



REPÚBLICA DEL ECUADOR
UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
FACULTAD DE POSGRADOS

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL GRADO DE:**

MAGÍSTER EN ECONOMÍA

TEMA:

**TRANSFORMACIÓN DIGITAL EDUCATIVA Y SU IMPACTO EN LA
PRODUCTIVIDAD LABORAL Y EL CRECIMIENTO ECONÓMICO: UN ANÁLISIS
DE PANEL EN AMÉRICA LATINA (2000-2024)**

AUTOR:

ANNIR CLEISNER CASTRO PALMA

DOCENTE TUTOR:

MARCO ANTONIO FAYTONG HARO

MILAGRO, 2026

Derechos de autor

Sr. Dr.

Fabricio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo, **Annir Cleisner Castro Palma** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de titulación, que fue realizado como requisito previo para la obtención del título de **Magíster en Economía**, como aporte a la Línea de Investigación **Modelos de desarrollo local y empresarial** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Proyecto de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, 14 de julio del 2026



Annir Cleisner Castro Palma

0950699876

Aprobación del Director del Trabajo de Titulación

Yo, Marco Antonio Faytong Haro en mi calidad de director del proyecto de titulación, APRUEBO el trabajo elaborado por Annir Cleisner Castro Palma, cuyo tema es Transformación digital educativa y su impacto en la productividad laboral y el crecimiento económico: un análisis de panel en América Latina (2000-2024), que aporta a la Línea de Investigación Modelos de desarrollo local y empresarial, previo a la obtención del Grado Magíster en Economía. Este trabajo se articula sobre la base de una investigación aplicada y/o de desarrollo, inspirada en la teoría económica. Su enfoque metodológico contiene al menos una técnica econométrica robusta para validar los objetivos de la investigación, considero que el proyecto reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe. En dicho sentido, solicito que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Proyecto de Titulación con componente de investigación aplicada, en la Maestría en Economía de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 14 de julio del 2026



Marco Antonio Faytong Haro

1204269037

Acta de Sustentación



FACULTAD DE POSGRADO

ACTA DE SUSTENTACIÓN

MAESTRÍA EN ECONOMÍA

En la Facultad de Posgrado de la Universidad Estatal de Milagro, a los diecisiete días del mes de agosto del año dos mil veintiseis., siendo las 09:01 horas, de forma VIRTUAL comparece el/la maestrante, ECON. CASTRO PALMA ANNIR CLEISNER, a defender el Trabajo de Titulación denominado " TRANSFORMACIÓN DIGITAL EDUCATIVA Y SU IMPACTO EN LA PRODUCTIVIDAD LABORAL Y EL CRECIMIENTO ECONÓMICO: UN ANÁLISIS DE PANEL EN AMÉRICA LATINA (2000-2024) ", ante el Tribunal de Calificación integrado por: FLORES POVEDA JOSE ANTONIO, Presidente(a), Def CADENA SILVA JAVIER PATRICIO en calidad de Vocal; y, FREIRE CADME CARLOS ALBERTO que actúa como Secretario/a.

Una vez defendido el trabajo de titulación; examinado por los integrantes del Tribunal de Calificación, escuchada la defensa y las preguntas formuladas sobre el contenido del mismo al maestrante compareciente, durante el tiempo reglamentario, obtuvo las siguientes calificaciones:

TRABAJO DE TITULACION	55.50
DEFENSA ORAL	36.00
PROMEDIO	91.50
EQUIVALENTE	MUY BUENO

Para constancia de lo actuado firman en unidad de acto el Tribunal de Calificación, siendo las 10:01 horas.



Firmado digitalmente por:
JOSE ANTONIO
FLORES POVEDA

FLORES POVEDA JOSE ANTONIO
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL



Firmado digitalmente por:
JAVIER PATRICIO
CADENA SILVA

DEF CADENA SILVA JAVIER PATRICIO
VOCAL



Firmado digitalmente por:
CARLOS ALBERTO
FREIRE CADME

FREIRE CADME CARLOS ALBERTO
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL



Firmado digitalmente por:
ANNIR CLEISNER
CASTRO PALMA

CASTRO PALMA ANNIR CLEISNER
MAESTRANTE

Transformación digital educativa y su impacto en la productividad laboral y el crecimiento económico: un análisis de panel en América Latina (2000-2024)

Annir Cleisner Castro Palma ¹, Marco Antonio Faytong Haro ²

Resumen

Palabras clave: transformación digital educativa; productividad laboral; crecimiento económico; datos de panel, América Latina.

El presente estudio analiza la relación entre transformación digital educativa, productividad laboral y crecimiento económico en 15 países de América Latina durante 2000-2024. Con datos del Banco Mundial y del Instituto de Estadística de la UNESCO, se construyeron indicadores individuales de conectividad y un indicador compuesto de transformación digital educativa. La estrategia empírica utiliza modelos de datos de panel con efectos fijos, prueba de Hausman, controles macroeconómicos y de capital humano, errores robustos agrupados por país y correcciones Driscoll-Kraay. Los resultados muestran que la evidencia es más consistente para productividad laboral que para crecimiento económico contemporáneo. La telefonía móvil y los indicadores compuestos presentan asociaciones positivas y estadísticamente significativas con la productividad, mientras que el uso de internet y la banda ancha fija son más sensibles a la especificación. En cambio, los modelos de crecimiento no ofrecen evidencia positiva robusta para el crecimiento económico contemporáneo. Se concluye que la digitalización educativa puede fortalecer capacidades productivas, aunque su traducción en desarrollo económico sostenible requiere capital humano, infraestructura, apropiación institucional y políticas complementarias.

Códigos JEL: C23; I25; J24; O33; O47; O54.

¹ Universidad Estatal de Milagro, Cdl. Universitaria “Dr. Rómulo Minchala Murillo – Km 1.5 vía Milagro, Maestría en Economía, acastrop21@unemi.edu.ec.

² Universidad Estatal de Milagro, Cdl. Universitaria “Dr. Rómulo Minchala Murillo – Km 1.5 vía Milagro, Maestría en Economía, mfaytongh@unemi.edu.ec.

Abstract

Keywords:

educational digital transformation;
labor productivity;
economic growth;
panel data; Latin America.

This study analyzes the relationship between educational digital transformation, labor productivity, and economic growth in 15 Latin American countries during the 2000–2024 period. Using data from the World Bank and the UNESCO Institute for Statistics, individual connectivity indicators and a composite indicator of educational digital transformation were constructed. The empirical strategy utilizes panel data models with fixed effects, the Hausman test, macroeconomic and human capital controls, country-clustered robust errors, and Driscoll–Kraay corrections. The results show that the evidence is more consistent for labor productivity than for contemporary economic growth. Mobile telephony and composite indicators display positive and statistically significant associations with productivity, whereas internet use and fixed broadband are more sensitive to model specification. In contrast, the growth models do not offer robust positive evidence for contemporary economic growth. It is concluded that educational digitalization can strengthen productive capacities, although translating it into sustainable economic development requires human capital, infrastructure, institutional uptake, and complementary policies.

Índice

Derechos de autor	II
Aprobación del Director del Trabajo de Titulación.....	III
Resumen	V
Abstract.....	VI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	2
2.1. Fundamentos teóricos: crecimiento, tecnología y capital humano.....	2
2.2. Transformación digital, TIC y productividad laboral.....	3
2.3. Transformación digital educativa y capital humano.....	3
2.4. Evidencia empírica y vacío de investigación	4
3. DATOS Y METODOLOGÍA	5
3.1. Variables de estudio.....	5
3.2. Especificación econométrica	6
4. RESULTADOS	7
4.1. Evolución del ICTDE-A y cobertura de datos.....	7
4.2. Productividad laboral.....	9
4.3. Crecimiento económico.....	10
4.4. Robustez y diagnósticos	11
4.5. Discusión de resultados	12
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE POLÍTICA ECONÓMICA	13
6. REFERENCIAS	14
7. ANEXOS.....	17

1. INTRODUCCIÓN

La transformación digital educativa se ha convertido en un enigma económico relevante debido a que articula la formación de capital humano, la adopción de la tecnología y la productividad agregada. En economías crecientes basadas en conocimiento, la disponibilidad de infraestructura digital, acceso a internet, competencias tecnológicas y capacidad institucional para incorporar tecnologías en los procesos de enseñanza y aprendizaje pueden modificar la acumulación de habilidades, la empleabilidad y la capacidad productiva de largo plazo. En consecuencia, la digitalización educativa no debe entenderse solo como provisión de conectividad o equipamiento, sino como un proceso de apropiación tecnológica, formación de capacidades y generación de condiciones para que la educación contribuya al desempeño económico.

En América Latina, este problema adquiere especial importancia debido a la coexistencia de avances en conectividad con brechas persistentes de acceso, calidad de uso, infraestructura educativa y capacidades digitales. Durante las últimas dos décadas, la región ha experimentado una expansión sostenida del uso de internet, telefonía móvil y banda ancha fija; sin embargo, estos avances no se han traducido necesariamente en mejoras homogéneas de productividad laboral ni en trayectorias sostenidas de crecimiento económico. Esta tensión es particularmente relevante en economías caracterizadas por heterogeneidad estructural, desigualdad territorial, informalidad laboral y limitada absorción tecnológica (UNESCO, 2023; Comisión

Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), 2024, 2025).

Desde la teoría económica, la relación entre digitalización, educación y crecimiento puede interpretarse a partir de tres enfoques complementarios. El crecimiento neoclásico reconoce que el progreso tecnológico explica una parte sustancial del crecimiento de largo plazo que no puede atribuirse únicamente a capital físico y trabajo (Solow, 1956). El crecimiento endógeno resalta que el conocimiento, la innovación y las externalidades tecnológicas pueden incidir en la productividad agregada (Romer, 1990). La teoría del capital humano sostiene que la educación y la formación aumentan las capacidades productivas de los individuos y, por agregación, de la economía (Becker, 1964).

No obstante, la evidencia empírica advierte que la relación entre digitalización y desempeño económico no es automática. Las tecnologías de información y comunicación pueden contribuir al crecimiento y a la productividad, pero sus efectos dependen del nivel de desarrollo, estructura productiva, calidad institucional y capacidad de absorción tecnológica (Hofman et al., 2016; Appiah-Otoo & Song, 2021; Rabanal, 2024). En educación, la literatura sobre EdTech muestra que las intervenciones tecnológicas son más efectivas cuando se integran a procesos pedagógicos, formación docente y uso institucional pertinente (Stratton et al., 2020; Rodríguez-Segura, 2022).

A partir de esta problemática, la pregunta de investigación es: ¿cuál es el efecto estimado de la transformación digital

educativa sobre la productividad laboral y el crecimiento económico en una selección de países de América Latina durante 2000-2024? El objetivo general consiste en analizar dicho efecto mediante modelos econométricos de datos de panel. De manera específica, se busca caracterizar la evolución de los indicadores digitales y educativos; estimar su relación con productividad laboral; evaluar su asociación con crecimiento del PIB per cápita; contrastar la robustez mediante indicadores individuales, indicadores compuestos, rezagos e interacciones con capital humano; y formular recomendaciones de política económica.

La hipótesis general sostiene que la transformación digital educativa se asocia positivamente con la productividad laboral y el crecimiento económico en América Latina, aunque su magnitud y significancia dependen de condiciones complementarias como capital humano, infraestructura digital, capacidad institucional y absorción productiva. El estudio adopta un enfoque cuantitativo, no experimental, longitudinal y retrospectivo, con datos del Banco Mundial y UNESCO-UIS para quince países latinoamericanos durante 2000-2024. La estrategia empírica utiliza efectos fijos y aleatorios, prueba de Hausman, errores robustos agrupados por país y correcciones Driscoll-Kraay.

La contribución del estudio es triple. Primero, aporta evidencia comparada para América Latina en un período amplio y reciente. Segundo, distingue entre indicadores individuales de digitalización —uso de internet, banda ancha fija y telefonía móvil— y un Indicador Compuesto de Transformación Digital Educativa. Tercero, ofrece una interpretación prudente de los resultados, evitando asumir que la conectividad

genera automáticamente crecimiento y enfatizando el papel de capacidades complementarias.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Fundamentos teóricos: *crecimiento, tecnología y capital humano*

La relación entre transformación digital educativa, productividad laboral y crecimiento económico puede fundamentarse en la teoría neoclásica del crecimiento, la teoría del crecimiento endógeno y la teoría del capital humano. Solow (1956) plantea que el crecimiento sostenido no puede explicarse solo por acumulación de capital físico y trabajo, sino por progreso tecnológico. Mankiw et al. (1992) amplían este marco al incorporar capital humano y muestran que la educación mejora la capacidad explicativa de las diferencias de ingreso entre países.

El crecimiento endógeno profundiza esta relación al considerar que el conocimiento, las ideas y la innovación generan externalidades y rendimientos crecientes. Romer (1990) sostiene que el conocimiento tecnológico es resultado de decisiones económicas e institucionales, por lo que la digitalización educativa puede actuar como canal de acumulación de conocimiento cuando la infraestructura tecnológica se traduce en competencias, innovación y aprendizaje productivo.

La teoría del capital humano sostiene que educación y formación incrementan la productividad individual (Becker, 1964). Sin embargo, la literatura reciente subraya que no basta con aumentar cobertura educativa. Hanushek & Woessmann (2008) muestran que las habilidades cognitivas y la calidad del aprendizaje son

más determinantes para el crecimiento que la escolaridad formal medida solo por años. En consecuencia, la transformación digital educativa debe evaluarse por su capacidad de fortalecer competencias, no únicamente por acceso tecnológico.

Esta discusión se vincula con la composición del capital humano. Carillo (2024) señala que distintos niveles y tipos de capital humano inciden de manera diferenciada en la transición hacia trayectorias de crecimiento de largo plazo. Las economías con mayor capital humano especializado pueden absorber mejor las innovaciones, mientras que la ausencia de capacidades básicas limita el uso productivo de nuevas tecnologías.

2.2. Transformación digital, TIC y productividad laboral

La literatura sobre tecnologías de información y comunicación sostiene que la digitalización incide en la productividad mediante reducción de costos de transacción, automatización, coordinación organizacional, acceso a información, innovación y ampliación de mercados. Brynjolfsson & Hitt (2000) advierten que los retornos de las tecnologías digitales dependen de transformaciones organizacionales complementarias. Kretschmer (2012) también muestra que los efectos productivos de las TIC requieren inversiones complementarias y tiempo de maduración.

Esta perspectiva ayuda a comprender la paradoja de la productividad: la adopción tecnológica puede crecer rápidamente mientras la productividad agregada responde de manera lenta o limitada. En América Latina, Hofman et al. (2016) encuentran que las TIC han contribuido al crecimiento regional, aunque su aporte al

capital total y a la productividad fue menor que en economías desarrolladas. Rabanal (2024) confirma una relación positiva pero inelástica entre uso de internet y productividad total de los factores en países latinoamericanos.

La evidencia para países en desarrollo converge en una lectura condicionada. Appiah-Otoo & Song (2021) encuentran efectos positivos de las TIC sobre el crecimiento, pero diferenciados entre países ricos y pobres. Saba et al. (2023) muestran que la relación entre TIC, crecimiento y desarrollo varía entre regiones en desarrollo. Sze-Wei Yong et al. (2024) encuentran que las TIC se asocian con mayor productividad laboral cuando interactúan con capital humano, desarrollo financiero y apertura comercial. Estos hallazgos justifican incluir controles macroeconómicos e interacciones en el modelo empírico.

2.3. Transformación digital educativa y capital humano.

La transformación digital educativa constituye una dimensión específica de la digitalización porque involucra infraestructura escolar, competencias docentes, recursos digitales, contenidos pedagógicos y apropiación institucional. UNESCO (2023) advierte que la tecnología puede ampliar oportunidades de aprendizaje, pero también reproducir desigualdades si no responde a objetivos pedagógicos claros y criterios de equidad. Esta advertencia es pertinente para América Latina, donde persisten brechas de acceso, uso y aprovechamiento digital.

Rodriguez-Segura (2022) revisa evidencia causal sobre EdTech en países en desarrollo y concluye que la simple entrega de tecnología no garantiza mejores

resultados educativos. Las intervenciones más efectivas son aquellas que modifican prácticas de instrucción, retroalimentación y aprendizaje. Baker et al. (2020) muestran que internet puede mediar parcialmente la relación entre capital humano y productividad laboral, lo que respalda la hipótesis de complementariedad entre digitalización y educación.

La medición de la transformación digital educativa requiere indicadores multidimensionales. Los marcos internacionales de medición digital resaltan que el desarrollo tecnológico combina acceso, uso, capacidades e infraestructura, por lo que un único indicador puede ser insuficiente para capturar el fenómeno (International Telecommunication Union, 2024). Cambeses-Franco & Cambeses-Franco (2026) construyen un índice de preparación digital educativa que integra infraestructura, competencias docentes científico-tecnológicas y contexto socioeconómico. La OECD & Joint Research Centre (2008) recomiendan que los indicadores compuestos se fundamenten en marco conceptual, normalización, ponderación, agregación y análisis de sensibilidad. Kumara et al. (2025) evidencian que los índices de digitalización permiten clasificar países según niveles de avance digital y revelar brechas persistentes.

2.4. Evidencia empírica y vacío de investigación

La evidencia empírica reciente para América Latina y economías en desarrollo muestra que digitalización, capital humano e innovación están vinculados, aunque con efectos heterogéneos. Tovar-Sanchez (2025) encuentra asociaciones

relevantes entre capital humano especializado, innovación, digitalización y crecimiento en América Latina durante 2000-2019. Rodríguez-Ruiz (2025), para México, muestra que la digitalización puede impulsar el PIB en territorios con mayor desarrollo económico. Becerra-Peña (2024) analiza logros educativos y TIC en América Latina y destaca diferencias de productividad asociadas al desempeño educativo.

La evidencia sectorial complementaria también respalda la relevancia de infraestructura digital educativa. Hu et al. (2025) encuentran que la nueva infraestructura digital mejora la productividad total de los factores en el sector de servicios educativos en China, mediante canales asociados a capital humano y progreso tecnológico. Aunque este resultado no corresponde a América Latina, aporta una referencia metodológica sobre la relación entre infraestructura educativa digital y productividad.

A pesar de estos avances, persisten vacíos. Primero, muchos estudios analizan TIC generales sin distinguir la dimensión educativa de la transformación digital. Segundo, la evidencia regional suele centrarse en crecimiento o productividad total de los factores, y son menos frecuentes los estudios que integran productividad laboral, crecimiento del PIB per cápita e indicadores compuestos de digitalización educativa. Tercero, la medición suele depender de indicadores individuales, pese a que la digitalización es multidimensional. Este estudio contribuye al combinar indicadores individuales y compuestos, estimar modelos de panel para quince países latinoamericanos y contrastar robustez mediante rezagos, interacciones y variables UNESCO-UIS.

Este vacío es particularmente importante porque América Latina enfrenta simultáneamente brechas de productividad, rezagos educativos y desigualdades digitales. Si la transformación digital se analiza solo como conectividad, se corre el riesgo de confundir acceso con capacidad productiva. Por ello, la presente investigación vincula la medición de conectividad con capital humano, productividad laboral y crecimiento económico, reconociendo que la digitalización educativa opera como un mecanismo potencial de acumulación de capacidades y no como una variable tecnológica aislada.

3. DATOS Y METODOLOGÍA

El estudio adopta un enfoque cuantitativo de alcance descriptivo, correlacional y explicativo. Es descriptivo porque caracteriza la evolución de indicadores digitales, educativos y económicos; correlacional porque examina asociaciones entre digitalización, productividad y crecimiento; y explicativo en sentido econométrico porque estima relaciones condicionadas entre variables dependientes, explicativas y controles. El diseño es no experimental, longitudinal y retrospectivo, con unidad de análisis país-año.

La muestra incluye quince países latinoamericanos: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, México, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana y Uruguay. El período 2000-2024 permite observar la expansión de internet, telefonía móvil y banda ancha fija desde etapas iniciales hasta fases de mayor

consolidación. La lista de países se presenta en el Apéndice A.

Las fuentes principales son World Development Indicators del Banco Mundial y UNESCO Institute for Statistics (UIS.Stat database, 2026; World Bank, 2026).

El Banco Mundial aporta series con mayor continuidad temporal para variables macroeconómicas, productividad, crecimiento, conectividad digital y capital humano. UNESCO-UIS aproxima infraestructura digital educativa, aunque con menor cobertura. Por ello, los indicadores del Banco Mundial constituyen la base principal y los indicadores UNESCO se utilizan como robustez complementaria. La definición operacional de variables se reporta en el Apéndice B.

3.1. Variables de estudio

Las variables dependientes son la productividad laboral, aproximada mediante el logaritmo natural del producto por trabajador, y el crecimiento del PIB per cápita real. Las variables explicativas principales son uso de internet, banda ancha fija y telefonía móvil. Además, se construye el Indicador Compuesto de Transformación Digital Educativa (ICTDE), con una versión principal ICTDE-A basada en variables del Banco Mundial y una versión complementaria ICTDE-B con indicadores UNESCO-UIS. El procedimiento de construcción del índice se detalla en el Apéndice C.

Tabla 1 Definición operacional de variables principales

Tipo	Variable	Definición	Fuente
Dependiente	ln_productividad	Logaritmo natural de la productividad laboral.	Banco Mundial
Dependiente	crecimiento_pib_pc	Crecimiento anual del PIB per cápita real.	Banco Mundial
Digital	uso_internet	Usuarios de internet como porcentaje de la población.	Banco Mundial
Digital	banda_ancha_fija	Suscripciones de banda ancha fija por cada 100 habitantes.	Banco Mundial
Digital	telefonía_movil	Suscripciones móviles por cada 100 habitantes	Banco Mundial
Índice	ICTDE-A	Indicador compuesto con internet, banda ancha fija y telefonía móvil.	Elaboración propia
Control	matricula_terciaria	Matrícula bruta en educación terciaria.	Banco Mundial
Control	comercio, inversión, inflación y gasto público	Controles macroeconómicos	Banco Mundial

Nota: ICTDE = Indicador Compuesto de Transformación Digital Educativa. La matriz completa de variables se incluye en el Apéndice B.

3.2. Especificación econométrica

La estrategia econométrica se basa en modelos de datos de panel, adecuados para combinar variación transversal entre países y variación temporal dentro de cada país (Wooldridge, 2010; Baltagi, 2021). Esta estructura permite controlar heterogeneidad no observada por país y shocks temporales comunes. Se estiman modelos con efectos fijos y efectos aleatorios, y se aplica la prueba de Hausman para seleccionar la especificación más consistente (Hausman, 1978).

El modelo general para productividad laboral es:

$$\ln(\text{Productividad}_{it}) = \alpha + \beta TDE_{it} + \gamma X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \epsilon_{it}$$

El modelo para crecimiento económico es:

$$\text{CrecimientoPIB}_{pcit} = \alpha + \beta TDE_{it} + \gamma X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \epsilon_{it}$$

En ambas ecuaciones, TDE_{it} representa el indicador digital o ICTDE, X_{it} es el vector de controles, μ_i son efectos específicos por país, λ_t son efectos temporales y ϵ_{it} es el

término de error. Las especificaciones completas se presentan en el Apéndice D.

La estimación se desarrolla de forma incremental. Primero, se estiman modelos individuales con uso de internet, banda ancha fija y telefonía móvil. Segundo, se incorporan indicadores compuestos ICTDE-A. Tercero, se evalúan modelos de crecimiento. Cuarto, se exploran rezagos, interacciones con capital humano y robustez con UNESCO-UIS. La inferencia principal utiliza errores robustos agrupados por país y, como prueba complementaria, errores Driscoll-Kraay, robustos ante heterocedasticidad, autocorrelación y dependencia transversal bajo ciertas condiciones (Driscoll & Kraay, 1998).

Una limitación metodológica es la posible endogeneidad. La relación entre digitalización y desempeño económico puede ser bidireccional: mayores niveles de digitalización pueden elevar productividad, pero economías más productivas también pueden invertir más en infraestructura digital. Por ello, los

resultados se interpretan como asociaciones econométricas condicionadas, no como efectos causales definitivos.

El tratamiento de datos se realizó sin imputación automática de valores faltantes. Esta decisión responde a que la imputación podría introducir supuestos fuertes, especialmente en variables educativas de UNESCO-UIS con series discontinuas. En consecuencia, cada especificación se estima con la muestra efectiva disponible, reportando número de observaciones, países incluidos y países excluidos. Esta práctica fortalece la transparencia del análisis y permite distinguir entre resultados principales, basados en mayor cobertura, y resultados exploratorios, condicionados por disponibilidad limitada de información educativa digital.

4. RESULTADOS

4.1. Evolución del ICTDE-A y cobertura de datos

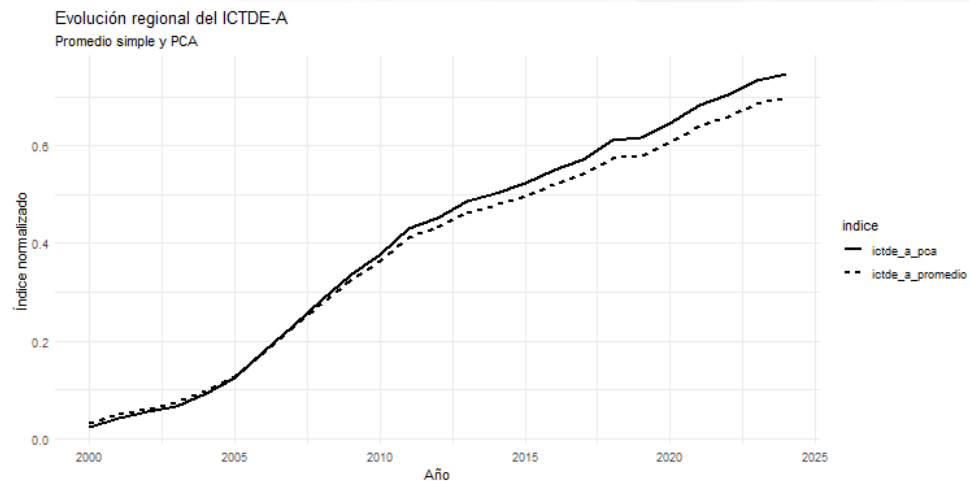
La Figura 1 muestra una trayectoria ascendente del ICTDE-A durante 2000-2024. El ICTDE-A promedio aumenta de 0,032 en 2000 a 0,699 en 2024, mientras

que la versión PCA pasa de 0,024 a 0,749. Este resultado confirma una expansión significativa de la conectividad digital regional, especialmente desde mediados de la década de 2000.

La evolución por país evidencia heterogeneidad persistente. En 2024, Uruguay, Argentina, Chile, Costa Rica y Colombia registran mayores niveles relativos, mientras que Guatemala, Bolivia, República Dominicana, Ecuador, Perú y Paraguay presentan niveles menores. Esta dispersión justifica el uso de efectos fijos para controlar diferencias estructurales entre países.

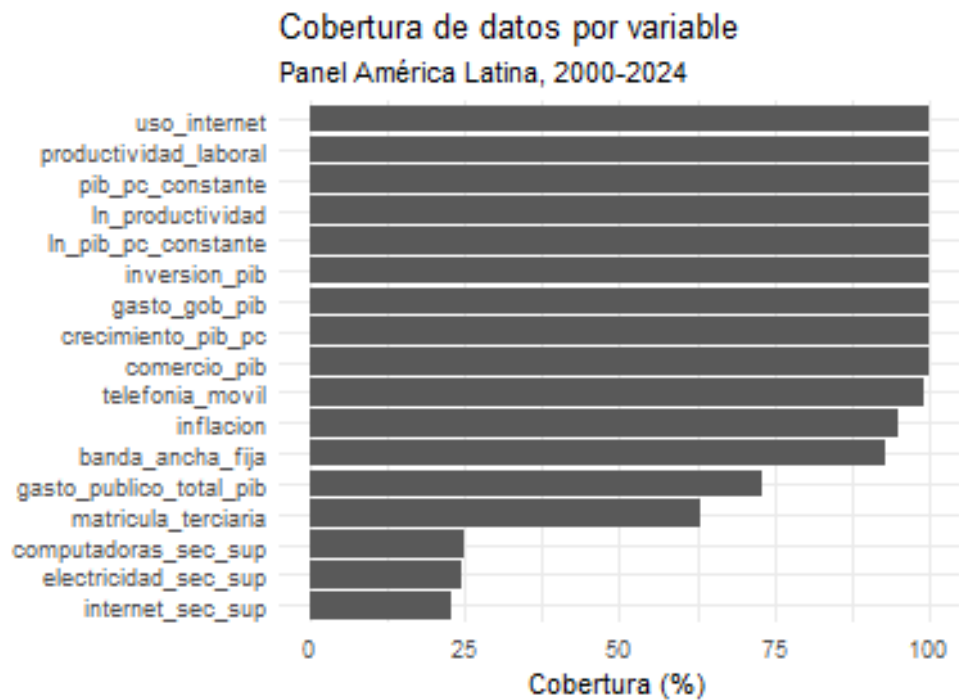
La cobertura de datos es alta para variables Banco Mundial y menor para UNESCO-UIS. Uso de internet, productividad laboral, PIB per cápita, inversión, gasto público, comercio y crecimiento presentan cobertura completa del panel base; telefonía móvil alcanza 99,2 %, inflación 95,2 % y banda ancha fija 92,8 %. En contraste, matrícula terciaria alcanza 62,9 %, internet escolar 22,7 %, computadoras 25,1 % y electricidad escolar 24,5 %. Por ello, UNESCO-UIS se utiliza como robustez exploratoria.

Figura 1 Evolución regional del ICTDE-A, 2000-2024



Nota: Elaboración propia con datos del Banco Mundial.

Figura 2 Cobertura de datos por variable



Nota: Elaboración propia con datos del Banco Mundial y UNESCO-UIS

4.2. Productividad laboral

La Tabla 2 presenta los modelos principales para productividad laboral. El uso de internet muestra signo positivo, pero no es significativo bajo errores robustos agrupados por país ni Driscoll-Kraay. La banda ancha fija presenta coeficiente positivo y significancia en Driscoll-Kraay, pero pierde significancia con clúster país. El indicador individual

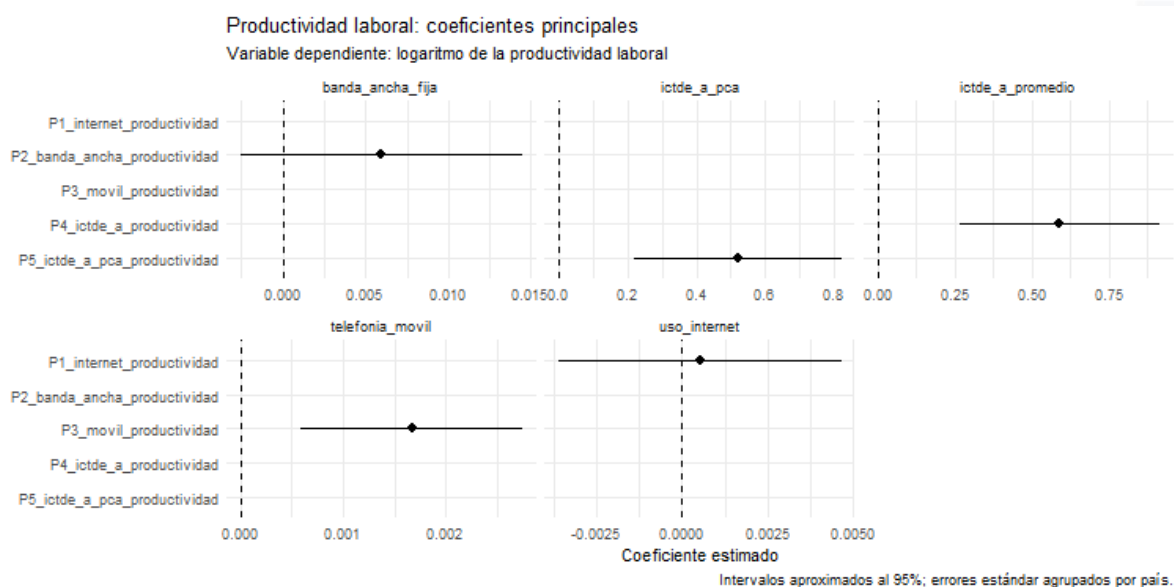
más estable es telefonía móvil, con coeficiente positivo y significativo al 1 % bajo clúster país. Los indicadores compuestos ofrecen la evidencia más sólida: ICTDE-A promedio e ICTDE-A PCA presentan asociaciones positivas y significativas al 1 %. Esto respalda la hipótesis de que la digitalización es más informativa cuando se mide como fenómeno multidimensional.

Tabla 2 Resultados principales para productividad laboral

Modelo	Variable digital	Coeficiente	Error robusto país	p-valor	Lectura
P1	Uso de internet	0,0005	0,0021	0,802	Positivo, no significativo
P2	Banda ancha fija	0,0060	0,0043	0,171	Positivo, no robusto con clúster país
P3	Telefonía móvil	0,0017	0,0006	0,003	Positivo y significativo
P4	ICTDE-A promedio	0,5892	0,1660	0,001	Positivo y significativo
P5	ICTDE-A PCA	0,5209	0,1535	0,001	Positivo y significativo

Nota: Variable dependiente: logaritmo de la productividad laboral. Todos los modelos incluyen controles macroeconómicos y de capital humano. Errores estándar robustos agrupados por país. * $p < 0,10$; ** $p < 0,05$; *** $p < 0,01$.

Figura 3 Productividad laboral: coeficientes principales



Nota: Elaboración propia con estimaciones del panel.

4.3. Crecimiento económico

La Tabla 3 presenta los modelos de crecimiento del PIB per cápita. A diferencia de productividad, la evidencia no respalda una relación positiva contemporánea robusta entre digitalización y crecimiento. El uso de internet es positivo, pero no significativo; telefonía móvil no es significativa; banda ancha fija e ICTDE-A promedio muestran coeficientes negativos y significativos.

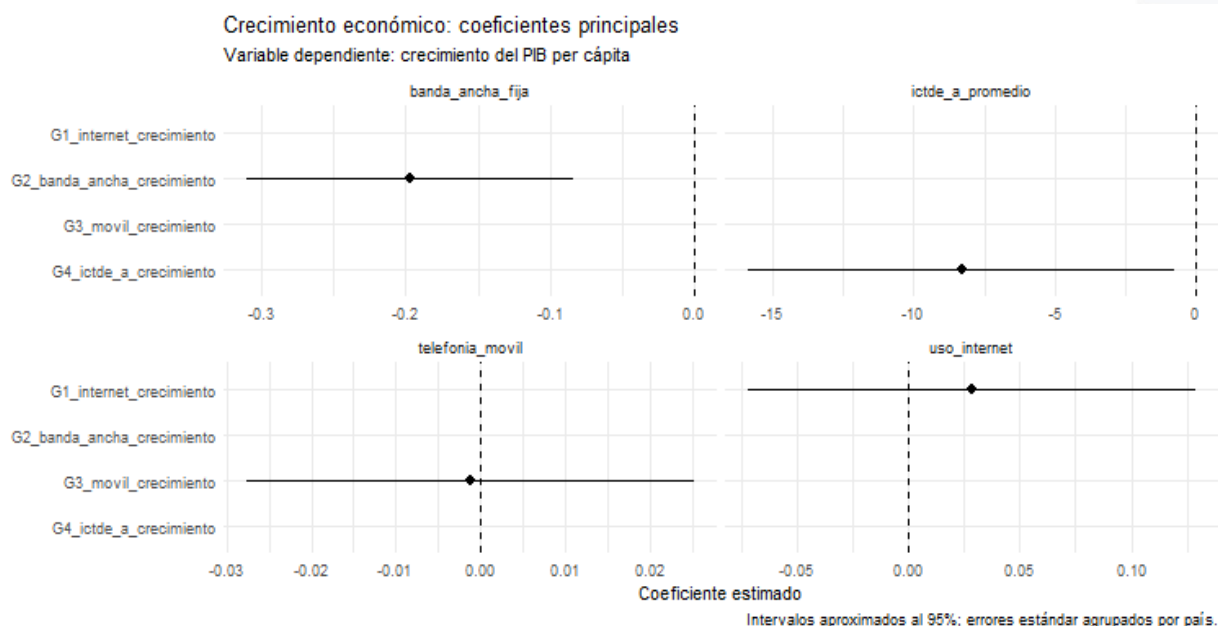
Estos resultados no implican que la digitalización reduzca necesariamente el crecimiento, sino que, bajo las especificaciones estimadas, no se identifica una asociación contemporánea positiva robusta. Una explicación plausible es que la digitalización incida primero en productividad y capacidades, mientras su traducción a crecimiento agregado requiere rezagos, absorción productiva y complementariedades institucionales.

Tabla 3 Resultados principales para crecimiento del PIB per cápita

Modelo	Variable digital	Coeficiente	Error robusto país	p-valor	Lectura
G1	Uso de internet	0,0285	0,0514	0,580	Positivo, no significativo
G2	Banda ancha fija	-0,1974	0,0579	0,001	Negativo y significativo
G3	Telefonía móvil	-0,0013	0,0135	0,925	No significativo
G4	ICTDE-A promedio	-8,3026	3,8547	0,033	Negativo y significativo

Nota: Variable dependiente: crecimiento del PIB per cápita. Todos los modelos incluyen controles macroeconómicos y de capital humano. Errores estándar robustos agrupados por país.

Figura 4 Crecimiento económico: coeficientes principales



Nota: Elaboración propia con estimaciones del panel.

4.4. Robustez y diagnósticos

Las pruebas de robustez refuerzan el resultado central de productividad. El rezago del uso de internet conserva signo positivo, pero no es significativo. En cambio, el rezago del ICTDE-A promedio mantiene coeficiente positivo de 0,5958 y significancia al 1 %. La interacción entre internet y matrícula terciaria presenta signo positivo, aunque no es robusta con errores agrupados por país. Esta evidencia sugiere complementariedad potencial entre digitalización y capital humano, pero no permite afirmarla concluyentemente.

Los modelos UNESCO-UIS no ofrecen evidencia positiva robusta. Internet escolar, computadoras y electricidad en secundaria superior presentan coeficientes negativos o no significativos; el ICTDE-B flexible tiene signo positivo, pero no significativo. Dado que estas

especificaciones trabajan con muestras reducidas, sus resultados deben interpretarse como exploratorios. Las pruebas de sensibilidad sin matrícula terciaria recuperan mayor muestra efectiva y muestran que telefonía móvil, ICTDE-A promedio e ICTDE-A PCA mantienen signo positivo y significancia para productividad laboral.

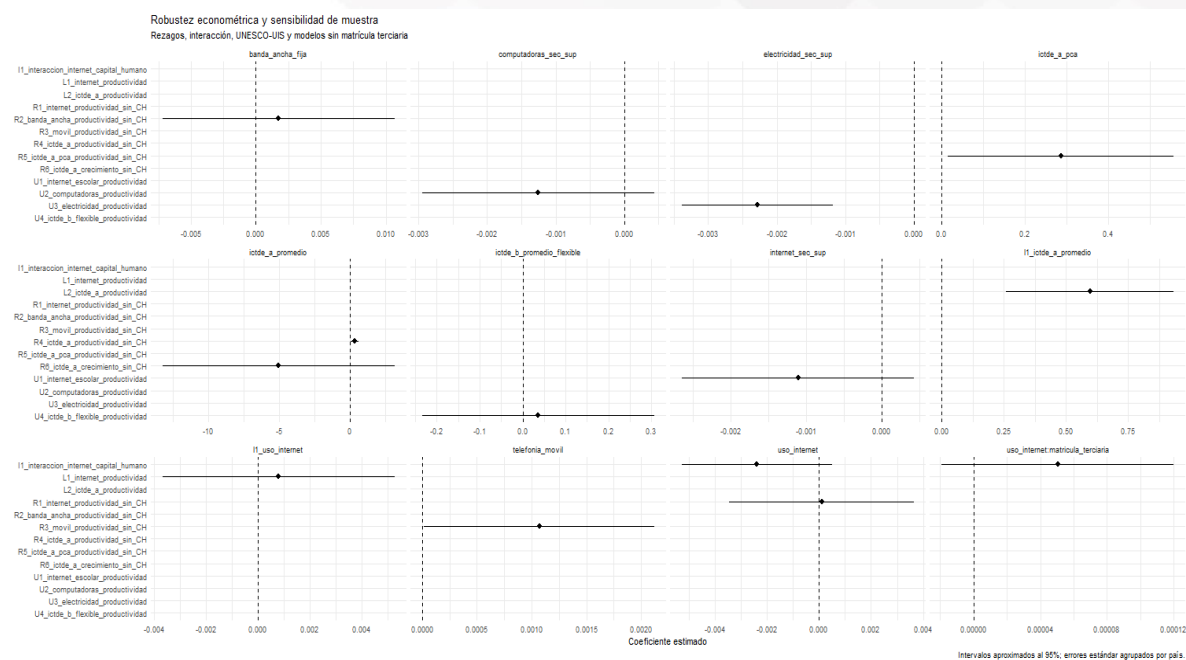
Los diagnósticos econométricos muestran heterocedasticidad, autocorrelación serial y dependencia transversal en varios modelos, lo que justifica el uso de errores robustos agrupados por país y correcciones Driscoll-Kraay. Los diagnósticos completos se reportan en el Apéndice E y los resultados extendidos en el Apéndice F. Las figuras complementarias generadas a partir del panel se presentan en el Apéndice G.

Tabla 4 Pruebas de robustez y sensibilidad

Bloque	Variable principal	Coeficiente	Error robusto país	p-valor	Lectura
Rezago	L1 uso de internet	0,0008	0,0023	0,728	Positivo, no significativo
Rezago	L1 ICTDE-A promedio	0,5958	0,1718	0,001	Positivo y significativo
Interacción	Internet x matrícula terciaria	0,00005	0,00004	0,158	Positivo, no robusto con clúster país
UNESCO-UIS	ICTDE-B flexible	0,0363	0,1379	0,794	Positivo, no significativo
Sensibilidad sin CH	Telefonía móvil	0,0011	0,0005	0,047	Positivo y significativo
Sensibilidad sin CH	ICTDE-A promedio	0,3363	0,1484	0,024	Positivo y significativo
Sensibilidad sin CH	ICTDE-A PCA	0,2863	0,1384	0,040	Positivo y significativo

Nota: CH = capital humano. Errores estándar robustos agrupados por país.

Figura 5 Robustez econométrica y sensibilidad de muestra



Nota: Elaboración propia con estimaciones del panel

4.5. Discusión de resultados

Los resultados deben leerse en clave de complementariedad y no como una relación tecnológica automática. La evidencia favorable para productividad laboral, especialmente en el ICTDE-A promedio, el ICTDE-A PCA y la telefonía móvil, es coherente con la literatura que sostiene que las TIC elevan el desempeño económico cuando reducen costos de información, facilitan coordinación y amplían capacidades de aprendizaje. Sin embargo, la ausencia de efectos positivos robustos sobre crecimiento del PIB per cápita indica que la digitalización puede mejorar condiciones productivas sin traducirse inmediatamente en expansión agregada del ingreso. Esta diferencia es metodológicamente relevante porque distingue entre productividad como capacidad de producir más eficientemente y crecimiento como resultado macroeconómico condicionado por ciclos,

inversión, demanda externa, estructura productiva y calidad institucional.

En comparación con estudios regionales previos, el aporte de esta investigación consiste en mostrar que los indicadores compuestos ofrecen una lectura más estable que las variables digitales aisladas. El resultado sugiere que la política pública no debería evaluar la transformación digital educativa únicamente mediante cobertura de internet o número de conexiones, sino mediante un sistema integrado de conectividad, infraestructura, uso efectivo y capital humano. Además, la baja cobertura de UNESCO-UIS constituye un hallazgo institucional en sí mismo: la región no solo enfrenta brechas digitales, sino también limitaciones de medición que reducen la capacidad de evaluar políticas educativas digitales con precisión. Por ello, la contribución empírica del estudio es prudente: identifica asociaciones robustas en productividad, reconoce evidencia limitada en

crecimiento y delimita una agenda de investigación futura orientada a causalidad, rezagos y calidad del uso educativo de la tecnología. Este enfoque fortalece la validez interpretativa del estudio, porque separa con claridad la evidencia empírica robusta, las inferencias plausibles y los límites metodológicos.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE POLÍTICA ECONÓMICA

Los resultados permiten responder la pregunta central del estudio: la transformación digital educativa y digital general se relaciona de manera más consistente con la productividad laboral que con el crecimiento económico contemporáneo. Esta conclusión se mantiene después de considerar indicadores individuales, indicadores compuestos, rezagos, sensibilidad de muestra y diagnósticos econométricos.

Primero, el análisis descriptivo confirma una expansión sostenida de la conectividad digital regional durante 2000-2024. No obstante, la evolución por país revela heterogeneidad persistente, lo que confirma que la transformación digital latinoamericana está condicionada por diferencias estructurales, institucionales, educativas y productivas.

Segundo, los modelos econométricos muestran que los indicadores compuestos ICTDE-A promedio e ICTDE-A PCA presentan asociación positiva y estadísticamente significativa con la productividad laboral. La telefonía móvil es el indicador individual con mayor robustez. En cambio, el uso de internet y la banda ancha fija muestran resultados más sensibles a la corrección de errores y a la especificación.

Tercero, la evidencia sobre crecimiento económico es menos concluyente. Los modelos no permiten afirmar una relación positiva robusta entre digitalización y crecimiento del PIB per cápita en el corto plazo. Esta diferencia es coherente con la paradoja de la productividad y con la literatura que señala la necesidad de rezagos, capital humano, capacidades institucionales y absorción productiva para que la tecnología se traduzca en crecimiento agregado.

La hipótesis general recibe apoyo parcial: la transformación digital educativa se asocia positivamente con la productividad laboral, especialmente cuando se mide mediante indicadores compuestos, pero no se obtiene evidencia robusta de una relación positiva contemporánea con crecimiento económico. Por tanto, la digitalización educativa puede fortalecer capacidades productivas, aunque no constituye una solución automática al bajo crecimiento regional.

A partir de estos hallazgos, se recomienda avanzar desde políticas de conectividad hacia políticas integrales de transformación digital educativa. Ampliar acceso a internet y dispositivos es necesario, pero insuficiente. La política pública debe articular conectividad, plataformas, contenidos digitales, formación docente, soporte técnico, competencias digitales y evaluación de resultados.

Asimismo, se recomienda fortalecer el vínculo entre digitalización educativa y capital humano. La tecnología genera mayores retornos cuando existen capacidades para utilizarla productivamente. Por ello, las políticas digitales deben integrarse con educación técnica, formación docente, educación

superior, innovación y alfabetización tecnológica. También se requiere reducir brechas territoriales y socioeconómicas, especialmente en zonas rurales, instituciones con baja infraestructura y poblaciones vulnerables.

Finalmente, los países deben mejorar los sistemas estadísticos sobre digitalización educativa. La baja cobertura de UNESCO-UIS limita la evaluación rigurosa de infraestructura digital escolar. Es recomendable fortalecer registros sobre conectividad, uso pedagógico, competencias docentes, disponibilidad de dispositivos, calidad de conexión y resultados de aprendizaje. Futuras investigaciones podrían incorporar modelos dinámicos, variables instrumentales o estrategias subnacionales para aproximar con mayor precisión la causalidad.

En términos de gestión pública, el resultado central del estudio sugiere que la transformación digital educativa debe evaluarse como una inversión estratégica de productividad. Esto implica coordinar ministerios de educación, economía, telecomunicaciones, trabajo e innovación, evitando políticas fragmentadas. Además, los indicadores compuestos pueden servir como herramientas de seguimiento para identificar países o territorios con mayor rezago relativo, priorizar recursos y evaluar si la inversión digital se traduce en mejores condiciones para el aprendizaje, la empleabilidad y la productividad.

6. REFERENCIAS

- Appiah-Otoo, I., & Song, N. (2021). The impact of ICT on economic growth-Comparing rich and poor countries. *Telecommunications Policy*, 45(2), 102082. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2020.102082>
- Baker, N. B., Said Boustany, M., Khater, M., & Haddad, C. (2020). Measuring the indirect effect of the Internet on the relationship between human capital and labor productivity. *International Review of Applied Economics*, 34(6), 821–838. <https://doi.org/10.1080/02692171.2020.1792421>
- Baltagi, B. H. (2021). *Econometric Analysis of Panel Data* (6th ed.). Springer.
- Becerra-Peña, D. L. (2024). Logros educativos y TIC: análisis comparativo de la productividad latinoamericana. *Cuadernos de Economía*, 43(92), 469–490. <https://doi.org/10.15446/cuad.econ.v43n92.99849>
- Becker, G. S. (1964). *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education*. University of Chicago Press.
- Brynjolfsson, E., & Hitt, L. M. (2000). Beyond Computation: Information Technology, Organizational Transformation and Business Performance. *Journal of Economic Perspectives*, 14(4), 23–48. <https://doi.org/10.1257/jep.14.4.23>
- Cambeses-Franco, C., & Cambeses-Franco, P. (2026). A country-level preparedness index for digital education: infrastructure, teacher scientific-technology competence, and socioeconomic context. *Education and Information Technologies*.

- <https://doi.org/10.1007/s10639-026-14042-9>
- Carillo, M. F. (2024). Human capital composition and long-run economic growth. *Economic Modelling*, 137, 106760.
<https://doi.org/10.1016/j.econmod.2024.106760>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2024). *La trampa de alta desigualdad y baja movilidad social en América Latina y el Caribe: un obstáculo para el desarrollo social inclusivo y sostenible*.
<https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/d1a54132-a08e-4c51-a54c-8dc86e0c8f4d/content>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2025). *Superar las trampas del desarrollo de América Latina y el Caribe en la era digital: El potencial transformador de las tecnologías digitales y la inteligencia artificial*.
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/80841-superar-trampas-desarrollo-america-latina-caribe-la-era-digital-potencial>
- Driscoll, J. C., & Kraay, A. C. (1998). Consistent Covariance Matrix Estimation with Spatially Dependent Panel Data. *Review of Economics and Statistics*, 80(4), 549–560.
<https://doi.org/10.1162/003465398557825>
- Hanushek, E. A., & Woessmann, L. (2008). The Role of Cognitive Skills in Economic Development. *Journal of Economic Literature*, 46(3), 607–668.
<https://doi.org/10.1257/jel.46.3.607>
- Hausman, J. A. (1978). Specification Tests in Econometrics. *Econometrica*, 46(6), 1251.
<https://doi.org/10.2307/1913827>
- Hofman, A., Aravena, C., & Aliaga, V. (2016). Information and communication technologies and their impact in the economic growth of Latin America, 1990–2013. *Telecommunications Policy*, 40(5), 485–501.
<https://doi.org/10.1016/j.telpol.2016.02.002>
- Hu, L., Gong, Y., & Zhu, L. (2025). The impact of new digital infrastructure on total factor productivity in the education service industry: evidence from China. *National Accounting Review*, 7(3), 309–339.
<https://doi.org/10.3934/NAR.2025014>
- International Telecommunication Union. (2024). *Measuring digital development: The ICT Development Index 2024*. International Telecommunication Union Development Sector.
https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/ind/D-IND-ICT_MDD-2024-3-PDF-E.pdf
- Kretschmer, T. (2012). *Information and Communication Technologies and Productivity Growth: A Survey of the Literature*.
<https://doi.org/10.1787/5k9bh3jllgs7-en>
- Kumara, U., Wijerathna, D., & Jayathilaka, R. (2025). Digitalisation dynamics: Developing a global index for digital pioneers, adapters, and followers. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and*

- Complexity*, 11(2), 100540.
<https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2025.100540>
- 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>
- OECD, & Joint Research Centre. (2008). *Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide*. OECD.
<https://doi.org/10.1787/9789264043466-en>
- Rabanal, C. (2024). La paradoja de la productividad y el uso de internet en países de América Latina. *Problemas Del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 55(219), 113–138.
<https://doi.org/10.22201/iec.20078951e.2024.219.70183>
- Rodríguez-Ruiz, J. G. (2025). Digitalización y crecimiento económico en México: un análisis con modelos de panel dinámico (2015-2023). *Problemas Del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, 56(223), 29–59.
<https://doi.org/10.22201/iec.20078951e.2025.223.70359>
- Rodriguez-Segura, D. (2022). EdTech in Developing Countries: A Review of the Evidence. *The World Bank Research Observer*, 37(2), 171–203.
<https://doi.org/10.1093/wbro/lkab011>
- Romer, P. M. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98(5, Part 2), S71–S102.
<https://doi.org/10.1086/261725>
- Saba, C. S., Ngepah, N., & Odhiambo, N. M. (2023). Information and Communication Technology (ICT), Growth and Development in Developing Regions: Evidence from a Comparative Analysis and a New Approach. *Journal of the Knowledge Economy*, 15(3), 14700–14748.
<https://doi.org/10.1007/s13132-023-01571-8>
- Solow, R. M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65–94.
<https://doi.org/10.2307/1884513>
- Stratton, C., Bailey, D. E., & Leonardi, P. M. (2020). Translating national discourse into teaching and learning outcomes: Portability and connectivity in developing countries' ICT in education (ICT4E) initiatives. *New Media & Society*, 22(12), 2083–2107.
<https://doi.org/10.1177/1461444819884373>
- Sze-Wei Yong, Siong-Hook Law, Saifuzzaman Ibrahim, & Wan Norhidayah W Mohamad. (2024). Icts And Labour Productivity Nexus In Developing Countries: Evidence From Panel Estimation Approach. *International Journal of Business and Society*, 25(1), 27–48.
<https://doi.org/10.33736/ijbs.6868.2024>
- Tovar-Sanchez, G. S. (2025). Capital humano, innovación y digitalización. Claves económicas en América Latina. *Problemas Del Desarrollo. Revista Latinoamericana de*

Economía, 56(223), 3–28.
<https://doi.org/10.22201/ieec.20078951e.2025.223.70353>

Wooldridge, J. M. (2010). *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data* (2nd ed.). MIT Press.

UIS.Stat database. (2026). *UNESCO Institute for Statistics*. UNESCO Institute for Statistics.
<https://databrowser.uis.unesco.org/browser/EDUCATION/UIS-SDG4Monitoring/t4.a/i4.a.1>

World Bank. (2026). *World Development Indicators*. World Bank.
<https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>

UNESCO. (2023). *Global Education Monitoring Report 2023: Technology in education: A tool on whose terms?* GEM Report UNESCO.
<https://doi.org/10.54676/UZQV8501>

7. ANEXOS

Apéndice A. Países incluidos en el panel

El panel de análisis está conformado por quince países latinoamericanos observados durante 2000-2024. La estructura teórica del panel corresponde a **Tabla A1 Países incluidos en el panel de análisis**

375 observaciones potenciales, resultado de combinar quince países y veinticinco años.

Nº	País	Código ISO	Período
1	Argentina	ARG	2000-2024
2	Bolivia	BOL	2000-2024
3	Brasil	BRA	2000-2024
4	Chile	CHL	2000-2024
5	Colombia	COL	2000-2024
6	Costa Rica	CRI	2000-2024
7	Ecuador	ECU	2000-2024
8	El Salvador	SLV	2000-2024
9	Guatemala	GTM	2000-2024
10	México	MEX	2000-2024
11	Panamá	PAN	2000-2024
12	Paraguay	PRY	2000-2024
13	Perú	PER	2000-2024
14	República Dominicana	DOM	2000-2024
15	Uruguay	URY	2000-2024

Nota: La muestra efectiva varía entre modelos por disponibilidad de datos, especialmente en matrícula terciaria e indicadores UNESCO-UIS.

Apéndice B. Definición operacional de variables

Tabla B1 Definición, fuente y uso de las variables del estudio

Tipo	Variable	Definición operacional	Fuente	Signo esperado
Dependiente	ln_productividad	Logaritmo natural de la productividad laboral	Banco Mundial	No aplica
Dependiente	crecimiento_pib_pc	Tasa anual de crecimiento del PIB per cápita real	Banco Mundial	No aplica
Digital	uso_internet	Usuarios de internet como porcentaje de la población	Banco Mundial	+
Digital	banda_ancha_fija	Suscripciones de banda ancha fija por cada 100 habitantes	Banco Mundial	+
Digital	telefonía_movil	Suscripciones móviles por cada 100 habitantes	Banco Mundial	+
Índice	ictde_a_promedio	Promedio simple normalizado de internet, banda ancha fija y telefonía móvil	Elaboración propia	+
Índice	ictde_a_pca	Índice digital mediante análisis de componentes principales	Elaboración propia	+
Complementario	ictde_b_promedio_flexible	Índice ampliado con variables Banco Mundial y UNESCO-UIS	Elaboración propia	+
Capital humano	matricula_terciaria	Matrícula bruta en educación terciaria	Banco Mundial	+
Control	comercio_pib	Comercio total como porcentaje del PIB	Banco Mundial	Ambiguo
Control	inversion_pib	Formación bruta de capital como porcentaje del PIB	Banco Mundial	+
Control	inflacion	Variación anual del índice de precios al consumidor	Banco Mundial	Ambiguo
Control	gasto_gob_pib	Gasto del gobierno como porcentaje del PIB	Banco Mundial	Ambiguo

UNESCO-UIS	internet_sec_sup	Escuelas de secundaria superior con acceso a internet	UNESCO-UIS	+
UNESCO-UIS	computadoras_sec_sup	Escuelas de secundaria superior con computadoras	UNESCO-UIS	+
UNESCO-UIS	electricidad_sec_sup	Escuelas de secundaria superior con electricidad	UNESCO-UIS	+

Apéndice C. Construcción del ICTDE

El ICTDE-A se construyó con tres indicadores del Banco Mundial: uso de internet, banda ancha fija y telefonía móvil. El ICTDE-B incorpora, además, internet escolar, computadoras y electricidad en secundaria superior reportadas por UNESCO-UIS. Todas las variables fueron normalizadas mediante min-max: $X_{norm_{it}} = \frac{X_{it} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$

Esta normalización transforma los indicadores a una escala entre 0 y 1. El

ICTDE-A promedio se calcula como el promedio simple de las tres variables normalizadas. La versión ICTDE-A PCA utiliza el primer componente principal y luego normaliza el puntaje resultante a escala 0-1. El ICTDE-B flexible se calcula con disponibilidad mínima parcial, debido a la baja cobertura de UNESCO UIS. Por esta razón, el ICTDE-A se utiliza como indicador principal y el ICTDE-B como robustez exploratoria.

Apéndice D. Especificaciones econométricas estimadas

Tabla D1 Modelos principales estimados

Código	Variable dependiente	Variable digital principal	Controles
P1	ln_productividad	uso_internet	Capital humano y controles macroeconómicos
P2	ln_productividad	banda_ancha_fija	Capital humano y controles macroeconómicos
P3	ln_productividad	telefonía_movil	Capital humano y controles macroeconómicos
P4	ln_productividad	ictde_a_promedio	Capital humano y controles macroeconómicos
P5	ln_productividad	ictde_a_pca	Capital humano y controles macroeconómicos
G1	crecimiento_pib_pc	uso_internet	Capital humano y controles macroeconómicos
G2	crecimiento_pib_pc	banda_ancha_fija	Capital humano y controles macroeconómicos

G3	crecimiento_pib_pc	telefonía_movil	Capital humano y controles macroeconómicos
G4	crecimiento_pib_pc	ictde_a_promedio	Capital humano y controles macroeconómicos

Apéndice E. Diagnósticos econométricos

Tabla E1 Diagnósticos de modelos principales y de robustez

Modelo	N	Países	Hausman p	BP p	BG p	CD p	Lectura
P1 Internet productividad	218	14	0,015	0,000	0,000	0,015	Requiere inferencia robusta
P2 Banda ancha productividad	207	14	0,511	0,000	0,000	0,011	Requiere inferencia robusta
P3 Móvil productividad	218	14	0,000	0,000	0,000	0,003	Requiere inferencia robusta
P4 ICTDE-A productividad	207	14	0,011	0,000	0,000	0,005	Requiere inferencia robusta
G1 Internet crecimiento	218	14	0,024	0,209	0,110	0,004	Dependencia transversal
G4 ICTDE-A crecimiento	207	14	0,015	0,521	0,039	0,004	Dependencia transversal y autocorrelación
L2 ICTDE-A rezagado	197	14	0,000	0,000	0,000	0,001	Requiere inferencia robusta
U4 ICTDE-B flexible	73	13	0,000	0,018	0,226	0,046	Muestra reducida
R4 ICTDE-A sin CH	330	15	0,010	0,413	0,000	0,005	Sensibilidad con mayor muestra

Nota: BP = Breusch-Pagan; BG = Breusch-Godfrey; CD = Pesaran CD. Valores p inferiores a 0,05 indican rechazo de la hipótesis nula correspondiente.

Apéndice F. Resultados extendidos de modelos de robustez

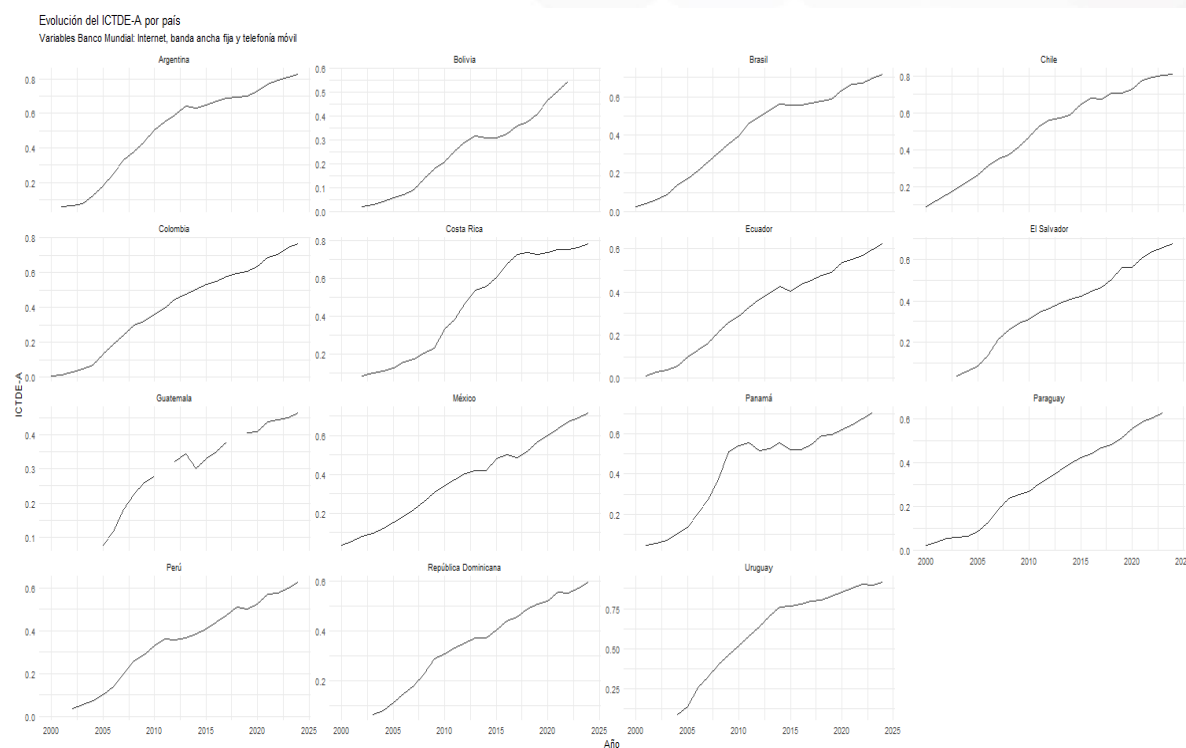
Tabla F1 Resultados extendidos de robustez y sensibilidad

Bloque	Variable principal	Coefficiente	Error robusto país	p-valor	Lectura
Productividad	L1 ICTDE-A promedio	0,5892	0,1660	0,001	Positivo y significativo
Productividad	ICTDE-A PCA	0,5209	0,1535	0,001	Positivo y significativo
Crecimiento	ICTDE-A promedio	-8,3026	3,8547	0,033	Negativo y significativo
Rezago	L1 ICTDE-A promedio	0,5958	0,1718	0,001	Positivo y significativo
Interacción	Internet x matrícula terciaria	0,00005	0,00004	0,158	Positivo, no robusto con clúster país
UNESCO-UIS	ICTDE-B flexible	0,0363	0,1379	0,794	Positivo, no significativo

Sensibilidad sin CH	ICTDE-A promedio	0,3363	0,1484	0,024	Positivo y significativo
Sensibilidad sin CH	ICTDE-A PCA	0,2863	0,1384	0,040	Positivo y significativo

Apéndice G. Figuras complementarias del panel

Figura G1 Evolución del ICTDE-A por país, 2000-2024



Nota: Elaboración propia con datos del Banco Mundial.