.007	*	0.004	*	0.008	*	0.005	**	0.010	*	0.007	*
Exportaciones/PIB	0.002	*	0.002	*	0.002	*	0.002	*	0.002	*	0.003	*	0.003	*
Constante	-7.34	*	-8.15	*	-8.11	*	-9.95	*	-5.88	*	-12.60	*	-4.90	*
Observaciones	501		362		361		688		346		374		374	
BPLM test											152.62	*	0.004	
R ²	0.9694		0.9643		0.9661		0.9593		0.9681		0.9635		0.9697	

Fuente: Elaboración propia con información de OCDE (2024), OMPI (2024) y Banco Mundial (2024a).

Notas: Variable dependiente es el logaritmo de solicitudes de patentes por residentes por millón de habitantes.

*Estadísticamente significativo al 99 por ciento, **Estadísticamente significativo al 95 por ciento,

• Estadísticamente significativo al 90 por ciento.

5. Conclusiones y política implicada

A través de esta investigación se llega a los siguientes hallazgos:

La calidad educativa, representada por los resultados de la prueba PISA en matemáticas, tiene un efecto positivo en la innovación y en el ingreso de los países, y este es mayor que el efecto de la cobertura educativa a nivel secundario y terciario; es decir, la calidad impacta más que la cantidad educativa, y esto es consistente con estudios recientes (Amaxhekaj *et al.* 2024). Lo anterior, a pesar de que la cobertura ha tendido a crecer más que la calidad educativa en promedio en los últimos años.

Por otra parte, el efecto de las variables en educación en la innovación tiende a mantenerse constante en el tiempo, pero éste se acelera marginalmente en el último periodo de la muestra (año 2022). Por el contrario, el efecto de las variables en educación en el ingreso promedio se desacelera con el tiempo. Estos resultados son consistentes con la evidencia de que la innovación se ha acelerado a nivel mundial en los últimos años y el crecimiento del ingreso promedio en las naciones tiende a desacelerarse (Castillo-Fraga *et al.* 2019).

El efecto positivo de la calidad y la cantidad educativa en la innovación es mayor en los países en desarrollo que en los desarrollados. Por el contrario, el efecto de las variables educativas en el ingreso promedio tiende a ser mayor en los países desarrollados que en los países en desarrollo.

Con estos puntos se acepta la primera parte de la hipótesis 1 porque las variables en educación sí tienen un efecto positivo en la innovación y el ingreso promedio, pero el efecto de la cobertura o cantidad no es mayor que el efecto de la calidad, como originalmente se planteó en el estudio.

La hipótesis 2 se confirma porque no existe evidencia de convergencia condicional. Algunas de las razones de este resultado son: tanto la calidad como la cantidad educativa no crecen

más aceleradamente de manera clara en los países en desarrollo en comparación con los países desarrollados; aunado a que el efecto de las variables educativas tanto de calidad como de cantidad tiende a ser mayor en países desarrollados que en desarrollo.

Adicionalmente se encuentra que el ingreso inicial y variables que representan desarrollo humano, institucionalidad y gobernanza, así como libertad económica, tienen una relación positiva con la innovación y el ingreso promedio, aunque el ingreso inicial genera divergencia de ingresos entre países en desarrollo y desarrollados.

Las limitaciones del estudio radican en que no se realizan análisis de causalidad para explorar efectos bidireccionales en las variables que impulsen crecimiento endógeno de las economías. Sobre este punto, tampoco se abordan pruebas de endogeneidad entre variables. Al respecto, se propone como investigación futura la construcción de una base de datos más amplia, utilizando fuentes de información sobre calidad educativa con más observaciones disponibles, y de esta forma construir especificaciones econométricas que permitan analizar causalidad y simultaneidad entre las variables. Adicionalmente se propone abordar temas de interés complementarios como la paridad de género en las variables de educación y su efecto en las variables dependientes utilizadas en este estudio.

Referencias

- Aghion, P. 2004. "Growth and development: a Schumpeterian approach". *Annals of Economics and Finance*, 5: 1-25. <https://down.aefweb.net/AefArticles/aef050101.pdf>
- Alemu, S., B. Udvari y B. Kotosz. 2024. "Income convergence in Central and Eastern Europe: Evidence from cross-country panel data analysis". *Acta Oeconomica*, 74(3): 329-357. DOI: 10.1556/032.2024.00016
- Alesina, A. y D. Rodrik. 1994. "Distributive politics and economic growth". *The Quarterly Journal of Economics*, 109(2): 465-490. DOI: 10.2307/2118470
- Amaxhekaj, G., D. Qehaja y A. Gara. 2024. "A complex relation between education and growth: institutional context". *InterEULawEast: Journal for the International and European Law, Economics and Market Integrations*, 11(2): 165-194. DOI: 10.22598/iele.2024.11.2.8
- Banco Mundial. 2024. *World Bank Country and Lending Groups*. Washington, DC: World Bank. <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519-world-bank-country-and-lending-groups>
- Banco Mundial. 2024a. *World Development Indicators, Data Bank*. Washington, D.C.: World Bank Group. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- Barro, R. J. y X. Sala-i-Martin. 1990. "Economic growth and convergence across the United States". *NBER Working Papers* (3419). DOI: 10.3386/w3419
- Barro, R. J. y X. Sala-i-Martin. 1997. "Technological diffusion, convergence and growth". *Journal of Economic Growth*, 2(1), 1-26. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009746629269>

- Benhabib, J. y M. M. Spiegel. 1994. "The role of human capital in economic development evidence from aggregate cross-country data". *Journal of Monetary Economics*, 34(2): 143-173. DOI: 10.1016/0304-3932(94)90047-7
- Blundell, R. y S. Bond. 1998. "Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models". *Journal of Econometrics*, 87(1): 115-143. DOI: 10.1016/S0304-4076(98)00009-8
- Bonal, X. 2016. "Education, poverty, and the missing link – the limits of human capital theory as a paradigm for poverty reduction". En: K. Mundy, A. Green, R. Lingard y A. Verger (eds.). *The handbook of global education policy*. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, pp. 97-110. DOI: 10.1002/9781118468005.ch5
- Breusch, T. S., y A. R. Pagan. 1979. "A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation". *Econometrica: Journal of the econometric society*, 47(5): 1287-1294. DOI: 10.2307/1911963
- Carlino, G. y L. Mills. 1996. "Convergence and the U. S. states: a time series analysis". *Journal of Regional Science*, 36(4): 597-616. DOI: 10.1111/j.1467-9787.1996.tb01120.x
- Castillo-Fraga, C. A., C. S. Domínguez-Blancas y G. Ángeles-Castro. 2019. "Cuantificación del papel del sector manufacturero en la era 'post industrial' en países de Europa". *Revista de Economía Mundial*, 52: 119-142. DOI: 10.33776/rem.v0i52.3918
- Chapsa, X., E. Tsanana y C. Katrakilidis. 2015. "Growth and convergence in the EU-15: More evidence from the cohesion countries", *Procedia Economics and Finance*, 33: 55-63. DOI: 10.1016/S2212-5671(15)01693-7
- Chiquiar, D. 2005. "Why Mexico's regional income convergence broke down". *Journal of Development Economics*, 77(1): 257-275. DOI: 10.1016/j.jdeveco.2004.03.009
- Dakhi, M. y D. de Clercq. 2007. "Human capital, social capital, and innovation: A multi-country study". *Entrepreneurship and Regional Development*, 16(2): 107-128. DOI: 10.1080/08985620410001677835
- Damásio, S., O. Afonso, P. C. Neves, et al. 2024. "International trade and income convergence: Meta-analysis". *The World Economy*, 47(9): 3998-4018. DOI: 10.1111/twec.13615
- Fung, M. K. 2009. "Financial development and economic growth: convergence or divergence?" *Journal of International Money and Finance*, 28(1): 56-67. DOI: 10.1016/j.jimonfin.2008.08.001
- García Solanes, J., A. Beyaert y L. López-Gómez. 2025. "Income convergence clubs in the Eurozone: a tale beyond the core/periphery divide". *Applied Economic Analysis*, 33(97): 1-18. DOI: 10.1108/AEA-02-2024-0085
- Grier, K. y R. Grier. 2007. "Only income diverges: A neoclassical anomaly". *Journal of Development Economics*, 84(1): 25-45. DOI: 10.1016/j.jdeveco.2006.12.004
- Hanushek, E. A., y L. Woessmann, L. 2020. "Education, knowledge capital, and economic growth", en S. Bradley y C. Green (eds.). *The Economics of Education, a Comprehensive Overview*. 2 ed. New York: Academic Press: 171-182. DOI: 10.1016/B978-0-12-815391-8.00014-8

- Hausman, J. A. 1978. Specifications tests in econometrics. *Econometrica*, 46(6), 1251–1271. DOI: 10.2307/1913827_
- Holobiuc, A. M. 2020. “Income convergence in the European Union: National and regional dimensions”. *European Financial and Accounting Journal*, 15(2): 45-65. DOI: 10.18267/j.efaj.242
- Howitt, P. y P. Aghion. 1998. “Capital accumulation and innovation as complementary factors in long-run growth”. *Journal of Economic Growth*, 3(2): 111-130. DOI: 10.1023/A:1009769717601
- James, R. D., H. S. Campbell y W. Graves. 2023. “Bottom-up convergence? Explaining uneven income growth in the new South”. *Southeastern Geographer*, 63(3): 229-251. DOI: 10.1353/sgo.2023.a904518
- Johnson, P. and C. Papageorgiou. 2020. “What remains of cross-country convergence?” *Journal of Economic Literature*, 58(1): 129-175. DOI: 10.1257/jel.20181207
- Kotásková, S. K., P. Procházka, L. Smutka, *et al.* 2018. “The impact of education on economic growth: The case of India”. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 66(1): 253-262. DOI: 10.11118/actaun201866010253
- Kremer, M., J. Willis, y Y. Yang. 2022. “Converging to convergence”. *NBER Macroeconomics Annual*, 36(1): 337-412. DOI: 10.1086/718672
- Kwan, L. Y. Y. y C. Y. Chiu. 2015. “Country variations in different innovation outputs: The interactive effect of institutional support and human capital”. *Journal of Organization Behavior*, 36(7): 1050-1070. DOI: 10.1002/job.2017
- Milutinovic, S. y T. Stanišić. 2022. “Does international trade contribute income convergence between European Union and Western Balkan states?” *Megatrend Revija*, 19(3): 19-33. DOI: 10.5937/MegRev2203019M
- Naveed, A., A. Zhuparova, M. Ashfaq, *et al.* 2023. “The effect of average scores in reading, mathematics and science on innovation and income: A quantitative analysis for a group of countries”. *Heliyon*, 9(9): e19213. DOI: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)06421-6](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)06421-6)
- Nurul Hossain, A. K. M. y M. A. Munim Joarder. 2014. “Does the formation of RTA support the neoclassical growth theory and convergence hypothesis?” *Journal of Economic Studies*, 41(1): 51-70. DOI: 10.1108/JES-10-2011-0122
- Okuneye, B. y O. Adelowokan. 2014. “Tertiary enrolment and economic growth in Nigeria”. *Journal of Economics and sustainable Development*, 5(5): 1-15. <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JEDS/article/view/11552>
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual [OMPI]. 2024. *Total Patent Application and residents patent application* (direct and PCT national phase entries). Ginebra, Suiza: World Intellectual Property Organization, WIPO IP Statistics Data Center. <https://www3.wipo.int/ipstats/key-search/indicator>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OECD]. 2024. *OECD library, Results from PISA 2000, 2003, 2006, 2009, 2012, 2015, 2018 y 2022*. www.oecd.org/

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. 2024. *Human Development Insights*. New York: United Nations Development Programme. <https://hdr.undp.org/data-center/country-insights#/ranks>
- Sala-I-Martin, X. 1990. "Lectures notes on economic growth (I): Introduction to the literature and neoclassical models". *NBER Working Papers* (3563). DOI: 10.3386/w3563
- Sala-I-Martin, X. 1996. "The classical approach to convergence analysis". *The Economic Journal*, 106(437): 1019-1036. DOI: 10.2307/2235375
- Shkolnykova, M. y J. Wedemeier. 2025. "Differences in economic development in Central and Eastern Europe over the last 20 years". *Intereconomics*, 60(2): 114-118. DOI: 10.2478/ie-2025-0022
- Silva Lopes, A. 2025. "Assessing income convergence with a long-run forecasting approach: some new results". *Review of Income and Wealth*, 71(1): e12702. DOI: 10.1111/roiw.12702
- Solow, R. M. 1956. "A contribution to the theory of economic growth". *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1): 65-94, DOI: 10.2307/1884513
- Swan, T.W. 1956. "Economic growth and capital accumulation". *Economic Record*, 32(6), 334–361. DOI: 10.1111/j.1475-4932.1956.tb00434.x
- Unger, Roberto Mangabeira. 2022. *The Knowledge Economy*. London: Verso. ISBN: 9781 7887 3497 4
- Zagler, M. y C. Zanzottera. 2009. *Do we need PISA scores for innovation and growth?* Conference Proceeding, Knowledge Economy Conference. En: H.-P. Baumeister (ed.). *Knowledge Economy: a multilayer challenge for European regions*. Marburgo, Alemania: Metropolis. https://www.aiel.it/Old/bacheca/SASSARI/papers/zagler_zanzottera.pdf