

# El impacto socioeconómico de la infraestructura de datos

Preparado para el Banco Interamericano por:

Raúl Katz  
Juan Jung

Coordinadores del estudio:

Pau Puig Gabarró  
Enrique Iglesias

Banco Interamericano de Desarrollo  
Sector de Instituciones para el Desarrollo  
División de Conectividad, Mercados y Finanzas

Febrero 2025

# El impacto socioeconómico de la infraestructura de datos

Preparado para el Banco Interamericano por:

Raúl Katz  
Juan Jung

Coordinadores del estudio:

Pau Puig Gabarró  
Enrique Iglesias

Banco Interamericano de Desarrollo  
Sector de Instituciones para el Desarrollo  
División de Conectividad, Mercados y Finanzas

Febrero 2025



**Catalogación en la fuente proporcionada por la  
Biblioteca Felipe Herrera del  
Banco Interamericano de Desarrollo**

Katz, Raúl.

El impacto socioeconómico de la infraestructura de datos / Raúl Katz, Juan Jung;  
coordinadores, Pau Puig Gabarró, Enrique Iglesias Rodríguez.

p. cm. — (Nota técnica del BID ; 3094

Incluye referencias bibliográficas.

1. Information technology-Economic Aspects-Latin America. 2. Information technology-  
Economic Aspects-Caribbean Area. 3. Digital communications-Economic aspects-Latin  
America. 4. Digital communications-Economic aspects-Caribbean Area. 5. Data centers-  
Latin America. 6. Data centers-Caribbean Area. 7. Information services industry-Latin  
America. 8. Information services industry-Caribbean Area. I. Jung, Juan. II. Puig Gabarró,  
Pau, coordinador. III. Iglesias Rodríguez, Enrique, coordinador. IV. Banco Interamericano  
de Desarrollo. División de Conectividad, Mercados y Finanzas.

V. Título. VI. Serie.

IDB-TN-3094

Códigos JEL: L86, L96, O31, O47

Palabras clave: infraestructura de datos, computación en la nube, economía digital

<http://www.iadb.org>

Copyright © 2025 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons CC BY 3.0 IGO (<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/igo/legalcode>). Se deberá cumplir los términos y condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo reconocimiento al BID.

En alcance a la sección 8 de la licencia indicada, cualquier mediación relacionada con disputas que surjan bajo esta licencia será llevada a cabo de conformidad con el Reglamento de Mediación de la OMPI. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil (CNUDMI). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Nótese que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

Las opiniones expresadas en esta obra son exclusivamente de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del BID, de su Directorio Ejecutivo ni de los países que representa.



# EL IMPACTO SOCIOECONÓMICO DE LA INFRAESTRUCTURA DE DATOS

Preparado para el Banco  
Interamericano de Desarrollo  
por: Raúl Katz y Juan Jung  
Coordinadores del estudio:  
Pau Puig Gabarró y  
Enrique Iglesias Rodríguez



### Resumen

El objetivo de esta publicación es evaluar el impacto socioeconómico del desarrollo de la infraestructura de datos, concebida como los componentes necesarios, su almacenamiento, manipulación y utilización. Para capturar las diversas interrelaciones entre la infraestructura de datos y las variables socioeconómicas, se han estructurado dos modelos econométricos de ecuaciones simultáneas. Los resultados indican que el despliegue de una nueva zona de nube pública (*cloud*) contribuye en un 1,024% al producto interno bruto (PIB) y, además, aumenta la innovación en un 1,292%, medida por las solicitudes de patentamiento, genera un incremento del 0,695% en salarios, y una reducción de la tasa de desempleo en torno al 0,312%. Por otra parte, el despliegue de un centro de datos está asociado con un incremento del PIB del 0,088%, un aumento de la innovación en un 0,111%, un incremento de los salarios en un 0,060%, y una reducción del desempleo en un 0,027%. Finalmente, el despliegue de 10.000 servidores se puede vincular con un crecimiento del PIB del 0,041%, mientras que sus efectos en la innovación, salarios y desempleo serán del 0,052%, del 0,028% y del -0,012%, respectivamente. En términos agregados, los efectos económicos asociados con el despliegue de la infraestructura de datos son ampliamente positivos, por lo que es necesario que los gobiernos implementen políticas públicas y de marco regulatorio que estimulen su desarrollo.

## Índice

<b>Acerca de los autores</b> .....	<b>iii</b>
<b>Resumen ejecutivo</b> .....	<b>v</b>
<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Revisión de literatura de investigación</b> .....	<b>3</b>
1.1. Impacto económico de la banda ancha.....	3
1.2. Impacto económico de la computación en la nube.....	10
1.3. Implicancias de la literatura de investigación para la definición del marco teórico del estudio.....	17
<b>2. Marco teórico y modelos econométricos</b> .....	<b>18</b>
2.1. Modelo de impacto de la infraestructura de datos en el PIB .....	18
2.2. Modelo de impacto del PIB en indicadores socioeconómicos.....	20
<b>3. Base de datos utilizada en el estudio</b> .....	<b>24</b>
<b>4. Análisis exploratorio</b> .....	<b>30</b>
<b>5. Resultados de los modelos econométricos</b> .....	<b>34</b>
5.1. Resultados del modelo de impacto de la infraestructura de datos en el PIB .....	34
5.2. Resultados del modelo de impacto del PIB en indicadores socioeconómicos.....	37
<b>6. Interpretación de los resultados</b> .....	<b>40</b>
6.1. Identificación de efectos directos e indirectos.....	40
6.2. Simulación de impacto del despliegue de una nueva zona cloud .....	42
6.3. Simulación de impacto del despliegue de un nuevo centro de datos .....	45
6.4. Simulación de impacto del despliegue de 10.000 nuevos servidores .....	46
<b>7. Análisis de robustez</b> .....	<b>49</b>
<b>8. Conclusiones</b> .....	<b>56</b>
<b>Referencias</b> .....	<b>60</b>
<b>Anexos</b> .....	<b>65</b>
<b>Anexo 1. Países incluidos en la muestra</b> .....	<b>65</b>
<b>Anexo 2. Modelo de efectos derivados del PIB estimado por MCO con efectos fijos</b> .....	<b>66</b>

## Acerca de los autores

■ **Raúl Katz.** PhD en Ciencias Políticas y Administración de Empresas, MS en Tecnologías y Políticas de Comunicaciones, Instituto Tecnológico de Massachusetts (Estados Unidos), Maestría y Licenciatura en Ciencias de la Comunicación, Universidad de París (Francia), Maestría en Ciencias Políticas, Universidad de París-Sorbona. El Dr. Katz trabajó 20 años en Booz Allen & Hamilton, donde se desempeñó como socio líder de la Práctica de Telecomunicaciones en las Américas y miembro del equipo de dirección de la firma. Al retirarse de Booz Allen, fundó Telecom Advisory Services LLC en abril del 2006. Además de presidente de Telecom Advisory Services, el Dr. Katz es director de Investigación de Estrategia de Negocios en el Columbia Institute for Tele-Information del Columbia Business School (Nueva York), y profesor visitante en el Programa de Gestión de Telecomunicaciones de la Universidad de San Andrés (Argentina).

■ **Juan Jung.** PhD y Maestría en Economía, Universidad de Barcelona, Licenciatura en Economía, Universidad de la República (Uruguay). Especializado en econometría y análisis estadístico de las telecomunicaciones. Además de economista senior de Telecom Advisory Services LLC, el Dr. Jung es profesor de economía en la Universidad Pontificia Comillas de Madrid. Antes de incorporarse a Telecom Advisory Services LLC, el Dr. Jung fue director de Políticas Públicas en la Asociación Interamericana de Telecomunicaciones y director del Centro de Estudios de Telecomunicaciones de América Latina.

**Telecom Advisory Services LLC** ([www.teleadvs.com](http://www.teleadvs.com)) es una firma de consultoría con personalidad jurídica registrada en el estado de Nueva York (Estados Unidos) con presencia física en Buenos Aires, Bogotá, Madrid, Nueva York y Quito. Fundada en 2006, la firma ofrece servicios de asesoría y consultoría a nivel internacional, y se especializa en particular en el desarrollo de estrategias de negocios y políticas públicas en los sectores de telecomunicaciones y digital. Sus clientes incluyen operadores de telecomunicaciones, fabricantes de equipamiento electrónico, plataformas de internet, desarrolladores de *software*, así como los gobiernos y reguladores de Alemania, Argentina, Colombia, Costa Rica, Ecuador, México y Perú, entre otros. Asimismo, la firma ha realizado numerosos estudios de impacto económico y planeamiento de tecnologías digitales para la GSMA, la NCTA (Estados Unidos), Giga Europe, la CTIA (Estados Unidos), la Dynamic Spectrum Alliance y la Wi-Fi Alliance. En el ámbito de las organizaciones internacionales, la firma ha trabajado con la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), el Banco Mundial, el Banco Interamericano de Desarrollo, la Corporación Andina de Fomento, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe, y el Foro Económico Mundial.

## **Acerca de los coordinadores del estudio**

■ **Pau Puig Gabarró.** Licenciatura y Maestría en Ingeniería de Telecomunicaciones, así como un Posgrado en Gestión de Empresas y un Máster en Administración Internacional de Empresas. Desde 2016 trabaja en el Banco Interamericano de Desarrollo como Especialista en Telecomunicaciones, apoyando gobiernos de América Latina y el Caribe a reformar políticas públicas en tecnologías digitales y a planificar y ejecutar inversiones en infraestructura de telecomunicaciones.

■ **Enrique Iglesias.** Especialista en Telecomunicaciones, División de Conectividad, Mercados y Finanzas del Banco Interamericano de Desarrollo. Sus funciones se basan en el apoyo a los Gobiernos de Latinoamérica y el Caribe para desarrollar las agendas de banda ancha y economía digital a través de mecanismos de asistencia técnica y operaciones de financiación. Previamente ejerció como consultor en estrategia y operaciones basado en Madrid donde tuvo la oportunidad de prestar servicios a las principales firmas de Telecomunicaciones en Europa y Latinoamérica. Enrique es Ingeniero Superior de Telecomunicaciones por la Universidad Autónoma de Madrid y cuenta con una Maestría en Banca y Mercados Financieros por la Universidad Carlos III de Madrid.

## Resumen ejecutivo

El objetivo general de esta publicación es evaluar el impacto socioeconómico del desarrollo de la infraestructura de datos en un país. La infraestructura de datos se concibe como los componentes necesarios para respaldar la economía digital a través del almacenamiento, manipulación y utilización de datos. Entre sus componentes principales se incluyen a: (i) los centros de datos (*data centers*) instalados por empresas y organismos gubernamentales para apoyarlos en el procesamiento de datos, (ii) los grandes centros de datos construidos por proveedores de nube pública para ofrecer servicios de almacenamiento y procesamiento de datos, así como aplicaciones a empresas y gobiernos, y (iii) los servidores (tanto aquellos usados por organizaciones públicas y privadas para apoyar el procesamiento de sus datos, como los desplegados para ser utilizados por plataformas digitales y servicios de internet).

Con el objetivo de capturar las interrelaciones y complementariedades entre los componentes de la infraestructura de datos, el marco teórico de esta publicación se basa en la formalización de múltiples efectos directos e indirectos entre la infraestructura de datos, sus condicionantes y la economía:

- La infraestructura de datos (que incluye los centros de cómputo de proveedores de servicios de la nube, el número de centros de datos de todo tipo y los servidores de internet seguros) depende de aspectos regulatorios (tanto en lo que respecta a regulación de datos como a políticas de ciberseguridad), del acceso a electricidad y del ancho de banda internacional del país.
- A su vez, la infraestructura de datos estimula el desarrollo de industrias digitales (empresas que ofrecen servicios más allá de conectividad, como aquellas que brindan soluciones de grandes bases de datos (*big data*) o de internet de las cosas [IoT, por sus siglas en inglés]), para las que será más atractivo instalarse en países con mejores condiciones para el almacenamiento y procesamiento de datos.
- Asimismo, estas industrias digitales también podrán depender del nivel de desarrollo de infraestructuras de datos de los países vecinos, que en muchas ocasiones actúan como centros (*hubs*) regionales.
- Un mayor desarrollo de las industrias digitales locales genera un impacto directo en el producto interno bruto (PIB), a la vez que incentiva la adopción de tales servicios en la población, lo que produce efectos de derrame en la economía.
- El desarrollo de la infraestructura de datos incentiva el despliegue de redes de transporte de banda ancha para tales datos, y viceversa: cuando las redes de banda ancha son más desarrolladas, se estimula el despliegue de la infraestructura de datos.

- Finalmente, el estímulo de las redes de banda ancha en la adopción de internet y de servicios digitales genera el derrame en el PIB.

Para capturar estas múltiples relaciones, se han estructurado dos modelos de ecuaciones simultáneas. A partir de los resultados de ambos modelos del impacto de la infraestructura de datos en el PIB, se confirman los siguientes efectos:

- Un marco regulatorio avanzado para controlar la ciberseguridad y la industria de datos (por ejemplo, reglas de localización y almacenamiento de datos) contribuye a un mayor desarrollo de la infraestructura de datos.
- De igual forma, mayor cobertura de electricidad y mayor ancho de banda internacional se vinculan positivamente con el desarrollo de la infraestructura de datos.
- Por otra parte, a mayor desarrollo de la infraestructura de datos, mayor es el desarrollo de la infraestructura de banda ancha (y viceversa), lo que confirma la interdependencia entre ambos tipos de infraestructuras.
- Una mejor regulación de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) impacta positivamente en el desarrollo de infraestructura de banda ancha.
- En cuanto a las industrias digitales, estas dependen positivamente del desarrollo de la infraestructura de datos,
- En todos los casos la infraestructura de datos de países vecinos es crucial para el desarrollo de las industrias digitales, e incluso genera un impacto superior al de la infraestructura local. La relevancia del efecto de infraestructura de datos de países vecinos destaca el importante rol de los grandes *hubs* regionales de este tipo de infraestructuras, lo que sugiere a su vez que las regulaciones tendientes a obligar la localización de datos en el territorio local no son convenientes en este contexto.
- La adopción de banda ancha depende positivamente del desarrollo de la infraestructura de banda ancha, como es de esperar. Ello se debe a que, a mayor cobertura, hay más posibilidad de aumentar la penetración (más usuarios para conectar) y, por otra parte, a mayor velocidad de redes, resulta más atractivo el servicio para los usuarios, lo que incrementa su demanda. El nivel de ingresos influye positivamente en la adopción (dado que la banda ancha es un bien normal, no inferior), mientras que los precios influyen negativamente, como es esperable acorde a la ley de la demanda.
- Por su parte, la adopción de herramientas digitales se ve positivamente influenciada por la adopción de banda ancha. Asimismo, a mayor desarrollo de las industrias digitales a nivel local, mayor será su adopción por parte de la población. La adopción digital también depende positivamente del nivel de ingresos y del nivel de habilidades de la población, como era de esperar.

Los resultados de estos efectos permiten formalizar impactos en cadena directos e indirectos que vinculan el desarrollo de la infraestructura de datos a variables socioeconómicas. Siguiendo este procedimiento, se pueden identificar cuatro “rutas” de efectos indirectos que van desde infraestructura de datos hasta el PIB (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Construcción de efectos indirectos**

Ruta	Relación	Efecto
Ruta 1	Infraestructura de datos → Infraestructura de BA → Adopción de BA → PIB	0,070
Ruta 2	Infraestructura de datos → Infraestructura de BA → Adopción de BA → Adopción digital → PIB	0,003
Ruta 3	Infraestructura de datos → Industrias digitales → Adopción digital → PIB	0,024
Ruta 4	Infraestructura de datos → Industrias digitales → PIB	0,081

Fuente: Telecom Advisory Services.

Nota: BA: banda ancha

En cuanto al modelo de efectos socioeconómicos derivados en las restantes variables socioeconómicas, estos se pueden resumir como:

- La innovación depende positivamente del PIB, lo cual implica que un crecimiento del PIB (por ejemplo, inducido por el desarrollo de la infraestructura de datos) redundará en una mayor actividad innovadora. El crecimiento del 1% del PIB redundará en un incremento en las solicitudes de patentes per cápita de un 0,75%. Asimismo, los resultados para las variables digitales sugieren un impacto directo positivo de la adopción de banda ancha en la innovación
- Los salarios también se verán beneficiados por el crecimiento del PIB. Un 1% de incremento en el PIB genera que los salarios crezcan un 0,68% en promedio.
- Finalmente, la tasa de desempleo se verá reducida por el crecimiento del PIB. Un 1% de crecimiento del PIB generará una reducción en la tasa de desempleo en torno al 0,7%.

Una vez identificados los efectos directos e indirectos, se han simulado escenarios hipotéticos para poder cuantificar los efectos de los cambios en la infraestructura de datos:

- El despliegue de una nueva zona de nube pública (*cloud*) contribuye en un 1,024% al PIB y, además, aumenta la innovación en un 1,292%, medida por las solicitudes de patentamiento, genera un aumento del 0,695% en salarios, y una reducción de la tasa de desempleo en torno al 0,312%.
- El despliegue de un centro de datos está asociado con un incremento del PIB del 0,088%. Asimismo, aumenta la innovación en un 0,111%, medida por las solicitudes de patentamiento, y genera un aumento de 0,060% en salarios. El impacto en el desempleo es negativo (-0,027%).
- El despliegue de 10.000 servidores se puede vincular con un crecimiento del PIB del 0,041% (un impacto mucho menor que los otros dos componentes de la

infraestructura de datos). Sus efectos en la innovación, salarios y desempleo serán del 0,052%, del 0,028% y del -0,012%, respectivamente.

En términos agregados, los efectos económicos asociados con el despliegue de la infraestructura de datos son ampliamente positivos, lo que implica la necesidad de los gobiernos de implementar políticas públicas y de marco regulatorio que estimulen su desarrollo.

## Introducción

El objetivo general de esta publicación es evaluar el impacto socioeconómico del desarrollo de la infraestructura de datos en un país. La infraestructura de datos se concibe como los componentes necesarios para apoyar la economía digital a través del almacenamiento, manipulación y utilización de datos. Entre sus componentes principales se incluyen: (i) los centros de datos (*data centers*) instalados por empresas y organismos gubernamentales para apoyarlos en el procesamiento de datos, (ii) los grandes centros de datos construidos por proveedores de nube pública para ofrecer servicios de almacenamiento y procesamiento de datos, así como aplicaciones a empresas y gobiernos, y (iii) los servidores (tanto aquellos usados por organizaciones públicas y privadas para apoyar el procesamiento de sus datos, como los desplegados para ser utilizados por plataformas digitales y servicios de internet).

La hipótesis central de esta publicación plantea que una infraestructura de datos avanzada estimula el desarrollo de la digitalización de un país, lo que da como resultado una contribución social y económica significativa en múltiples dimensiones, como el crecimiento del producto interno bruto (PIB), la productividad laboral, la creación de empleo, el desarrollo de industrias digitales y la actividad innovadora.

Si bien los estudios empíricos realizados a la fecha confirman el impacto positivo de las tecnologías digitales en la economía (en particular, de la banda ancha o la computación en la nube) de manera independiente, la evidencia es aún escasa en torno a la comprensión de cómo la combinación de todos los componentes de la infraestructura de datos contribuye sistemáticamente al desarrollo socioeconómico. Por ejemplo, como se demostrará en el capítulo 1, la investigación sobre la contribución de la banda ancha al PIB ya ha producido evidencia significativa en las últimas dos décadas. De manera similar, también se ha demostrado que la provisión de servicios de nube pública en combinación con redes de banda ancha impulsa el crecimiento del PIB y de la productividad laboral. Sin embargo, hasta el momento no existe ninguna investigación que aborde el impacto socioeconómico de la infraestructura de datos concebida como la combinación de los componentes arriba mencionados. De manera similar, si bien los estudios de impacto económico hasta ahora se han centrado en el crecimiento del PIB y la productividad laboral, hay menos evidencia en áreas como la creación de empleo, el desarrollo de industrias digitales y la dinámica de la innovación. En este contexto, esta publicación es innovadora en la medida en que evalúa los efectos socioeconómicos de la combinación de tecnologías en el marco del concepto de la infraestructura de datos (mediante el análisis de sus interacciones y complementariedades) y aborda los efectos en una variedad de dimensiones económicas.

Los restantes capítulos de la publicación están organizados de la siguiente manera. El capítulo 1 sintetiza la revisión de la literatura en torno al rol de las diferentes tecnologías de la infraestructura de datos como soporte de la economía digital. El capítulo 2 propone modelos para estimar la asociación de la infraestructura de datos con otras variables vinculadas al desarrollo digital y, a través de ella, generar un impacto sobre diversas variables socioeconómicas. El capítulo 3 expone la base de datos construida para la estimación empírica del modelo econométrico. El capítulo 4 presenta un análisis descriptivo-exploratorio de carácter preliminar y las principales correlaciones entre las variables de interés. El capítulo 5 introduce los resultados de los modelos econométricos mientras que el capítulo 6 detalla la interpretación de los resultados de forma de simular el impacto concreto asociado al despliegue adicional de alguno de los componentes de la infraestructura de datos. Por último, el capítulo 7 presenta las conclusiones del estudio. Finalmente, se incluyen las referencias bibliográficas y dos anexos metodológicos.

# 1. Revisión de literatura de investigación

La investigación sobre el impacto socioeconómico de las tecnologías digitales se inició en la última década del siglo XX con estudios enfocados en la contribución de la banda ancha al producto interno bruto (PIB). Una parte importante de esa investigación se realizó con datos de los Estados Unidos, debido a que los primeros despliegues de redes ocurrieron en ese país y, sobre todo, dada la amplia disponibilidad de bases de datos. A partir del siglo XXI, la disponibilidad de series históricas más extensas en otras economías avanzadas e incluso en países en desarrollo ha permitido extender el análisis al resto del mundo, y ha cubierto no solo la banda ancha fija sino también la móvil.

En el curso de los primeros años del siglo XXI, la investigación se extendió al estudio del impacto de otros componentes de la infraestructura de datos, en particular la provisión de servicios de la nube. En este caso, la investigación se llevó adelante inicialmente a nivel global, aunque con un énfasis microeconómico, a fin de explorar la contribución de la computación al desempeño de empresas. En el último lustro, los esfuerzos analíticos se extendieron al análisis del impacto macroeconómico de los servicios en la nube.

Este capítulo presenta la literatura de investigación sobre el impacto económico de ambas tecnologías, resalta la evidencia generada hasta el momento e identifica las áreas de estudio todavía no cubiertas. Esto permite enmarcar los objetivos del presente estudio.

## ***1.1. Impacto económico de la banda ancha***

El impacto económico de la banda ancha se ha enfocado principalmente en su contribución al crecimiento del PIB, aunque en ciertos casos también ha generado evidencia en términos de su contribución al empleo e incremento de la productividad. Además de medir el impacto económico agregado a nivel macroeconómico, la investigación también se ha centrado en los procesos específicos que subyacen a este efecto. Más concretamente, (i) ¿cuál es la relación entre el crecimiento de la adopción de banda ancha y su impacto económico? y (ii) ¿puede precisarse un umbral de saturación más allá del cual se registran rendimientos decrecientes a la adopción de la tecnología? Una segunda cuestión conexas que es particularmente pertinente para la formulación de políticas es la siguiente: si se ha comprobado que las tecnologías digitales tienen un impacto en la economía, ¿podría el patrón de impacto variar en cada una de ellas? Por ejemplo, ¿cuál es el efecto comparado de la banda ancha fija versus la móvil? O, de manera relacionada, ¿cuál es la interrelación entre adopción de banda ancha y el desarrollo de servicios de computación en la nube?

En este sentido, una cuestión crítica de la evolución de la investigación sobre las externalidades de las redes de banda ancha es el patrón de impacto que los niveles de penetración de la misma pueden tener en la producción. Por ejemplo, ¿existe una relación

lineal entre la adopción de la banda ancha y el crecimiento económico, en la que una mayor penetración produce un mayor impacto? ¿O se está en presencia de efectos causales no lineales más complejos, como los rendimientos crecientes a escala y/o retornos decrecientes debido a la saturación?

El cuerpo teórico de los rendimientos crecientes a escala, también llamado estudios de masa crítica (Roller y Waverman, 2001; Shiu y Lam, 2008; Koutroumpis, 2009), indica que el impacto de la banda ancha en el crecimiento económico solo puede llegar a ser significativo una vez que la adopción de la tecnología alcance altos niveles de penetración, con lo cual el impacto económico aumenta con la penetración. Por otro lado, algunos autores (Atkinson, Castro y Ezell, 2009; Czernich et al., 2011; Gillett, Lehr, Osorio et al., 2006) han planteado la cuestión de que, en un determinado momento del proceso de difusión de la banda ancha, surgen efectos decrecientes debido a la saturación de la tecnología. De acuerdo con este segundo cuerpo teórico, los primeros usuarios son propensos a aprovechar los beneficios económicos de la tecnología, mientras que los adoptantes tardíos no registran un efecto tan alto. En otras palabras, mientras que algunos investigadores han planteado la cuestión del retorno a escala o la necesidad de los países de alcanzar una masa crítica para maximizar el impacto, otros han hecho hincapié en los rendimientos decrecientes como efectos clave que deben tenerse en cuenta en la evaluación del impacto económico de las telecomunicaciones. La evidencia de ambos efectos será destacada a continuación, en la revisión de las investigaciones en los Estados Unidos y otras regiones del mundo.

### *Estudios del impacto económico de la banda ancha en los Estados Unidos*

Lehr, Osorio, Gillett et al. (2006) fueron los primeros autores en estudiar el impacto de la banda ancha en diversas variables económicas en las áreas de códigos postales y estados de los Estados Unidos. Mediante la utilización de un análisis de regresión y de estimadores de emparejamiento, los autores encontraron un efecto positivo de la banda ancha en el empleo, en el número de empresas y en el valor de los bienes raíces. Sin embargo, estos autores no identificaron un efecto significativo sobre los salarios. Al mismo tiempo, los investigadores reconocieron que la endogeneidad en modelos econométricos era una preocupación, por lo que sugirieron que los trabajos futuros debían basarse en técnicas de variables instrumentales para un mejor control de los posibles problemas derivados de las variables omitidas y la causalidad inversa. A raíz de este estudio, Crandall, Lehr y Litan (2007) aportaron evidencia sobre la contribución económica de la banda ancha en una muestra de 48 estados de los Estados Unidos, y destacaron que la creciente adopción de la tecnología estimuló el crecimiento del empleo y del producto bruto entre 2003 y 2005, aunque el efecto positivo solo fue significativo en las industrias de servicios. Los autores argumentaron que el hecho de que la banda ancha se encontrara en una etapa temprana del ciclo de vida de difusión podría haber impedido una medición precisa de su impacto general en el crecimiento. La contribución económica limitada de la banda ancha en este estudio

también podría explicarse por la falta de control de la endogeneidad en los modelos econométricos.

Es en este contexto que, desde principios de la década de 2010, la mayoría de las investigaciones sobre el impacto económico de la banda ancha han intentado resolver los problemas metodológicos. Por ejemplo, Kandilov y Renkow (2010) utilizaron un enfoque de diferencias en diferencias combinado con una estrategia de emparejamiento para analizar el efecto de un programa de despliegue de banda ancha en zonas rurales de los Estados Unidos. Estos autores concluyeron que, entre 2002 y 2003, la tecnología aún no había tenido un impacto significativo en el desarrollo económico (medido por el aumento en el nivel de empleo, en el ingreso y en el número de empresas), posiblemente porque no había transcurrido el tiempo suficiente para que se materializase el impacto. Sin embargo, un análisis más desglosado espacialmente reveló un impacto económico positivo de la banda ancha rural en las comunidades situadas en la cercanía de las zonas urbanas.

La comparación del desempeño económico de geografías con diferentes niveles de despliegue de banda ancha, pero controlando por otras características y utilizando el enfoque de emparejamiento, ha sido la estrategia empírica seguida para estimar un vínculo causal en los estudios de Whitacre, Gallardo y Strover (2014) y Ford (2018). El primer estudio utilizó datos de condados de los Estados Unidos entre 2001 y 2010, y concluyó que el ingreso medio de los hogares, el empleo y el número de empresas aumentaron más rápidamente en los condados con mayor adopción de banda ancha, a la vez que se redujo el desempleo. Adicionalmente, los resultados del estudio sugirieron que una mayor velocidad de descarga estaba asociada con menor pobreza y empleos más creativos. A su vez, Ford (2018) también se centró en los efectos económicos locales del aumento de la velocidad de banda ancha, aunque sus resultados fueron menos positivos. A partir de datos a nivel de condado de los Estados Unidos para el período 2013-15, su estudio demostró que el servicio de banda ancha no se distribuyó aleatoriamente en el territorio, lo que podría dar lugar a conclusiones ficticias sobre su impacto económico. Una vez que se controlaron las diferencias por las características observadas entre los condados, el estudio concluyó que no hubo un efecto significativo de la mayor velocidad de banda ancha en los resultados económicos, incluidos los empleos, los ingresos y los ingresos personales totales.

Otros estudios recientes realizados para los Estados Unidos a nivel subnacional también se han ocupado de la endogeneidad del indicador de banda ancha. Estos incluyeron controles de las diferencias en las características observadas y no observadas (por efectos fijos) de las unidades espaciales analizadas para minimizar la preocupación por el sesgo de las variables omitidas. Adicionalmente, algunos de estos estudios utilizaron variables instrumentales para abordar el problema potencial de la causalidad inversa. Por ejemplo, Forman, Goldfarb y Greenstein (2012) emplearon el costo de la implementación de internet, las conexiones locales a redes legadas como la telefonía fija y un indicador de la demanda, para identificar un efecto causal positivo de las inversiones en tecnologías

avanzadas de internet sobre los salarios y el empleo en los condados de los Estados Unidos entre 1995 y 2000. Asimismo, los autores observaron una contribución positiva solo para un número reducido de condados, caracterizados por el uso intensivo de tecnologías de información (TI), altas habilidades digitales, ingresos y densidad de población. Del mismo modo, Kolko (2010) evaluó el impacto de la disponibilidad de banda ancha en el empleo de los condados utilizando una variable instrumental basada en la pendiente media de la geografía local como instrumento. Los resultados de esta investigación sugieren un efecto causal positivo de la banda ancha sobre el empleo, aunque el autor reconoció que las estimaciones podrían estar sesgadas al alza. Mack y Rey (2014) mostraron que la disponibilidad de banda ancha en 2004 estimuló el número de empresas intensivas en el uso de información en los condados de 49 de las 54 áreas metropolitanas de los Estados Unidos. Los autores combinaron técnicas para tratar la dependencia espacial con una variable instrumental que utilizó los valores rezagados del indicador de banda ancha y la densidad de hogares del condado.

De manera similar, Mack y Faggian (2013) desarrollaron una serie de modelos econométricos espaciales que examinaron el vínculo entre la provisión de banda ancha y la productividad de los condados de los Estados Unidos. Los modelos desarrollados también evaluaron la variabilidad en el impacto de la banda ancha en relación con la calidad del capital humano. Los resultados en este caso sugieren que, en general, la banda ancha tiene un impacto positivo en la productividad solo en territorios con altos niveles de capital humano y/u ocupaciones altamente calificadas. Otros estudios sugieren que la disponibilidad de banda ancha de alta velocidad es un determinante importante de la ubicación de empresas en áreas rurales (Mack, 2014).

De esta manera, las investigaciones recientes han comenzado a aportar pruebas de una contribución positiva de la banda ancha de alta velocidad. Mediante el uso de un panel de condados en el estado de Tennessee, Lobo, Rafayet y Whitacre (2020) encontraron que las tasas de desempleo son más bajas en los condados donde hay servicios de mayor velocidad disponibles (por encima de 100 Mbps) y que los efectos son mayores en los condados rurales. Utilizando una estrategia de datos de panel similar, Deller, Whitacre y Conroy (2021) descubrieron que la disponibilidad de banda ancha generalmente impulsa la formación de nuevas empresas en los condados no metropolitanos de los Estados Unidos, y que el efecto aumenta con velocidades de banda ancha más rápidas (por encima de 50 Mbps). De manera similar, Katz y Jung (2022) estudiaron la contribución al PIB estadual a partir del crecimiento acelerado del despliegue de la banda ancha y de la velocidad de descarga entre los años 2010 y 2020, y verificaron que este proceso contribuyó en un 10,9% del crecimiento económico acumulado de este período.

En general, la revisión de la literatura sobre el impacto económico de la banda ancha en los Estados Unidos lleva a concluir que la evidencia del efecto causal de la banda ancha en el desempeño económico a nivel agregado y en las unidades espaciales subnacionales

muestra resultados que tienden a variar según la geografía, aunque la contribución parece ser mayor en períodos recientes, como es de esperar de acuerdo a la teoría del retorno a la escala mencionada anteriormente (Cuadro 1.1).

**Cuadro 1.1. Resumen de la evidencia de investigaciones del impacto económico de la banda ancha en los Estados Unidos**

Período	Investigación	Período	Impacto económico de la banda ancha
1995-05	Lehr, Osorio, Gillett et al. (2006)	2000-02	Efecto positivo sobre el empleo, el número de empresas y el valor de las propiedades No hay un efecto significativo sobre los salarios.
	Crandall, Lehr y Litan (2007)	2003-05	Efecto positivo sobre la producción y el empleo únicamente en las industrias de servicios.
	Kandilov y Renkow (2010)	2002-03	No hay un efecto significativo en el desarrollo económico de las zonas rurales (medido por el empleo, la nómina y el número de establecimientos comerciales).
	Kolko (2012)	1999-06	Efecto positivo sobre el empleo, aunque las estimaciones podrían estar sesgadas al alza.
	Mack y Rey (2014)	2004	La disponibilidad de banda ancha en los condados estimuló el número de empresas intensivas en conocimientos.
	Forman, Goldfarb y Greenstein (2012)	1995-2000	Efecto positivo de la inversión en internet sobre los salarios y el empleo solo para un número reducido de condados caracterizados por el uso intensivo de TI y altas calificaciones, ingresos y densidad de población
2000-10	Whitacre, Gallardo y Strover (2014)	2001-10	La mediana de los ingresos de los hogares, el empleo y el número de empresas aumentaron más rápidamente en los condados con mayor adopción de banda ancha y menor desempleo. Una mayor velocidad de descarga se asocia con menos pobreza y más empleo en la clase creativa.
	Mack y Faggian (2013)	2000-07	Impacto positivo en la productividad solo en territorios con altos niveles de capital humano y/o ocupaciones altamente calificadas.
	Mack (2014)	2010	La disponibilidad de banda ancha de alta velocidad es un determinante importante de la localización de las empresas rurales.
2010-20	Ford (2018)	2013-15	No hay un efecto significativo de una mayor velocidad de banda ancha en los resultados económicos, incluidos los empleos, los ingresos y los ingresos personales totales.
	Lobo, Rafayet y Whitacre (2020)	2011-15	Las tasas de desempleo son más bajas en los condados donde hay disponibles servicios de mayor velocidad (por encima de 100 Mbps), y los efectos son mayores en los condados rurales.
	Deller, Whitacre y Conroy (2021)	2014	La disponibilidad de banda ancha generalmente impulsa la formación de nuevas empresas en los condados no metropolitanos de los Estados Unidos, y el efecto aumenta con velocidades de banda ancha más rápidas (por encima de 50 Mbps).
	Katz y Jung (2022)	2010-2020	El desarrollo de la banda ancha fija entre 2010 y 2020 contribuyó en un 10,9% del crecimiento acumulado del período mientras que el aumento de velocidad representó el 11,5%

Fuente: Compilación de Telecom Advisory Services.

### *Estudios del impacto económico de la banda ancha en otras regiones del mundo*

La contribución económica de la banda ancha también se ha estudiado en otras regiones del mundo. Por ejemplo, Czernich, Falck, Kretschmer et al. (2011) analizaron el impacto de la banda ancha fija en 25 países de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) entre 1996 y 2007.<sup>1</sup> Sus resultados indicaron que un crecimiento del 10% en la penetración de la banda ancha elevó el crecimiento del PIB per cápita entre 0,9 y 1,5 puntos porcentuales. Los autores también identificaron que, más allá de un cierto nivel de adopción, la contribución económica de la banda ancha fija tiende a disminuir. Esta evidencia confirmaría la teoría de la difusión de innovaciones que establece que los primeros en adoptar tecnologías son generalmente aquellos que pueden obtener los mayores rendimientos de una innovación determinada. De esta manera, las externalidades tenderían a disminuir con el tiempo porque esos efectos no serían tan fuertes para los adoptantes tardíos. En esa línea, Gillett, Lehr, Osorio et al. (2006) argumentaron al inicio de su investigación sobre la contribución de la banda ancha que la relación entre su penetración y el impacto económico no es lineal "porque la banda ancha será adoptada (...) primero por aquellos que obtienen el mayor beneficio (mientras que) los adoptantes tardíos (...) obtendrán un beneficio menor" (p. 10).

Koutroumpis (2009) intentó validar el concepto opuesto a la saturación: la teoría de retornos a escala, al tiempo que abordó la endogeneidad implícita entre variables con base en ecuaciones simultáneas. Su análisis abarcó 22 países de la OCDE para el período 2002-07. En este caso, los resultados indican que existe una contribución estadísticamente significativa de la banda ancha al crecimiento del PIB: un aumento de la penetración de la banda ancha del 1% produce un aumento del 0,025% en el crecimiento económico. Al mismo tiempo, el autor determinó que para los países de la OCDE la contribución de la banda ancha al crecimiento económico aumentaba con la penetración. De acuerdo con la investigación de Koutroumpis, en los países con baja penetración de banda ancha (menos del 20%), un aumento del 1% en la adopción de la banda ancha contribuyó al 0,008% del crecimiento del PIB, mientras que en los países con penetración media (entre el 20% y el 30%), el efecto es del 0,014% y en los países con una penetración superior al 30%, el impacto de la adopción del 1% llega al 0,023%. Katz (2012) confirmaron el retorno a escala en un estudio del impacto económico de la banda ancha fija en los condados de Alemania. En este caso, los autores dividieron el panel de datos entre condados con alta penetración de banda ancha fija (31% en promedio) y baja (24,8% en promedio) y encontraron que el

---

<sup>1</sup> Para hacer frente a los posibles problemas de endogeneidad (control de los posibles sesgos de los países más ricos para invertir más en banda ancha), los autores se basaron en dos variables instrumentales para medir el impacto de la adopción de la banda ancha: las infraestructuras telefónicas y de cable preexistentes.

coeficiente de impacto económico fue positivo y mayor en los condados con alta penetración.

En un análisis transversal que incluyó países desarrollados y emergentes, Qiang y Rossotto (2009) del Banco Mundial aplicaron el modelo endógeno de avance tecnológico de Waverman, Meschi y Fuss (2005) a un panel de datos de 1980 a 2006. Los resultados indicaron que, en el caso de los países de ingresos per cápita altos, cada punto porcentual de penetración de la banda ancha produjo 0,121 puntos porcentuales adicionales de crecimiento del PIB, mientras que, en las economías de ingresos bajos y medianos, 1 punto porcentual de penetración de la banda ancha produjo un crecimiento económico adicional de 0,138.<sup>2</sup> Las implicancias de esta evidencia para los países en desarrollo son significativas. Si las economías emergentes no se esfuerzan por aumentar drásticamente su adopción de la banda ancha, el impacto económico de la tecnología será limitado.

En el caso de la banda ancha móvil, el coeficiente de impacto global en el PIB del estudio del 2024 es de 2,11% como resultado de un incremento del 10% en la adopción. Sin embargo, el impacto es superior en países con menor nivel de desarrollo económico (2,60% resultante de un aumento en la penetración del 10%) en comparación con los países de desarrollo medio (coeficiente de 1,85%) y superior (coeficiente de 1,70%), lo que confirma la presencia de retornos decrecientes en banda ancha móvil. Los resultados comparados de los estudios relevados se presentan en el Cuadro 1.2.

**Cuadro 1.2. Resumen de la evidencia de investigaciones del impacto económico de la banda ancha en otras regiones del mundo**

País	Estudio	Datos	Efectos
OCDE	Czernich, Falck, Kretschmer et al. (2011)	25 países de la OCDE entre 1996 y 2007	La adopción de la banda ancha eleva el crecimiento del PIB per cápita entre 0,9 y 1,5 puntos porcentuales.
	Koutroumpis (2009)	2002-2007 para 22 países de la OCDE	Un aumento del 10% en la penetración de la banda ancha produce un incremento del 0,25% en el crecimiento económico.
Economías de altos ingresos	Qiang y Rossotto (2009)	1980-2002 para 66 países de ingresos altos	La penetración de la banda ancha del 10% generó 1,21 puntos porcentuales adicionales de crecimiento del PIB.
	Katz y Jung, (2021)	2010-2020 para 50 países con PIB per cápita superior a US\$22.000	La penetración de la banda ancha fija del 10% generó 1,25% adicional de crecimiento del PIB. La penetración de la banda ancha móvil del 10% produjo un crecimiento económico no significativo.
Economías de ingresos bajos y medianos	Qiang y Rossotto (2009)	1980-2002 para los 120 países restantes (ingresos bajos y medianos)	La penetración de la banda ancha fija del 10% produjo un crecimiento económico adicional del 1,25%.

<sup>2</sup> Sin embargo, la diferencia entre ambas cifras no era estadísticamente significativa.

País	Estudio	Datos	Efectos
	Katz y Jung, (2021)	2010-2020 para 26 países con PIB per cápita de entre US\$12.000 y US\$22.000 y 63 países con PIB cápita inferior a US\$12.000	La penetración de la banda ancha fija del 10% produjo un crecimiento económico adicional del 0,85% y efectos no significativos en los países de ingresos bajos. La penetración de la banda ancha móvil del 10% produjo un crecimiento económico adicional del 1,62% en los países de ingresos medios y del 2,04% en los países de ingresos bajos.

Fuente: Compilación de Telecom Advisory Services.

Como lo indica la información del Cuadro 1.2, la mayoría de los estudios realizados a nivel internacional concluyen que la penetración de la banda ancha tiene un impacto en el crecimiento del PIB. Sin embargo, se observa que esta contribución varía significativamente entre el 0,25% y el 1,38% por cada aumento del 10% de penetración.<sup>3</sup> Las explicaciones para esta diferencia son múltiples. Claramente, algunas de las discrepancias provienen del uso de diferentes paneles de datos, así como de las especificaciones del modelo. Sin embargo, en algunos casos las diferencias pueden deberse a divergencias metodológicas. Por un lado, a niveles muy altos de agregación de datos, como los datos de los países, los modelos econométricos no tienen en cuenta la gran discrepancia entre las regiones que son causadas por efectos fijos. Por ejemplo, una gran parte de la varianza en el estudio de Qiang y Rossotto (2009) se explica por variables omitidas para África y América Latina (casi 10 veces más que la estimación dada por Barro [1991] en la formulación original del modelo). Esto probablemente sugiere que el método preferido de análisis es realizar diferencias en diferencias. También justifica la necesidad de llevar a cabo el análisis en niveles más bajos de agregación, como los estados o departamentos, y cuando se dispone de datos, incluso los condados o los códigos postales.

## **1.2. Impacto económico de la computación en la nube**

Los servicios públicos de computación en la nube presentan la ventaja de que los usuarios pueden acceder a los recursos de computación (almacenamiento de datos, procesamiento, servidores) de acuerdo con sus necesidades. Cuando la computación en la nube no estaba disponible como servicio público, las empresas que requerían estos recursos tenían que construir sus propios centros de datos, adquirir el *hardware* y el *software* necesarios y contratar trabajadores calificados para su desarrollo y operaciones. Como resultado, muchas empresas, especialmente las pequeñas y medianas empresas (pymes) en los países en desarrollo, no podían acceder a los beneficios de esta tecnología.

<sup>3</sup> O del 0,36% si se aplica el supuesto estándar de que un aumento del 1% en la productividad o la eficiencia da como resultado un aumento del 1% en el PIB.

Con la disponibilidad comercial de los servicios en la nube, estas infraestructuras se volvieron accesibles para muchas empresas, especialmente para las micro, pequeñas y medianas empresas (mipymes). Adicionalmente, esta tecnología proporcionó un acceso conveniente a potentes recursos informáticos a un costo incremental mínimo (Marston, Li, Bandyopadhyay et al., 2011; Sheikholeslami y Navimipour, 2017; Khayer, Bao y Nguyen, 2020). De esta manera, al permitir a empresas el acceso inmediato a los servicios en la nube, en lugar de ocupar meses o años para construir su propia infraestructura, se redujeron las barreras de entrada al mercado.

La adopción de servicios de computación en la nube es crucial para el desarrollo de la economía digital. Los resultados de la investigación sobre el impacto económico de la computación en la nube llevada a cabo hasta el momento se han centrado principalmente en comprender el impacto de la nube pública en el desempeño de las empresas, aunque algunos estudios ya proporcionan evidencia sobre su contribución al crecimiento macroeconómico.

### *Beneficios microeconómicos de la computación en la nube*

La adopción de servicios de computación en la nube para una empresa puede agregar valor tanto a nivel estratégico como operativo, lo que aumenta los ingresos y minimiza los costos (Carcary, Doherty y Conway, 2014). Estos beneficios han sido identificados por algunos autores como: (i) mayor flexibilidad organizacional, (ii) mayores capacidades de TI y recursos compartidos, y (iii) entorno de colaboración, lo que permite a las empresas alcanzar un mejor rendimiento (Armbrust, Fox, Griffith et al., 2010; Chen y Wu, 2013; Wang, Liang, Jia et al., 2016; Chen, Guo y Shangguan, 2022). La flexibilidad en el acceso a los datos habilitados por la computación en la nube puede ser crucial para las empresas, no solo en términos de funciones descentralizadas específicas, sino también para facilitar el acceso remoto de trabajadores, lo que es particularmente importante en el mundo laboral híbrido de la actualidad. Finalmente, la computación en la nube puede impulsar la transformación de los departamentos de TI de las empresas, al trasladar su énfasis principal de las operaciones y el mantenimiento del centro de datos al apoyo empresarial, con lo que mejora la colaboración dentro y entre empresas, y facilita la innovación (McAfee, 2011; Berman, Kesterson-Townes, Marshall et al., 2012; Luo, Zhang, Bose et al., 2018; Chen, Guo y Shangguan, 2022). Como resultado de todos estos efectos, Berman, Kesterson-Townes, Marshall et al. (2012) consideran que la computación en la nube puede acelerar la competitividad de las empresas.

Frontier Economics (2022) también argumenta sobre el potencial de la nube pública para mejorar la resiliencia organizacional, mediante el respaldo de seguridad adicional, ofrecida a través de personal dedicado, y el soporte de infraestructura. Asimismo, las capacidades de respaldo de datos en la nube pueden brindar protección contra interrupciones causadas por eventos inesperados o amenazas de ciberdelincuencia. Además, la

computación en la nube puede ayudar a empresas a mejorar la eficiencia en la gestión en tecnologías informáticas debido al uso de recursos técnicos escalables (Marston, Li, Bandyopadhyay et al., 2011), lo que optimiza la eficiencia en el trabajo (Low, Chen y Wu, 2011) y aumenta la disponibilidad del servicio (Armbrust, Fox, Griffith et al., 2010). Finalmente, se espera que la computación en la nube incremente la agilidad empresarial, debido a la capacidad de implementar rápidamente la tecnología de computación masiva, de minimizar los costos de capital y de responder rápidamente a los cambios en el mercado (Oliveira et al., 2014). Los beneficios microeconómicos de la computación en la nube han sido clasificados según sus resultados en el corto, mediano y largo plazo (Cuadro 1.3).

**Cuadro 1.3. Beneficios de adoptar servicios de computación en la nube**

Resultados a corto plazo	Resultados a mediano plazo	Resultados a mediano plazo
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilidad para aumentar la escala.</li> <li>• Reducción de los costes fijos.</li> <li>• Mayor flexibilidad organizativa, incluido el intercambio de datos mejorado.</li> <li>• Aumento de la resiliencia organizacional.</li> <li>• Ciberseguridad.</li> <li>• Acceso a la arena de la herramienta de desarrollo.</li> <li>• Mantenimiento de <i>software</i>.</li> <li>• Actualizaciones periódicas y más oportunas de hardware e infraestructura.</li> <li>• Mayor utilización de servidores y mayor eficiencia energética de los centros de datos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor uso de soluciones digitales internas.</li> <li>• Mayor empleo de la analítica avanzada de datos.</li> <li>• Mejora de la experiencia del usuario de los servicios digitales existentes y ampliación de la oferta de servicios.</li> <li>• Mayor confianza en la ciberseguridad.</li> <li>• Mejora de la coordinación de los servicios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la eficiencia y la eficacia.</li> <li>• Mayor acceso a los servicios.</li> <li>• Incremento de la productividad.</li> <li>• Reducción de emisiones de carbono.</li> <li>• Menos emisiones por megabit de datos.</li> </ul>

Fuente: Frontier Economics (2022).

Sin embargo, el impacto de la computación en la nube para mejorar el desempeño de las empresas puede estar condicionado por ciertos factores internos. Como lo señalan Khayer, Bao y Nguyen (2020), el éxito en la migración a la nube en una empresa depende de la calidad de los sistemas de la compañía, de la capacidad de su departamento de TI y de los usuarios finales. Del mismo modo, algunos autores argumentan que la adopción de la computación en la nube requiere de la transformación organizacional interna de una firma para maximizar su impacto, incluyendo la capacitación de trabajadores (Armbrust, Fox, Griffith et al., 2010; Chen, Guo y Shangguan, 2022).

### *Investigación empírica sobre el impacto microeconómico de la computación en la nube*

La mayoría de los estudios empíricos sobre el impacto económico de la computación en la nube se han llevado a cabo a nivel de empresa y, en muchos casos, se han centrado en

sectores económicos específicos. Las variables seleccionadas para medir el desempeño de la empresa varían según el estudio, y en algunos casos pueden ser métricas de productividad, innovación u otras basadas en indicadores financieros.

Por ejemplo, Schniederjans y Hales (2016) se basan en la economía de los costos de transacción y examinan cómo la computación en la nube apoya la colaboración adecuada en la cadena de suministro y se asocia positivamente con el desempeño económico de las empresas. Los datos para este estudio se generaron a partir de 247 respuestas a encuestas realizadas a profesionales de TI y de la cadena de suministro y fueron analizados mediante modelos de ecuaciones estructurales. Los autores descubrieron que, con la interoperabilidad, la computación en la nube mejora positivamente la colaboración entre los participantes de la cadena de suministro e impulsa un rendimiento económico sostenible. Del mismo modo, Loukis, Janssen y Mintchev (2019) realizaron una encuesta a 102 empresas holandesas y concluyeron que los beneficios operativos e innovadores de las tecnologías de *software* como servicio (SaaS, por sus siglas en inglés) en la nube pueden tener un impacto positivo en el rendimiento empresarial, medido por la mejora de las operaciones y la tasa de innovación. Sin embargo, la contribución principal del estudio es establecer que la magnitud del impacto de la tecnología está determinada por la "capacidad de absorción" de la empresa, definida como la capacidad de una compañía para reconocer, adquirir e incorporar nuevos conocimientos útiles del entorno externo, y para realizar innovaciones valiosas en procesos, productos y servicios. Coincidentemente, Chou, Chen y Liu (2017) analizaron una muestra de 165 empresas de los sectores de TI, viajes, turismo, finanzas y banca en Taiwán, y encontraron una asociación positiva entre la adopción de la nube y la innovación en servicios. En particular, el estudio identificó los servicios en la nube como "plataformas tecnológicas efectivas para que una empresa y sus socios comerciales integren y compartan información, conocimiento y experiencia para la innovación de servicios". Bolwin, Ewald, Kempermann et al. (2022) realizaron una encuesta a gran escala a 1.504 empresas en Alemania con el objetivo de cuantificar el impacto de la computación en la nube de Amazon Web Services (AWS) en el rendimiento empresarial. Al extrapolar los resultados de la encuesta a la población general de empresas, los autores estiman que 1,25 millones de empresas en Alemania confían en la nube, lo que permite lograr un crecimiento del valor agregado de €11.200 millones mediante el uso de los servicios de AWS. Adicionalmente, como resultado del crecimiento del negocio, los servicios de computación en la nube proporcionados por AWS contribuyeron a un crecimiento del empleo del 16,9% entre 2020 y 2022.

En una línea similar, otros autores se han centrado en analizar cuáles son los factores necesarios que potencian el impacto de la nube a nivel de empresa. Por ejemplo, Garrison, Wakefield y Kim (2015) estudiaron una encuesta de 302 empresas coreanas con base en modelos de ecuaciones estructurales y encontraron que las capacidades gerenciales, técnicas y relacionales de TI pueden ser factores que contribuyen positivamente al impacto

de la computación en la nube en el desempeño de las empresas. Sin embargo, la capacidad gerencial, definida como "la medida en que los gerentes de TI tienen las habilidades comerciales y técnicas necesarias para anticipar las tecnologías emergentes y aprovecharlas de manera efectiva en su incorporación en los procesos comerciales con los objetivos organizacionales", aparenta ejercer la mayor contribución.

A medida que se desarrollaron mejores paneles de datos, la investigación sobre el beneficio microeconómico de la computación en la nube se ha extendido también a los países en desarrollo. Por ejemplo, Kathuria, Mann, Khuntia et al. (2018) analizaron una encuesta realizada a 147 compañías indias y descubrieron que las empresas pueden capitalizar la computación en la nube para mejorar el rendimiento y proponer una vía estratégica de apropiación de valor para que los adoptantes mejoren su rendimiento empresarial. En particular, los autores destacaron la capacidad tecnológica y de integración de la nube, la capacidad de la cartera de servicios en la nube y la flexibilidad empresarial como facilitadores del impacto de la nube en el rendimiento de la empresa. A su vez, Dalenogare, Benitez, Ayala et al. (2018) analizaron el impacto de varios servicios digitales, incluida la computación en la nube, en algunas métricas de desempeño de las empresas para una muestra de empresas brasileñas (beneficios esperados de productos, operativos y efectos secundarios), y encontraron un vínculo positivo. Por último, a partir de modelos de ecuaciones estructurales, Khayer, Bao y Nguyen (2020) encontraron un impacto positivo de un constructo de computación en la nube en un constructo de rendimiento empresarial para una muestra de empresas chinas durante el período 2018-19. En particular, los autores argumentaron sobre la relevancia de los factores externos, como la satisfacción del usuario final, que contribuyen al desempeño de la empresa.

A escala mundial, Chen, Guo y Shangguan (2022) estimaron para una muestra mundial de empresas durante el período 2010-16 el vínculo entre la computación en la nube y algunas métricas de rendimiento a nivel de empresa (como el retorno a activos y la variable Q de Tobin<sup>4</sup>). El estudio abordó tres preguntas clave: (i) ¿Puede la computación en la nube, como modelo innovador de entrega de TI, afectar el desempeño de la empresa?; (ii) ¿Cuál es la magnitud del impacto a corto y largo plazo de la adopción de servicios en la nube en el desempeño de las empresas?; y (iii) ¿Puede la computación en la nube tener un impacto en el rendimiento de empresas con características diferentes? Los autores abordaron estas cuestiones utilizando técnicas econométricas de diferencia en diferencias, y encontraron una relación positiva: las empresas que adoptan la computación en la nube mejoraron significativamente su rentabilidad y el valor de mercado, medidos tanto por el retorno a activos como por la variable Q de Tobin, respectivamente. Adicionalmente, los autores identificaron diferencias en el impacto del rendimiento de la computación en la nube según

---

<sup>4</sup> La variable Q de Tobin, también conocida como relación Q, se calcula dividiendo el valor de mercado de una empresa por el coste de reposición de sus activos.

el tipo de industria y el tamaño de la empresa. Las empresas manufactureras ganan más en rentabilidad después de adoptar la computación en la nube que las empresas de servicios, mientras que el efecto de la computación en la nube sobre el valor de mercado es significativamente mayor para las empresas de servicios que para las manufactureras. Por último, las pequeñas empresas logran una mayor mejoría en la rentabilidad que las grandes empresas, mientras que estas obtienen un valor de mercado significativamente mayor que las pequeñas.

### *Impacto macroeconómico agregado de la computación en la nube*

Si bien la mayoría de las investigaciones empíricas sobre el impacto económico de la computación en la nube se realizó con datos a nivel de empresa para industrias y países específicos, algunos estudios han analizado los efectos a un nivel macroeconómico. Una contribución relevante es la de Gal, Nicoletti, Renault et al. (2019), quienes estimaron el impacto de la computación en la nube (entre otras tecnologías) en el crecimiento de la productividad multifactorial<sup>5</sup> para una muestra de 20 países europeos. Para hacerlo, utilizaron una combinación de datos a nivel de empresa y a nivel de industria, procedentes de Eurostat y de la base de datos Orbis, y los aplicaron a un enfoque de crecimiento neoschumpeteriano que vincula la innovación y la difusión de la tecnología. Los resultados del estudio sugieren que un aumento de 10 puntos porcentuales en la adopción de la computación en la nube se traduciría en un incremento de la productividad multifactorial de 0,9 puntos porcentuales. Los autores encontraron que las ganancias de productividad son más fuertes para las empresas de alta productividad, lo que indicaría que la adopción de computación en la nube en una industria contribuye a la creciente dispersión de la productividad entre las empresas. Un resultado interesante de este estudio es que la computación en la nube genera el mayor impacto en el rendimiento de la productividad en las empresas más pequeñas, las que pueden reducir los costos fijos de inversión en centros de cómputo; es decir, es una forma de adquirir "escala sin masa", según los autores.

Los resultados generados por Gal, Nicoletti, Renault et al. (2019) fueron utilizados posteriormente en otros estudios para destacar el vínculo entre la computación en la nube y la productividad. Es el caso del documento de política pública de Sorbe, Gal, Nicoletti et al. (2019). Con base en el efecto diferencial de la computación en la nube (entre varias tecnologías digitales) en la productividad de las empresas estimada en Gal, Nicoletti, Renault et al. (2019), los autores plantean varias recomendaciones de política pública para mejorar la digitalización de las empresas menos productivas. Sin embargo, las recomendaciones son genéricas y se refieren a la regulación y las limitaciones financieras para empresas en desarrollo.

---

<sup>5</sup> La productividad multifactorial es una métrica de desempeño económico que compara la cantidad de producción con la cantidad de insumos combinados, los cuales incluyen mano de obra, capital, energía, materiales y servicios adquiridos.

Del mismo modo, Frontier Economics (2022) utilizó un enfoque basado en los resultados de Gal, Nicoletti, Renault et al. (2019) para establecer que un aumento del 10% en la adopción de la nube en el sector público irlandés podría generar beneficios de productividad del orden de los €473 millones solo en el primer año después de la adopción. Su estimación asume que el efecto de productividad va a ser la mitad (0,45%) del estimado por Gal, Nicoletti, Renault et al. (2019). Al multiplicar el crecimiento de la productividad por las ventas de las empresas, los autores calculan el beneficio económico citado anteriormente.

Más allá del impacto en la productividad, existe una cuantificación limitada de los efectos agregados sobre variables como el PIB a nivel nacional. Una de las razones de la escasa investigación es que la computación en la nube constituye un insumo intermedio para la producción del sector y, como tal, no se mide en las cuentas nacionales ni en las matrices de insumo/producto. Sin embargo, las estimaciones se realizaron teniendo en cuenta el impacto de la inversión en la nube en la producción general del sector. Por ejemplo, se estima que la inversión de AWS en Indonesia entre 2022 y 2037 (US\$5.000 millones) generará US\$11.000 millones en gastos de construcción, mano de obra, materiales, *software* especializado y personal, así como valor adicional para el sector de la información del país.<sup>6</sup>

A su vez, PWC (2021) estudió los efectos de la computación en la nube sobre la productividad en Indonesia, aplicando una metodología basada en Yusuf (2020). Su investigación utiliza un modelo de equilibrio general y le aplica cambios en la productividad laboral específicos del sector, con lo que representa el efecto de los nuevos cambios tecnológicos en la economía. En general, el autor estima que el beneficio de productividad acumulado para la economía de Indonesia de la adopción de la nube será de US\$10.700 millones durante el período 2021-25.

En los últimos años, Katz y Jung han realizado numerosos estudios analizando la contribución macroeconómica de la computación en la nube en diferentes geografías: países del Medio Oriente y África del Norte (Katz y Jung, 2023a), África subsahariana (Katz y Jung, 2023b), Asia Pacífico (Katz y Jung, 2023c, 2024), países de la OCDE (2023d), Israel (Katz, Jung y Goldman, 2024) y Reino Unido (Katz y Jung, 2024). Estos estudios destacan la interrelación entre la banda ancha fija y la computación en la nube en tanto componentes de la infraestructura digital. De hecho, en estos estudios los autores analizaron la complementariedad entre la computación en la nube y la banda ancha (Katz y Jung, 2023b, 2023c, 2023d), mientras que otros estudiaron la complementariedad con los macrodatos (*big data*) y el aprendizaje automático (*machine learning*) (Katz y Jung, 2024). Principalmente, en todas las investigaciones se aportan pruebas empíricas de la

---

<sup>6</sup> Este análisis se llevó a cabo utilizando las tablas de insumo-producto del país proporcionadas por Statistics Indonesia (Estudio de impacto económico de AWS: *Inversión de AWS en Indonesia*, 2021).

contribución de la tecnología de banda ancha fija para estimular el desarrollo de la computación en la nube, dado que la banda ancha representa un habilitador crítico para la adopción de la nube. De esta manera, el impacto económico de la computación en la nube depende no solamente de la adopción de dichos servicios sino también de la penetración de banda ancha fija. Los modelos usados son de tipo estructural, en los que se combinan múltiples ecuaciones simultáneas y se incorpora la adopción de ambas tecnologías como términos en las funciones de producción, oferta y demanda.

### ***1.3. Implicancias de la literatura de investigación para la definición del marco teórico del estudio***

Las investigaciones citadas hasta el momento coinciden en fundamentar el impacto económico de dos componentes de la infraestructura de datos: banda ancha y computación en la nube. Sin embargo, no han abordado otros componentes, como los centros de cómputo de tipo general, lo que incluye especialmente aquellos instalados al interior de organizaciones públicas (gobierno) o privadas (empresas) para apoyar sus necesidades de procesamiento de datos.

Asimismo, con la excepción de los últimos estudios realizados por Katz y Jung, no existe literatura que aborde la implícita complementariedad entre tecnologías que componen la infraestructura digital. La complementariedad tecnológica se define como tecnologías que trabajan juntas para potenciar o mejorar sus respectivos rendimientos o funcionalidades. Según la definición de Pattee (1978), la complementariedad se define como dos componentes que requieren "un modo de implementación separado que es formalmente incompatible e irreductible al otro (pero) donde un modo de descripción por sí solo no proporciona un poder explicativo completo". La historia de la innovación tecnológica ofrece numerosos ejemplos históricos de complementariedad tecnológica (a veces denominada interdependencia) (Dosi, Pavitt y Soete, 1990; Schmookler, 1966; Rosenberg, 1976). De esta manera, la presente publicación intenta formalizar la interrelación y complementariedad entre tecnologías para generar externalidades de la infraestructura de datos. Asimismo, se incluyen otros componentes de la infraestructura de datos y se aborda el impacto de manera agregada, a partir de la complementariedad de diferentes tecnologías.

## 2. Marco teórico y modelos econométricos

Con el objetivo de capturar las interrelaciones y complementariedades entre los componentes de la infraestructura de datos, el marco teórico del estudio está basado en la formalización de múltiples efectos directos e indirectos entre esta y la economía, así como sus condicionantes:

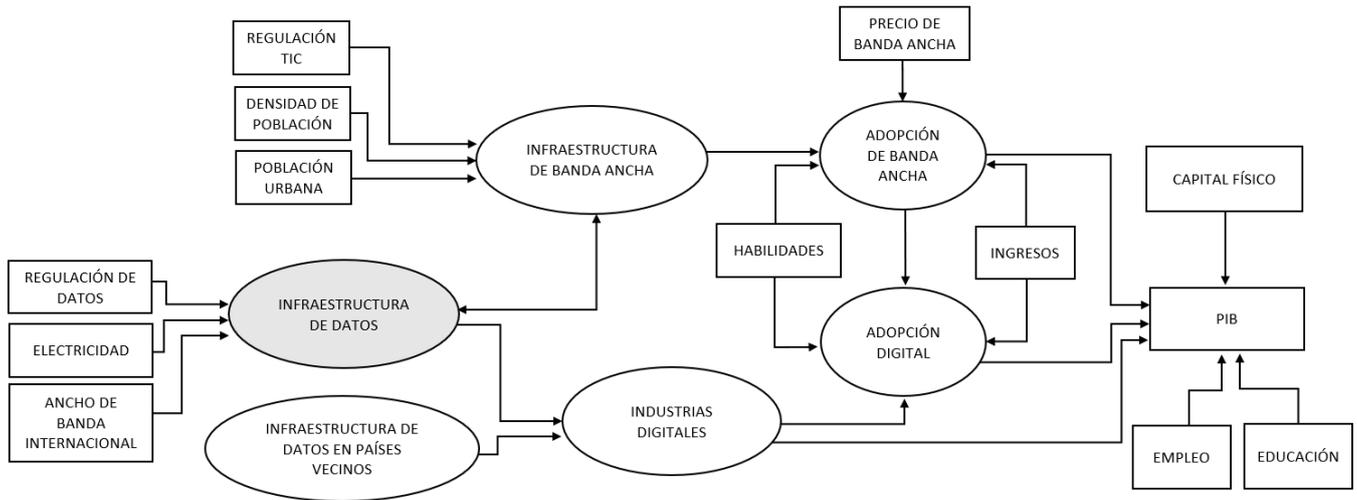
- La infraestructura de datos (que incluye los centros de cómputo de proveedores de servicios de la nube, los centros de datos de todo tipo y los servidores de internet seguros) depende de aspectos regulatorios (tanto en lo que respecta a regulación de datos como a políticas de ciberseguridad), del acceso a electricidad y del ancho de banda internacional del país.
- A su vez, la infraestructura de datos estimula el desarrollo de industrias digitales (compañías que ofrecen servicios más allá de conectividad, como empresas de soluciones de *big data* o de internet de las cosas [IoT, por sus siglas en inglés]), para las que será más atractivo instalarse en países con mejores condiciones para el almacenamiento y tratamiento de datos.
- A su vez, estas industrias digitales también podrán depender del nivel de desarrollo de infraestructuras de datos de los países vecinos, que en muchas ocasiones actúan como centros (*hubs*) regionales.
- El desarrollo de la infraestructura de datos incentiva el despliegue de redes de transporte de banda ancha para tales datos, y viceversa: cuando las redes de banda ancha son más desarrolladas, se estimula el despliegue de infraestructura de datos.
- Con el estímulo de las redes de banda ancha en la adopción de servicios digitales se genera el derrame en el PIB y en otras variables socioeconómicas como la productividad y el empleo.

Para capturar estas múltiples relaciones, se han estructurado dos modelos de ecuaciones simultáneas.

### **2.1. Modelo de impacto de la infraestructura de datos en el PIB**

El Gráfico 2.1 describe las relaciones causales del modelo propuesto para estimar el impacto económico de la infraestructura de datos.

**Gráfico 2.1. Rol de la infraestructura de datos en el ecosistema digital**



Fuente: Telecom Advisory Services.

En relación con los determinantes del desarrollo de infraestructura de datos, se considera que esta depende de aspectos regulatorios, del acceso a electricidad (debido a que este tipo de infraestructuras hace uso intensivo de este recurso)<sup>7</sup> y del ancho de banda internacional del país como condición necesaria para la instalación de centros de datos que puedan servir más allá de las fronteras nacionales.

Hacia adelante, se espera que la infraestructura de datos estimule el desarrollo de industrias digitales, para las que será más atractivo instalarse en países con mejores condiciones para el almacenamiento y tratamiento de datos. Por industrias digitales se entiende, por ejemplo, empresas que ofrecen servicios que van más allá de la conectividad, como las que comercializan soluciones de *big data* o de IoT. A su vez, estas industrias digitales también podrán depender del nivel de desarrollo de las infraestructuras de datos de los países vecinos, que en muchas ocasiones actúan como *hubs* regionales, por ejemplo, en lo que respecta a la infraestructura de computación en la nube. Los grandes centros de datos de proveedores de servicios de nube se establecen típicamente en un país para servir a una región completa, y se apalancan en las ventajas asociadas a las economías de escala que ello genera.

Por su parte, se asume que entre la infraestructura de datos y la infraestructura de banda ancha puede existir una relación bidireccional. Ello implica que el desarrollo de la infraestructura de datos incentiva el despliegue de redes de transporte para tales datos, y viceversa: cuando las redes de banda ancha son más desarrolladas, se estimula el despliegue de infraestructura de datos. Por su parte, el desarrollo de la infraestructura de banda ancha

<sup>7</sup> Para controlar por disponibilidad y facilidad de acceso a la electricidad sería deseable incluir el precio de la electricidad como regresor. Dado que los datos de esta variable son insuficientes, se ha optado por introducir en el modelo empírico un indicador de cobertura.

depende de la regulación sectorial de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) y de otros factores, como densidad de población o nivel de urbanización.<sup>8</sup>

A continuación, se estima que la adopción de servicios de banda ancha y de otras herramientas digitales depende, respectivamente, del nivel de desarrollo de la infraestructura de banda ancha y de la presencia de industrias digitales que ofrecen servicios a nivel local. En ambos casos, se asume que la adopción dependerá de las habilidades de los ciudadanos (medida por la tasa de matriculación en educación terciaria) y de los ingresos, por lo que se espera que, a mayor valor de estos factores, sea más alta la adopción de banda ancha y servicios digitales. Ello se debe a que la educación y las habilidades digitales son un elemento esencial para hacer uso de, y por lo tanto demandar, este tipo de tecnologías. Por otra parte, ni la banda ancha ni los servicios digitales pueden considerarse bienes inferiores, por lo que es esperable que, a mayores niveles de ingresos, se incremente su demanda. Por otro lado, en el modelo se han incorporado los precios de banda ancha como determinantes de su adopción (a mayores precios se espera menor adopción por la ley de la demanda), y se ha asumido que la adopción de banda ancha determina la adopción de otros servicios digitales, por ser una condición necesaria para ello. En ese sentido, un incremento en la adopción de banda ancha debería facilitar una mayor adopción de otros servicios digitales conexos.

A su vez, un mayor nivel de adopción de banda ancha y de otras herramientas digitales debería contribuir al crecimiento del PIB, debido a los derrames (*spillovers*) que la digitalización genera en la economía. Ello se materializa a través de las mejoras en materia de productividad y eficiencia generadas por la digitalización, ampliamente documentadas en la literatura. Por otra parte, a mayor cantidad de industrias digitales, se asume mayor impacto económico. Asimismo, al stock de capital físico, se añaden el nivel de empleo y la educación promedio de los ciudadanos como controles adicionales para explicar las variaciones en el PIB, de manera de incorporar los factores de producción tradicionales que suelen modelarse en las funciones de producción de modelos macroeconómicos.

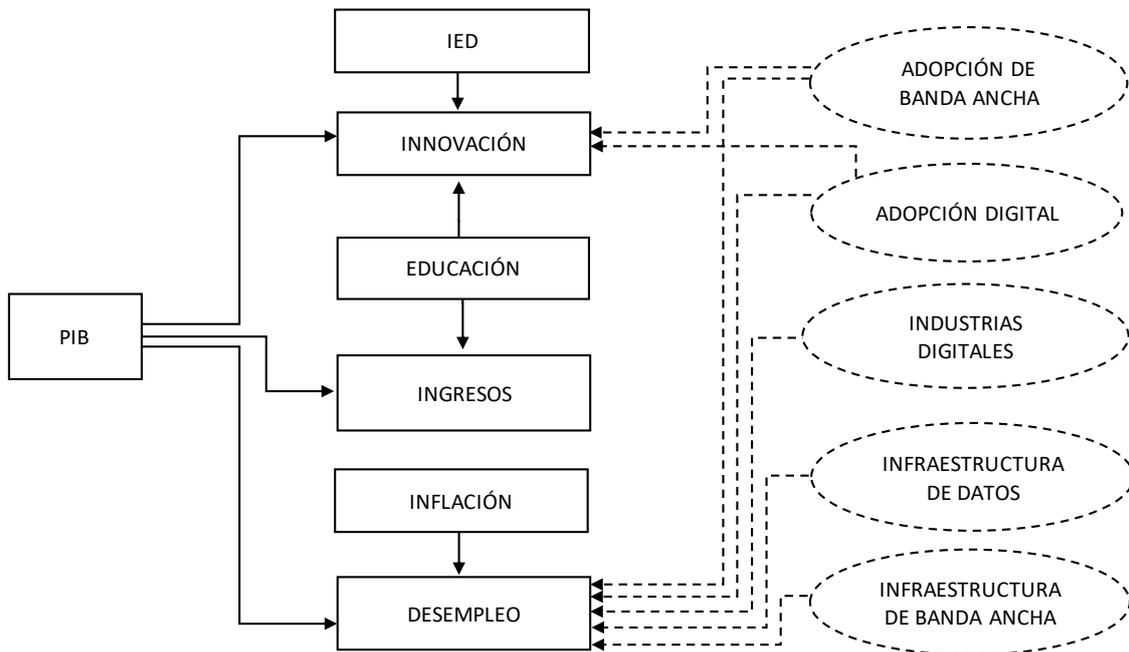
## ***2.2. Modelo de impacto del PIB en indicadores socioeconómicos***

En cuanto al efecto del PIB hacia delante, el crecimiento económico inducido por la mayor adopción de banda ancha y de servicios digitales del modelo precedente deberá generar otra serie de efectos inducidos en indicadores socioeconómicos, por ejemplo, en materia de innovación, salarios y empleo, como se detalla en el Gráfico 2.2.

---

<sup>8</sup> Naturalmente, es de esperar que las diferencias por país en los niveles de desarrollo de infraestructura de banda ancha y de datos se expliquen también por diferencias en el poder adquisitivo. Tales efectos son capturados en el modelo empírico a través de la inclusión de efectos fijos por país.

**Gráfico 2.2. Impacto del PIB en indicadores socioeconómicos**



Fuente: Telecom Advisory Services.

En primer lugar, el crecimiento del PIB debería redundar en un incremento de la actividad innovadora, debido al mayor dinamismo económico y a la mayor cantidad de recursos disponibles. A su vez, en el modelo se asume que la actividad innovadora depende también del nivel educativo de la población adulta y de los niveles de inversión extranjera directa (IED) entrantes, como suele identificarse en la literatura especializada. Asimismo, se evalúa en qué medida existe un vínculo directo entre la adopción de banda ancha y de servicios digitales en la innovación, más allá del que se materializa a través de un mayor PIB. Por ello, en líneas punteadas se añaden estos vínculos a la derecha del Gráfico 2.2.

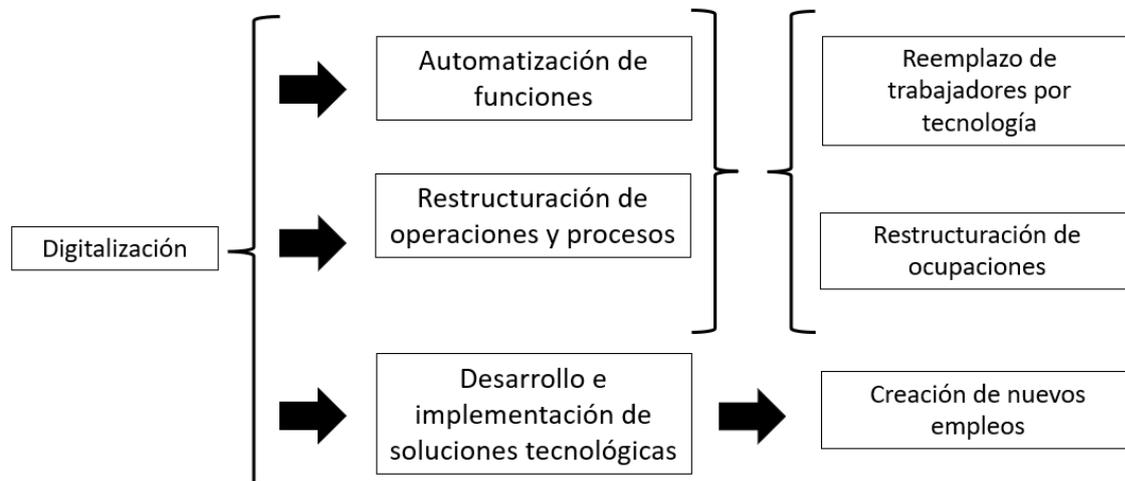
En segundo lugar, el crecimiento de PIB deberá redundar en un incremento salarial para los trabajadores, el cual a su vez también dependerá de los niveles educativos de la población. Esto se debe a que, a mayor producción, y por ende ingresos económicos, mayores retribuciones para los factores de producción, y el trabajo es uno de ellos. Finalmente, se espera que el crecimiento del PIB genere una reducción en el desempleo, que se asume dependerá también del nivel de inflación, como sugiere la literatura asociada a la Curva de Phillips.

En este último caso, en el modelo también se han añadido potenciales efectos directos desde las variables digitales hacia el desempleo, debido a la amplia literatura existente en torno al potencial impacto de la digitalización en el empleo.

En este sentido, diversos autores han argumentado la existencia potencial tanto de efectos positivos como negativos de la digitalización en el empleo, sin estar claro a priori

cuál de ellos prevalece sobre el otro. Los diferentes efectos pueden sintetizarse en el Gráfico 2.3.

**Gráfico 2.3. Impacto de la digitalización en el empleo**



Fuente: Telecom Advisory Services.

En ciertos casos, el análisis se ha enfocado en la desaparición de fuentes de trabajo debido a la automatización tecnológica y la restructuración de empleos a partir de la transformación digital del tejido productivo. La literatura asociada busca entender las dinámicas de estos cambios, para lo cual se enfoca en cómo diferentes grupos sociales están siendo afectados de manera desigual por estas tendencias. Típicamente, el análisis de la destrucción de empleo suele realizarse a través de metodologías que se basan en el estudio de ocupaciones o de las tareas asociadas a las mismas.

El análisis ocupacional se basa en la estimación de las probabilidades de impacto tecnológico en ocupaciones. Este análisis consiste en identificar las ocupaciones basadas en tareas repetitivas y rutinarias que pueden reemplazarse por plataformas y algoritmos. Una vez identificadas estas ocupaciones, se asigna una probabilidad de automatización a cada una (Frey y Osborne, 2017 y 2023). De acuerdo con el análisis de tareas, la automatización tiene un efecto en tareas discretas y no en la ocupación que las contiene. Este tipo de enfoque se apoya en la estimación de probabilidades subjetivas de automatización de tareas. De esta manera, la desaparición de empleo depende del porcentaje de tareas susceptibles de ser automatizadas en cada ocupación. Autores que han profundizado en esta literatura incluyen, por ejemplo, a Arntz, Gregory y Zierahn (2016), Nedelkoska y Quintini (2018), Espíndola y Suarez (2023), y Katz, Callorda y Jung (2021).

Asimismo, existen impactos positivos en el empleo de acuerdo con diversos autores. Por ejemplo, el efecto de capitalización se registra cuando el crecimiento económico impulsado por la adopción tecnológica aumenta la tasa del retorno del capital generado por la creación de empleo, lo que reduce la tasa de desempleo (Aghion y Howitt, 1994). Por

su parte, la automatización de tareas lleva a los trabajadores a modificar el perfil de sus tareas, por lo que se mueven de aquellas automatizadas a aquellas que son complementarias con la tecnología, como el monitoreo del desempeño de máquinas (Spitz-Omer, 2006; Autor y Dorn, 2013; Acemoglu y Restrepo, 2015). Asimismo, el desarrollo de industrias digitales estimula la creación de empleos en el sector de TIC destinados a desarrollar tecnología (Atkinson, Castro y Ezell, 2009; Crandall, Lehr y Litan, 2007; Katz, 2012; Katz, Vaterlaus, Zenhäusern et al., 2010). Por otra parte, existe un efecto derivado del aumento de la competitividad. El incremento de la competitividad de una firma como resultado de la adopción tecnológica puede resultar en un crecimiento de su volumen de negocios, lo que requiere, a su vez, una mayor demanda de mano de obra. De manera similar, una reducción del costo de producción como resultado de la adopción de tecnologías puede implicar una reducción de precios y, como consecuencia, un aumento del volumen de ventas, lo que implica una mayor necesidad de trabajadores. La literatura asociada comprende a Graetz y Michaels (2015), Goos, Manning y Salomons (2014) y Gregory, Salomons y Zierahn (2015). Finalmente, existe un efecto inducido como resultado del aumento de la productividad. Mayor productividad como resultado de la adopción tecnológica puede resultar en un aumento de los ingresos de los trabajadores con el consiguiente impacto inducido en el consumo de bienes y servicios (McKinsey Global Institute, 2017).

Para poder maximizar la identificación de todos estos efectos, tanto los positivos como los negativos, como determinantes de la tasa de desempleo, en el Gráfico 2.2 se incorporaron la adopción tecnológica (de banda ancha y de servicios digitales), el desarrollo de industrias digitales y el despliegue de infraestructuras (de datos y de banda ancha).

### 3. Base de datos utilizada en el estudio

Para la estimación de los modelos descritos en el capítulo anterior, se ha construido un panel de datos que cubre 99 países a nivel mundial (véase en el Anexo 1 el detalle de los países incluidos) para el período 2010-2023, sin desmedro de la existencia de datos faltantes que limitan la inclusión de todas las observaciones en los modelos econométricos. El listado de variables se detalla en el Cuadro 3.1, junto con la descripción, fuente y estadísticos descriptivos básicos (media y desvío estándar).

Para construir las variables de infraestructura (de datos y de banda ancha), industrias digitales y adopción (de banda ancha y de herramientas digitales), se ha procedido al desarrollo de constructos utilizando análisis factorial, a través del análisis de componentes principales. Ello se debe a que no hay una única variable que capture completamente los respectivos grupos representados en el Gráfico 2.1, sino que, en cada caso, son diversos los indicadores que aportan información para ello. Los constructos constituyen variables latentes generadas a partir de dos o más variables observadas que cuentan con un importante grado de información en común en torno a la cuestión de interés.

En primer lugar, el constructo de infraestructura de datos está compuesto por tres variables: el número de zonas *cloud*<sup>9</sup> desplegadas por los grandes proveedores globales (también conocidos como *hyperscalers*), la cantidad de centros de datos de proveedores de servicios de computación en la nube y aquellos ubicados en empresas, y el número de servidores de internet seguros (en decenas de miles). Todas ellas aportan información valiosa que se vincula con el desarrollo de la infraestructura de datos. La métrica del alfa de Cronbach toma un valor de 0,55, lo que asegura una correcta confiabilidad de la escala, según argumentan Hair, Black, Babin et al. (2006).

Posteriormente, el constructo de infraestructura de banda ancha está conformado por una serie de indicadores que hacen al desarrollo de estas redes, tanto en materia de cobertura como de calidad, tanto para las redes fijas como para las móviles. El constructo está elaborado a partir de sendos indicadores de cobertura de las tecnologías 4G, 5G, y fibra hasta el hogar (FTTH, por sus siglas en inglés), así como de la velocidad media de redes móviles y fijas. El coeficiente alfa de Cronbach toma un valor de 0,88, lo que asegura una excelente confiabilidad de la escala.

Por su parte, el constructo de adopción de banda ancha está conformado por tres indicadores: (i) la penetración de banda ancha fija (como porcentaje de la población), (ii) la penetración de banda ancha móvil (usuarios únicos como porcentaje de la población) y (iii) la penetración de internet (usuarios de internet como porcentaje de la población). Las

---

<sup>9</sup> El concepto de zona *cloud* se refiere a una región geográfica donde un proveedor de servicios de computación en la nube ha instalado un centro de cómputo.

variables de este constructo se introducen en logaritmos. En este caso, el coeficiente alfa de Cronbach es de 0,75, por lo que la confiabilidad de la escala resulta muy buena.

En cuanto al constructo de industrias digitales, está compuesto por: (i) la cantidad de empresas de inteligencia artificial (IA), (ii) las empresas de *big data*, (iii) de IoT y (iv) de tecnología financiera (*fintech*), en cada caso, por cada millón de habitantes. El coeficiente alfa de Cronbach toma un valor de 0,89, lo que también asegura una excelente confiabilidad de la escala.

**Cuadro 3.1. Variables para el modelo empírico**

Grupo		Variable	Descripción	Fuente	Media	Desvío estándar
<b>Constructo infraestructura datos</b>	<b>de</b>	Zonas <i>cloud</i>	Cantidad de Zonas Cloud.	TeleGeography	2,090	10,133
		Centros de datos	Cantidad de data centers.	TeleGeography	34,420	123,116
		Servidores	Servidores de internet seguros (en decenas de miles)	Banco Mundial	27,265	237,211
<b>Constructo infraestructura banda ancha (BA)</b>	<b>de</b>	Cobertura 4G	Cobertura 4G (porcentaje de la población)	GSMA	53,224	41,566
		Cobertura 5G	Cobertura 5G (porcentaje de la población)	GSMA	4,157	15,839
		Cobertura FTTH	Cobertura FTTH (porcentaje de la población)	IDATE/OECD/TAS	24,178	31,259
		Velocidad BAF	Velocidad promedio banda ancha fija (BAF) (en Mbps)	Ookla	33,528	44,325
		Velocidad BAM	Velocidad promedio banda ancha móvil (BAM) (en Mbps)	Ookla	19,362	21,545
<b>Constructo adopción de BA</b>	<b>de</b>	Adopción BAF	Adopción de BAF (porcentaje de hogares).	UIT	0,523	0,423
		Adopción BAM	Adopción de usuarios únicos BAM (porcentaje de la población).	GSMA	0,416	0,223
		Penetración de internet	Usuarios de internet (porcentaje de la población).	UIT	0,588	0,281
<b>Constructo industrias digitales</b>	<b>de</b>	Empresas IA	Empresas de IA por millón de habitantes	Crunchbase	2,878	7,543
		Empresas Big Data	Empresas de <i>big data</i> por millón de habitantes	Crunchbase	1,432	3,541
		Empresas IoT	Empresas de IoT por millón de habitantes	Crunchbase	1,438	3,048
		Empresas Fintech	Empresas de fintech por millón de habitantes	Crunchbase	2,753	8,299
<b>Constructo adopción digital</b>	<b>de</b>	Adopción de IA	Usuarios de IA (porcentaje de la población)	Statista	1,058	3,016
		Adopción de IoT	Adopción de máquina a máquina (M2M) (porcentaje de la población)	GSMA	7,409	13,586
		Adopción de comercio electrónico	Ventas de comercio electrónico (porcentaje de comercio minorista)	Euromonitor	3,766	4,685
<b>Drivers infraestructura datos</b>	<b>de</b>	Regulación de datos	Índice de gobierno electrónico (e-Government)	Naciones Unidas	0,613	0,192
		Electricidad	Cobertura de electricidad (porcentaje de la población)	Banco Mundial	89,853	21,657
		Ancho de banda internacional	Ancho de banda internacional (en miles de Kbps)	UIT	161,148	759,039
<b>Drivers infraestructura BA</b>	<b>de</b>	Regulación de TIC	Régimen regulatorio según el índice de regulación de TIC ( <i>ICT Regularly Tracker</i> )	UIT	69,252	23,093

Grupo	Variable	Descripción	Fuente	Media	Desvío estándar
	Población urbana	Población residiendo en áreas urbanas (porcentaje de la población)	Banco Mundial	66,609	19,905
	Densidad de población	Población por kilómetro cuadrado (km <sup>2</sup> )	Banco Mundial	237,958	764,498
<b>Drivers de adopción de BA y digital</b>	Precio de BAF	Precio de BAF (porcentaje del ingreso interno nacional per cápita)	UIT	14,864	66,353
	Precio de BAM	Precio de BAM (porcentaje del ingreso interno nacional per cápita)	UIT	4,972	13,255
	Ingresos	Retribución nacional per cápita del factor trabajo	PWT / FMI	28.642,010	21.581,290
	Habilidades	Tasa de matriculación en educación terciaria	UNESCO	49,400	28,750
<b>Variables socioeconómicas</b>	PIB	PIB en millones de dólares constantes de 2017	PWT / FMI	1,008	2,687
	Capital	Stock de capital físico en millones de dólares constantes de 2017	PWT / FMI	4,239	10,628
	Empleo	Cantidad de trabajadores empleados (en millones)	Banco Mundial	26,083	84,496
	Educación	Años promedio de educación por habitante mayor de 25 años	UNESCO	9,205	3,351
	Inflación	Tasa de crecimiento de deflactor del PIB	FMI	0,012	0,090
	Desempleo	Tasa de desempleo (porcentaje de la fuerza laboral).	Banco Mundial	7,074	4,882
	Innovación	Solicitudes de patentes per cápita	Banco Mundial	20.527,720	115.999,900
	IED	IED (ingresos netos, porcentaje del PIB)	Banco Mundial	4,720	18,202

Fuente: Telecom Advisory Services.

Finalmente, el constructo de adopción digital está conformado por los niveles de penetración de comercio electrónico, de IA y de IoT. En el primer caso, se mide la penetración de comercio electrónico que corresponde a las ventas llevadas a cabo a través de este canal, medidas como porcentaje del total del comercio minorista. En el segundo caso, se miden los usuarios de IA como porcentaje de la población. En el caso de la penetración de IoT, se calcula según la cantidad de conexiones M2M con respecto a la población. El coeficiente alfa de Cronbach toma un valor de 0,61, lo que asegura una correcta confiabilidad de la escala.

Con respecto a las restantes variables, en primer lugar, se mencionan aquellas que se utilizarán como determinantes de la infraestructura de datos. Si bien no existe un indicador de regulación de datos específico, se utilizará como *proxy* el *e-Government Development Index* desarrollado por Naciones Unidas. Aunque se trata de un índice amplio que cubre una diversidad de aspectos, su construcción incluye subindicadores que se vinculan directamente con aspectos que hacen a la regulación de datos, como la privacidad y protección de datos, la identidad digital, la firma digital, la compartición e interoperabilidad de datos, la ciberseguridad y la política gubernamental de datos abiertos. En cuanto al indicador de acceso a electricidad, se utiliza al porcentaje de la población cubierta. Para controlar por disponibilidad y facilidad de acceso a la electricidad sería deseable incluir como regresor el precio de la electricidad, pero dado que los datos de esta variable son insuficientes, se ha optado por introducir en el modelo empírico un indicador de cobertura. Finalmente, se incluye el ancho de banda internacional como determinante de la infraestructura de datos, ya que se considera que los países para invertir en ello serán más atractivos cuanto mejor sea su conectividad internacional.

En cuanto a los determinantes del desarrollo de infraestructura de banda ancha, se toma, en primer lugar, el pilar de régimen regulatorio proveniente del índice de regulación de TIC de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), denominado *ICT Regulatory Tracker*. Este índice se construye sobre una serie de indicadores que reflejan en qué medida cada país se encuentra adoptando las mejores prácticas validadas de acuerdo con el simposio mundial de reguladores, convocado anualmente por la UIT. Se añaden asimismo el grado de urbanización (porcentaje de población que vive en áreas urbanas) y densidad de población (población por km<sup>2</sup>). Cabe mencionar que otros aspectos relevantes, como los topográficos, serán capturados por los efectos fijos de país.

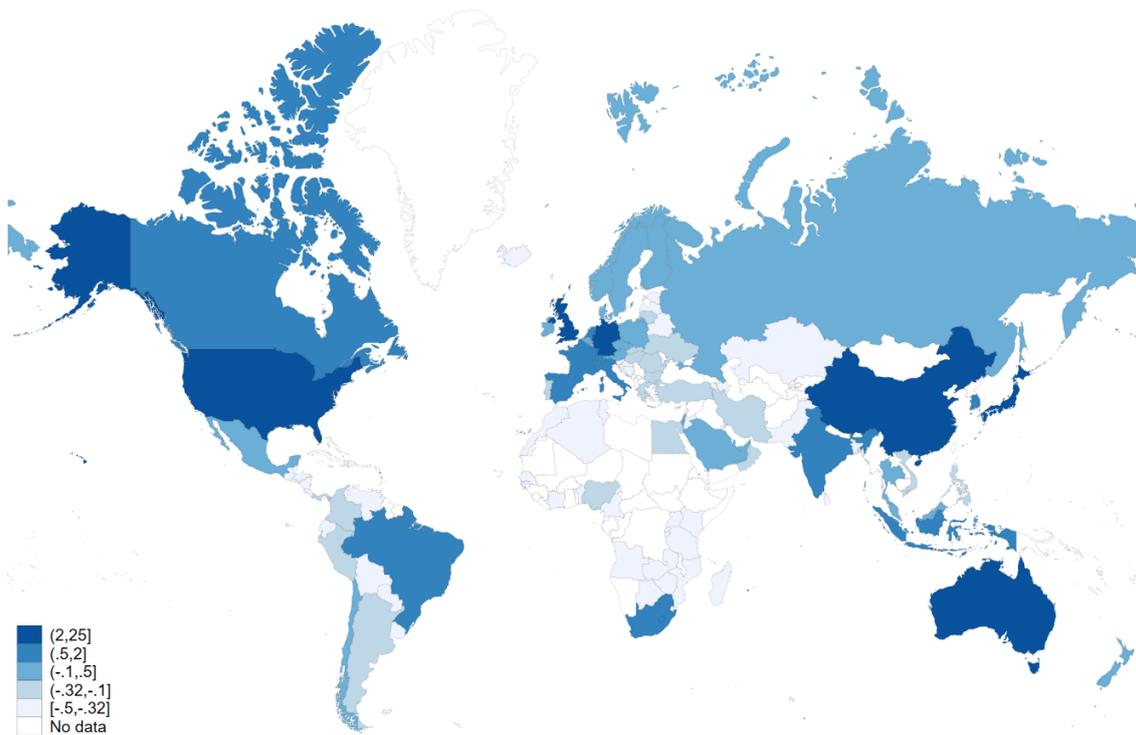
Como determinantes de adopción de digital y de banda ancha, se incorporan los ingresos y el nivel de habilidades de la ciudadanía, medido por la tasa de matriculación en educación terciaria. Para el caso de la adopción de banda ancha, se añaden también los precios (tanto de suscripciones fijas como móviles) como porcentaje del ingreso mensual per cápita.

Finalmente, dentro del grupo de las variables macroeconómicas, se utiliza el PIB, el stock de capital físico (en ambos casos medidos en precios constantes en dólares de 2017), el empleo (cantidad de trabajadores), el nivel educativo medio de la ciudadanía adulta, la variación en el deflactor del PIB como medida de inflación y la tasa de desempleo. A su vez, como medida de innovación se utilizan las solicitudes anuales de patentes per cápita, y como determinantes de innovación, se añaden los ingresos netos por concepto de IED (como porcentaje del PIB).

## 4. Análisis exploratorio

La Imagen 4.1 refleja el valor que toma el constructo de infraestructura de datos por país en el año 2022. Tal como se puede apreciar, los países más desarrollados, junto con China, cuentan con mejor infraestructura de datos. Asimismo, se observa la presencia de importantes líderes regionales, como Brasil o Chile (en América Latina), Sudáfrica (en África), Arabia Saudita (en Medio Oriente) y China (en Asia), lo que puede suponer la presencia de *hubs* regionales instalados en esos países para servir a economías vecinas.

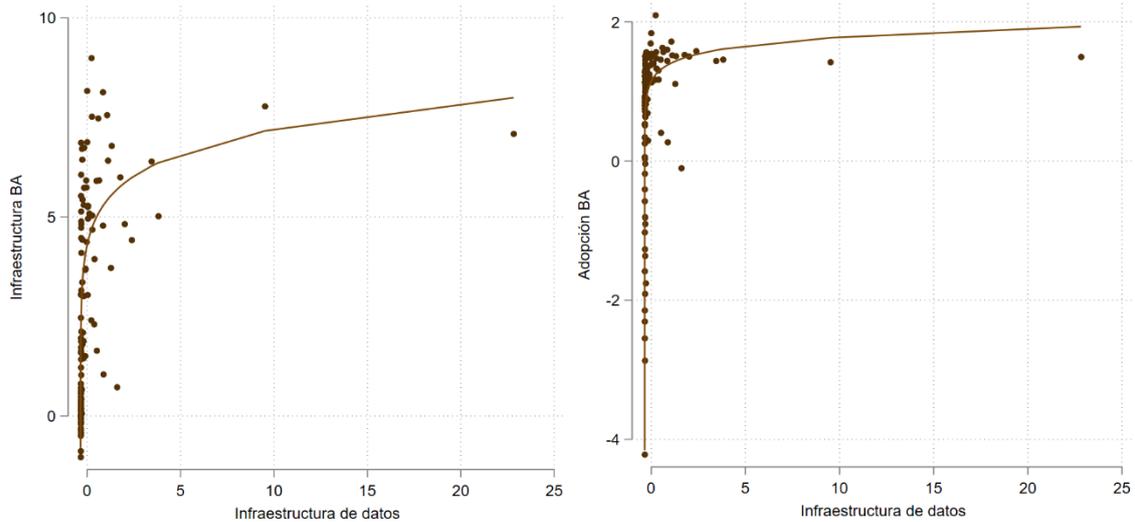
**Imagen 4.1. Desarrollo de la infraestructura de datos por país (2022)**



Fuente: Telecom Advisory Services sobre la base de datos de Telegeography y Banco Mundial.

Al correlacionar el constructo de infraestructura de datos con otras variables del ámbito digital, se puede apreciar que en todos los casos existe un vínculo positivo, como era de prever. Ello sugiere la existencia de una relación (ya sea directa o indirecta) entre las mismas. Por ejemplo, en el Gráfico 4.1 se presentan dos gráficos de dispersión que vinculan el constructo de infraestructura de datos con los constructos de infraestructura de banda ancha (a la izquierda) y de adopción de la banda ancha (a la derecha). En ambos se aprecia una correlación positiva.

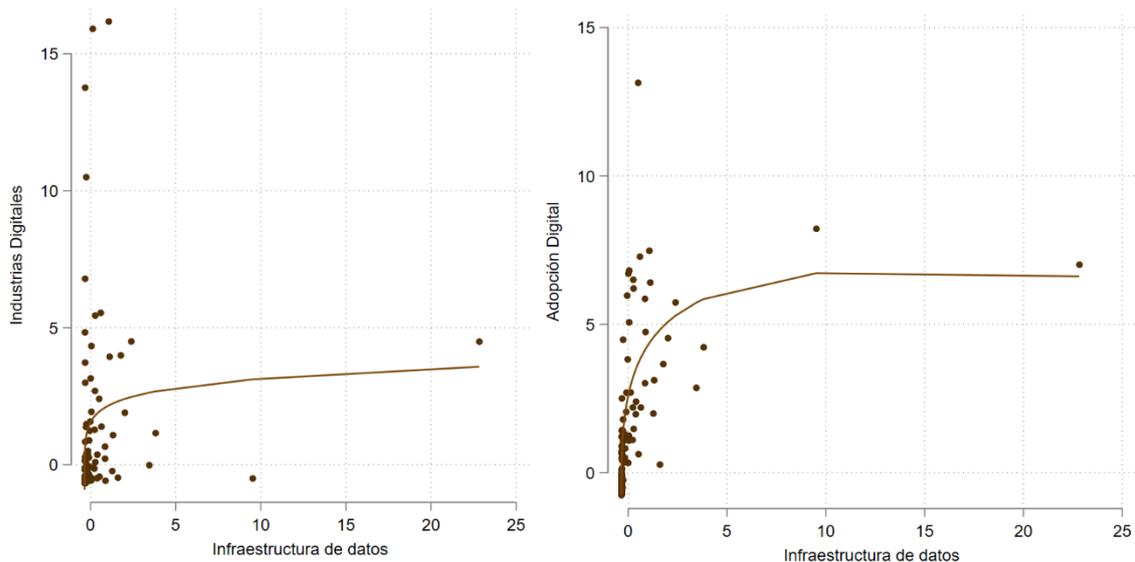
**Gráfico 4.1. Gráfico de dispersión de infraestructura de datos con constructos de infraestructura de banda ancha y adopción de banda ancha (2022)**



Fuente: Telecom Advisory Services.

De igual forma, en el Gráfico 4.2 se presentan dos gráficos de dispersión que vinculan la infraestructura de datos con el constructo de industrias digitales (a la izquierda) y con el constructo de adopción digital (a la derecha). En ambos casos se verifica una correlación positiva.

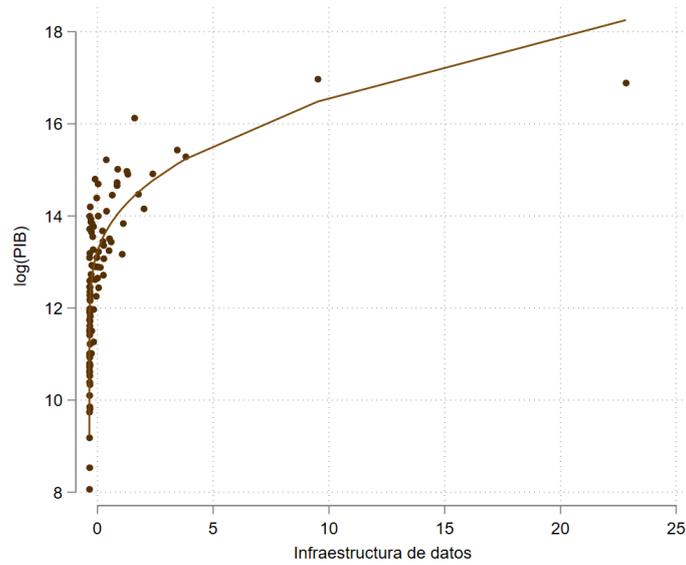
**Gráfico 4.2. Gráfico de dispersión de infraestructura de datos con constructos de industrias digitales y adopción digital (2022)**



Fuente: Telecom Advisory Services.

También se aprecia una correlación positiva entre el constructo de infraestructura de datos y el PIB (Gráfico 4.3).

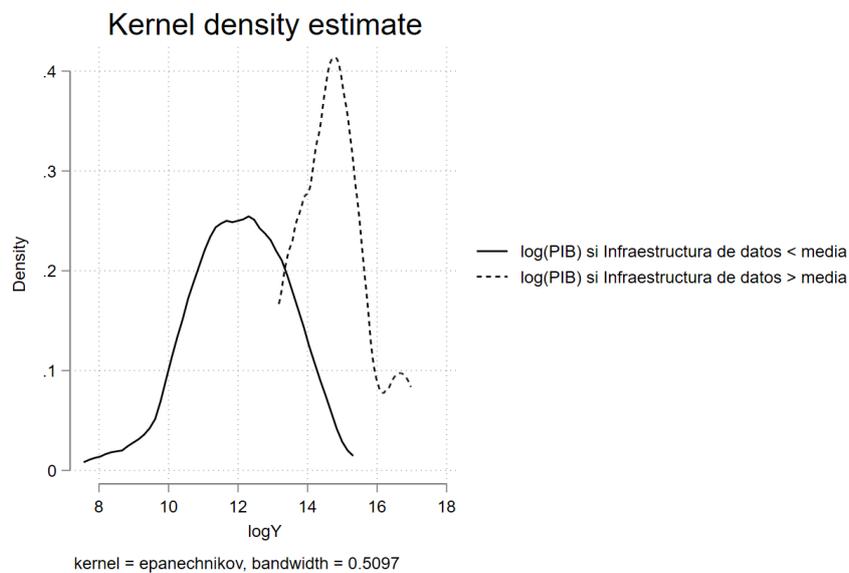
**Gráfico 4.3. Gráfico de dispersión de infraestructura de datos con PIB (2022)**



Fuente: Telecom Advisory Services.

Finalmente, el vínculo positivo con el PIB puede apreciarse al analizar las funciones de densidad de esta última variable para dos grupos de observaciones diferentes: aquellas que cuentan con valores en el constructo de infraestructura de datos por debajo de la media, y aquellas que tienen valores por encima de la media. Es evidente que la distribución del PIB de aquellos países con infraestructura de datos por encima de la media se encuentra situada a la derecha (Gráfico 4.4).

**Gráfico 4.4. Función de densidad del PIB para observaciones con valores inferiores o superiores a la media de infraestructura de datos (2022)**



Fuente: Telecom Advisory Services.

Esta evidencia preliminar sugiere un vínculo positivo entre la infraestructura de datos y otras variables digitales, por un lado, y entre la infraestructura de datos y el desempeño económico, por otro. Ello se verificará en el siguiente capítulo mediante la estimación de los modelos econométricos.

## 5. Resultados de los modelos econométricos

Los modelos presentados en los Gráficos 2.1 y 2.2 se estiman con base en dos procedimientos empíricos diferentes. Por un lado, se utilizarán paneles de efectos fijos por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) para estimar cada variable dependiente que emerge de esos gráficos, y se emplearán como regresores los respectivos determinantes acorde a las mismas. Por otro lado, se realizará una estimación de ecuaciones simultáneas a través de la metodología de mínimos cuadrados en tres etapas (MC3E).<sup>10</sup> Las estimaciones llevadas a cabo por MCO se presentan en el Anexo 2, mientras que a continuación se procede con los resultados del modelo de ecuaciones simultáneas MC3E.

### ***5.1. Resultados del modelo de impacto de la infraestructura de datos en el PIB***

En el Cuadro 5.1 se presentan las estimaciones para el modelo que analiza el rol de la infraestructura de datos dentro del ecosistema digital y su impacto en el PIB. Todas las ecuaciones incorporan efectos fijos por país además de los determinantes mencionados más arriba. Se muestran resultados de cuatro estimaciones bajo diferentes especificaciones. Las estimaciones de las columnas (i) y (ii) se diferencian en que la segunda incorpora la relación bidireccional entre infraestructura de datos e infraestructura de banda ancha. Finalmente, en la columna (iii) se incluyen efectos fijos de año en todas las ecuaciones.<sup>11</sup>

Por lo general, los resultados se comportan acorde a lo esperado. Una buena regulación de datos contribuye a un mayor desarrollo de la infraestructura de datos (aunque al controlar por infraestructura de banda ancha, el efecto deja de ser significativo). De igual forma, mayor cobertura de electricidad y más ancho de banda internacional se vinculan positivamente con el desarrollo de la infraestructura de datos, aunque el efecto solo es estadísticamente significativo en la estimación de la columna (ii).

Por otra parte, a mayor desarrollo de la infraestructura de datos, mayor es el desarrollo de la infraestructura de banda ancha (y viceversa), lo que confirma la interdependencia entre ambos tipos de infraestructuras tal como se mencionó en la revisión de la literatura de investigación y se detalló en el Gráfico 2.1. Por su parte, una

---

<sup>10</sup> Los modelos de ecuaciones simultáneas son un tipo de modelo estadístico en el que las variables dependientes son funciones de otras variables dependientes, y no solo de variables independientes. Esto significa que algunas de las variables explicativas se determinan juntamente con la variable dependiente, que en economía suele ser consecuencia de algún mecanismo de equilibrio subyacente.

<sup>11</sup> Con excepción de las correspondientes a adopción, dado que los regresores que vienen de ecuaciones previas ya incorporan efectos tendenciales.

mejor regulación de TIC impacta positivamente en el desarrollo de infraestructura de banda ancha (aunque el efecto pierde significancia al incorporar efectos fijos de año en esa ecuación).

En cuanto a las industrias digitales, estas dependen positivamente del desarrollo de la infraestructura de datos, aunque el efecto no es significativo en la estimación de la columna (i), la cual no incorpora efectos fijos por año en la ecuación macroeconómica. Por otra parte, en todos los casos la infraestructura de datos de países vecinos es crucial para el desarrollo de las industrias digitales, la cual incluso cuenta con un coeficiente superior al de la infraestructura local.

**Cuadro 5.1. Estimación de ecuaciones simultáneas - modelo de infraestructura de datos**

<b>Variable dependiente: Infraestructura de datos</b>	<b>(i)</b>	<b>(ii)</b>	<b>(iii)</b>
Infraestructura de BA		0,257*** [0,008]	0,365*** [0,049]
Log (Regulación de datos)	0,968*** [0,077]	-0,020 [0,053]	-0,179 [0,156]
Log (Electricidad)	0,151 [0,107]	0,095* [0,058]	0,041 [0,172]
Log (Ancho de banda internacional)	0,087*** [0,012]	0,016** [0,006]	-0,002 [0,016]
<b>Variable dependiente: Infraestructura de BA</b>			
Infraestructura de datos	5,501*** [0,148]	3,436*** [0,123]	1,183*** [0,116]
Población urbana	-0,062** [0,028]	0,022 [0,018]	-0,009 [0,017]
Densidad de población	0,004*** [0,001]	0,002*** [0,000]	0,001*** [0,000]
Log (Regulación de TIC)	0,464*** [0,099]	0,154*** [0,059]	-0,019 [0,061]
<b>Variable dependiente: Industrias digitales</b>			
Infraestructura de datos	2,433*** [0,161]	1,888*** [0,157]	1,626*** [0,166]
W Infraestructura de datos	2,577*** [0,319]	2,802*** [0,322]	2,173*** [0,591]
<b>Variable dependiente: Adopción de BA</b>			
Infraestructura de BA	0,388*** [0,014]	0,337*** [0,015]	0,345*** [0,014]
Habilidades	-0,001 [0,003]	0,000 [0,003]	-0,001 [0,002]
Log (Ingresos)	1,891*** [0,145]	2,191*** [0,155]	2,194*** [0,137]
Precio de BAF	-0,001*** [0,000]	-0,001*** [0,000]	-0,001*** [0,000]
Precio de BAM	-0,019*** [0,002]	-0,019*** [0,002]	-0,016*** [0,002]
<b>Variable dependiente: Adopción digital</b>			
Industrias digitales	0,466***	0,534***	0,507***

	[0,019]	[0,019]	[0,020]
Adopción de BA	0,234***	0,275***	0,293***
	[0,031]	[0,031]	[0,035]
Habilidades	0,010***	0,010***	0,008***
	[0,003]	[0,003]	[0,003]
Log (Ingresos)	0,397**	-0,028	-0,104
	[0,163]	[0,177]	[0,188]
<b>Variable dependiente: Log (PIB)</b>			
Log (Capital)	0,320***	0,322***	0,308***
	[0,028]	[0,029]	[0,028]
Log (Empleo)	0,382***	0,376***	0,411***
	[0,046]	[0,046]	[0,045]
Log (Educación)	0,108**	0,097**	0,067
	[0,043]	[0,043]	[0,043]
Adopción BA	0,164***	0,162***	0,171***
	[0,015]	[0,015]	[0,015]
Adopción digital	0,032***	0,033***	0,029***
	[0,010]	[0,010]	[0,010]
Industrias digitales	0,056***	0,050***	0,050***
	[0,005]	[0,005]	[0,005]
Efectos fijos por país	SÍ	SÍ	SÍ
Efectos fijos por año	SÍ <sup>(γ)</sup>	SÍ <sup>(γ)</sup>	SÍ <sup>(δ)</sup>
Observaciones	1.160	1.160	1.160
Método de estimación	MC3E	MC3E	MC3E

Fuente: Telecom Advisory Services.

Notas: \*\*\* p<1%, \*\* p<5%. \* p<10%.

<sup>(γ)</sup> Refiere a la ecuación final (PIB) del modelo estructural.

<sup>(δ)</sup> Refiere a todas las ecuaciones del modelo, excepto las de adopción.

La relevancia del efecto de infraestructura de datos de países vecinos destaca el importante rol de los grandes *hubs* regionales de este tipo de infraestructuras, lo que a su vez sugiere que regulaciones tendientes a obligar la localización de datos en el territorio local no son convenientes en este contexto. Este tema se analiza en detalle en la publicación sobre políticas públicas que es parte de este estudio.

La adopción de banda ancha depende positivamente del desarrollo de la infraestructura de banda ancha, como es de esperar. Ello se debe a que, a mayor cobertura, hay más posibilidad de aumentar la penetración (más usuarios para conectar), y, por otra parte, a mayor velocidad de redes, más atractivo es el servicio para los usuarios, lo que incrementa su demanda. El nivel de ingresos influye positivamente en la adopción (dado que la banda ancha es un bien normal, no inferior), mientras que los precios influyen negativamente, como es de esperar acorde a la ley de la demanda.

Por su parte, la adopción de herramientas digitales se ve positivamente influenciada por la adopción de banda ancha. Asimismo, a mayor desarrollo de las industrias digitales a nivel local, mayor será su adopción por parte de la población. La adopción digital también depende positivamente del nivel de ingresos y de las habilidades de la población, como era de esperar.

Finalmente, a nivel macroeconómico, tanto capital como empleo influyen positivamente en el PIB, como es natural. A su vez, los años promedio de educación influyen positivamente en el PIB en dos de las tres estimaciones. Asimismo, la adopción de banda ancha en todos los casos presenta un coeficiente positivo y significativo, conforme a lo esperado. Algo similar ocurre con la adopción de herramientas digitales y con las industrias digitales. En cualquier caso, a través del modelo estimado resulta claro como un mayor desarrollo de la infraestructura de datos generará una serie de efectos mediante diversos canales, que terminarán contribuyendo a un mayor crecimiento económico.

## ***5.2. Resultados del modelo de impacto del PIB en indicadores socioeconómicos***

El segundo modelo, representado más arriba en el Gráfico 2.2, refleja los efectos económicos desde el crecimiento del PIB hacia adelante. Los resultados estimados a través del modelo de ecuaciones simultáneas se muestran en el Cuadro 5.2.

En primer lugar, se presenta la estimación reportada en la columna (i). La innovación depende positivamente del PIB. Ello implica que un crecimiento del PIB (por ejemplo, inducido por el desarrollo de la infraestructura de datos) redundará en una mayor actividad innovadora. A su vez, la innovación depende positivamente del nivel educativo y de la IED, como era esperable. En la columna (ii) se amplía el modelo para incorporar variables asociadas a la digitalización, a fin de verificar si hay algún efecto directo de estas en la innovación más allá del que se materializa a través del aumento del PIB. El coeficiente indica que un crecimiento del 1% del PIB redundará en un crecimiento en las solicitudes de patentes per cápita del 0,75%. Los resultados para las variables digitales sugieren un impacto directo positivo de la adopción de banda ancha en la innovación, mientras que en el caso de la adopción digital esta es positiva pero no significativa.

**Cuadro 5.2. Estimación de ecuaciones simultáneas - modelo de efectos del PIB**

<b>Variable dependiente: Log (Innovación)</b>	<b>(i)</b>	<b>(ii)</b>
Log (PIB)	0,985*** [0,134]	0,752*** [0,226]
Log (Educación)	0,679*** [0,228]	0,785*** [0,275]
IED	0,002*** [0,001]	0,001* [0,001]
Adopción de BA		0,223*** [0,056]
Adopción digital		0,023 [0,024]
<b>Variable dependiente: Log (Ingresos)</b>		
Log (PIB)	0,615*** [0,020]	0,679*** [0,030]
Log (Educación)	-0,056 [0,034]	0,081** [0,037]
<b>Variable dependiente: Log (Desempleo)</b>		
Log (PIB)	-0,680*** [0,069]	-0,706*** [0,118]
Inflación	-0,333*** [0,092]	-0,295*** [0,102]
Adopción de BA		0,211*** [0,032]
Adopción digital		0,036** [0,014]
Infraestructura de datos		-0,010 [0,010]
Infraestructura de BA		-0,027* [0,014]
Industrias digitales		-0,010* [0,006]
Efectos fijos por país	Sí	Sí
Efectos fijos por año	Sí	Sí
Observaciones	1.352	957

Fuente: Telecom Advisory Services.

Nota: \*\*\* p<1%, \*\* p<5%, \* p<10%.

A continuación, los salarios también se verán beneficiados por el crecimiento del PIB. El coeficiente asociado sugiere que un incremento en el PIB del 1% genera que los salarios promedio crezcan un 0,68%. A su vez, los salarios dependen positivamente de los niveles de educación.

Finalmente, la tasa de desempleo se verá reducida por el crecimiento del PIB. Un 1% de crecimiento del PIB generará una reducción en la tasa de desempleo en

torno al 0,71%. A su vez, la inflación y el desempleo se relacionan negativamente, como predicen los modelos basados en la Curva de Phillips.

Por otra parte, en relación al efecto de variables digitales en el desempleo hay efectos contrapuestos, como se detalla en la columna (ii) del Cuadro 5.2: a mayor penetración de banda ancha y de herramientas digitales se aprecia un aumento del desempleo, mientras que los efectos generados por el despliegue de infraestructura de banda ancha tienden a reducir el desempleo. Ello confirma la presencia de múltiples efectos de sentido opuesto entre la mayor digitalización y el empleo. El crecimiento económico inducido por la digitalización naturalmente reducirá el desempleo. De igual forma, el despliegue de infraestructuras, posiblemente por efecto construcción, también reduce el desempleo, y este dato además es visible para el caso de banda ancha. Asimismo, una mayor cantidad de industrias digitales reduce el desempleo, lo que se asocia al efecto de creación de empleo vinculado al desarrollo e implementación de soluciones tecnológicas detallado en el Gráfico 2.3. Sin embargo, una vez controlado por estos factores, a mayor penetración tecnológica, mayor desempleo, lo que parece capturar el efecto de reemplazo de trabajadores por la tecnología detallado en el Gráfico 2.3. A priori no es posible aún saber cuál de estos efectos prevalecerá, es decir, si el efecto total será de signo positivo o negativo, cuestión que se aborda en el siguiente capítulo junto con la interpretación de los restantes resultados.

## 6. Interpretación de los resultados

Más allá de los signos y la significancia estadística de los coeficientes, la información provista en los Cuadros 5.1 y 5.2 no permite una fácil interpretación de los resultados en términos de su cuantificación, por dos motivos principales. El primero se debe a que hay una serie de efectos en cadena que se materializan de forma indirecta, por lo que muchas de las relaciones son efectivamente de carácter indirecto (por ejemplo, el propio efecto de la infraestructura de datos en el PIB es de esta naturaleza de acuerdo con el modelo propuesto). El segundo motivo que dificulta la interpretación directa de los coeficientes de regresión es que la variable de infraestructura de datos es un constructo derivado del análisis de componentes principales, por lo que no resulta una variable observable y fácilmente cuantificable. Por este motivo, en este capítulo, en primer lugar, se identifican los efectos directos e indirectos y luego se realiza una serie de simulaciones que permitan cuantificar y visibilizar el impacto de un mejor desarrollo de la infraestructura de datos a través de sus tres componentes (centros de datos, computación en la nube y servidores).

### 6.1. Identificación de efectos directos e indirectos

Los coeficientes de efectos directos pueden extraerse directamente de los cuadros de regresión presentados más arriba. Para comenzar, en el Cuadro 6.1 se sintetizan los coeficientes de efectos directos del modelo de infraestructura de datos, provenientes de la estimación presentada en la columna (iii) del Cuadro 5.1. Se toma esta estimación como referencia por ser la que ofrece los resultados más conservadores con respecto al impacto de la infraestructura de datos (Cuadro 6.1).

**Cuadro 6.1. Efectos directos - modelo de infraestructura de datos**

Relación	Efecto
Infraestructura de datos → Infraestructura de BA	1,183
Infraestructura de BA → Adopción de BA	0,345
Adopción de BA → Adopción digital	0,293
Adopción de BA → PIB	0,171
Adopción digital → PIB	0,029
Infraestructura de datos → Industrias digitales	1,626
Industrias digitales → Adopción digital	0,507
Industrias digitales → PIB	0,050

Fuente: Telecom Advisory Services.

Con estos efectos directos, es posible construir los efectos indirectos. Por ejemplo, si se considera que la variación en una unidad en el constructo de infraestructura de datos afecta al constructo de infraestructura de banda ancha en 1,183, que, a su vez, la

variación en una unidad de este último constructo afecta al de adopción de banda ancha en 0,345, y finalmente que cambios en este afectan al PIB en 0,171, es posible construir el efecto en cadena o indirecto que va del inicio al fin, es decir, desde infraestructura de datos hasta PIB por esta vía. Este efecto sería igual a 0,070 (que es el resultado del producto  $1,183 \times 0,345 \times 0,171$ ).

A partir de este procedimiento, se pueden identificar cuatro “rutas” de efectos indirectos desde infraestructura de datos hasta el PIB, tal como se detallan en el Cuadro 6.2.<sup>12</sup> Estas rutas afectan al PIB por la vía de mayor penetración de banda ancha, de mayor adopción de herramientas digitales o de mayor desarrollo de las industrias digitales, por lo que todo impacto es un reflejo de los *spillovers* que la digitalización genera en la economía por la vía de mayor productividad, eficiencias y reducciones de costos.

**Cuadro 6.2. Construcción de efectos indirectos**

Ruta	Relación	Efecto
Ruta 1	Infraestructura de datos → Infraestructura de BA → Adopción de BA → PIB	0,070
Ruta 2	Infraestructura de datos → Infraestructura de BA → Adopción de BA → Adopción digital → PIB	0,003
Ruta 3	Infraestructura de datos → Industrias digitales → Adopción digital → PIB	0,024
Ruta 4	Infraestructura de datos → Industrias digitales → PIB	0,081

Fuente: Telecom Advisory Services.

En cuanto al modelo de efectos socioeconómicos derivados del aumento del PIB, los coeficientes de efectos directos que se sintetizan en el Cuadro 6.3 provienen de las estimaciones reportadas en la columna (ii) del Cuadro 5.2. Se toma esa estimación como referencia porque efectivamente tenían lugar una serie de efectos directos de la digitalización en otras variables socioeconómicas, más allá del impacto que se materializa a través de los *spillovers* sobre el PIB.

**Cuadro 6.3. Efectos directos - modelo de efectos del PIB**

Relación	Coefficientes
PIB → Innovación	0,752
PIB → Ingresos	0,679
PIB → Desempleo	-0,706
Adopción de BA → Innovación	0,223
Adopción digital → Desempleo	0,036
Adopción de BA → Desempleo	0,211
Infraestructura de BA → Desempleo	-0,027
Industrias digitales → Desempleo	-0,010

Fuente: Telecom Advisory Services.

<sup>12</sup> Estas rutas son a su vez reflejo de lo que puede apreciarse en el Gráfico 2.1.

Una vez identificados los efectos directos e indirectos en la sección anterior, en la siguiente se simulan escenarios hipotéticos para poder cuantificar los efectos de una forma fácilmente interpretable.

## **6.2. Simulación de impacto del despliegue de una nueva zona *cloud***

En primer término, se analiza el impacto del despliegue de una nueva zona *cloud* (es decir, de un centro de datos por parte de un proveedor de servicios de la nube), un hito que constituye una inversión muy relevante en grandes infraestructuras. Para comprender cómo este efecto impactará en las variables de interés, es necesario, en primer término, cuantificar cuánto pesa esta variable en el constructo de infraestructura de datos. Para ello, producto del análisis de los componentes principales, el constructo de infraestructura de datos se construye sobre la base del 58,1% de la variable de zonas *cloud*, del 60,6% de la variable de centros de datos, y del 54,3% de la variable de servidores por cada 100 habitantes, como se detalla en el Cuadro 6.4 (en todos los casos, estos pesos aplican una vez estandarizadas las variables originales).

**Cuadro 6.4. Pesos de variables en el constructo de infraestructura de datos**

Variable (estandarizada)	Pesos para el constructo
Zonas <i>cloud</i>	0,5812
Centros de datos	0,6060
Servidores	0,5431

Fuente: Telecom Advisory Services.

Una vez identificados los pesos de cada variable en el constructo, el primer paso de la simulación es cuantificar cuánto variará el constructo ante el despliegue de una nueva zona *cloud*, para posteriormente aplicar a la variación del constructo los efectos detallados en la sección 6.1. El proceso de cálculo de la variación en el constructo requiere comenzar con un valor inicial de cada variable (por ejemplo, la media muestral) y estandarizar las variables (esto es, restar la media y dividirla por el desvío estándar). Al estandarizar las variables, todas pasarán a tener una media de cero y un desvío estándar de uno. De esta forma, se tiene el valor inicial de cada una de las tres variables que conforman el constructo y, a partir de calcular el valor final de las mismas y estandarizarlas, se incorpora el efecto a simular, que en este caso es el incremento de una unidad en las zonas *cloud* (Cuadro 6.5).

**Cuadro 6.5. Efectos de un incremento de una zona *cloud* en el constructo de infraestructura de datos**

Variable	Descripción y fuente	Variación propuesta	Valor inicial	Media	Desvío estándar	Variable estandarizada inicial	Variable estandarizada final
Zonas <i>cloud</i>	Cantidad de zonas <i>cloud</i>	1	2,090	2,090	10,133	0,000	0,099
Centros de datos	Cantidad de centros de datos	0	34,420	34,420	123,116	0,000	0,000
Servidores	Servidores de internet seguros (en decenas de miles)	0	27,265	27,265	237,211	0,000	0,000
						<b>Constructo inicial</b>	<b>Constructo final</b>
						0,000	0,057

Fuente: Telecom Advisory Services.

Notas: La fuente de datos para zonas *cloud* y centros de datos es TeleGeography. La fuente de información para los servidores de internet seguros es Banco Mundial.

Al aplicar los pesos estipulados en el Cuadro 6.4 a los valores iniciales y finales de las variables una vez estandarizadas, se puede identificar cómo ha cambiado el constructo por el efecto simulado, en este caso, se ha incrementado en 0,057 (Cuadro 6.5). De esta forma, si se aplican los efectos derivados de las tres rutas mencionadas en el Cuadro 6.2, es posible identificar en qué porcentaje variará el PIB como resultado del despliegue de una nueva zona *cloud* (Cuadro 6.6) o, lo que es lo mismo, como resultado de un incremento de 0,057 en el constructo de infraestructura de datos.

**Cuadro 6.6. Efectos de un incremento de una zona *cloud* en el PIB**

Ruta	Impacto en el PIB
Ruta 1	0,400%
Ruta 2	0,020%
Ruta 3	0,137%
Ruta 4	0,466%
Total	1,024%

Fuente: Telecom Advisory Services.

En resumen, el despliegue de una nueva zona *cloud* se puede cuantificar en algo más de un punto del PIB (1,024%), al sumar los cuatro canales de impacto reportados en el Cuadro 6.6. De esta manera, se aprecia una importante paridad entre los efectos de la ruta que afecta al PIB directamente a través de la adopción de banda ancha (0,400%), y aquella asociada a las industrias digitales (0,466%). A este respecto, cabe recordar

que las variables de adopción e industrias digitales se nutren de la oferta y usos específicos de determinadas herramientas digitales que generan derrame en la economía, pero no consideran otros usos alternativos que pueden asumirse están recogidos por el efecto asociado a la adopción de banda ancha.

Una vez identificada la variación del PIB proveniente de las cuatro rutas, es posible calcular los efectos en las restantes variables socioeconómicas (innovación, desempleo y salarios), para lo cual deben aplicarse los coeficientes reportados en el Cuadro 6.3. El resultado se detalla en el Cuadro 6.7.

**Cuadro 6.7. Efectos de un incremento de una zona *cloud* en las restantes variables socioeconómicas**

Efecto	Variación porcentual (%)		
	Impacto en innovación	Impacto en salarios	Impacto en desempleo
Aumento del PIB proveniente de Ruta 1	0,301%	0,272%	-0,283%
Aumento del PIB proveniente de Ruta 2	0,015%	0,014%	-0,014%
Aumento del PIB proveniente de Ruta 3	0,103%	0,093%	-0,097%
Aumento del PIB proveniente de Ruta 4	0,351%	0,317%	-0,329%
Impacto directo de adopción de BA (constructo de adopción de BA según Cuadro 3.1)	0,522%		0,494%
Impacto directo de adopción digital (constructo de adopción digital según Cuadro 3.1)			0,195%
Impacto directo de infraestructura de BA (constructo de infraestructura de BA según Cuadro 3.1)			-0,183%
Impacto directo de industrias digitales (constructo de industrias digitales según Cuadro 3.1)			-0,095%
Total	1,292%	0,695%	-0,312%

Fuente: Telecom Advisory Services.

En definitiva, el lanzamiento de una nueva zona *cloud* incrementa la innovación en un 1,292%, de los cuales el 0,522% es un efecto directo de la adopción de banda ancha en las solicitudes de patentamiento (dado que la digitalización facilita la búsqueda de información, desarrollo de ideas e interacciones entre expertos), mientras que la parte restante es la suma de los efectos derivados del aumento del PIB como resultado de las cuatro rutas de impacto mencionadas antes (es decir, el efecto en la innovación como resultado de mayores recursos y dinamismo de la economía).

Con respecto al efecto en los salarios, estos se incrementan en un 0,695%, es decir, menos que proporcionalmente con respecto al crecimiento del PIB. Ello es razonable porque el factor trabajo es solo uno de los grandes factores productivos de la economía, dado que existen otros sectores beneficiados más allá de los trabajadores (por ejemplo, es esperable un aumento en las retribuciones del capital, lo que genera que una parte del efecto económico va a los dueños de este factor productivo).

Finalmente, el impacto en el desempleo se traduce en una reducción de su tasa en torno al 0,312%. Este impacto es interesante porque en él conviven tanto efectos positivos como negativos (dado que la digitalización destruye y crea empleo a la vez), pero prevalecen los últimos.

### **6.3. Simulación de impacto del despliegue de un nuevo centro de datos**

En esta sección se repite el ejercicio anterior pero se simula el lanzamiento de un nuevo centro de datos, sin diferenciar si se trata de un proveedor de servicios de nube o de una infraestructura en una empresa o institución del Estado. Dado que se trata de un despliegue de mucho menor envergadura que una zona *cloud*, es de esperar que los efectos sean mucho más modestos. El Cuadro 6.8 detalla cómo esta variación afectará al constructo de infraestructura de datos, que se incrementará en solo 0,005.

**Cuadro 6.8. Efectos de un incremento de un centro de datos en el constructo de infraestructura de datos**

Variable	Descripción y fuente	Variación propuesta	Valor inicial	Media	Desvío estándar	Variable estandarizada inicial	Variable estandarizada final
Zonas <i>cloud</i>	Cantidad de zonas <i>cloud</i>	0	2,090	2.090	10,133	0,000	0,000
Centros de datos	Cantidad de centros de datos	1	34,420	34.420	123,116	0,000	0,008
Servidores	Servidores de internet seguros (en decenas de miles)	0	27,265	27.265	237,211	0,000	0,000
						<b>Constructo inicial</b>	<b>Constructo final</b>
						0,000	0,005

Fuente: análisis de Telecom Advisory Services.

Nota: La fuente de datos para zonas *cloud* y centros de datos es TeleGeography. La fuente de información para los servidores de internet seguros es Banco Mundial.

Los efectos en el PIB se calculan en el Cuadro 6.9, los cuales, naturalmente, son mucho más modestos que los del despliegue de una zona *cloud*. En este caso, el desarrollo de un nuevo centro de datos se asocia con un incremento del PIB del 0,088% sumando todos los efectos asociados.

**Cuadro 6.9. Efectos de un incremento de un centro de datos en el PIB**

Ruta	Impacto en el PIB
Ruta 1	0,034%
Ruta 2	0,002%
Ruta 3	0,012%
Ruta 4	0,040%
Total	0,088%

Fuente: Telecom Advisory Services.

Los efectos en las restantes variables socioeconómicas se detallan en el Cuadro 6.10. Tal como en el caso del impacto en el PIB, se trata de efectos más modestos que los asociados a las zonas *cloud*. De esta manera, el impacto en la innovación se calcula en un 0,111%, en los salarios en un 0,060%, y en el desempleo es del -0,027%.

**Cuadro 6.10. Efectos de un incremento de un centro de datos en las restantes variables socioeconómicas**

Efecto	Variación porcentual (%)		
	Impacto en innovación	Impacto en salarios	Impacto en desempleo
Aumento del PIB proveniente de Ruta 1	0,026%	0,023%	-0,024%
Aumento del PIB proveniente de Ruta 2	0,001%	0,001%	-0,001%
Aumento del PIB proveniente de Ruta 3	0,009%	0,008%	-0,008%
Aumento del PIB proveniente de Ruta 4	0,030%	0,027%	-0,028%
Impacto directo de adopción de BA (constructo de adopción de BA según Cuadro 3.1)	0,045%		0,042%
Impacto directo de adopción digital (constructo de adopción digital según Cuadro 3.1)			0,017%
Impacto directo de infraestructura de BA (constructo de infraestructura de BA según Cuadro 3.1)			-0,016%
Impacto directo de industrias digitales (constructo de industrias digitales según Cuadro 3.1)			-0,008%
Total	0,111%	0,060%	-0,027%

Fuente: Telecom Advisory Services.

#### ***6.4. Simulación de impacto del despliegue de 10.000 nuevos servidores***

Finalmente, a continuación, se repite el proceso anterior para el caso de la tercera de las variables que forman parte del constructo de infraestructura de datos: la cantidad de servidores (medida en decenas de miles, por lo que la simulación referirá al aumento en 10.000 servidores). En el Cuadro 6.11 se describe cómo el aumento en una unidad de esta variable afectará al constructo de infraestructura de datos.

**Cuadro 6.11. Efectos de un incremento de 10.000 servidores en el constructo de infraestructura de datos**

Variable	Descripción y fuente	Variación propuesta	Valor inicial	Media	Desvío estándar	Variable estandarizada inicial	Variable estandarizada final
Zonas <i>cloud</i>	Cantidad de zonas <i>cloud</i>	0	2,090	2,090	10,133	0,000	0,000
Centros de datos	Cantidad de centros de datos	0	34,420	34,420	123,116	0,000	0,000
Servidores	Servidores de internet seguros (en decenas de miles)	1	27,265	27,265	237,211	0,000	0,004
						<b>Constructo inicial</b>	<b>Constructo final</b>
						0,000	0,002

Fuente: Telecom Advisory Services.

Nota: La fuente de datos para zonas *cloud* y centros de datos es TeleGeography. La fuente de información para los servidores de internet seguros es Banco Mundial.

Los efectos en el PIB son más modestos aún que en el caso anterior. En total, el aumento de 10.000 servidores se puede vincular con un crecimiento del PIB del 0,041% (Cuadro 6.12).

**Cuadro 6.12. Efectos de un incremento de 10.000 servidores en el PIB**

Ruta	Impacto en el PIB
Ruta 1	0,016%
Ruta 2	0,001%
Ruta 3	0,005%
Ruta 4	0,019%
Total	0,041%

Fuente: Telecom Advisory Services.

Los efectos en las restantes variables socioeconómicas se detallan en el Cuadro 6.13. El impacto en la innovación se calcula en un 0,052%, en los salarios en un 0,028%, y en el desempleo es del -0,012%.

**Cuadro 6.13. Efectos de un incremento de 10.000 servidores en las restantes variables socioeconómicas**

Efecto	Variación porcentual (%)		
	Impacto en innovación	Impacto en salarios	Impacto en desempleo
Aumento del PIB proveniente de Ruta 1	0,012%	0,011%	-0,011%
Aumento del PIB proveniente de Ruta 2	0,001%	0,001%	-0,001%
Aumento del PIB proveniente de Ruta 3	0,004%	0,004%	-0,004%
Aumento del PIB proveniente de Ruta 4	0,014%	0,013%	-0,013%
Impacto directo de adopción de BA (constructo de adopción de BA según Cuadro 3.1)	0,021%		0,020%
Impacto directo de adopción digital (constructo de adopción digital según Cuadro 3.1)			0,008%
Impacto directo de infraestructura de BA (constructo de infraestructura de BA según Cuadro 3.1)			-0,007%
Impacto directo de industrias digitales (constructo de industrias digitales según Cuadro 3.1)			-0,004%
<b>Total</b>	<b>0,052%</b>	<b>0,028%</b>	<b>-0,012%</b>

Fuente: Telecom Advisory Services.

## 7. Análisis de robustez

Si bien la estimación por sistema de ecuaciones simultáneas, como las llevadas a cabo en la sección 5.1, tratan a las principales variables del modelo como endógenas, es conveniente llevar a cabo un análisis de robustez siguiendo otras metodologías que sean especialmente propicias para abordar las preocupaciones vinculadas a la endogeneidad que puedan surgir de las estimaciones anteriores. Ello es importante por el estrecho vínculo entre las diferentes variables digitales, para las que muchas veces existen efectos bidireccionales, o por la potencial omisión de variables relevantes. Por ello, en este capítulo se llevarán a cabo estimaciones econométricas a través del método de variables instrumentales (VI) para las relaciones causales descritas en el Gráfico 2.1.

En el Cuadro 7.1 se presenta la descripción y principales estadísticos descriptivos de las variables que serán utilizadas como instrumentos.

**Cuadro 7.1. Variables para utilizar como instrumentos**

Variable	Descripción	Fuente	Media	Desvío estándar
Electricidad	Cobertura de electricidad (porcentaje de la población)	Banco Mundial	89,853	21,657
Días de más de 30 grados	Número de días calurosos (temperatura > 30°C). Retardo de 10 años.	Banco Mundial	85,745	84,442
Gastos de capital (capex) per cápita	Inversión en telecomunicaciones per cápita (en dólares constantes de 2017)	UIT / GSMA	79,898	84,459
Hogares con móvil	Cantidad de hogares que cuentan con teléfono móvil (cada 100 hogares). Retardo de 10 años.	UIT	66,274	26,278
Hogares con TV	Cantidad de hogares que cuentan con TV (cada 100 hogares). Retardo de 10 años.	UIT	78,022	27,390
Hogares con PC	Cantidad de hogares que cuentan con PC (cada 100 hogares). Retardo de 10 años.	UIT	36,370	28,055
Teléfonos fijos per cápita	Cantidad de teléfonos fijos por habitante. Retardo de 10 años.	UIT	0,218	0,187

Fuente: Telecom Advisory Services.

Dado que el interés principal de esta publicación es identificar los efectos causales que se materializan desde la infraestructura de datos hacia adelante, el análisis comenzará con la ecuación de infraestructura de banda ancha, e incluirá como regresor endógeno a la infraestructura de datos. Se utilizarán dos instrumentos para la infraestructura de datos. En primer lugar, se toma a la temperatura como variable indudablemente exógena, medida a través de la cantidad de días calurosos al año por país (mayores a

30 grados). Esta variable puede condicionar el atractivo de un país para instalar infraestructuras de datos, dado que afectaría a los costos de refrigeración de estas infraestructuras, pero no debería estar vinculada con los despliegues de infraestructura de banda ancha. El instrumento se introduce con un retardo temporal de 10 años. En segundo lugar, se complementará el anterior instrumento con la cobertura de electricidad aplicada con un retardo temporal de 5 años. Introducir los instrumentos con retardo temporal es importante para evitar cualquier duda acerca de su exogeneidad con respecto a la variable dependiente.

Los resultados se muestran en el Cuadro 7.2. En la columna (i) se presenta una estimación por MCO a efectos referenciales; en la columna (ii) se estima el modelo por variables instrumentales usando solamente la temperatura como instrumento; y en la columna (iii) se añade a la temperatura el retardo en la cobertura de electricidad. En ambas estimaciones llevadas a cabo por variables instrumentales la infraestructura de datos presenta un coeficiente positivo y significativo para explicar el desarrollo de la infraestructura de banda ancha, mientras que ambos instrumentos se verifican como exógenos al no rechazarse la hipótesis nula del contraste de sobreidentificación. Sin desmedro de ello, la identificación del modelo presentado en la columna (ii) resulta algo débil, por lo que es conveniente complementar el instrumento de la temperatura con el de la cobertura de electricidad, como se presenta en la columna (iii). Cabe mencionar que, una vez aplicada la estimación por VI, el coeficiente de interés resulta de mayor magnitud que el tomado como referencia en el Cuadro 5.1.

**Cuadro 7.2. Estimación por variables instrumentales - regresión de infraestructura de banda ancha**

Variable dependiente: Infraestructura de BA	(i)	(ii)	(iii)
Infraestructura de datos	0,324*** [0,027]	3,148* [1,629]	3,157*** [0,797]
Población urbana	-0,150*** [0,013]	-0,191*** [0,045]	-0,247*** [0,054]
Densidad de población	0,002*** [0,001]	0,003* [0,002]	0,003* [0,002]
Log (Regulación de TIC)	-0,242*** [0,069]	0,032 [0,263]	0,101 [0,263]
Test de subidentificación	NA	3,354*	14,177***
Test de identificación débil	NA	3,310 <sup>(γ)</sup>	7,071 <sup>(δ)</sup>
Test de sobreidentificación	NA	Exactamente identificado	0,152
Test de endogeneidad de infraestructura de datos	NA	28,734***	124,747***
Instrumentos utilizados	NA	Días de más de 30 grados (retardo 10 años)	Log (Electricidad) (retardo 5 años) y días de más de 30 grados (retardo 10 años)
Efectos fijos por país	SÍ	SÍ	SÍ
Efectos fijos por año	SÍ	SÍ	SÍ
Observaciones	1.436	1.435	1.313
Método de estimación	MCO	VI-LIML	VI-LIML

Fuente: análisis de Telecom Advisory Services.

Notas: \*\*\* p<1%, \* p<10%.

<sup>(γ)</sup> Valores críticos de la prueba de identificación débil de Stock-Yogo: 10% del tamaño máximo de LIML 16,38; 15% del tamaño máximo de LIML 8,96; 20% del tamaño máximo de LIML 6,66; 25% del tamaño máximo de LIML 5,53.

<sup>(δ)</sup> Valores críticos de la prueba de identificación débil de Stock-Yogo: 10% del tamaño máximo de LIML 8,68; 15% del tamaño máximo de LIML 5,33; 20% del tamaño máximo de LIML 4,42; 25% del tamaño máximo de LIML 3,92.

LIML: máxima verosimilitud con información limitada (*limited information maximum likelihood*).

En el Cuadro 7.3 se estima la ecuación de industrias digitales, nuevamente considerando al regresor de infraestructura de datos como endógeno y utilizando los mismos instrumentos antes mencionados. Las conclusiones son similares al caso anterior, la infraestructura de datos explica de forma positiva y significativa las industrias digitales, y los instrumentos se verifican como exógenos de acuerdo con el contraste de sobreidentificación. Nuevamente, una vez aplicada la estimación por VI, el coeficiente de interés resulta de mayor magnitud que el tomado como referencia en el Cuadro 5.1.

**Cuadro 7.3. Estimación por variables instrumentales – regresión de industrias digitales**

<b>Variable dependiente: Industrias digitales</b>	<b>(i)</b>	<b>(ii)</b>	<b>(iii)</b>
Infraestructura de datos	0,178*** [0,044]	3,352** [1,578]	3,398*** [0,977]
W Infraestructura de datos	3,065*** [0,656]	-0,374 [2,225]	-0,424 [1,787]
Test de subidentificación	NA	5,111**	13,661***
Test de identificación débil	NA	5,076 <sup>(γ)</sup>	6,819 <sup>(δ)</sup>
Test de sobreidentificación	NA	Exactamente identificado	0,001
Test de endogeneidad de infraestructura de datos	NA	13,398***	53,667***
Instrumentos utilizados	NA	Días de más de 30 grados (retardo 10 años)	Log (Electricidad) (retardo 5 años) y días de más de 30 grados (retardo 10 años)
Efectos fijos por país	SÍ	SÍ	SÍ
Efectos fijos por año	SÍ	SÍ	SÍ
Observaciones	1.523	1.523	1.523
Método de estimación	MCO	VI-LIML	VI-LIML

Fuente: Telecom Advisory Services.

Notas: \*\*\* p<1%, \*\* p<5%, \* p<10%.

<sup>(γ)</sup> Valores críticos de la prueba de identificación débil de Stock-Yogo: 10% del tamaño máximo de LIML 16,38; 15% del tamaño máximo de LIML 8,96; 20% del tamaño máximo de LIML 6,66; 25% del tamaño máximo de LIML 5,53.

<sup>(δ)</sup> Valores críticos de la prueba de identificación débil de Stock-Yogo: 10% del tamaño máximo de LIML 8,68; 15% del tamaño máximo de LIML 5,33; 20% del tamaño máximo de LIML 4,42; 25% del tamaño máximo de LIML 3,92.

LIML: máxima verosimilitud con información limitada (*limited information maximum likelihood*).

En el Cuadro 7.4 se estima la ecuación de adopción de banda ancha. Como instrumento para la infraestructura de banda ancha, se utiliza el valor de la inversión en telecomunicaciones por habitante con retardos de 5 y 10 años. La inversión en telecomunicaciones impacta directamente en la calidad y extensión de la infraestructura, mientras que no debería afectar de forma directa a la adopción (más allá del vínculo que se materializa a través de la mejora en infraestructura). Los resultados sugieren que el efecto de la infraestructura de banda ancha en la adopción es positivo y significativo, mientras que los instrumentos reúnen las condiciones requeridas. En particular, el contraste de sobreidentificación verifica que la inversión con retardo puede considerarse exógena como instrumento. Sin desmedro de ello, la prueba de endogeneidad llevada a cabo para la variable de infraestructura de banda ancha no rechaza la hipótesis nula del regresor exógeno, por lo que en este caso la estimación por MCO puede considerarse válida.

**Cuadro 7.4. Estimación por variables instrumentales - regresión de adopción de banda ancha**

Variable dependiente: Adopción de BA	(i)	(ii)	(iii)	(iv)
Infraestructura BA	0,167*** [0,011]	0,215** [0,097]	0,086* [0,045]	0,088** [0,044]
Habilidades	0,023*** [0,003]	0,014 [0,012]	0,012 [0,008]	0,011 [0,007]
Log (Ingresos)	1,246*** [0,158]	1,759*** [0,463]	1,355*** [0,308]	1,344*** [0,304]
Precio de BAF	-0,001*** [0,001]	-0,002*** [0,001]	0,000 [0,000]	0,000 [0,000]
Precio de BAM	-0,029*** [0,002]	-0,037*** [0,002]	-0,020*** [0,002]	-0,020*** [0,002]
Test de subidentificación	NA	14,716***	27,811***	28,856***
Test de identificación débil	NA	14,841 <sup>(γ)</sup>	28,667 <sup>(γ)</sup>	14,873 <sup>(δ)</sup>
Test de sobreidentificación	NA	Exactamente identificado	Exactamente identificado	0,051
Test de endogeneidad de infraestructura de BA	NA	0,537	0,377	0,337
Instrumentos utilizados	NA	Capex per cápita (retardo 5 años)	Capex per cápita (retardo 10 años)	Capex per cápita (retardo 5 años) y capex per cápita (retardo 10 años)
Efectos fijos por país	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Observaciones	1.264	1.251	867	867
Método de estimación	MCO	VI-LIML	VI-LIML	VI-LIML

Fuente: Telecom Advisory Services.

Notas: \*\*\* p<1%, \*\* p<5%, \* p<10%.

<sup>(γ)</sup> Valores críticos de la prueba de identificación débil de Stock-Yogo: 10% del tamaño máximo de LIML 16,38; 15% del tamaño máximo de LIML 8,96; 20% del tamaño máximo de LIML 6,66; 25% del tamaño máximo de LIML 5,53.

<sup>(δ)</sup> Valores críticos de la prueba de identificación débil de Stock-Yogo: 10% del tamaño máximo de LIML 8,68; 15% del tamaño máximo de LIML 5,33; 20% del tamaño máximo de LIML 4,42; 25% del tamaño máximo de LIML 3,92.

LIML: máxima verosimilitud con información limitada (*limited information maximum likelihood*).

En cuanto a la estimación de la ecuación de adopción digital, esta contiene dos regresores potencialmente endógenos: industrias digitales y adopción de banda ancha. Como instrumento, se utiliza el porcentaje de hogares con teléfono móvil (voz) y la cantidad de teléfonos fijos por habitante. En ambos casos se refiere a líneas de voz, y han sido retardadas por un período de 10 años para evitar que pueda haber dudas de su exogeneidad. En cualquier caso, los resultados de la estimación por VI presentados en la columna (ii) del Cuadro 7.5, además de confirmar el coeficiente positivo de ambas variables y la idoneidad de los instrumentos, evidencian que no puede rechazarse la hipótesis nula de exogeneidad de los regresores, por lo que la estimación por MCO puede considerarse válida.

**Cuadro 7.5. Estimación por variables instrumentales - regresión de adopción digital**

Variable dependiente: Adopción digital	(i)	(ii)
Industrias digitales	0,341*** [0,018]	0,266*** [0,081]
Adopción de BA	0,176*** [0,040]	0,363*** [0,130]
Habilidades	0,041*** [0,005]	0,028*** [0,009]
Log (Ingresos)	0,767*** [0,247]	0,074 [0,447]
Test de subidentificación	NA	15,897***
Test de identificación débil	NA	8,310 <sup>(y)</sup>
Test de sobreidentificación	NA	Exactamente identificado
Test de endogeneidad de industrias digitales	NA	1,223
Test de endogeneidad de adopción de BA	NA	0,794
Instrumentos utilizados	NA	Hogares con móvil (retardo 10 años) y teléfonos fijos per cápita (retardo 10 años)
Efectos fijos por país	SÍ	SÍ
Observaciones	1.285	354
Método de estimación	MCO	VI-LIML

Fuente: análisis de Telecom Advisory Services

Notas: \*\*\* p<1%, \*\* p<5%, \* p<10%.

<sup>(y)</sup> Valores críticos de la prueba de identificación débil de Stock-Yogo: 10% del tamaño máximo de LIML 7,03; 15% del tamaño máximo de LIML 4,58; 20% del tamaño máximo de LIML 3,95; 25% del tamaño máximo de LIML 3,63.

LIML: máxima verosimilitud con información limitada (*limited information maximum likelihood*).

Finalmente, en el Cuadro 7.6 se presenta la estimación por variables instrumentales de la ecuación de PIB. Inicialmente se consideraron endógenas la adopción de banda ancha, la adopción digital y las industrias digitales –columna (ii)– y se utilizaron sus respectivos retardos como instrumentos. En esta estimación el contraste de exogeneidad sugiere que la adopción de banda ancha puede considerarse exógena, por lo que en la columna (iii) se realiza una estimación considerando endógenas solamente la adopción digital y las industrias digitales, y recurriendo a instrumentos externos (porcentaje de hogares con TV y con PC, y teléfonos fijos por habitante, en todos los casos con un retardo de 10 años). Los resultados verifican el signo y la significatividad de los coeficientes, así como la exogeneidad de los instrumentos.

**Cuadro 7.6. Estimación por variables instrumentales - regresión de PIB**

Variable dependiente: Log (PIB)	(i)	(ii)	(iii)
Log (Capital)	0,460*** [0,022]	0,463*** [0,025]	0,902*** [0,106]
Log (Empleo)	0,254*** [0,038]	0,284*** [0,041]	0,235 [0,159]
Log (Educación)	0,048 [0,037]	0,062 [0,038]	0,273** [0,109]
Adopción de BA	0,030*** [0,006]	0,027*** [0,008]	0,180*** [0,037]
Adopción digital	0,008** [0,003]	0,007** [0,003]	0,188*** [0,070]
Industrias digitales	0,011*** [0,002]	0,012*** [0,002]	0,043* [0,024]
Test de subidentificación	NA	809,900***	14,085***
Test de identificación débil	NA	861,121	4,644 <sup>(y)</sup>
Test de sobreidentificación	NA	Exactamente identificado	0,145
Test de endogeneidad de adopción de BA	NA	0,062	NA
Test de endogeneidad de adopción digital	NA	2,960*	11,409***
Test de endogeneidad de industrias digitales	NA	5,070**	6,337**
Instrumentos utilizados	NA	Adopción de BA (retardo), adopción digital (retardo), industrias digitales (retardo)	Hogares con TV (retardo 10 años), Hogares con PC (retardo 10 años), y teléfonos fijos per cápita (retardo 10 años)
Efectos Fijos por país	SÍ	SÍ	SÍ
Efectos Fijos por año	SÍ	SÍ	SÍ
Observaciones	1.388	1.280	559
Método de estimación	MCO	VI-LIML	VI-LIML

Fuente: análisis de Telecom Advisory Services.

Notas: \*\*\* p<1%, \*\* p<5%, \* p<10%.

<sup>(y)</sup> Valores críticos de la prueba de identificación débil de Stock-Yogo: 10% del tamaño máximo de LIML 5,44; 15% del tamaño máximo de LIML 3,81; 20% del tamaño máximo de LIML 3,32; 25% del tamaño máximo de LIML 3,09.

LIML: máxima verosimilitud con información limitada (*limited information maximum likelihood*).

En definitiva, a través de este análisis de robustez, se ha podido confirmar la validez de los resultados del modelo principal, controlando el potencial problema de endogeneidad y abordando la causalidad definida oportunamente a través del Gráfico 2.1.

## 8. Conclusiones

El objetivo general de esta publicación ha sido evaluar el impacto socioeconómico del desarrollo de la infraestructura de datos en un país. La infraestructura de datos ha sido conceptualizada como los componentes necesarios para respaldar la economía digital a través del almacenamiento, manipulación y utilización de datos. Entre sus componentes principales se incluyen: (i) los centros de datos (*data centers*) instalados por empresas y organismos gubernamentales para apoyarlos en el procesamiento de datos, (ii) los grandes centros de datos construidos por proveedores de nube pública para ofrecer servicios de almacenamiento y procesamiento de datos, así como aplicaciones a empresas y gobiernos, y (iii) los servidores (tanto aquellos usados por organizaciones públicas y privadas para apoyar el procesamiento de sus datos, como los desplegados para ser utilizados por plataformas digitales y servicios de internet).

Con el objetivo de capturar las interrelaciones y complementariedades entre los componentes de la infraestructura de datos, el marco teórico de la publicación se basa en la formalización de múltiples efectos directos e indirectos entre infraestructura de datos, sus condicionantes y la economía:

- La infraestructura de datos (que incluye los centros de cómputo de proveedores de servicios de la nube, el número de centros de datos de todo tipo y los servidores de internet seguros) depende de aspectos regulatorios (tanto en lo que respecta a regulación de datos como a políticas de ciberseguridad), del acceso a electricidad y del ancho de banda internacional del país.
- A su vez, la infraestructura de datos estimula el desarrollo de industrias digitales (compañías que ofrecen servicios más allá de conectividad, como aquellas que brindan soluciones de *big data* o de IoT), para las que será más atractivo instalarse en países con mejores condiciones para el almacenamiento y procesamiento de datos.
- Asimismo, estas industrias digitales también podrán depender del nivel de desarrollo de infraestructuras de datos de los países vecinos, que en muchas ocasiones actúan como *hubs* regionales.
- El desarrollo de la infraestructura de datos incentiva el despliegue de redes de transporte de banda ancha para tales datos, y viceversa: cuando las redes de banda ancha son más desarrolladas, se estimula el despliegue de infraestructura de datos
- Con el estímulo de las redes de banda ancha en la adopción de servicios digitales se genera el derrame en el PIB

Para capturar estas múltiples relaciones, se han estructurado dos modelos de ecuaciones simultáneas. A partir de los resultados de ambos modelos del impacto de la infraestructura de datos en el PIB, se confirman los siguientes efectos:

- Un marco regulatorio avanzado para controlar la ciberseguridad y la industria de datos (por ejemplo, reglas de localización y almacenamiento de datos) contribuye a un mayor desarrollo de la infraestructura de datos (aunque al controlar por infraestructura de banda ancha, el efecto deja de ser significativo).
- De igual forma, mayor cobertura de electricidad y mayor ancho de banda internacional se vinculan positivamente con el desarrollo de la infraestructura de datos.
- Por otra parte, a mayor desarrollo de la infraestructura de datos, mayor es el desarrollo de la infraestructura de banda ancha (y viceversa), lo que confirma la interdependencia entre ambos tipos de infraestructuras.
- Una mejor regulación de las TIC impacta positivamente en el desarrollo de infraestructura de banda ancha.
- En cuanto a las industrias digitales, estas dependen positivamente del desarrollo de la infraestructura de datos.
- En todos los casos la infraestructura de datos de países vecinos es crucial para el desarrollo de las industrias digitales, la cual incluso cuenta con un coeficiente superior al de la infraestructura local. La relevancia del efecto de la infraestructura de datos de países vecinos destaca el importante rol de los grandes *hubs* regionales de este tipo de infraestructuras, lo que a su vez sugiere que las regulaciones tendientes a obligar la localización de datos en el territorio local no son convenientes en este contexto. Este último punto será analizado en el tercer informe relativo a las políticas públicas necesarias para desarrollar una infraestructura de datos.
- La adopción de banda ancha depende positivamente del desarrollo de la infraestructura de banda ancha, como es de esperar. Ello se debe a que, a mayor cobertura, hay más posibilidad de aumentar la penetración (más usuarios para conectar), y, por otra parte, a mayor velocidad de redes, resulta más atractivo el servicio para los usuarios, lo que incrementa su demanda. El nivel de ingresos influye positivamente en la adopción (dado que la banda ancha es un bien normal, no inferior), mientras que los precios influyen negativamente, como es esperable acorde a la ley de la demanda.
- Por su parte, la adopción de herramientas digitales se ve positivamente influenciada por la adopción de banda ancha. Asimismo, a mayor desarrollo de las industrias digitales a nivel local, mayor será su adopción por parte de la

población. La adopción digital también depende positivamente del nivel de ingresos y del capital humano, como era de esperar.

- Finalmente, a nivel macroeconómico, tanto capital como empleo influyen positivamente en el PIB, como es natural. Asimismo, la adopción de banda ancha en todos los casos presenta un coeficiente positivo y significativo, conforme a lo esperado.
- La innovación depende positivamente del PIB, lo cual implica que un crecimiento del PIB (por ejemplo, inducido por el desarrollo de la infraestructura de datos) redundará en una mayor actividad innovadora. El crecimiento del 1% del PIB redundará en un crecimiento en las solicitudes de patentes per cápita del 0,75%. Asimismo, los resultados para las variables digitales sugieren un impacto directo positivo de la adopción de banda ancha en la innovación.
- Los salarios también se verán beneficiados por el crecimiento del PIB. El coeficiente asociado sugiere que un 1% de incremento en el PIB genera que los salarios crezcan un 0,69% en promedio. A su vez, los salarios dependen positivamente de los niveles de capital humano.
- Finalmente, la tasa de desempleo se verá reducida por el crecimiento del PIB. Un 1% de crecimiento del PIB generará una reducción en la tasa de desempleo en torno al 0,7%.

Los modelos econométricos permiten formalizar efectos en cadena directos e indirectos que vinculan el desarrollo de la infraestructura de datos a variables socioeconómicas. Siguiendo este procedimiento, se pueden identificar cuatro “rutas” de efectos indirectos desde la infraestructura de datos hasta el PIB (Cuadro 8.1).

**Cuadro 8.1. Construcción de efectos indirectos**

Ruta	Relación	Efecto
Ruta 1	Infraestructura de datos → Infraestructura de BA → Adopción de BA → PIB	0,070
Ruta 2	Infraestructura de datos → Infraestructura de BA → Adopción de BA → Adopción digital → PIB	0,003
Ruta 3	Infraestructura de datos → Industrias digitales → Adopción digital → PIB	0,024
Ruta 4	Infraestructura de datos → Industrias digitales → PIB	0,081

Fuente: Telecom Advisory Services.

En cuanto al modelo de efectos socioeconómicos derivados del aumento del PIB, este se materializa a través de los *spillovers* sobre el PIB (Cuadro 8.2).

**Cuadro 8.2. Efectos directos - modelo de efectos del PIB**

Relación	Coefficientes
PIB → Innovación	0,752
PIB → Ingresos	0,679
PIB → Desempleo	-0,706
Adopción de BA → Innovación	0,223
Adopción digital → Desempleo	0,036
Adopción de BA → Desempleo	0,211
Infraestructura de BA → Desempleo	-0,027
Industrias digitales → Desempleo	-0,010

Fuente: Telecom Advisory Services.

Una vez identificados los efectos directos e indirectos, se han simulado escenarios hipotéticos para poder cuantificar los efectos de cambios en la infraestructura de datos:

- El despliegue de una nueva zona *cloud* contribuye en un 1,024% al PIB y, además, aumenta la innovación en un 1,292%, medida por las solicitudes de patentamiento, genera un aumento del 0,695% en salarios, y una reducción de la tasa de desempleo en torno al 0,312%.
- El despliegue de un centro de datos está asociado con un incremento del PIB del 0,088%. Asimismo, aumenta la innovación en un 0,111%, medida por las solicitudes de patentamiento, y genera un aumento del 0,060%, en salarios. El impacto en el desempleo es negativo (-0,027%).
- El despliegue de 10.000 servidores se puede vincular con un crecimiento del PIB del 0,041% (un impacto mucho menor que los otros dos componentes de la infraestructura de datos). Sus efectos en la innovación, salarios y desempleo son del 0,052%, del 0,028% y del -0,012%, respectivamente.

En términos agregados, los efectos económicos asociados con el despliegue de la infraestructura de datos son ampliamente positivos, lo que implica la necesidad de gobiernos de implementar políticas públicas y de marco regulatorio que estimulen su desarrollo.

## Referencias

- Acemoglu, D. y P. Restrepo. 2015. The race between man and machine: Implications of technology for growth, factor shares and employment. Sin publicar, diciembre.
- Aghion, P. y P. Howitt. 1994. Growth and unemployment. *The Review of Economic Studies* 61 (3): 477-494.
- Armbrust, M., A. Fox, R. Griffith, A. D. Joseph, R. Katz, A. Konwinski, G. Lee, D. Patterson, A. Rabkin, I. Stoica y M. Zaharia. 2010. A view of cloud computing. *Communications of the ACM*, 53(4), 50-58.
- Arntz, M., T. Gregory, y U. Zierahn. 2016. The risk of automation for Jobs in OECD countries: a comparative analysis. OECD Social, Employment and Migration Working Papers No. 189. París: OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/5jlz9h56dvq7-en>.
- Atkinson, R., D. Castro y S. J. Ezell. 2009. The digital road to recovery: a stimulus plan to create jobs, boost productivity and revitalize America. Washington, D.C.: The Information Technology and Innovation Foundation.
- Autor, D. y D. Dorn. 2013. The growth of low-skill service jobs and the polarization of the us labor market. *American Economic Review* 103 (5): 1553-1597.
- Barro, R. J. 1991. Economic growth in a cross section of countries. *The Quarterly Journal of Economics*, 106(2), 407-443.
- Berman, S. J., L. Kesterson-Townes, A. Marshall y R. Srivathsa. 2012. How cloud computing enables process and business model innovation. *Strategy & Leadership*.
- Bolwin, L., J. Ewald, H. Kempermann, H. Klink, D. Van Baal, B. Zink. (2022). The importance of AWS for the German economy. Colonia: Institut der deutschen Wirtschaft Köln Consult GmbH
- Carcary, M., E. Doherty y G. Conway. 2014. The adoption of cloud computing by Irish SMEs an exploratory study. *Electronic Journal of Information Systems Evaluation*, 17(1), pp3-14.
- Chen, P. Y. y S. Y. Wu. 2013. The impact and implications of on-demand services on market structure. *Information Systems Research*, 24(3), 750-767.
- Chen, X., M. Guo y W. Shangguan. (2022). Estimating the impact of cloud computing on firm performance: An empirical investigation of listed firms. *Information & Management*, 59(3), 103603.
- Chou, C. Y., J. S. Chen y Car Cary. P. Liu. (2017). Inter-firm relational resources in cloud service adoption and their effect on service innovation. *The Service Industries Journal*, 37(3-4), 256-276.

- Crandall, R., W. Lehr y R. Litan. 2007. the effects of broadband deployment on output and employment: A cross-sectional analysis of U.S. Data. *Issues in Economic Policy*, 6.
- Czernich, N., O. Falck, T. Kretschmer y L. Woessman. 2011. Broadband infrastructure and economic growth. *The Economic Journal*, 121, 505-532.
- Dalenogare, L. S., G. B. Benitez, N. F. Ayala y A. G. Frank. 2018. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383-394.
- Deller, S., B. Whitacre y T. Conroy. 2021. Rural broadband speeds and business startup rates. *American Journal of Agricultural Economics*.
- Dosi, G., K. Pavitt y L. Soete. 1990. The economics of technical change and international trade. Pisa: Laboratory of Economics and Management (LEM), Sant'Anna School of Advanced Studies.
- Espíndola, E. y J. I. Suárez. 2023. Automatización del trabajo y desafíos para la inclusión laboral en América Latina: estimaciones de riesgo mediante aprendizaje automático ajustadas a la región (No. 68574). Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Ford, G. S. 2018. Is faster better? Quantifying the relationship between broadband speed and economic growth. *Telecommunications Policy*, 42(9), 766-777.
- Forman, C., A. Goldfarb y S. Greenstein. 2012. The internet and local wages: A puzzle. *American Economic Review*, 102, 556-575.
- Frey, C. y M. Osborne. 2017. The future of employment: How susceptible are jobs to computerization? *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 254-280.
- Frey, C. B. y M. Osborne. 2023. Generative AI and the future of work: a reappraisal. *Brown Journal of World Affairs*, 1-12.
- Frontier Economics. 2022. The sky is the limit. How cloud computing is the key to better public services in Ireland. Technology Ireland.
- Gal, P., G. Nicoletti, T. Renault, S. Sorbe y C. Timiliotis. 2019. Digitalisation and productivity: In search of the holy grail: Firm-level empirical evidence from EU countries. OECD.
- Garrison, G., R. L. Wakefield y S. Kim. 2015. The effects of IT capabilities and delivery model on cloud computing success and firm performance for cloud supported processes and operations. *International journal of information management*, 35(4), 377-393.
- Gillett, S., W. Lehr, C. Osorio y M. A. Sirbu. 2006. Measuring broadband's economic impact. Technical Report 99-07-13829, National Technical Assistance, Training, Research, and Evaluation Project.

- Goos, M., A. Manning y A. Salomons. 2014. explaining job polarization: routine-biased technological change and offshoring. *The American Economic Review* 104 (8): 2509-2526.
- Graetz, G. y G. Michaels. 2015. Robots and Work. IZA Discussion Paper, No. 8938.
- Gregory, T., A. Salomons y U. Zierahn. 2015. technological change and regional labor market disparities in Europe. Centre for European Economic Research, Mannheim.
- Hair, J., B. Black, B. Babin y R. Anderson. 2006. Multivariate data analysis, 6th edition. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Kandilov, I. T. y M. Renkow. 2010. Infrastructure investment and rural economic development: an evaluation of USDA's broadband loan program. *Growth and Change*, 41(2), 165-191.
- Kathuria, A., A. Mann, J. Khuntia, T. J. Saldanha, y R. J. Kauffman. 2018. A strategic value appropriation path for cloud computing. *Journal of management information systems*, 35(3), 740-775.
- Katz, R., S. Vaterlaus, P. Zenhäusern y S. Suter. 2010. The impact of broadband on jobs and the German economy. *Intereconomics* 45 (1): 26-34.
- Katz, R. 2012. Impact of broadband on the economy: research to date and policy issues. Ginebra: International Telecommunication Union.
- Katz, R., F. Callorda y J. Jung. 2021. The impact of automation on employment and its social implications: evidence from Chile. *The economics of innovation and new technology*, Vol. 32, No. 5 <https://doi.org/10.1080/10438599.2021.1991798>.
- Katz, R. y J. Jung. 2021. The economic impact of broadband and digitization through the COVID-19 pandemic: Econometric modelling. Ginebra: International Telecommunication Union.
- Katz, R. y J. Jung. 2022. Fixed broadband's contribution to economic growth in the United States between 2010 and 2020. New York: Telecom Advisory Services LLC.
- Katz, R. y J. Jung. 2023a. The contribution of cloud to economic growth in the Middle East and North Africa. New York: Telecom Advisory Services LLC.
- Katz, R. y J. Jung. 2023b. Economic impact of cloud adoption in Asia-Pacific. The importance of pro-cloud policies to promote development and economic growth. New York: Telecom Advisory Services LLC.
- Katz, R. y J. Jung. 2023c. Economic spillovers from cloud computing: evidence from OECD countries. *Information Technology for development*, diciembre.
- Katz, R. y J. Jung. 2024. Cloud computing policies and their economic impacts in Asia and the Pacific. Asian Development Bank Institute, enero.

- Katz, R., J. Jung y M. Goldman. 2024. Cloud computing and firm performance: a SEM microdata analysis for Israeli firms. *Digital Policy, Regulation and Governance*, 26(3), 295-316.
- Khayer, A., Y. Bao y B. Nguyen. 2020. Understanding cloud computing success and its impact on firm performance: an integrated approach. *Industrial Management & Data Systems*, 120(5), 963-985.
- Kolko, J. 2010. Does broadband boost local economic development? Public Policy Institute of California Working paper. [www.ppic.org/content/pubs/report/R\\_110JKR.pdf](http://www.ppic.org/content/pubs/report/R_110JKR.pdf).
- Koutroumpis, P. 2009. The economic impact of Broadband on growth: a simultaneous approach. *Telecommunications Policy*, 33, 471-485.
- Lehr, W. H., Osorio, C. A., Gillett, S. E., y M. A. Sirbu. 2006. Measuring broadband's economic impact, MIT Engineering Systems Division WP Series ESD-WP-2006-02.
- Lobo B., Md. Rafayet y B. Whitacre. 2020. Broadband speed and unemployment rates: Data and measurement issues. *Telecommunications Policy*, Vol. 44, No. 1.
- Loukis, E., M. Janssen e I. Mintchevl. 2019. Determinants of software-as-a-service benefits and impact on firm performance. *Decision Support Systems*, 117, 38-47.
- Low, C., Y. Chen y M. Wu. 2011. Understanding the determinants of cloud computing adoption. *Industrial management & data systems*.
- Luo, X., W. Zhang, R. Bose, H. Li y Q. B. Chung. 2018. Producing competitive advantage from an infrastructure technology: The case of cloud computing. *Information Systems Management*, 35(2), 147-160.
- Mack, E. A. 2014. Businesses and the need for speed: The impact of broadband speed on business presence. *Telematics and Informatics*, Vol. 31, No. 4, 617-627.
- Mack, E. A. y A. Faggian. 2013. Productivity and broadband: the human factor. *International Regional Science Review*, 36, 392-423.
- Mack, E. A. y S. J. Rey. 2014. An econometric approach for evaluating the linkages between broadband and knowledge intensive firms. *Telecommunications Policy*, 38, 105-118.
- Marston, S., Z. Li, S. Bandyopadhyay, J. Zhang y A. Ghalsasi. 2011. Cloud computing—The business perspective. *Decision Support Systems*, 51(1), 176-189.
- McAfee, A. 2011. What every CEO needs to know about the cloud. *Harvard Business Review*, 89(11), 124-132.
- McKinsey Global Institute. 2017. Jobs lost, jobs gained: workforce transitions in a time of automation. Diciembre.
- Nedeloska, L. y G. Quintini. 2018. Automation, skills use and training. OECD Social, Employment and Migration Working Papers No. 202. París: OECD Publishing.

- Pattee, H. H. 1978. The complementary principle in biological and social structures. *Journal of Social and Biological Structures*, Vol. 1, No. 2, abril, 191-200.
- PwC. 2021. The Impact of Cloud Computing on the Indonesian Economy, septiembre.
- Qiang, C. Z. y C. M. Rossotto. 2009. Economic impacts of broadband. En *Information and Communications for Development 2009: Extending Reach and Increasing Impact*, 35-50. Washington, D.C.: World Bank.
- Röller, L. H. y L. Waverman. 2001. Telecommunications infrastructure and economic development: a simultaneous approach. *American Economic Review*, 91, 909-923.
- Rosenberg, N. 1976. Perspectives on technology. New York: Cambridge University Press.
- Schniederjans, D. G. y D. N. Hales. 2016. Cloud computing and its impact on economic and environmental performance: A transaction cost economics perspective. *Decision Support Systems*, 86, 73-82.
- Sheikholeslami F y N. J. Navimipour. 2017. Service allocation in the cloud environments using multi-objective particle swarm optimization algorithm based on crowding distance. *Swarm Evol Comput*, 35: 53-64
- Shiu, A. y P-L. Lam. 2008. Causal relationship between telecommunication and economic growth: a study of 105 countries. Artículo presentado en la 17th Biennial Conference of the International Telecommunications Society (ITS). Montreal, junio 24-27.
- Schmookler, J. 1966. Invention and economic growth. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Sorbe, S., P. Gal, G. Nicoletti y C. Timiliotis. (2019). Digital dividend: Policies to harness the productivity potential of digital technologies.
- Spitz-Omer, A. 2016. Technical change, job tasks, and rising educational demands: looking outside the wage structure. *Journal of Labor Economics*, 24: 235-270.
- Wang, N., H. Liang, Y. Jia, S. Ge, Y. Xue y Z. Wang. 2016. Cloud computing research in the IS discipline: A citation/co-citation analysis. *Decision Support Systems*, 86, 35-47.
- Waverman, L., M. Meschi y M. Fuss. 2005. The impact of telecoms on economic growth in developing countries. Vodafone Policy Paper Series, 2, Londres, Reino Unido.
- Whitacre, B., R. Gallardo y S. Strover. 2014. Broadband's contribution to economic growth in rural areas: Moving towards a causal relationship. *Telecommunications Policy*, 38(11), 1011-1023.
- Yusuf, A. A. 2020. the effect of new technologies on the Indonesian economy: An economy-wide assessment. CSIS Working Paper.

## Anexos

### Anexo 1. Países incluidos en la muestra

**África subsahariana:** Angola, Benín, Botsuana, Burundi, Camerún, Costa de Marfil, Kenia, Mozambique, Nigeria, Senegal, Sudáfrica, Tanzania, Zambia, Zimbabue.

**América Latina y el Caribe:** Argentina, Barbados, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, Trinidad y Tobago, Uruguay, Venezuela.

**América del Norte:** Canadá, Estados Unidos.

**Asia - Pacífico:** Australia, China, Corea, Filipinas, India, Indonesia, Japón, Malasia, Nueva Zelanda, República Islámica de Irán, Singapur, Sri Lanka, Tailandia.

**Europa Occidental:** Alemania, Austria, Bélgica, Bosnia y Herzegovina, Chipre, Croacia, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Grecia, Irlanda, Islandia, Israel, Italia, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, Portugal, Noruega, Reino Unido, Suecia, Suiza, Turquía.

**Europa del Este:** Armenia, Azerbaiyán, Bielorrusia, Bulgaria, Eslovenia, Estonia, Hungría, Kazajistán, Letonia, Lituania, Polonia, República Checa, República Eslovaca, Rumanía, Rusia, Ucrania.

**Estados árabes:** Arabia Saudita, Bahrein, Egipto, Jordania, Kuwait, Líbano, Marruecos, Omán, Qatar, Túnez.

## Anexo 2. Modelo de efectos derivados del PIB estimado por MCO con efectos fijos

**Cuadro A2.1. Resultados para la ecuación de innovación**

Variable dependiente: Log(Innovación)	
Log(PIB)	1,008*** [0,348]
Log(Educación)	0,682 [0,547]
IED	0,002*** [0,001]
Efectos fijos por país	SÍ
Efectos fijos por año	SÍ
R-cuadrado (within)	0,083
Observaciones	1.557

Fuente: Telecom Advisory Services.

Nota: \*\*\* p<1%

**Cuadro A2.2. Resultados para la ecuación de ingresos**

Variable dependiente: Log(Ingresos)	
Log(PIB)	0,583*** [0,075]
Log(Educación)	-0,188 [0,113]
Efectos fijos por país	SÍ
Efectos fijos por año	SÍ
R-cuadrado (within)	0,582
Observaciones	1.879

Fuente: Telecom Advisory Services.

Nota: \*\*\* p<1%

**Cuadro A2.3. Resultados para la ecuación de desempleo**

Variable dependiente: Log(Desempleo)	
Log(PIB)	-0,476*** [0,173]
Inflación	-0,193*** [0,073]
Efectos fijos por país	SÍ
Efectos fijos por año	SÍ
R-cuadrado (within)	0,111
Observaciones	1.924

Fuente: Telecom Advisory Services.

Nota: \*\*\* p<1%



**BID**

Mejorando vidas