

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

UNIDAD IZTAPALAPA

DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

POSGRADO EN ESTUDIOS SOCIALES: ECONOMÍA SOCIAL

“EFECTOS DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN EN EL
CRECIMIENTO ECONÓMICO. UN ESTUDIO A NIVEL PAÍS 1994-2020”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRA EN ESTUDIOS SOCIALES
LÍNEA ACADÉMICA: ECONOMÍA SOCIAL**

PRESENTA:

LIC. THALIA SILVA BARRÓN

MATRÍCULA: 2203801087

COMITÉ TUTORAL:

DIRECTOR: DR. JOSÉ LUIS ESTRADA LÓPEZ

LECTOR: DR. EDUARDO MACARIO MOCTEZUMA NAVARRO

LECTOR: DR. HERI OSCAR LANDA DÍAZ

JURADO:

PRESIDENTE: DR. HERI OSCAR LANDA DÍAZ

SECRETARIO: DR. JOSÉ LUIS ESTRADA LÓPEZ

VOCAL: DR. EDUARDO MACARIO MOCTEZUMA NAVARRO

IZTAPALAPA, CIUDAD DE MÉXICO, 14 DE DICIEMBRE 2022.

Contenido

Resumen.....	4
Retribución social	4
Introducción	5
1. TIC, capital tecnológico y crecimiento económico: aspectos teóricos	8
Introducción	8
1.1. Determinantes inmediatos y fundamentales del crecimiento económico	9
1.2. Tecnologías de Propósito General y la expansión del producto	23
1.2.1. TIC: concepto, definición y canales	31
1.3. Las Instituciones en el crecimiento económico.....	39
1.4. Una versión extendida del modelo con capital e innovación endógena.....	42
1.5. Discusión y Conclusiones	48
2. Efectos de las TIC en el funcionamiento económico: sinopsis de la literatura empírica	54
Introducción	54
2.1. TIC, productividad y crecimiento económico: análisis entre países	55
2.2. Efectos sectoriales del desarrollo TIC.....	65
2.3. Conclusiones	68
3. TIC e Instituciones como cofactores de crecimiento económico a nivel país: análisis de indicadores	71
Introducción	71
3.1. Génesis de las TIC como Tecnologías de Propósito General	72
3.2. Vertebración de la actividad económica 1994-2020	79
3.3. Panorámica estructural, composición y despliegue TIC	82
3.4. Calidad institucional, productividad y crecimiento económico	87
3.5. Conclusiones	94
4. Metodología de investigación, análisis e interpretación de resultados	97
Introducción	97
4.1. Aspectos metodológicos.....	98
4.2. Análisis e interpretación de resultados.....	104
4.3. Conclusiones	114
Conclusiones generales.....	116
Bibliografía	120
Apéndice A	132

Apéndice B.....	136
Apéndice C.....	139
Apéndice D	148
Apéndice E.....	153
Apéndice F.....	155
Apéndice G	156
Apéndice H	157

Resumen

En esta investigación se argumenta que las tecnologías de la información y comunicación (TIC) contribuyen a la productividad de los países debido a que: i) estimulan la capacidad innovadora de los agentes a partir del aprovechamiento de las externalidades; ii) coadyuvan a la acumulación de factores productivos; iii) introducen nuevas aplicaciones para automatizar y reducir tareas innecesarias u obsoletas; iv) facilitan la creación de nuevos campos o nichos de mercado potenciales para beneficio social y privado; y, v) respaldan la reducción de la brecha digital y cognitiva. En tal virtud, el análisis aborda el enfoque de oferta de la teoría del crecimiento, específicamente se reflexiona sobre la corriente endógena donde la tasa de innovación está determinada por las capacidades tecnológicas locales, la probabilidad de innovar de los agentes, la rapidez con que se difunde la tecnología, la productividad del sector de investigación, la capacidad de imitación tecnológica, la tasa de innovación de la Frontera Tecnológica Mundial y por la brecha a la Frontera. Por lo que, empíricamente el estudio se lleva cabo por medio de una estructura panel en dos niveles, primero, una relación dinámica mediante el método Pooled Mean Group que concede conocer la relación de equilibrio entre TIC-productividad y TIC-crecimiento económico; y, segundo, una operación estándar a través de los modelos de Mínimos Cuadrados Generalizados y Errores Estándar Corregidos para Panel que proporcionan observar el comportamiento TIC sobre el nivel de productividad para 30 países. A este respecto, los hallazgos revelan, primero, los países experimentan ganancias en eficiencia sobre la base de la acumulación de capital tecnológico TIC; segundo, el flujo comercial TIC tiende a incrementar la productividad de las economías; y, tercero, existen factores como las Instituciones que son razón de ganancias en productividad porque impulsan la velocidad con que se difunden las tecnologías de frontera.

Retribución social

La retribución social de este documento de investigación radica, fundamentalmente, en comprender que, al adoptar las tecnologías de la información y comunicación como herramientas tecnológicas indispensables en la dinámica productiva y cotidianidad de la sociedad, las economías -como la mexicana- pueden experimentar ganancias en eficiencia y crecimiento sostenido cuando acceden a múltiples soluciones innovadoras a partir de tecnologías que habilitan y simplifican los procesos de producción y las actividades de los agentes-usuarios de éstas. De modo que aquellos países con mayor profundización y acceso a las TIC se benefician en lo económico, financiero, educativo, industrial, social y de gestión pública; por tanto, podrán reducir la brecha digital (v.gr. neutralidad de la red y acceso universal), disminuir la desigualdad social, aumentar la eficiencia económica y mejorar el excedente del consumidor.

Introducción

Actualmente, la utilidad de las tecnologías de la información y comunicación en las actividades económicas supone un conjunto de tecnologías capaces de habilitar múltiples soluciones al interior de los procesos productivos, puesto que en su rol facilitador permiten el acceso, procesamiento, codificación, sistematización, transformación, almacenamiento, automatización, comunicación, difusión, interacción e intercambio de conocimiento e información que modifica el comportamiento de los individuos, empresas y gobiernos hasta el punto de propiciar un nuevo estadio en las formas de diseñar, producir, distribuir y comercializar bienes y servicios. En tal virtud, la innovación sistemática de las TIC puede favorecer la rapidez con que se transmite el conocimiento alrededor de mundo y, por ende, ser aprovechado por los agentes con la intención de agregar valor a las industrias.

Alrededor de esto, las TIC yacen como uno de los grandes cambios estructurales al sistema económico mundial porque se conciben como Tecnologías de Propósito General (TPG) cuyas características permiten describir cómo es que el cambio tecnológico induce mejoras en la actividad productiva que conlleva aumentos en el nivel de productividad y crecimiento económico. De modo que las TIC, al ser empleadas en distintos sectores, fungen como tecnologías complementarias que crean nuevas oportunidades y aplicaciones para reducir costos, simplificar procesos y obtener mayores beneficios.

Sin embargo, las diferencias de capital físico, capital humano y de tecnología entre países provocan que las sociedades no accedan a la información y al conocimiento en las mismas condiciones, situación que hace que algunos países empleen de mejor/peor manera sus factores productivos aportándoles/restándoles ganancias en eficiencia y elevando/reduciendo posibilidades de crecer sostenidamente. Sobre el particular, la participación de las TIC al crecimiento económico es polémico, ya que dentro de la literatura empírica algunos estudios encuentran relación directa entre las TIC, la productividad y el crecimiento; mientras que otros son menos convincentes en esta asociación, admitiendo la posible existencia de otros factores que supeditan este vínculo, por ejemplo: las Instituciones. En tal contexto, es permisible que la intervención institucional anidada con la rapidez con que se mejoran las tecnologías TIC podrían estar cambiando las relaciones estructurales entre factores, productividad y crecimiento económico.

A nivel teórico, dentro del marco de la teoría del crecimiento económico, el debate recae en la importancia y naturaleza del progreso tecnológico, el cual, en el modelo neoclásico mantiene un carácter exógeno (Solow-Swan, 1956) frente a la corriente endógena, que distingue que el progreso tecnológico está determinado a través de la acumulación de capital humano y el gasto en I + D; hasta las conjeturas ligadas con variables que inducen a los países a acumular factores y producir conocimiento, tales como: el Comercio Internacional, las Instituciones y el Sector Financiero (Snowdon y Vane, 2006).

En medio de esta discusión, las externalidades constituyen el supuesto fundamental, debido a que permite el alejamiento de los axiomas tradicionales del modelo neoclásico para dar paso a la presencia de los principios de: economías de escala, rendimientos marginales crecientes, mayores beneficios y, especialmente, la controversia sobre los fundamentos de la convergencia económica. En este orden de ideas, la expansión del producto, en el largo plazo, está determinada por la tasa de innovación; la cual, a su vez, está en función de las capacidades tecnológicas locales, el proceso de innovación, la rapidez/velocidad con que se difunde la tecnología, la productividad del sector de investigación, la capacidad de apropiación tecnológica, la tasa de innovación de la Frontera Tecnológica Mundial y la distancia a la Frontera (Aghion y Howitt, 2009 cap. 5, cap. 7; Keller, 2004).

Conforme a lo que antecede, el problema de investigación recae en que la evolución de las TIC no solo ha inducido cambios significativos en las formas de producir bienes y servicios, también ha creado un profundo debate, a nivel teórico y empírico, sobre la medición e impacto del desarrollo TIC en la productividad y el crecimiento, así como de los factores condicionantes de este vínculo; escenario que ha generado dificultades metodológicas relevantes.

Por tanto, como hipótesis de trabajo de esta investigación se plantea: i) aquellas economías con mayor acumulación de capital tecnológico TIC experimentarán mayores niveles de productividad, ya que este proceso implica la generación, incorporación y adaptación de nuevo conocimiento, y su uso intensivo permite una mayor especialización productiva y el desarrollo de las capacidades tecnológicas locales; sin embargo, esta relación no es inequívoca y automática, pues existen otros factores, como las Instituciones, que podrían condicionar/catalizar las ganancias en productividad asociadas con la profundización TIC; y ii) se conjetura que aquellos países con

un mayor flujo comercial TIC tienden a incrementar la eficiencia multisectorial, a través del fenómeno de la difusión internacional de conocimientos.

Por consiguiente, el objetivo general de esta investigación es indagar la importancia del impacto de los indicadores de profundización TIC en la productividad agregada a nivel país, y como objetivos particulares: i) conocer qué factores condicionan la magnitud del impacto de los indicadores de profundización TIC en la productividad agregada a nivel país; ii) observar el cambio que ha tenido el vínculo TIC – productividad a nivel país durante 1994 a 2020; y iii) estimar la contribución de los indicadores de profundización TIC al crecimiento de la productividad a nivel país durante el periodo 1994-2020.

Lo anterior para contestar las interrogantes: general, ¿qué tan importante es el impacto de los indicadores de profundización TIC en la productividad agregada a nivel país?; particulares, ¿qué factores condicionan la magnitud del impacto de los indicadores de profundización TIC en la productividad agregada a nivel país?, ¿cómo ha cambiado el vínculo TIC – productividad a nivel país durante el periodo 1994-2020?, y ¿cuál es la contribución de los indicadores de profundización TIC al crecimiento de la productividad a nivel país durante el periodo 1994-2020?

Para la operacionalización de hipótesis y dar respuesta a las preguntas se emplea una especificación panel dinámica a través del método Pooled Mean Group y una segunda mediante los métodos Mínimos Cuadrados Generalizados y Errores Estándar Corregidos para Panel, donde los principales resultados concluyen que las TIC guardan relación positiva con la productividad y el crecimiento económico.

La investigación se encuentra estructurada de la forma siguiente. En el capítulo 1 se estudian los determinantes del crecimiento articulado con las Tecnologías de Propósito General, mismas que ayudaron a proponer una extensión del modelo con capital e innovación endógena de Aghion y Howitt (2009) al cual se le introduce un parámetro de difusión internacional de conocimiento en el sentido de Keller (2004). El capítulo 2 aborda la revisión del estado de la cuestión en torno a las TIC, la productividad y el crecimiento económico. El capítulo 3 expone el origen de las TIC como TPG, el grado de penetración de las TIC y la influencia de las Instituciones sobre la productividad a lo largo del periodo 1994-2020 para 30 economías. En el capítulo 4 se detallan los aspectos metodológicos de la operacionalización de hipótesis y los resultados empíricos. Finalmente, se esbozan las conclusiones.

1. TIC, capital tecnológico y crecimiento económico: aspectos teóricos

Introducción

En el marco de la teoría del crecimiento económico se reconocen dos enfoques de análisis: uno de demanda y otro de oferta. En el primero, se establece como hipótesis general que en el largo plazo la trayectoria del producto y el empleo están condicionados por las variaciones de la demanda agregada (externa e interna), en cuyas formulaciones se asienta un papel especial a la inversión, la distribución del ingreso, la acumulación de capital y las exportaciones (Thirlwall, 2003). Mientras que, en el segundo, la evolución del producto en el largo plazo está determinado por el progreso tecnológico (Aghion y Howitt, 2009; P. Romer, 1990). Es importante destacar que las líneas discursivas de esta investigación toman como eje rector el enfoque de oferta; empero, no se pretende realizar una exposición extensa de los distintos modelos teóricos, sino una revisión, desde la perspectiva endógena del crecimiento, del papel de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) sobre la expansión del producto.

Efectivamente, la discusión sobre los determinantes del crecimiento económico por el lado de la oferta, en términos generales, inicia con la formulación del modelo neoclásico en el cual la senda de expansión del producto está en función del progreso tecnológico y la tasa de crecimiento poblacional, ambos con carácter exógeno; pasando por aquellos modelos que resaltan la importancia de los factores generadores de externalidades, capital humano y tecnológico hasta aquellos que combinan un papel del Comercio Internacional, las Instituciones y el Sistema Financiero en la acumulación de fuentes próximas (Aghion y Howitt, 2009; Grossman y Helpman, 1991; P. Romer, 1990; Lucas, 1988).

En esta ruta, la caracterización de las TIC, como Tecnologías de Propósito General (TPG), constituyen un factor relevante en la acumulación de capital tecnológico y el proceso de innovación, ya que por su incesante evolución han reformulado la manera en cómo los agentes acceden, procesan y comunican la información, así como la dinámica productiva y el involucramiento de la mano de obra al interior de la empresa en razón de la recomposición de la estructura organizacional, de los desarrollos tecnológicos y de la diversificación de productos (Jayakar *et al.*, 2010; Majumdar *et al.*, 2009; Bresnahan y Trajtenberg, 1995; Brynjolfsson, 1993).

El capítulo se organiza de la siguiente forma: en la primera parte se presenta una revisión de los principales resultados y conclusiones en torno del modelo neoclásico y la teoría endógena

del crecimiento, destacando algunos de los principales debates entre ambas corrientes. En la segunda sección se realiza un análisis sobre la noción de las TPG y su contribución en la productividad, acentuando a las TIC como tecnologías facilitadoras de ganancias en eficiencia. En la parte tercera se esbozan los planteamientos teóricos alrededor de las Instituciones. En el cuarto apartado se desarrolla una reflexión teórica sobre las implicaciones de las TIC en la acumulación de capital tecnológico, la innovación y la difusión de conocimientos; tomando como base el modelo de capital e innovación endógena de Aghion y Howitt (2009) y de derrame tecnológico de Keller (2004). En el quinto subtema están las conclusiones.

1.1. Determinantes inmediatos y fundamentales del crecimiento económico

En la temática de los determinantes del crecimiento económico se reconocen dos fuentes: las próximas o inmediatas, asociadas con aquellos factores que contribuyen a la productividad de los insumos, como es el gasto en investigación y desarrollo (I + D) y la acumulación de capital humano, y las fundamentales o profundas articuladas con variables que le van a permitir a los países, industrias o empresas potenciar el proceso de acumulación de factores productivos, así como de factores generadores de externalidades (Snowdon y Vane, 2006 cap.11).

Desde la perspectiva de las fuentes inmediatas se identifican dos corrientes analíticas. La primera asociada con el modelo neoclásico de Solow-Swan (1956), así como otras extensiones, el cual constituye un punto de inflexión en la teoría del crecimiento económico, puesto que, en su construcción, además de incorporar una función de producción flexible, introduce formalmente el proceso de acumulación de capital físico. La segunda corresponde a los modelos endógenos del crecimiento, en los cuales se destaca el papel de los factores generadores de externalidades como fundamento de la dinámica del producto en el largo plazo (Aghion y Howitt, 2009; Snowdon y Vane, 2006 cap.11).

Analíticamente, el modelo de Solow-Swan tiene como objetivo explicar cuáles son los determinantes del crecimiento del producto; particularmente, analiza el efecto de la acumulación del capital físico, el ahorro, el crecimiento de la población y del cambio tecnológico sobre la evolución del producto (D. Romer, 2012 cap. 1; Aghion y Howitt, 2009; Jones, 2000 cap. 2).

Por construcción el modelo toma base en una función de producción agregada con 2 factores productivos:

$$Y_t = (K_t A_t L_t) \quad (1.1)$$

Donde Y_t , K_t y $A_t L_t$ son el producto, el capital físico y la cantidad de trabajo eficiente (indica la eficiencia con la que es aprovechado el trabajo, en concreto, es el progreso tecnológico en el sentido de Harrod) en el tiempo t , respectivamente. Esta función de producción exhibe rendimientos constantes a escala, lo que significa que el producto aumenta en la misma proporción como lo hacen los factores productivos.

En su forma intensiva, por unidad de trabajo eficiente, la función de producción queda definida como:

$$\frac{Y_t}{A_t L_t} = \frac{(K_t A_t L_t)}{A_t L_t} \rightarrow y_t = f(k_t) \quad (1.2)$$

En la ecuación (1.2) y_t depende del capital por unidad de trabajo efectivo $f(k_t)$. Formulación condicionada por las propiedades siguientes:

i) El capital por unidad de trabajo efectivo presenta rendimientos positivos, pero decrecientes:

$$PMg_k = \frac{\partial y_t}{\partial k_t} > 0; \quad PMg_k = \frac{\partial^2 y_t}{\partial^2 k_t} < 0 \quad (1.3)$$

ii) Condiciones de Inada que establecen que el producto marginal del capital es elevado cuando el acervo de capital es pequeño $\lim_{k \rightarrow 0} f'(k) = \infty(+)$; mientras que el producto marginal del capital es bajo cuando el acervo de capital es alto $\lim_{k \rightarrow \infty(+)} f'(k) = 0$.

En este sentido, el modelo plantea que a medida que aumenta la cantidad de capital por unidad de trabajo efectivo, el PMg_k disminuye; así, aquellas economías con un acervo de capital físico elevado crecerán a tasas bajas y a la inversa.

iii) La economía opera en una estructura de competencia perfecta.

iv) Se asume que el ahorro es igual a inversión ($S_t = I_t$). En tal virtud, la tasa de ahorro es una proporción constante del ingreso como sigue:

$$S_t = sY_t \quad (1.4a)$$

En tanto que, la inversión es igual a la variación de capital más el gasto en reposición:

$$I_t = \dot{K}_t + \delta K_t \quad (1.4b)$$

Siendo δ la depreciación del capital que crece a una tasa constante $\delta > 0$, \dot{K}_t es la variación del capital. Combinando las ecuaciones anteriores y despejando para \dot{K}_t , la acumulación del acervo de capital físico vendrá definido por:

$$\dot{K}_t = sY_t - \delta K_t \quad (1.4c)$$

v) Se considera que la población crece a una tasa constante y exógena:

$$L_t = L_0 e^{nt} \rightarrow n = \frac{\dot{L}}{L} \quad (1.5)$$

Con los supuestos anteriores, la acumulación de capital físico por unidad de trabajo efectivo¹, queda definida por:

$$\dot{k}_t = sy_t - (n + g + \delta)k_t \quad (1.6)$$

La fórmula anterior se denomina ecuación fundamental del modelo de Solow-Swan, la cual describe la tasa de cambio del acervo de capital por unidad de trabajo efectivo como la diferencia entre 2 términos: la proporción del producto que se destina al ahorro (sy_t) y la inversión de reposición $(n + g + \delta)k_t$. Así, el sistema muestra que una economía acumulará un nivel mayor de capital cuanto mayor sea el ahorro.

Seguidamente, el modelo describe que en equilibrio $sy_t = (n + g + \delta)k_t$, lo que indica que en el largo plazo las economías dejarán de crecer a la luz de la acumulación de capital. En otras palabras, la tasa de crecimiento del capital por unidad de trabajo efectivo es constante $\frac{\dot{k}_t}{k_t} = 0$ (característica del estado estacionario). Al considerar una función de producción tipo Cobb Douglas, se tiene en forma agregada:

$$Y = K^\alpha AL^{1-\alpha} \quad (1.7a)$$

Mientras que en su forma intensiva²:

$$y = k^\alpha \quad (1.7b)$$

De modo que:

$$0 = \frac{sk^\alpha}{k} - \frac{(n + g + \delta)k}{k} \quad (1.8)$$

¹ A este respecto, se sabe que $k_t = \frac{K_t}{A_t L_t}$ y $y_t = \frac{Y_t}{A_t L_t}$; aplicando logaritmo natural y diferenciando con respecto del tiempo a k_t , se obtiene $\dot{k}_t = \frac{\dot{K}}{A_t L_t} - \frac{K_t \dot{L}_t A_t}{(A_t L_t)^2} - \frac{K_t A_t \dot{L}_t}{(A_t L_t)^2}$. Sustituyendo \dot{K}_t en \dot{k}_t resulta $\dot{k}_t = \frac{sY_t - \delta K_t}{A_t L_t} - k_t n - k_t g$. Seguidamente, al reducir términos se llega a la ecuación fundamental.

² Se divide $Y = K^\alpha (AL)^{1-\alpha}$ entre AL , concluyendo que $y = \left(\frac{K}{AL}\right)^\alpha$, o bien $y = k^\alpha$.

Resolviendo para k , se infiere que en equilibrio:

$$k^* = \left(\frac{s}{(g + n + \delta)} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \quad (1.9)$$

Sustituyendo (1.9) en (1.7b) resulta que el nivel de producción, en equilibrio, está determinado por:

$$y^* = \left(\frac{s}{(g + n + \delta)} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \quad (1.10)$$

Sobre la base de las ecuaciones (1.9) y (1.10) es posible señalar que aquellas economías que tienen altas tasas de ahorro dispondrán de más capital por trabajador, en consecuencia, una mayor producción por trabajador. De modo que, ante cambios en la tasa de ahorro se suscitarán efectos sobre el nivel de producción por trabajador eficiente, pero no sobre la tasa de crecimiento del producto per cápita debido a que la producción por trabajador es constante. Conforme lo anterior, es posible conjeturar que el modelo describe periodos de crecimiento transitorio en las economías, pero no sostenido.

La solución dinámica del sistema, tomando en cuenta que en estado estacionario $\dot{k} = 0$, establece que la tasa de crecimiento del producto agregado³ vendrá dada por:

$$g_Y = g_A + n \quad (1.11)$$

Según esta ecuación, en el largo plazo, el producto agregado se expande a una tasa compuesta equivalente a la suma del progreso tecnológico y el crecimiento poblacional.

Por otro lado, el modelo concluye que en equilibrio el producto per cápita evoluciona a la misma tasa del progreso tecnológico⁴ como sigue:

$$g_Y = g_A \quad (1.12)$$

Donde g_A representa la tasa de crecimiento del progreso tecnológico que tiene naturaleza exógena, de libre acceso y disponible en las mismas condiciones para todas las economías. Con lo cual el sistema predice que, indistintamente de la situación inicial de una economía, aquellas con

³ El producto se expande a la tasa $f(k) = \frac{Y}{AL}$, al diferenciar con respecto del tiempo el logaritmo natural se obtiene $\frac{d \ln Y}{dt} - \left[\frac{d \ln A}{dt} + \frac{d \ln L}{dt} \right] = 0 \rightarrow g_Y = g_A + n$. Mientras que $k = \frac{K}{AL}$, ejecutando el mismo procedimiento, se deduce que k : $\ln k = \ln K - \ln A - \ln L \rightarrow 0 = \frac{d \ln K}{dt} - \left[\frac{d \ln A}{dt} + \frac{d \ln L}{dt} \right]$; en consecuencia $g_k = g_A + n$.

⁴ Se sabe que $y^* = \frac{Y}{AL} = \frac{1}{AL} Y$, de este modo $\ln y^* = \ln y - \ln A \rightarrow \frac{d y^*}{dt} = 0 = \frac{d \ln y}{dt} - \left[\frac{d \ln A}{dt} \right]$, de ahí que $g_Y = g_A$.

una relación capital-trabajo baja tenderán a crecer a una tasa mayor que aquellas economías cuya relación capital-trabajo es alta (hipótesis de convergencia).

Ciertamente, bajo el análisis de la ecuación fundamental en un modelo de crecimiento con tasa de ahorro constante, ésta última respaldará las necesidades de inversión para que el capital – también- permanezca constante, generando así rendimientos transitorios de los ingresos; sin embargo, en la medida en que la relación capital-trabajo incrementa conllevará a que la participación del capital se extenué; por tanto, este modelo no es capaz de explicar el crecimiento sostenido con aumentos sucesivos en la tasa de ahorro. Asimismo, el carácter exógeno del progreso tecnológico y el contexto de convergencia de los ingresos per cápita de las economías al nivel de estado estacionario imponen notorias restricciones para establecer una interpretación y explicación detallada sobre las causas de la expansión del producto, debido a que con el paso del tiempo se han presenciado transformaciones continuas en la manera de cómo los países han empleado útilmente el conocimiento científico para producir nuevos materiales, bienes y servicios diferenciados o completamente nuevos, así como desarrollos tecnológicos que han sido capaces de intervenir en las tareas cotidianas de los agentes hasta, en algunos casos, llegar a configurarlas o desplazarlas.

Durante este proceso ininterrumpido de innovaciones, los productos y tecnologías no son los mismos periodos tras periodo y, por consiguiente, el progreso tecnológico tampoco lo es, además de no estar disponible ni en el mismo estadio para todas las economías. Razón por la que es posible hacer una pequeña digresión, pues parece acertado mencionar un conjunto existente de tecnologías asociadas a la arquitectura lógica-crítica TIC (véase apartado 1.2.1) que exhortan a los agentes a utilizar y aprovechar de inmediato el conocimiento debido a que presumen ser “*gratuitas*” o de “*libre acceso*”. No obstante, para poder usarlas, los agentes requieren de otras tecnologías TIC que las habilitan, dejando por fuera esa cualidad gratuita. Así, el uso generalizado de las TIC ha sido y es un claro ejemplo del porqué la inversión intencional en acumular conocimiento resulta ser una de las fuerzas impulsoras de la productividad y la tasa de crecimiento del producto.

En definitiva, la ausencia de una explicación o tratamiento detallado del progreso técnico, como elemento clave del crecimiento económico, en el modelo neoclásico da lugar a otros planteamientos que intentan dar a conocer un marco teórico más apropiado y pormenorizado de

las causas del cambio tecnológico, conocidos como la teoría endógena del crecimiento. En esta corriente, las externalidades⁵ constituyen el principal axioma, pues por medio de éste es posible la presencia de rendimientos crecientes en la producción y los factores productivos, conjuntamente con la manifestación de ganancias extraordinarias (v.gr. mayor penetración y poder de mercado, incrementar capacidades de absorción y apropiabilidad, o bien en términos monetarios), conexión que garantiza un proceso de innovación permanente. Motivo por el que surge la principal controversia con respecto de la hipótesis de convergencia, en vista de que se establece la importancia de las condiciones iniciales de la estructura productiva, la dotación de recursos y las características de especialización como condicionantes (Aghion y Howitt, 2009; Snowden y Vane, 2006 cap. 11; Grossman y Helpman, 1991; P. Romer, 1990).

Al interior de esta corriente es posible identificar dos generaciones de modelos. La primera caracterizada por proposiciones sustentadas en los factores generadores de externalidades y, la segunda en sistemas que incorporan las implicaciones de elementos como el Comercio Internacional o las Instituciones en la determinación del crecimiento económico, con un mercado alejamiento de los supuestos vinculados con la estructura de competencia perfecta.

Entre los modelos de la primera generación destaca el elaborado por P. Romer (1986), cuyo análisis pone especial atención en el conocimiento como factor determinante del crecimiento sostenido, colocando en entredicho la hipótesis de convergencia del modelo neoclásico. El autor argumenta que los atributos del conocimiento, entre ellos crecer sin límite y no ser perfectamente excluible, producen efectos externos positivos a las empresas, por lo que cuanto mayor sea el conocimiento acumulado a causa de acciones conscientes en I + D, las economías serán más productivas gracias a los derrames tecnológicos. En este sentido, el modelo posee cuatro elementos fundamentales: i) presencia de externalidades, ii) rendimientos crecientes a escala en la función de producción agregada, iii) rendimientos constantes a escala en la función de producción de la empresa y iv) rendimientos decrecientes en la acumulación de capital.

Lucas (1988) centra su estudio en demostrar que el capital humano⁶ es el factor determinante de la tasa de crecimiento en el largo plazo. Esta idea descansa en que la educación

⁵ Individuos que se apropian involuntariamente de los beneficios por acciones (hechos o conocimiento) deliberadas (que se realiza a propósito o intencionado) por parte de otros agentes.

⁶ Capacidades, experiencia, habilidades, pericia y destrezas que posee y reúne, a lo largo de su vida, un individuo para ejecutar ciertas actividades simples o complejas.

formal y el aprendizaje en la práctica son canales generadores de externalidades que incrementan la productividad del capital físico y favorecen el crecimiento económico sostenido. Por eso, esta discusión concede énfasis en cómo el nivel de habilidades influye en la producción y cómo la asignación de recursos en el proceso productivo respalda la acumulación de capital humano.

Con esta primera ramificación teórica se pone de manifiesto que la inversión en capital humano y en actividades de I + D otorgan ventaja aquellos agentes que logren desarrollar e incorporar nuevas ideas en sus actividades productivas; posición con la que tendrán mayor capacidad de apropiarse de las ganancias extraordinarias que del capital humano e I + D se deriven. Esta reflexión permite sustentar íntegramente la serie de transformaciones escalonadas que han sufrido las tecnologías TIC desde la segunda revolución industrial, pues han sido resultado de la acumulación de conocimiento puro en disciplinas como la electrónica, telemática, física, informática y matemáticas, seguido de una desencadenada serie de investigaciones y experimentos que han dado lugar a la era de la información, esta última respaldada por la producción y mejoramiento de software de base y de aplicaciones, modalidades de comunicación, nuevos sistemas gerenciales o de procesos, y suministro de servicios. Todos estos canales TIC además de promover la integración de comunidades de conocimiento también son agentes de cambio, pues buscan fortalecer su propiedad de tecnologías habilitadoras de información y nuevos conocimientos para aumentar las habilidades y aptitudes de los agentes a propósito de tener continuamente soluciones factibles, reducir la brecha cognitiva⁷, esto, en virtud del aprendizaje asincrónico, sincrónico y automático (Flórez *et al.*, 2017; Jayakar *et al.*, 2010; Tello, 2007; David y Foray, 2002; Bresnahan y Trajtenberg, 1995).

Ciertamente, es a partir de P. Romer y Lucas que aparecen nuevas investigaciones y premisas. De tal modo que, así es cómo surge la segunda generación de modelos de crecimiento endógeno, entre los cuales se encuentran P. Romer (1990) quien consolida sus planteamientos en trabajos precedentes, subrayando que el proceso de innovación se asume, primero, en estructuras de mercado de competencia imperfecta debido a que el agente ha observado la posibilidad de

⁷ Alude al acceso y calidad de la educación; a los avances científicos que resulten de la producción de conocimiento puro y aplicado; a la disponibilidad que tiene un agente para incorporarse e interactuar con las tecnologías TIC; y a la divergencia existente en saber cómo utilizar y aprovechar la enorme cantidad de información que se genera a partir de las TIC (Tello, 2007).

obtener beneficios extraordinarios procedentes del gasto en actividades de I + D, y segundo, porque los derrames de conocimiento son causantes de las diferencias de los ingresos de los países.

Análogamente, entre otros autores, Grossman y Helpman (1991) y Aghion y Howitt (2009) se encaminan en presentar una explicación y modelación matemática que examina minuciosamente la evolución del progreso tecnológico, aparte de establecer a las fuentes fundamentales: Comercio Internacional, Sistema Financiero e Instituciones, como partes constitutivas que afectan a la innovación y a la eficiencia en la forma en que los recursos son empleados en la producción. A su vez, argumentan sobre la distancia que se tiene con la Frontera Tecnológica Mundial (convergencia), los procesos de imitación y de innovación propia, al establecer pagos específicos a la I + D; por lo que las decisiones de inversión para acumular capital humano y conocimientos recaen en la empresa, la cual no solo opera en estructuras de competencia imperfecta también posee el papel fundamental del crecimiento de la productividad y del producto en el largo plazo.

P. Romer (1990) sugiere que la tecnología no es accesible ni está en el mismo contexto para todos los agentes, por ello plantea que el problema de la naturaleza del progreso tecnológico se resuelve a partir de tres premisas: i) el crecimiento es inducido por el progreso tecnológico que es endógeno al sistema e impulsado por la acumulación de conocimientos con características de no rivalidad⁸ y parcialmente excluible⁹; ii) los agentes responden a incentivos de mercado, notoriamente en búsqueda de mayores beneficios, tesitura que conlleva el incesante mejoramiento de los bienes; y iii) la tecnológica es discrepante a otros bienes económicos que asevera una acumulación ilimitada de conocimientos, permitiendo el proceso de difusión tecnológica. De ahí que la evolución del producto, en el largo plazo, sea una consecuencia de la presencia, desarrollo y aumento de bienes de capital diferenciados horizontalmente¹⁰, así como de la innovación y el cambio tecnológico; encausados, principalmente, por decisiones de inversión en actividades de I + D y acumulación capital humano. Reflexión que acentúa a la empresa como el ente responsable del progreso tecnológico.

⁸ Lo pueden usar distintos agentes al mismo tiempo.

⁹ Para tener acceso se debe necesariamente incurrir en un pago. Es decir, la entrada a la externalidad tecnológica (patentes) radica en que hay elementos que son confidenciales o reservados (derechos de propiedad intelectual), pero otros elementos no son completamente privados.

¹⁰ Hace referencia a los cambios en las características exteriores o superficiales de los bienes, como pueden ser modificaciones en la forma (figura), colores, dimensiones, tamaño y número de sus componentes.

Grossman y Helpman (1991, 1994) trazan su modelación partiendo de la importancia que tienen las mejoras en la calidad tanto de los bienes finales como de los insumos intermedios sobre los patrones de vida de las sociedades. Ponen de manifiesto que las revoluciones industriales han ocasionado adecuaciones y un conjunto de cambios en las propiedades, estructuras y características de los productos que han hecho posible la producción de bienes finales totalmente nuevos. Con ello quieren evidenciar que los inventos irradiados por las revoluciones industriales tienen como cimiento preponderante incrementar la productividad total de los factores (PTF), en virtud de la posibilidad de contar con recursos que faciliten y modernicen la operatividad dentro de la empresa, así como la reducción de tiempos y eliminación de duplicidad de tareas.

Alrededor de esto, proponen un modelo el cual aborda a la innovación como un conjunto de productos diferenciados horizontalmente que para ser mejorados exige indudablemente actividades de I + D. En estas condiciones, un productor puede beneficiarse, por un periodo, de las ventajas que obtiene en razón de haber logrado ascender un escalón en la calidad de su producto. Al mismo tiempo, exponen que los patrones de comercio explican la existencia de productos diferenciados verticalmente¹¹, de modo que introducen el Comercio Internacional como uno de los canales de difusión tecnológica que permite a los agentes acelerar el proceso de acumulación de factores tradicionales y generadores de externalidades.

Keller (2004) establece que las diferencias de productividad de los países están explicadas por la tecnología, cuyos rasgos (parcialmente codificada) impiden que éstos logren acceder a ella en las mismas condiciones que otros; razón por la que introduce la Inversión Extranjera Directa (IED) y el Comercio Internacional como mecanismos de derrame internacional de tecnología. La importancia de su propuesta se fundamenta en que los agentes adquieren conocimiento cuando son parte de la esfera comercial dado que pueden apropiarse de los conocimientos de sus socios para así dirigir sus propios esfuerzos de I + D que los encaminen hacia la Frontera Tecnológica Mundial (FTM). Por ende, una vez que un país logra entender, integrar y explotar dichos conocimientos, estos últimos estarán efectivamente activos y difundidos, contribuyendo a la productividad como resultado transversal.

¹¹ Asociado con modificaciones importantes (parciales o totales) en las propiedades inherentes de los productos, ya sean en sus componentes o insumos.

A través de una función de producción tipo Cobb-Douglas de rendimientos constantes a escala, Keller presenta un modelo de difusión internacional de conocimientos con la siguiente especificación:

$$\ln(Y_{nt}/J) = J^{-1} \int_0^J \ln[Z_{nt}(j)X_{nt}(j)] dj \quad (2.1)$$

Donde Y_{nt} representa la producción en el país n en el tiempo t ; $X_{nt}(j)$ corresponde a la cantidad de insumo intermedio j en el momento t en el país n ; $Z_{nt}(j)$ es la calidad, que aumenta con el tiempo, del insumo intermedio; y J simboliza el rango de insumos $J \in [0, J]$ que es constante en el tiempo e igual para todos los países.

Cada insumo j se produce con capital (K) y trabajo (L) mediante la función de producción:

$$X(j) = K(j)^\varphi L(j)^{1-\varphi} \quad 0 < \varphi < 1 \quad (2.2)$$

En esta ecuación φ es la elasticidad atribuible al capital. La relación previa se acepta equivalente y a lo largo del tiempo para todos los países e insumos.

Las actividades de I + D generan nuevos desarrollos tecnológicos, de ahí que la tasa a la que el conocimiento se difunde viene dada por:

$$\dot{\mu}_t = J^{-1} \sum_{i=1}^N \varepsilon_{ni} \int_{-\infty}^t e^{-\varepsilon_{ni}(t-s)} \alpha_{is} s_{is}^\beta L_{is} ds \quad (2.3)$$

En donde s_{is} es el capital humano dedicado a la investigación que produce nuevas ideas a una tasa $\alpha_{is} s_{is}^\beta L_{is}$; α_{is} la productividad de la investigación con $\beta > 0$, siendo β un parámetro de distribución de talento en I + D; ε_{ni} mide la rapidez con que el conocimiento es difundido entre los países; y L_{is} los trabajadores de la economía n en el momento t . Prosiguiendo con un ajuste de notación en (2.3), se tiene que $B = \int_{-\infty}^t e^{-\varepsilon_{ni}(t-s)} \alpha_{is} s_{is}^\beta L_{is} ds$ y $A = \varepsilon_{ni}$; por esto, se deduce que la tasa de difusión tecnológica ($\dot{\mu}_t$) está en función del esfuerzo tecnológico local, o bien de la acumulación de conocimiento (B) del país n en el momento t y por la velocidad de difusión (A) a nivel mundial.

Así pues, la PTF en el país n está especificada por:

$$\frac{A_{nt}}{A_{Nt}} = \left(\frac{\mu_{nt}}{\mu_{Nt}} \right)^{1/\theta} \quad (2.4)$$

Siendo A_{nt} el nivel de productividad en el país n en el tiempo t , μ_{nt} el acervo de conocimiento que ha sido difundido al país n en el periodo t y θ un parámetro de distribución de calidad. Implícitamente, la ecuación (2.4) señala que entre más ideas produzca un país como resultado de los esfuerzos en I + D locales (a propósito de elevar la calidad de los insumos) y a medida en que aumente el acervo de conocimiento derramado a nivel mundial, mayor ganancia en eficiencia experimentará esa economía. De modo que, un agente es más productivo cuando está utilizando eficientemente los factores debido a la incorporación y asimilación de tecnología transmitida.

Bajo esa tesitura, la PTF mundial corresponde al conjunto de productividades del sector de I + D de cada país; por lo que, la tasa de crecimiento del acervo de conocimiento para toda economía aumentará a una tasa común (g), a saber:

$$g = \frac{\dot{\mu}_n}{\mu_n} = \frac{\alpha}{J} \sum_{i=1}^N \frac{\varepsilon_{ni}}{\varepsilon_{ni} + g \mu_n} \frac{\mu_i}{s_i^\beta \tilde{L}_i} \quad n = 1, \dots, N \quad (2.5)$$

Visto lo anterior, las principales conclusiones del modelo son: a) la calidad de los sectores de un país aumenta cuanto más se difunde una cantidad considerable de tecnologías; b) después de que una tecnología es difundida, ésta se vuelve más eficiente; c) las actividades de I + D realizadas por otros países favorecen la productividad de otros; d) la mano de obra calificada determina la velocidad con que las tecnologías son producidas; y e) las innovaciones originadas en cualquier país pueden estar disponibles a nivel mundial gracias al comercio de bienes y servicios y a la relación con empresas transnacionales.

Para efectos analíticos, esta investigación toma base en el modelo de capital e innovación endógena de Aghion y Howitt (2009). Este modelo se caracteriza por tener una visión schumpeteriana dado que describe pormenorizadamente la acumulación de capital y el carácter vertical de la innovación (variedad de productos), cuya premisa destaca que la secuencia fortuita de innovaciones que propician la generación de nuevas tecnologías o diversificación de insumos están desplazando/destruyendo a los anteriores e incluso hacerlos obsoletos. Sobre esta base, se analiza con atención que el crecimiento aumenta: i) a la par de la productividad de las innovaciones que es resultado de la mano de obra calificada (educación superior); ii) con el tamaño de mejora de las innovaciones, mismo que hace alusión a la capacidad de los agentes para aproximarse a la FTM; y iii) el grado de competencia en el mercado.

El modelo tiene como objetivo proporcionar una explicación causal del crecimiento económico en el largo plazo, a partir de la endogenización de la tasa de innovación (la exposición completa del modelo de encuentra en el apéndice A).

Teóricamente, el modelo asume la siguiente función de bienes finales:

$$Y_t = L^{1-\beta} \int_0^1 A_{it}^{1-\beta} x_{it}^\beta di \quad (3.1)$$

Donde Y_t representa la producción de bienes finales, este último puede ser utilizado en tres formas: como capital en la producción de bienes intermedios, en forma de bien de consumo final, y como insumo del sector de I + D; L constituye la mano de obra total empleada directamente en la producción del bien final (por simplicidad $L = 1$); A_{it} la productividad del proceso de innovación; x_{it} el flujo de insumos intermedios diferenciados verticalmente, aquí i significa la última versión de éste; y, β es un coeficiente.

Por consiguiente, el insumo intermedio diferenciado está producido mediante la función:

$$x_{it} = K_{it} \quad (3.2)$$

De ahí que la cantidad de capital físico empleado en la producción de los insumos esté representada por K_{it} . De modo que el agente monopolista responde al costo dado por $R_K x_{it} = R_K K_{it}$, donde R_K es la tasa de alquiler del capital.

Analíticamente, la productividad de la innovación en el sector i en el periodo t está especificada mediante la siguiente ecuación:

$$A_{it} = \tau \vartheta A_{it-1} + (1 - \tau) A_{it-1} \quad (3.3)$$

En donde ϑ corresponde el tamaño de la innovación¹², A_{it-1} es la variante anterior del insumo intermedio, entre tanto τ describe la probabilidad de que ocurra una innovación¹³.

Al mismo tiempo, se subraya la formulación de la oferta de acervo de capital por vía de:

$$K_t = \left(\frac{\beta^2}{R_{Kt}} \right)^{\frac{1}{1-\beta}} A_t \quad (3.4)$$

¹² Notablemente, corresponde a un factor de mejora de la innovación, que no es otra cosa más que el desarrollo de capacidades de absorción, de innovación e infraestructura tecnológica.

¹³ Intuitivamente, también representa la frecuencia a largo plazo de las innovaciones, es decir, la fracción de períodos en los que se producirá una innovación.

Siendo A_t la productividad media de la innovación de la economía, β es la elasticidad de los insumos intermedios diferenciados.

A continuación, se plantea la necesidad de resolver el problema de optimización que enfrenta el productor de insumos intermedios para descifrar la cantidad de bienes intermedios diferenciados en equilibrio, esto es:

$$x_{it} = \left(\frac{\beta^2}{\beta^2 \omega_t^{\beta-1}} \right)^{\frac{1}{1-\beta}} A_{it} \quad (3.5)$$

En donde $\omega_t = K_t/A_t$ es el acervo de capital por trabajo efectivo.

La ecuación (3.5) muestra la magnitud de diferenciación de los insumos intermedios. Entonces, para llegar a tal condición, el productor debe incurrir en gastos de investigación para poder innovar, esto, confiere suponer que entre más inversión en actividades de I + D efectúe, mayor será su probabilidad de tener éxito en desarrollar una innovación, cuya interpretación matemática está dada por las ecuaciones (3.3) y (3.4). En otras palabras, las mejoras en la calidad de los insumos intermedios están determinadas por la productividad media de la innovación.

En esta perspectiva, los beneficios son función creciente del acervo de capital por trabajador efectivo (ω_t), por lo que un incremento en ω_t disminuye el costo de producción del monopolista (R_{Kt}). Por consiguiente, la función de beneficios ajustada por productividad está dada por:

$$\tilde{\pi}(\omega_t) = \beta(1 - \beta) \omega_t^\beta \quad (3.6)$$

La ecuación (3.6) refleja que, en el largo plazo, el nivel del producto es equivalente a la productividad media de la innovación de la economía (A_t) y al acervo de capital por trabajador efectivo (ω_t). Pero, ¿cómo se alcanza esta conclusión? Cabe recordar la cantidad de equilibrio de los bienes intermedios diferenciados (ecuación 3.5) de donde se puede llegar al término $x_{it} = \omega_t A_{it}$; sustituyendo x_{it} en la función de producción (ecuación 3.1), se obtiene:

$$Y_t = A_t \omega_t^\beta \quad (3.7)$$

A la luz de esta demostración, teóricamente es posible señalar que, en el largo plazo, el nivel del producto es proporcional a la productividad media de la innovación (A_t) y al acervo de

capital por trabajador efectivo (ω_t). Así, en equilibrio, la tasa de crecimiento del producto (g_Y) está determinada por la tasa de innovación (g_A), como sigue:

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{\dot{A}}{A} \equiv g_Y = g_A \quad (3.8)$$

Pero, ¿quién es g_A ? Como se reflexionó previamente, para que un productor logre innovar requiere llevar a cabo esfuerzos de investigación, en ese entendido, es natural visualizar que cuanto más se destine a esas actividades, las posibilidades de lograr nuevos descubrimientos aumentan. En virtud de lo anterior, en caso de que el monopolista logre una innovación, éste operará bajo la siguiente condición de productividad:

$$A_{it} = \vartheta A_{it-1} \quad (3.9)$$

Otro componente de suma importancia es la probabilidad de innovar, misma que está establecida por:

$$\tau = \eta(n) \quad (3.10)$$

Donde $\eta(n) = \rho n^\theta$, en tanto que $n = \frac{R_t}{A_t^*}$. La productividad del sector de investigación está descrita por el parámetro ρ ; la cantidad de gasto en investigación está definida por R_t ; el nivel de productividad objetivo identificada por A_t^* ; θ es una elasticidad que está entre 0 y 1, siendo n la cantidad de gasto ajustada por productividad. Al respecto conviene decir que $A_t^* = \vartheta A_{it}$ que define la productividad del nuevo diseño o insumo intermedio que resulta de la rentabilidad de las actividades de I + D. En ese marco, es posible mencionar la realidad inminente del cambio tecnológico, es decir, a medida que la tecnología evoluciona, los emprendedores se enfrentan al reto de mejorar la versión anterior de ésta, motivo por el cual la probabilidad de innovar está inversamente supeditada al nivel de productividad objetivo. Por tanto, no es el gasto absoluto en I + D (R_t) lo que importa para el éxito, sino el gasto ajustado por productividad (R_t/A_t^*).

Seguidamente, el monopolista elegirá el tamaño de gasto en I + D que maximice su pago esperado, el cual es:

$$\Gamma = \tau \tilde{\pi}(\omega_t) A_t^* - \frac{A_t^* \tau^{1/\theta}}{\rho^{1/\theta}} \quad (3.11)$$

Resolviendo el sistema, en el largo plazo, la tasa de crecimiento del producto (g_Y) está especificada por la tasa de crecimiento de la innovación (g_A), misma que en equilibrio es:

$$g_A = \tau(\vartheta - 1) = \rho(\tilde{\pi}(\omega_t)\theta\rho)^{\frac{\theta}{1-\theta}}(\vartheta - 1) \quad (3.12)$$

En síntesis, el modelo plantea como hipótesis teórica que, en el largo plazo, la tasa de crecimiento del producto está determinada por la tasa de innovación, cuya evolución está supeditada al tamaño de la innovación (ϑ), a la productividad del sector de investigación (ρ) y al acervo de capital ajustado por la productividad agregada (ω_t).

En vista de esta revisión, es posible acotar algunos elementos: a) la convergencia se reflexiona mediante el proceso de acumulación de capital, la transferencia tecnológica y la productividad; b) el progreso tecnológico y la acumulación de capital son elementos imprescindibles del crecimiento de la productividad, por lo que cada uno debe ser estudiado cuidadosamente; c) la mano de obra calificada y la diferenciación de productos son elementos clave para lograr reducir la brecha relacionada con la FTM; d) la efectividad de la investigación fomenta la producción de nuevos bienes y servicios, lo cual tiene un efecto en la productividad; e) cada bien o servicio diversificado posee su propia productividad; f) en un lapso de tiempo, un agente puede o no tener éxito en innovar, en todo caso, éste se puede beneficiar del éxito de otros; g) aquellos agentes que logren innovar necesariamente deben seguir invirtiendo en actividades de I + D para no perder el liderazgo tecnológico, dado que desconoce cuán productiva será su tecnología y por cuánto tiempo tendrá poder monopólico; y h) en razón de que el conocimiento es un bien no rival, los agentes tienen la misma posibilidad de innovar, empero dependerá de sus capacidades de absorción.

Es oportuno apuntar, en el marco de la argumentación endógena del crecimiento, que aquellos descubrimientos alcanzados en periodos históricos de profundos cambios no aparecieron de manera repentina, todos éstos guardan un vínculo especial con la rentabilidad de la inversión. Concretamente, las TIC son una manifestación clara del proceso de destrucción y reconfiguración en sus características y propiedades, pues desde su invención han sido objeto de modificaciones escalonadas que provocaron y están suscitando acentuadas modificaciones en las condiciones y formas organizacionales al interior de la empresa y del gobierno, así como una recomposición en las relaciones laborales y sociales.

1.2. Tecnologías de Propósito General y la expansión del producto

Al pasar los años, los países han sido testigos de interesantes acontecimientos que han transformado la composición de sus estructuras económicas, políticas, sociales y culturales. En virtud de ello, las economías han tenido que adoptar, comprender y configurar la tecnología en

nuevas versiones a fin de utilizarla en distintos sectores; aprovechando su potencial y dinamismo tecnológico. De forma que es posible conceder al conocimiento la figura clave para demostrar que los principios científicos han secundado desarrollos tecnológicos particulares que, hasta nuestros días, hacen gran diferencia en diversos contextos. Razón por la que esta sección aborda el vínculo entre las TPG, la productividad y el crecimiento.

En la esfera económica, las invenciones procedentes de las revoluciones industriales desencadenaron una serie de mutaciones en el comportamiento de los agentes y en las formas en cómo éstos se relacionan. De tal manera que los países han podido experimentar altos niveles de productividad a raíz de la mayor participación de los avances tecnológicos sobre la dinámica empresarial; el comercio mundial; el mayor flujo de capitales, en especial, de la IED; y la transferencia tecnológica (Carlaw y Lipsey, 2011; Brynjolfsson y Saunders, 2010; Jayakar *et al.*, 2010; Majumdar, *et al.*, 2009; David y Foray, 2002; Brynjolfsson y Hitt, 2000; Lall, 1992; Bresnahan y Trajtenberg, 1995).

Bresnahan y Trajtenberg (1995) acuñaron el término “Tecnologías de Propósito General” para poner en evidencia la existencia de tecnologías de aplicabilidad universal en amplios sectores de la economía habida cuenta de que en el contexto económico de la década de los ochenta y principios de los noventa se cuestionaba la efectiva contribución de las nuevas tecnologías (particularmente de las computadoras) en la productividad. Desde este punto de vista, los autores explican que la finalidad de las TPG es funcionar como conocimiento codificado porque: i) intervienen como tecnologías complementarias que coadyuvan a la generación de nuevo conocimiento y cambio tecnológico, ya que en su propia dinámica es posible encontrar tecnologías que confluyan hacia un mismo fin (v.gr. el sector TIC) para aceleran innovaciones en un sector o en muchos otros; y ii) su presencia facilita la simplificación de tareas y disminución de tiempos en la producción de bienes y servicios. Con ello, los autores coinciden con el argumento de Schumpeter concerniente a que no es posible juzgar –para un periodo específico- los resultados de un proceso cuando no solo está en constante evolución, sino también porque sus características y resultados son observables conforme transcurre el tiempo (Schumpeter, 1942 cap. 7).

De esta manera, Bresnahan y Trajtenberg fundamentan su propuesta de modelo de dos sectores con supuestos que se encuadran en la universalidad y propósito de las TPG, innovaciones complementarias y estructuras de competencia imperfecta. A tal efecto, desglosan que: a) existen

un conjunto de empresas (industria) que producen TPG; b) hay un productor (o varios) que emplea la TPG (la última versión de ésta) en el momento t para producir un bien particular; c) los incentivos de las empresas que producen la TPG derivan de sus esfuerzos en I + D y de la demanda por parte de otros sectores; d) a partir del insumo TPG, otros productores son capaces de realizar innovaciones propias; y e) el rendimiento económico está en función de la venta del bien que incorpora la TPG. Asimismo, encuentran que en esa dinámica coexisten otros factores, como las Instituciones, que impulsan los desarrollos tecnológicos y capacidad de apropiabilidad en sectores productores de TPG como en aquellos que las adoptan. Sobre el particular, argumentan que la política gubernamental debe estar enfocada en dos sentidos, por un lado, contribuir a la política industrial que fomente las innovaciones y la diferenciación de productos y, por otro, incentivar la demanda de éstos.

En tal virtud, es viable inferir que: i) las TPG se generalizan en toda la economía; ii) hay disponibilidad amplia de bienes y servicios diferenciados o completamente nuevos debido a las innovaciones emanadas por las TPG; iii) el supuesto de complementariedad de las innovaciones se refiere a que una mejora en la calidad de la TPG induce la innovación en otros sectores; iv) aquellos consumidores de TPG encuentran factible usarla como insumo para obtener beneficios tocante a la sistematización o automatización de procesos, al fortalecimiento de las habilidades de la mano de obra, respaldo de nuevos suministros de insumos ejecutados de forma rápida y segura, y fomento de nuevas estrategias para gestionar tareas e instrucciones; v) las Instituciones promueven u obstaculizan la difusión de tecnología; y vi) las TPG son motor de crecimiento.

Helpman y Trajtenberg (1996) retoman el concepto de TPG coincidiendo con que éstas inducen nuevas prácticas e inversiones complementarias en aquellos sectores que las utilizan. Su reflexión se centra en el dinamismo que implica la inversión en estas tecnologías “*fase de siembra*”, su posterior incorporación dentro del proceso productivo, para finalizar en la completa absorción de las mismas “*tiempo de cosecha*”. Por lo que, proponen un modelo que supone que al surgir un nuevo conocimiento/tecnología hay sectores en la economía que aceleran su proceso de implementación (con actividades de I + D) para producir nuevos elementos o componentes asociados a esa misma TPG y, por ende, dé lugar a las próximas generaciones o versiones de bienes intermedios o finales (v.gr. transistores, radio, computadoras). De ahí que, a medida que la TPG

evoluciona y se difunde entre sectores genera ganancias en productividad de manera sostenida, ergo, la velocidad de difusión de la TPG estará determinada por la rentabilidad que ésta genera.

Lipsey *et al.* (2005 cap. 4), después de una reflexión histórica sobre las TPG, describen la importancia de estudiar cuidadosamente la tecnología y el cambio tecnológico en razón de que ambos hicieron posible la explotación comercial del conocimiento científico. En su diagnóstico encontraron que en la medida en que las invenciones procedentes de las revoluciones industriales (v.gr. la electricidad y las computadoras) se extendían hacia múltiples ámbitos y se tornaban lucrativas, los agentes eran capaces de aprovecharlas y adecuarlas a sus labores cotidianas; por lo cual, afirman, el progreso tecnológico se origina al interior del sistema económico y no fuera de éste. En ese sentido, introducen que las TPG se caracterizan por ser: i) *innovaciones radicales* de bienes, gestión organizacional y procesos, por ello, una vez inventadas, codificadas y puestas en práctica asumen el papel de *genéricas*; ii) mejoradas en sus subsiguientes versiones (*innovaciones incrementales*); iii) de fines múltiples y contar con propósito; y iv) complemento y causar beneficios positivos. En ese marco, los criterios se centran en:

- Generalidad: una tecnología tiene esta propiedad cuando su origen estuvo motivado por intereses puramente científicos (v.gr. el telégrafo), pero a medida en que ésta se propaga entre sectores y torna necesaria en la producción, distribución, comercialización e información de bienes y servicios; el interés de los agentes por adquirirla aumenta, provocando variaciones en la estructura económica de un país y a nivel mundial. De ahí deriva la distinción de ser tecnologías facilitadoras.

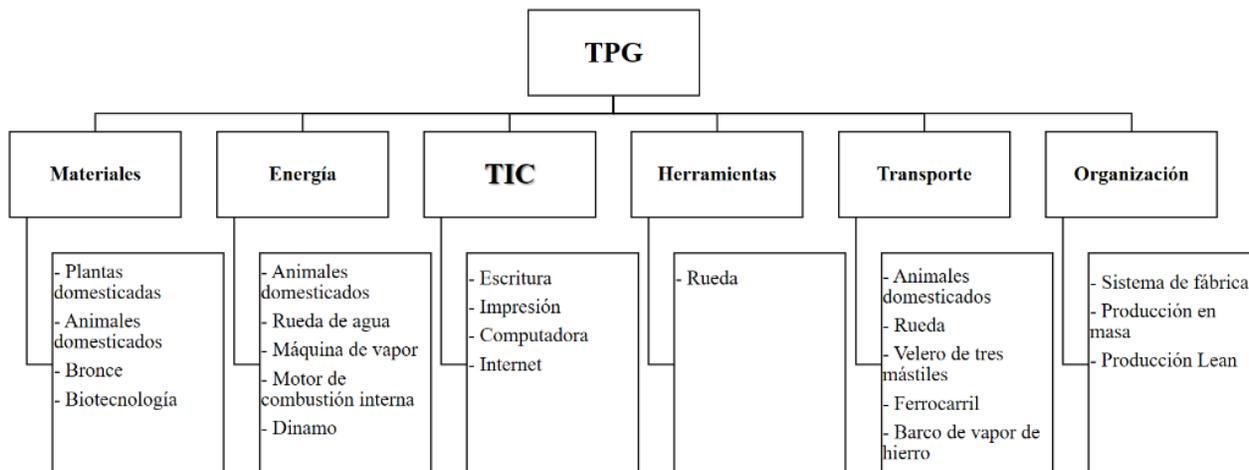
- Universalidad y propósito: la universalidad está alineada con la generalidad. La universalidad significa que la tecnología es de alcance mundial; por tanto, los agentes la identifican, consideran válida y comprenden que su aplicabilidad es relevante para el logro de sus objetivos y ganancias. Con ello, el propósito surge a partir de conseguir esas rentabilidades procedentes del aprovechamiento de un conjunto de tecnologías que colaboran para aportar información, lo cual desprende la complementariedad de las tecnologías.

- Complementariedad: está articulada con los criterios propósito y generalidad. La complementariedad denota el sentido en cómo una tecnología “T” se enlaza o interrelaciona con otras; por consiguiente, a medida en que la tecnología “T” y sus

componentes o reglas son mejorados, las repercusiones en otras tecnologías -para construir una serie de soluciones y aplicaciones potenciales (propósito) que coadyuven a producir nuevos productos, procesos y técnicas organizativas-, se acentuará. Por tanto, la tecnología “T” contribuye a otras, siendo en esa simultaneidad donde se alcanzan nuevos niveles de conocimiento, mayores habilidades y mejores técnicas de producción (generalidad).

Dicho lo anterior, Lipsey *et al.* (2005 cap. 5) especifican la coexistencia de seis TPG en la dinámica económica mundial (véase figura 1), cuyas características son: i) ser endógenas al sistema debido al gasto en actividades de I + D; ii) con el tiempo, incrementan su eficiencia; iii) su difusión es paulatina; iv) en cualquier lapso de tiempo, es posible hallar diferentes versiones; v) ser útiles y usadas al mismo tiempo en diversos sectores; vi) en algunos casos pueden competir superponiéndose una sobre otra, mientras que en otros son complemento; vii) generan incertidumbre sobre su productividad, vida útil, reemplazo-magnitud (total o parcial); viii) tener comportamiento diferenciado, algunas dejan de serlo (v.gr. rueda hidráulica) por el grado de asimilación, pero otras por su constante evolución siguen siendo de suma importancia en la economía (p. ej. tecnologías TIC); y x) es posible (aunque no razonable) asociar su incorporación a la actividad económica con desaceleraciones en la PTF y crecimiento.

Figura 1. Tecnologías de Propósito General



Fuente: elaboración de autor a partir de Carlaw y Lipsey (2005 cap. 5). /TIC: Tecnologías de la Información y Comunicación.

Siguiendo esta discusión, Carlaw y Lipsey (2011) plantean un modelo de tres sectores productivos: sector de conocimiento puro, sector de I + D y sector de producción de consumo. El primero suministra al sector de I + D conocimiento científico útil para la producción de tecnologías

de innovación (conocimiento aplicado o de uso comercial) que son utilizadas en el sector de producción de consumo como en el de conocimiento puro. Además, se considera que en la economía existe –simultáneamente- una variedad de actividades y de TPG, lo que permite que el cambio tecnológico impulse en forma sostenida el crecimiento económico. En ese sentido, aseguran que las tecnologías –dependiendo del tipo de TPG y de la industria en la que éstas participen- no solo están experimentando cambios en su composición, sino también se encuentran disputándose el liderazgo en su generalidad, propósito y complementariedad.

Adicionalmente, asumen que cada sector tiene su propia función de producción, mismas que se interrelacionan a través del componente tecnológico y emplean el mismo recurso compuesto o genérico (tierra + trabajo). Las tres funciones de producción muestran rendimientos decrecientes en el factor de producción genérico; no obstante, cada una de estas puede presentar rendimientos crecientes o constantes a escala según corresponda otros insumos empleados. Asimismo, el modelo refiere que la producción de investigación pura es financiada por parte de Instituciones gubernamentales, quienes gravan al sector de I + D y de consumo.

En ese orden de ideas, el sector de conocimiento puro produce un tipo diferenciado de conocimiento científico que le permite eventualmente inventar una TPG relacionada a su campo de estudio; es posible que su función de producción, en lapsos de tiempo, exhiba rendimientos crecientes debido a las externalidades generadas por el sector de I + D. De ahí que la producción de conocimiento científico esté en función de una porción de la producción del sector de I + D en forma de acervo de conocimiento aplicado, un coeficiente de productividad ligado al propio sector, un parámetro de incertidumbre asociado con la productividad de los recursos empleados y, del recurso compuesto. En esa misma línea, el acervo de conocimiento puro se va acumulando sobre la base de conocimiento científico producido en el periodo anterior y un parámetro de depreciación.

Por otra parte, el sector de I + D crea una clase diferente de tecnologías de innovación, las cuales se concretan en nuevos diseños y bienes de capital físico, usando como insumo todo tipo de TPG provenientes del sector de conocimiento puro. Su función de producción agregada muestra rendimientos constantes y crecientes a escala a causa de los insumos provenientes del sector de investigación pura. Dicha función viene dada por el recurso compuesto, un coeficiente de productividad asociado con la producción científica, un coeficiente de productividad de acuerdo

a cada TPG, la productividad de la última versión de una TPG y, un parámetro de la secuencia de cada TPG. Paralelamente, el acervo de conocimiento del sector I + D está especificado por la producción de conocimiento aplicado del periodo previo y un parámetro de depreciación.

El sector de producción de consumo produce bienes finales diferentes con tecnologías provenientes del sector I + D. Su función de producción agregada exhibe rendimientos constantes a escala, la cual está determinada por la cantidad de conocimiento aplicado útil, un coeficiente de productividad que expone la fracción del capital físico que incorpora conocimiento aplicado, la dotación de recurso genérico y un coeficiente de participación del sector de I + D.

Es posible deducir que conforme las TPG vayan perfeccionándose, éstas generaran ganancias en eficiencia en todos los sectores, principalmente, en el sector de I + D y de consumo; por consiguiente, en la medida en que cada sector vaya adoptando y asimilando las TPG, así como las tecnologías resultantes de éstas, mayor será su productividad. En este punto, es importante acotar que conforme las TPG vayan mostrando ser más productivas que sus antecesoras, éstas se difundirán paulatinamente en toda la economía; de modo que algunas competirán en un solo mercado poniendo en duda la efectividad y vida útil de las otras, pero, cabe la posibilidad de que aparezcan complementariedades tecnológicas, debido a lo cual emergerán nuevas tecnologías de organización, procesos y productos que logran impulsar la productividad sectorial y crecimiento sostenido a causa de la acumulación de conocimiento puro y aplicado.

Conjuntamente, hay que precisar que la simultaneidad de las TPG genera incertidumbre a los agentes en dos vías, primero, en términos de eficiencia y desplazamiento, y segundo, por complemento. En el primer caso, la productividad de las TPG estará condicionada por la secuencia esperada de nuevas TPG competidoras. Mientras que, en el segundo, la complementariedad de la TPG está basada en su capacidad de interacción con otros factores productivos. Sea cual fuera el camino, el productor de bienes de consumo debe invertir en tecnologías provenientes del sector de I + D; por lo que, el primer sector usará tecnologías de vanguardia siempre y cuando el sector I + D opere con una TPG retardora que ha logrado desplazar total o parcial a la tecnología actual o dominante. De lo contrario, las productividades del sector de I + D como la de consumo estarán condicionadas por la productividad de la TPG actual hasta el punto en que la TPG retardora exhiba cambios de productividad debido a un efecto desplazamiento.

Por todo lo anterior, el modelo considera que el PIB de la economía es la suma de la producción del sector de I + D y de consumo en el periodo t, incluyendo el costo del conocimiento científico. De modo que se conjetura que en la medida que las economías acumulen conocimientos podrán experimentar mayores niveles de productividad y expansión del producto, esto, en virtud del proceso de difusión tecnológica y de las capacidades de absorción.

Del análisis precedente, es plausible retomar la consideración de Lipsey *et al.* (2005 cap. 4) sobre el debate del impacto efectivo de las TPG (específicamente de las TIC) en la PTF. Al respecto, Solow en 1987 y Gordon (2000, 1999) se muestran escépticos de los efectos de las TIC –particularmente de las computadoras- en la PTF, ya que las economías han mostrado periodos de aceleración y ralentización de la productividad a pesar de la introducción de las TIC. En este sentido, Lipsey *et al.* (2005) argumentan que el análisis del comportamiento de la productividad se debe a múltiples factores y no únicamente a una relación entre insumos y producto o a la relación de precios y cantidades, como plantea la contabilidad del crecimiento de Solow. Por ello, cuando se aborda el estudio de los determinantes del crecimiento es necesario estudiar el suceso multicausal que contempla la inversión en actividades de I + D, el capital humano, la participación gubernamental, el comercio, la asignación de factores y a las innovaciones tecnológicas.

Bajo esa tesitura, Carlaw y Lipsey mencionan que no es acertado afirmar que la incorporación de una nueva tecnología al proceso de producción de bienes y servicios inmediatamente debe conducir a “*bonos de productividad*” (al margen de las diversas técnicas de medición hoy existentes), en virtud de que la tecnología cada vez va tomando nuevas formas, incluso es transformada completamente, por lo que no solo es más difícil de mejorarla sino también es más complejo que los agentes la integren en sus actividades; algunos serán capaces de asimilarlas rápidamente, mientras que otros no tendrán éxito en este sentido. Con base en lo anterior, los autores señalan que las economías experimentan aumentos en su productividad por diversas razones, principalmente, cuando: i) realizan actividades innovadoras relacionadas con el diseño de un producto que satisfaga necesidades o intereses, con la producción de bienes a partir de nuevas técnicas y la factibilidad del proceso a través de ensayo-error, y con la utilización de productos donde el consumidor es quien informa la calidad de los mismos; y ii) las Instituciones ofrecen mecanismos e incentivos a la innovación.

En este mismo contexto, Bresnahan y Trajtenberg (1995) retoman a Schumpeter para analizar la naturaleza e impacto de las TPG, cuya reflexión se inscribe en que las tecnologías de utilidad generalizada pueden prologar e incluso reanudar la dinámica económica porque su desenvolvimiento no solo esta función de la cantidad de conocimiento contenido en ellas, sino también de la capacidad que tengan los agentes para interactuar e introducirlas en las actividades económicas.

Por su parte, Aghion y Howitt (2009 cap. 5), Helpman (2004) y, Grossman y Helpman (1994) refieren que analizar el cambio tecnológico a partir del residuo de Solow, como una relación contable, no es una justificación razonable porque descomponer los cambios de la producción asociada con las participaciones de los insumos no explica en sí las causas del crecimiento. Grossman y Helpman (1994) muestran que existe una relación causal entre la inversión y la productividad, por lo que concluyen que países con altas tasas de inversión reflejan niveles altos de productividad, dado que la capacidad de acumulación de capital deriva de las experiencias de invertir en actividades de I + D, es decir del progreso tecnológico.

1.2.1. TIC: concepto, definición y canales

La segunda y tercera revolución industrial proporcionaron el origen de uno de los inventos radicales que ha trascendido -hasta nuestros días- a estadios que el ser humano posiblemente no supone su total alcance, además de estar provocando un reordenamiento en diversas actividades económicas: las TIC.

Si bien es cierto que es posible señalar los principios de la información y comunicación desde hace millones de años a través del lenguaje hablado, de símbolos o escrito, también lo es que los objetos o instrumentos concebidos -para tales fines- en periodos previos a la segunda y tercera revolución industrial no poseen la apariencia ni cualidades de tecnologías como el telégrafo (transmisión de datos - codificación de puntos), la máquina de escribir (impresión de caracteres), la tarjeta perforada (máquinas de procesamiento de información) o el transistor (emisor y receptor de señales) en cuyas características y funcionalidades se encuentra el origen de la arquitectura de muchos elementos que hoy encontramos en las tecnologías TIC.

A este respecto, durante el periodo de 1950 hasta 1980 la presencia TIC en las economías ya era notoria, no obstante, fue a finales de la década de 1990 cuando surge el planteamiento nueva

economía, economía de la información o economía del conocimiento apalancada por un conjunto de dispositivos electrónicos que facilitan el acceso, procesamiento, codificación, sistematización, transformación, almacenamiento, automatización, interacción, intercambio y comunicación de información ya sea de forma sincrónica o asincrónica con miras a generar y difundir conocimiento (Ávila Díaz, 2013; Alderete y Gutiérrez, 2012; Gordon, 2012; OCDE, 2011; Jayakar *et al.*, 2010; Papastathopoulos y Beneki, 2010; OCDE, 2009; CEPAL, 2003; OCDE, 2002a; Argandoña, 2001; Pampillón, 2001; Gordon, 2000, 1999).

La UIT (2018a) refiere que aquellas economías que asimilen y adopten las TIC no solo elevarán su competitividad, también serán capaces de reducir los dos tipos de brecha que entorpecen el bienestar social y crecimiento económico: brecha digital y brecha cognitiva. En ese orden de ideas, Baporikar (2013) plantea que la economía del conocimiento agiliza la transición de un país hacia un estadio de bienestar donde las TIC son la razón principal para lograrlo. Además, el autor afirma que el uso generalizado de esas tecnologías coadyuva a tener mano de obra calificada y capital humano que busquen aprovechar el potencial tecnológico actual para futuras innovaciones, logrando así la generación de una estructura tecnológica local.

Jayakar *et al.* (2010) exponen que las TIC favorecen la articulación entre gobierno, productores y consumidores, en cuya dinámica se establecen externalidades estáticas y dinámicas. De acuerdo con los autores, las primeras consisten en el tamaño de red y acceso a la infraestructura y servicios TIC (i.e. nuevos usuarios), en tanto que las segundas aluden que los consumidores juegan un doble papel, esto es, no solo son consumidores TIC, sino también son productores de aplicaciones, servicios e información; por lo que podrán ser agentes innovadores a medida que éstos no tengan obstáculos para acceder a las tecnologías TIC, planteando un mayor movimiento y diversificación de bienes y servicios en la economía.

De igual modo, Moncada Blanco *et al.* (2018) señalan que las TIC coadyuvan a la formación de capital humano, la simplificación de tareas, a agilizar la producción y obtener resultados favorables; además de fomentar en los agentes la capacidad de innovar y elevar sus conocimientos. En la misma ruta, la OCDE (2011, 2002a) y Lipsey *et al.* (2005) argumentan que la economía del conocimiento resulta ser una pieza clave para el crecimiento económico debido a que la estructura TIC se concibe como un conjunto de tecnologías *habilitadoras de innovación* en aspectos organizacionales, de productos y procesos. Por consiguiente, enfatizan que el consumo

TIC, la inversión TIC y gasto en I + D TIC son fundamentales para: a) eliminar barreras de entrada a mercados existentes, b) aumentar la productividad, c) crear nuevos mercados, d) mejorar la calidad de los bienes y servicios, e) facilitar la transferencia de conocimiento, f) fomentar la transparencia y rendición de cuentas del sector público, y g) elevar la calidad de los servicios de salud y educación.

La CEPAL (2003) destaca que la nueva economía ha concedido a los países en desarrollo tener acceso a información y conocimiento producido en cualquier país o región del mundo a causa de la introducción e intensificación de las tecnologías TIC en la dinámica mundial, por lo que, en virtud de esa expansión tecnológica, las economías de América Latina están experimentando nuevas formas de organizarse en el sector público, la política, salud, ciencia y tecnología, cultura, así como en las relaciones sociales y de producción.

Majeed y Ayub (2018), Díaz Rodríguez (2017), Ávila Díaz (2013), Papastathopoulos y Beneki (2010), Lipsey *et al.* (2005) y Pampillón (2001) plantean que las naciones están pasando por un proceso de reordenamiento político, económico, social, cultural y tecnológico como resultado de los avances y velocidad con que las TIC se hacen cada vez más presentes en la empresa, sociedad, las Instituciones, el gobierno y hogar. Al respecto, señalan que estas tecnologías proveen a los agentes de información y conocimiento disponible en todo el mundo, lo cual conlleva a: habilitar la producción de nuevas ideas, contribuir a la producción de bienes y servicios diversificados, estimular la competitividad de las empresas y países, cambiar la estructura organizacional y de negocio de las firmas, modificar las relaciones laborales, facilitar la entrada a nuevos mercados, intervenir en el comportamiento y toma de decisiones de los agentes.

Dicho lo anterior, es posible describir a las TIC como TPG (Jayakar *et al.*, 2010; Majumdar *et al.*, 2009; Lipsey *et al.*, 2005; Bresnahan y Trajtenberg, 1995) ya que están impulsando la transición hacia un ambiente más integral para adquirir nuevas habilidades y técnicas en la producción y distribución, siendo las TIC capaces de modificar mercados, condiciones laborales, estrategias de marketing e innovaciones tecnologías específicas (Ávila Díaz, 2013). De ahí que los canales TIC hagan posible elevar la productividad y competitividad de los países y de las empresas, demostrando ser un insumo importante y necesario.

En efecto, las TIC son tecnologías facilitadoras o habilitadoras de información y conocimiento en diversos sectores económicos y disciplinas científicas, así como de transacciones

financieras, comercio e integración regional y comunicación transfronteriza (Majeed y Ayub, 2018). De modo que la utilidad tecnológica y de gestión TIC se encuentra, por citar algunos ejemplos, en la agricultura, minería, medicina, química, construcción y servicios inmobiliarios, educación, ciencia y tecnología, organizaciones, Instituciones, administración pública o gobierno, manufactura, el sistema financiero, transporte, medio ambiente y, desde luego, en el sector TIC.

Para Toader *et al.* (2018), Islam (2015), Ávila Díaz (2013), Tello (2007) y Argandoña (2001) las TIC se definen como un conjunto de tecnologías tangibles e intangibles (equipos o dispositivos, software comercial y especializado, aplicaciones, ambiente digital, licencias, telecomunicaciones) que garanticen el acceso, procesamiento, almacenamiento, la codificación, automatización, transmisión, gestión, difusión, recepción y comunicación (física o virtual, lógica o funcional) de información y conocimiento a fin de interactuar de forma presencial o digital.

A este respecto, la OCDE (2011 cap. 2, 2009 pág. 11) establece que las TIC son aquellos productos y servicios que obligatoriamente “cumplan o permitan la función de tratamiento, procesamiento y comunicación de información por medios electrónicos, incluyendo transmisión y visualización”. Por tanto, el sector TIC está integrado por empresas dedicadas a fabricar equipos, dispositivos, componentes y productos periféricos, de comunicación y electrónicos, así como ofrecer servicios relacionados con licencias y software, consultorías en tecnologías de la información y ciberseguridad, telecomunicaciones y servicios de arrendamiento de equipos TIC.

Es posible identificar dos grupos de indicadores de profundización TIC: por el lado de los recursos destacan el consumo e inversión de bienes y servicios TIC, inversión en equipo y software, patentes, ocupación y habilidades TIC; mientras que por el lado del acceso y uso están las redes de telecomunicaciones, infraestructura de banda ancha fija y móvil, acceso a internet por hogar y empresa. Razón por la que es posible acotar que el mecanismo de transmisión TIC en la productividad se lleva a cabo a través de los canales (véase apéndice B): soporte físico TIC; arquitectura lógica-crítica; conectividad; capacidades de absorción; servicios de acompañamiento y mejora continua; gestión, procesos y gobernanza; y el flujo de importaciones (Majeed y Ayub, 2018; Toader *et al.*, 2018; Volpentesta, 2016; Ávila Díaz, 2013; Baporikar, 2013; Shakeel *et al.*, 2012; OCDE, 2011; Jayakar *et al.*, 2010; Papastathopoulos y Beneki, 2010; OCDE, 2009; Majumdar *et al.*, 2009; Tello, 2007; Lipsey *et al.*, 2005; Snowden y Vane, 2005; Keller, 2004; OCDE, 2002a; Argandoña, 2001; Grossman y Helpman, 1991).

El soporte físico TIC está integrado por componentes, dispositivos u ordenadores electrónicos, equipos periféricos y de comunicaciones, soportes magnéticos y ópticos (OCDE, 2011, 2009). A este respecto, las industrias dinámicas o de intensidad tecnológica, así como actividades relacionadas con el sector servicios y actividades primarias han incorporado e intensificado el uso de este canal en virtud de su naturaleza material. En algunos casos es empleado como insumo intermedio (Ávila Díaz, 2013) para producir otro tipo de bienes (v.gr. automóviles, dispositivos médicos, teléfonos, ordenadores, electrodomésticos, implantes electrónicos, microprocesadores biónicos) y, en otros casos, como bienes de capital para procesar datos, realizar operaciones matemáticas simples y complejas, desarrollar aplicaciones de inteligencia programable, almacenar datos, sistematizar y automatizar tareas, y efectuar consultas o búsqueda de información en la web, por ende, este componente es fortalecido por la conectividad ya que hace posible emitir, recibir, amplificar y transmitir la información entre agentes.

En ese sentido, las industrias/empresas pueden experimentar ganancias en eficiencia en razón de optimizar tiempos y reducir costos en tareas relativas a labores administrativas, operaciones bancarias, actividades comerciales, seguimiento de inventarios, control de tráfico aéreo y marítimo, aprendizaje electrónico o educación a distancia, consumo de energía, ámbito ambiental, diagnóstico de enfermedades y cirugías a distancia, y a la comunicación digital o de red en tiempo real (Papastathopoulos y Beneki, 2010; Lipsey *et al.*, 2005).

La arquitectura lógica-crítica se convierte en otro elemento necesario para aumentar la productividad de los factores porque el desarrollo acelerado de aplicaciones especializadas y personalizadas, software de código abierto, adaptación de procesos manuales a digitales, migración a la nube, diseño y estructura de códigos informáticos, realización de aplicaciones móviles, construcción y planificación de sitios web, producción de sistemas operativos, elaboración de bases de datos, ejecución de inteligencia programable, *big data* y gestión de redes implican que la mano de obra tenga que aumentar sus conocimientos y capacidades debido a la interacción inmediata entre personas, máquinas y *bots* de software (Jayakar *et al.*, 2010; OCDE, 2011, 2002a).

Estas herramientas pueden ser utilizadas en industrias de transporte, eléctrica, química, maquinaria y equipo, de transformación de materias primas; así como en actividades asociadas con la aeronáutica, construcción naval, ingeniería civil, arquitectura, medicina y comercio. Por

ello, la arquitectura lógica-crítica podría constituir causa inmediata de la productividad como resultado del proceso innovador en tecnologías complejas y avanzadas que conlleven perfeccionar/eliminar tareas, intensificar hardware y software que faciliten la operatividad y competitividad de las empresas (Papastathopoulos y Beneki, 2010; Jayakar *et al.*, 2010; OCDE 2002a). Empero, cada vez que un agente intente (o logre) transitar hacia la configuración TIC debe estar consciente que necesita capacidades de absorción, de lo contrario, si mantiene un factor trabajo y capital humano con conocimientos básicos TIC, podrían provocar desplazamiento de mano de obra como efecto colateral (Acemoglu y Restrepo, 2018; Argandoña, 2001).

La articulación entre los servicios de red con otros canales TIC asegura que los primeros habiliten la interacción y transmisión de la información y conocimiento de forma bidireccional, privada o compartida y a una velocidad *ipso facto*; así que la conectividad aporta al cumplimiento del ciclo TIC (Majeed y Ayub, 2018; Volpentesta, 2016; Ávila Díaz, 2013; Shakeel *et al.*, 2012; Jayakar *et al.*, 2010; Tello, 2007; OCDE, 2002a; Argandoña, 2001). Es posible señalar que el alcance y participación de las telecomunicaciones se encuentra en todas las actividades económicas, por tanto, los agentes las utilizan para gestionar, organizar, comunicar y coordinar sus actividades de manera directa, presencial o a distancia. En tal sentido, el acceso y tamaño de red, así como la proporción de líneas telefónicas podrían suponer un proceso de cambio organizacional y de negocio en el comercio, en el mercado laboral, en la formación de la mano de obra, en las atribuciones y funciones del gobierno, y en reducir brecha digital y brecha cognitiva. En suma, la conectividad hace posible que los agentes tengan capacidad de elevar su eficiencia operativa gracias a la mejor comunicación entre agentes.

La capacidad de absorción involucra aprovechar los beneficios TIC para desarrollar nuevas habilidades e ideas a fin de configurar/codificar la información disponible a intereses científicos, materiales, prácticas de gestión, sistemas de comunicaciones, o bien en estrategias de negocio o comercialización, que al llevarse a la práctica generen externalidades y susciten transferencia tecnológica (Ávila Díaz, 2013; Jayakar *et al.*, 2010; Keller, 2004; OCDE, 2002a; Cohen y Levinthal, 1990). En ese orden de ideas, Lall (1992) señala que la apropiación del conocimiento requiere que los agentes se articulen para construir, por un lado, habilidades básicas y específicas que impliquen un trabajo de ingeniería, esto es: capacidades de inversión (reunir recursos financieros), capital humano (educación, experiencia, práctica tecnológica, herencia de

conocimiento), capacidad de esfuerzo tecnológico (manuales, patentes, gasto en I + D, diseño de marca, innovación tecnológica); y, por otro, la aptitud y disposición para interactuar con dichas habilidades a fin de legitimar su posición en una actividad económica en particular.

Los servicios de acompañamiento y mejora continua se encargan de apoyar a las empresas consumidoras TIC en el seguimiento y actualización de sistemas operativos no personalizados y aplicaciones comerciales¹⁴; suministrar infraestructura para hospedaje de sitios web, de aplicaciones para comunicación digital, de servicios centrales; proveer servicios de procesamiento y registro de datos como elaboración de informes; proporcionar recuperación de información por catástrofe informática e instalación de software comercial; arrendar equipo TIC; instalar, configurar, reparar y dar mantenimiento a equipo de comunicaciones, computadoras, dispositivos de almacenamiento y hardware periférico (OCDE, 2011, 2009). Lo anterior, contribuye a las empresas en prolongar la vida útil del soporte físico TIC, así como del equipo de conectividad para reducir el desgaste y evitar la pérdida total de los mismos, lo cual aminora costos de operación, de transporte, errores y generando ventaja competitiva.

La gestión, procesos y gobernanza toma dos rutas. La primera está focalizada en el negocio electrónico y comercio electrónico, mientras que la segunda gira alrededor de las Instituciones. El negocio electrónico se consolida sobre la base digital ya que las empresas replantean su estructura, objetivos, funciones y responsabilidades, por lo cual significa que la toma de decisiones al interior de la empresa no está basada estrictamente en jerarquía o sobre una base piramidal. Asimismo, el contacto con proveedores, las compras, marketing, la gestión de la cadena de suministro (materia prima, diseño y transformación de productos intermedios y finales, distribución y comercialización), el servicio al cliente y comunicación con socios comerciales son ejecutados mediante aplicaciones digitales; siendo el internet, extranet, intranet y la nube quienes facilitan esa reconfiguración (Majeed y Ayub, 2018; Volpentesta, 2016; Baporikar, 2013; Jayakar *et al.*, 2010; Lipsey *et al.*, 2005; OCDE, 2002a; Argandoña, 2001).

Por otro lado, el comercio electrónico se inclina hacia la compra-venta de bienes y servicios a partir de la cantidad de información almacenada en sitios web y disponible en tiempo real sobre precios, cantidades, bienes y servicios, productores, consumidores, contratos, términos y

¹⁴ Por ejemplo: Microsoft Windows, Microsoft Office, Corel Draw, AutoCAD, Adobe Photoshop, iOS, Teamviewer, Avast Antivirus, Zoom.

condiciones, promociones, operaciones bancarias, transferencias de fondos, técnicas de producción, integración regional; propiciando la entrada a nuevos mercados (Majeed y Ayub, 2018; Baporikar, 2013; Shakeel *et al.*, 2012).

Por cuanto hace a las Instituciones, éstas toman importancia dado que se centran en brindar a las industrias/empresas un ambiente macroeconómico estable y un marco jurídico confiable que promuevan el funcionamiento eficiente de las actividades productivas, esto, a través del diseño y ejecución de política económica y pública que conjugue el actuar institucional con la participación ciudadana y empresarial para la toma de decisiones sobre el rumbo de los mercados, donde las TIC legitiman esta interacción/coordinación. De modo que el uso y profundización TIC contribuye, por un lado, en la acumulación de factores y, por otro, coadyuva la reducción de la brecha digital y cognitiva. Paralelamente, se incentivan actividades de comercio electrónico, de I + D y tecnologías organizacionales como el negocio electrónico, lo cual evita desplazamiento de mano de obra (Baporikar, 2013; Ávila Díaz, 2012; Jayakar *et al.*, 2010; OCDE, 2002a; Lall, 1992).

En especial, la reducción de brecha digital significa que a medida que las Instituciones y los agentes logren articularse para desplegar infraestructura en telecomunicaciones e incrementar su tamaño de red tendrán mayores oportunidades de acceder al conocimiento disponible (Volpentesta, 2016); sin embargo, la reducción de la brecha digital no lo es todo, pues no se debe perder de vista que para elevar la base del conocimiento necesariamente se deben implementar mecanismos que permitan obtener el máximo provecho posible de las TIC e incrementar la calidad de la mano de obra, lo cual implica reducir la brecha cognitiva. De lo contrario, entre más tarden los países en adoptar y asimilar las TIC mayor será su brecha digital y cognitiva, las cuales provocarán aumentar la desigualdad social, el desempleo en razón del desplazamiento de mano de obra no calificada por arquitectura lógica-crítica (Acemoglu y Restrepo, 2018), mermar el desarrollo de capacidades de absorción, restringir el acceso a la información y reducir la capacidad de investigación científica y experimental (Tello, 2007; OCDE, 2002a).

Las importaciones son un mecanismo para adquirir conocimiento y desencadenar transferencia tecnológica (Toader *et al.*, 2018; Snowdon y Vane, 2005; Keller, 2004; OCDE, 2002a; Grossman y Helpman, 1991). Razón por la que es lógico concebir que, aunque la economía no sea productora TIC, el comercio internacional provee a los países de tecnología complementaria que supone la implementación de métodos innovadores para producir bienes y servicios

diferenciados que exige actividades locales de I + D e inversión en capital humano, logrando una mejor asignación de factores que conducirán mayores niveles de productividad y menores costos de producción.

1.3. Las Instituciones en el crecimiento económico

Como se estudió en el análisis teórico del crecimiento económico, la corriente endógena sustenta que las externalidades posibilitan trascender de axiomas como competencia perfecta, rendimientos constantes en la función de producción y decrecientes en los factores productivos (del modelo neoclásico) hacia principios de economías de escala, rendimientos marginales crecientes y ganancias extraordinarias. Por lo que, en este contexto de competencia imperfecta, las empresas son razón del proceso de innovación, del crecimiento de la productividad y del producto en el largo plazo.

En tal virtud, las empresas se encuentran en una dinámica de competencia continua a propósito de encontrar oportunidades rentables que les garanticen mayor participación o poder de mercado, o bien la sobrevivencia en el mismo, así como superioridad tecnológica. De modo que las condiciones iniciales de la estructura productiva, la dotación de recursos, las características de especialización de los agentes (generación de conocimiento puro y aplicado), el aprendizaje de la mano de obra y de las firmas son la base del crecimiento económico de los países. Por tanto, en este escenario surgen prácticas por parte de los agentes que pueden influir en el acceso/asignación de insumos para la producción, procesamiento, distribución y comercialización de bienes y servicios.

De ahí que las Instituciones se planteen como mediador/catalizador que concede a las empresas aprovechar las externalidades, tener acceso a la información, acumular factores productivos y generar nuevo conocimiento. Por esa razón North (1990) manifiesta que la dinámica institucional yace en la noción de la presencia de rendimientos crecientes y la existencia de estructuras de mercado de competencia imperfecta.

Pero, ¿qué son las Instituciones? Para responder esta interrogante Douglass North y Oliver Williamson centran su estudio en considerar a las Instituciones como un conjunto de preceptos que inciden en las ganancias en eficiencia de los agentes, en el intercambio de información entre éstos y en la forma de interacción de éstas con las empresas e individuos. De modo que las Instituciones se conciben como «reglas del juego» (North, 1990) capaces de formar

costumbres/tradiciones y establecer un conjunto de instrumentos legales para el funcionamiento de las actividades económicas, cuya configuración jurídica otorga maneras de comportamiento de los agentes, uso de recursos, suministro de insumos, estructura/sistema de incentivos/estímulos a la innovación, términos de intercambio, competencia y libre concurrencia, expansión de las industrias, desarrollo y diversificación de productos, precios competitivos, programas de crédito a la inversión que impliquen desarrollos tecnológicos locales; que favorecen el ritmo de la acumulación de capital, la eficiencia productiva y la asignación de recursos, determinando así las posibilidades de crecimiento sostenido.

Así, en palabras de Peters (1999; citado en Caballero y Garza, 2010) la idea elemental de las Instituciones descansa en que: i) son características de toda sociedad, ii) evidencian estabilidad a largo plazo, iii) intervienen en el actuar de los agentes, y iv) desenvuelven valores y prácticas habituales y comunes entre los agentes (quienes se apegan a éstas).

A tal efecto, North (1990) divide a las reglas del juego en informales y formales. Las primeras se definen como aquellas que son transmitidas de generación en generación (tradiciones, costumbres, ámbito espiritual, religiosas, hábitos, valores sociales, patrones, modos de vida, conocimiento informal, códigos de conducta, cultura cívica, creencias); mientras que las segundas (razón de ilación en esta investigación) se imponen como un marco jurídico vigente y aplicable en un territorio o Estado-Nación (constitución, códigos, leyes, decretos, circulares, resoluciones, sentencias judiciales, lineamientos, normas, reglamentos, convenios, acuerdos, contratos, normas de estandarización). En consecuencia, las Instituciones formales e informales dan forma a la conducta de los agentes en la dinámica económica, así como perfilan las obligaciones, derechos y cumplimiento de las mismas.

Al retomar la concepción de North, Williamson (2000) refuerza el razonamiento de las Instituciones formales e informales y las subdivide en 4 niveles (véase diagrama 1) con el objetivo de precisar la coordinación y competencia entre agentes, a saber:

- Primer nivel: está conformado por las reglas informales que recaen en la historia y evolución de las sociedades.
- Segundo nivel: se orienta, primero, en los ordenamientos que configuran o establecen la estructura de autoridad, facultades y limitaciones, derechos y obligaciones de los agentes, y las formas de cumplimiento. Segundo, en establecer garantías de los derechos de

propiedad, las relaciones entre agentes, la formulación e implementación de política pública, normas y cargas administrativas, reglas e incentivos que –en conjunto- promuevan el desarrollo de mercados, estimulen o eleven la innovación de las industrias, fomenten el desarrollo de tecnología local, promuevan la producción de nuevo conocimiento, y coadyuven a elevar la productividad a propósito del crecimiento económico y bienestar de la sociedad en general.

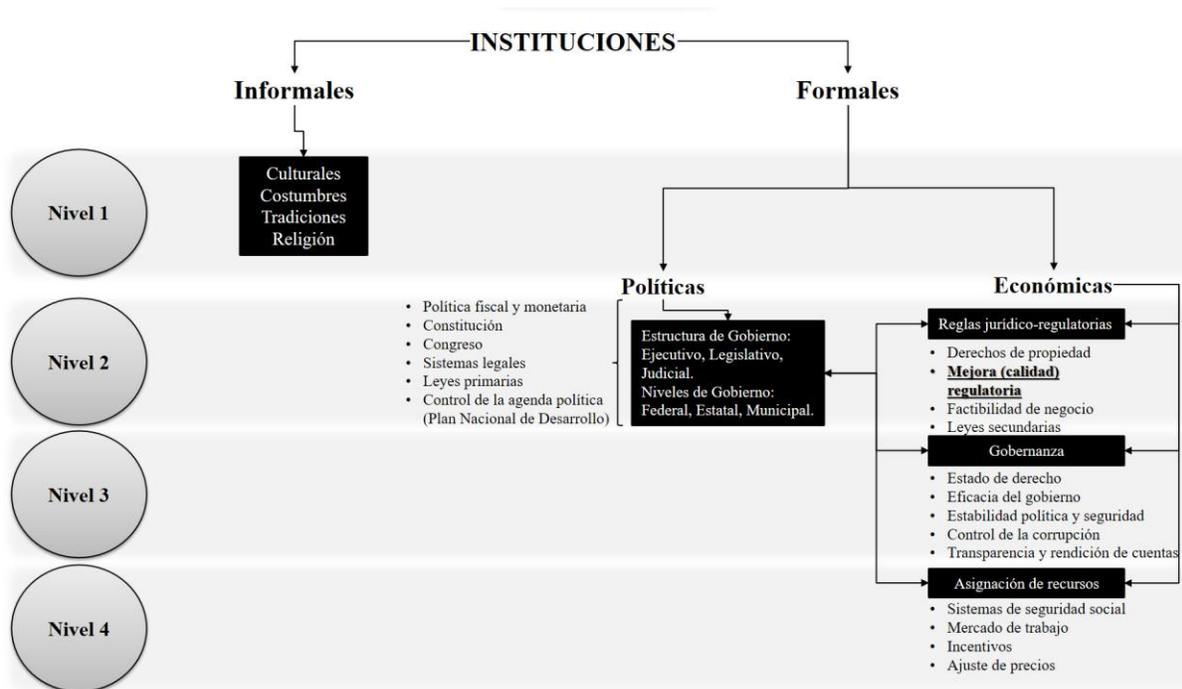
- Tercer nivel: Instituciones que se vinculan con el nivel 2 y poseen capacidad de independencia para la toma de decisiones político-regulatorias; compromiso del gobierno por hacer cumplir el marco jurídico vigente; certeza y confianza en el gobierno en relación con los contratos y derechos de propiedad; sentencias y controversias jurídicas (tribunales); seguridad de la inversión; estabilidad política, económica y social; calidad de los servicios públicos y gobierno abierto/gobernanza (participación empresarial y ciudadana en la elaboración de regulaciones).
- Cuarto nivel: en este nivel están las Instituciones que entre sus funciones y atribuciones son el seguimiento y monitoreo de actividades relacionadas con la fijación de precios, programas de capacitación de la mano de obra, seguridad social, vigilancia laboral.

De los puntos anteriores es posible desprender que las Instituciones ubicadas en los niveles segundo y tercero poseen un rol fundamental en la dinámica productiva, pues se sitúan como aquellas variables que permiten a los agentes acumular factores productivos, introducir nuevas técnicas o métodos de producción, producir bienes y servicios diferenciados, crear nuevos mercados, desarrollar nuevas fuentes de suministro de mercancías, concebir mejores o nuevas formas de gestión organizacional y propiciar transferencia tecnológica a partir del diseño y ejecución de un marco jurídico-regulatorio de calidad que establezca reglas claras para el funcionamiento óptimo de las actividades industriales, comerciales y productivas.

Sobre el particular, North (1994) afirma que las Instituciones “recompensan” el desempeño productivo donde las empresas encuentran en la acumulación de capital humano y actividades de I + D las razones para alcanzar tales compensaciones. En adición, Rodrik (2008) plantea que las Instituciones convenientes y factibles en un país son las que contribuyen a: i) la seguridad de los derechos de propiedad intelectual; ii) cumplir los convenios, acuerdos, contratos; iii) elevar la actividad empresarial; iv) la estabilidad macroeconómica, financiera, social, política; v) ofrecer

seguridad social y laboral; vi) incentivan la participación ciudadana, rendición de cuentas y transparencia; vii) alientan la factibilidad de negocio; viii) incrementan la calidad del marco regulatorio; viii) corrigen fallas de mercado; y, ix) poseen un sistema legal confiable.

Diagrama 1. Contextualización de las Instituciones



Fuente: elaboración del autor con base en Acemoglu y Robinson (2008), Williamson (2000) y North (1990).

Por tanto, en líneas generales, desde la perspectiva teórica institucional, las reglas del juego facultan un ambiente donde los agentes son capaces de acumular habilidades, generar capacidades de absorción y apropiación, así como producir conocimiento científico que estimulen el cambio tecnológico materializado en ganancias en eficiencia.

1.4. Una versión extendida del modelo con capital e innovación endógena

En esta sección se presenta una versión extendida del modelo con capital e innovación endógena de Aghion y Howitt (2009) en la que se incorpora a la dinámica de la tasa de innovación un parámetro de transferencia tecnológica, mismo que está restringido por la velocidad de difusión y el desarrollo de la capacidad tecnológica local en el sentido de Keller (2004). De esta forma, se conjetura que la tasa de crecimiento del producto, en el largo plazo, además del esfuerzo tecnológico local, estará determinado por la difusión tecnológica y el desarrollo institucional. En

ese orden de ideas, se considera que la profundización de las TIC constituye un componente *vis a vis* en la acumulación de capital tecnológico y físico.

Por construcción, siguiendo a Aghion y Howitt (2009 cap.5), la evolución del producto en el largo plazo está determinada por la tasa de innovación, de la siguiente forma:

$$g_Y = g_A \quad (4.1)$$

Para aproximar la dinámica de la innovación, primero, se considera que el éxito de un agente innovador estará asociado con la probabilidad de innovar, esto es:

$$\tau = \rho n^\theta \quad (4.2)$$

Como se definió anteriormente, τ y ρ representan la probabilidad de innovar y la productividad del sector de investigación, mientras que $n = \frac{R_t}{A_t^*}$ constituye el gasto en I + D ajustado por productividad, en tanto que θ es la elasticidad del gasto hacia la probabilidad que está entre 0 y 1; específicamente, ante un cambio del 1 % en el gasto n va a provocar un aumento en θ en la probabilidad de innovar.

Intuitivamente, podemos considerar que la probabilidad de innovar estará sujeta a la eficiencia de las actividades de I + D locales, por tanto tendremos:

$$\tau = \frac{(\pi - \nu)\rho^2}{2} \quad (4.3)$$

En esta ecuación ν representa la capacidad de imitación. Tomando base en el enfoque de clubes de convergencia de Aghion y Howitt (2009 cap. 7) y de difusión de conocimiento de Keller (2004), se considera que el nivel de productividad agregada del país fuera de la FTM viene dado por:

$$A_t = \varepsilon\tau\bar{A}_t + (1 - \tau)A_{t-1} \quad (4.4)$$

Siendo ε la velocidad de difusión con que las tecnologías están disponibles en economías fuera de la FTM, en tanto que A_{t-1} representa el nivel de tecnología del periodo anterior. De esta forma, $\varepsilon\tau\bar{A}_t$ será la fracción de sectores que sí lograron innovar al adoptar y adaptar la tecnología de frontera, mientras que $(1 - \tau)A_{t-1}$ son aquellos sectores que no innovaron en el periodo t . En esta definición, \bar{A}_t constituye la productividad media en la FTM, aproximada por:

$$\bar{A}_t = (1 + g_f)\bar{A}_{t-1} \quad (4.5)$$

Donde g_f mide la dinámica de la innovación de la economía industrializada, la cual se expande a una tasa constante y \bar{A}_{t-1} captura la productividad de la innovación del periodo anterior.

De ahí que aquellas economías posicionadas fuera de la FTM tendrán oportunidad de innovar en virtud del acceso al conocimiento producido en otras regiones (transferencia tecnológica). Entonces, aquellos países que logren adoptar y adaptar los conocimientos de la FTM para intereses propios, alcanzarán mayores niveles de productividad debido al efecto que se produce de la combinación del esfuerzo tecnológico doméstico y del proceso de imitación (velocidad de difusión). En este sentido, un país será exitoso en la innovación en la medida en que éste ponga en práctica la tecnología del exterior dentro de su dinámica productiva y consiga reducir la brecha con respecto a la FTM.

Por lo anterior, siguiendo la propuesta de Aghion y Howitt (2009 cap. 7), la distancia de una economía a la FTM vendrá definida como:

$$a_t = \frac{(\pi - \nu)\rho^2}{2} + \frac{(1 - \tau)}{(1 + g_f)} a_{t-1} \quad (4.6)$$

Resolviendo el sistema, en el largo plazo, la tasa de crecimiento de la innovación vendrá dada por:

$$g_A = \tau \left(\varepsilon \frac{(1 + g_f)}{a_{t-1}} - 1 \right) = \tau(\varepsilon\bar{\theta} - 1) \quad (4.7)$$

Así, en el largo plazo, la tasa de crecimiento de la innovación estará determinada por las capacidades tecnológicas locales y la probabilidad de innovar (τ), la rapidez con que se difunde la tecnología (ε), la productividad del sector de investigación (ρ), la capacidad de imitación tecnológica (ν), la tasa de innovación de la FTM (g_f) y por la brecha a la FTM (a_{t-1}).

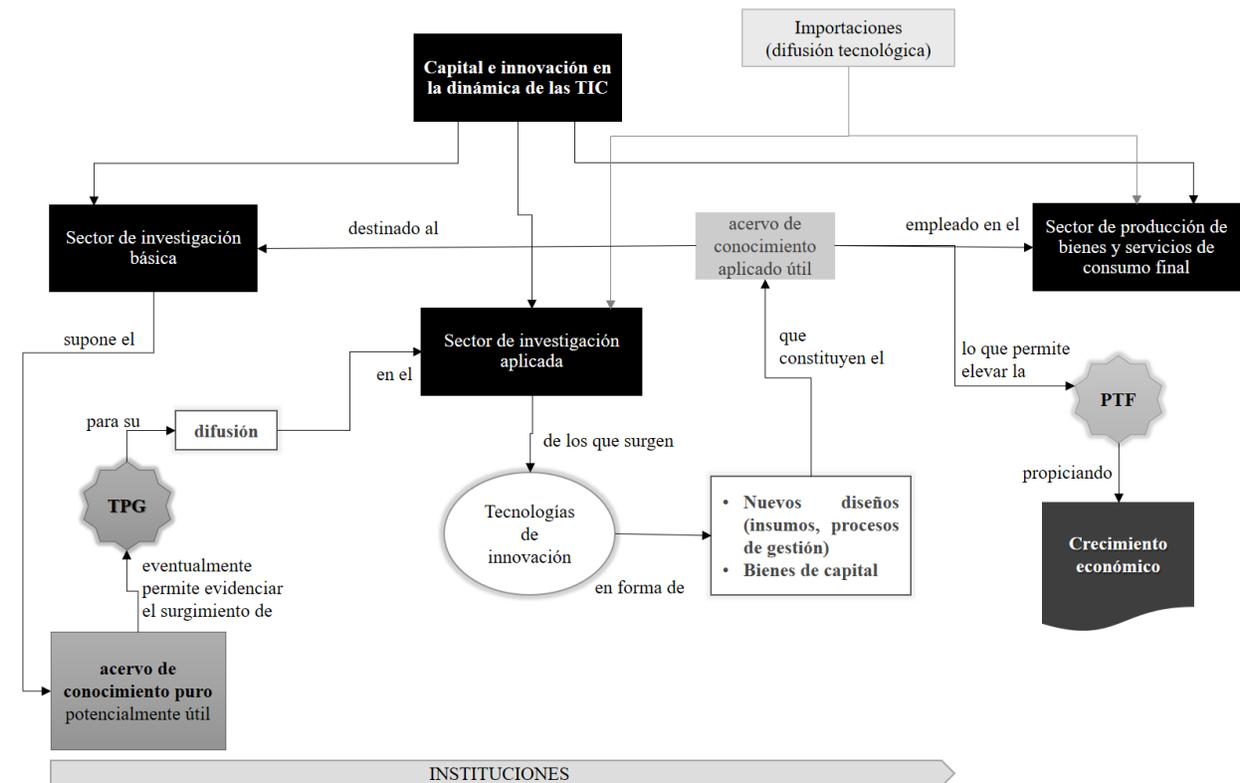
Conceptualmente, lo anterior puede sintetizarse en torno del diagrama 2, el cual establece cómo la innovación en la dinámica de las TIC impacta la investigación básica y aplicada, así como el efecto de la transferencia tecnológica TIC entre sectores productivos, cuya conjugación permiten impulsar la productividad agregada. Es así que el conocimiento teórico producido por centros o comunidades de investigación científica conforma el acervo de conocimiento puro, mismo que se pone en funcionamiento una vez que el sector de investigación aplicada lo emplea útilmente para generar conocimiento tecnológico novedoso de cualidades y apariencia armonizadas a las necesidades del sector de producción de bienes de consumo. En razón de esas exigencias industriales es que los resultados provenientes de las actividades experimentales también

coadyuvan a la expansión y provisión de nuevos conocimientos puros, con lo cual se complementa el ciclo de la economía del conocimiento.

Efectivamente, a medida que aumenta el acervo de conocimiento aplicado, los demás sectores se verán beneficiados en términos de ganancias en eficiencia. Adicionalmente, es imperativo considerar a las Instituciones como mediadores en el funcionamiento de los mercados de factores y uso o asignación eficiente de éstos, así como favorecedoras del ritmo de la acumulación de capital doméstico.

De modo que la tasa de crecimiento del producto, en el largo plazo, no solo estará en función de la capacidad tecnológica propia y de imitación, de la disseminación tecnológica, la productividad del sector de investigación, del estado actual de la FTM y de la proximidad a ésta, también se atribuye a la calidad de las Instituciones.

Diagrama 2. Crecimiento, dinámica de la innovación y difusión internacional de conocimientos



Fuente: elaboración del autor a partir de Carlaw y Lipsey (2011), Aghion y Howitt (2009), Keller (2004) y North (1990).

Es importante acotar que el sector de investigación básica al hacerse efectivo en forma de comunidades de conocimiento científico funge como el eslabón de producción de nuevo conocimiento con la intención de conformar el acervo de conocimiento puro y formación de mano de obra calificada con habilidades paralelas en desarrollos y uso TIC (siendo ambos provechosos en ámbitos industriales, financieros, gubernamentales, agropecuarios, de negocios, servicios, educativos y de salud). Por consiguiente, estos factores serán demandados por el sector de I + D, quien se encargará de producir tecnologías de innovación materializadas en nuevos diseños (insumos, aplicaciones y procesos de gestión u organizacionales) y bienes de capital que, aparte de elevar la base tecnológica, también supondrán añadir valor y elevar la productividad del sector de investigación básica y de producción de bienes finales.

Conjuntamente, siguiendo a Acemoglu y Robinson (2008), Williamson (2000) y North (1990) en materia de Instituciones, es factible inferir que un contexto institucional contribuye en la reducción de la brecha digital y cognitiva. De modo que, las Instituciones económicas concretadas en el diseño de política pública para crear mercados (v.gr. negocio electrónico y comercio electrónico), estructurar un sistema de protección a la propiedad intelectual, ofrecer incentivos que impulsen el desempeño innovador (habilidades y talento) de las empresas, hacer eficiente el sistema legal y de mejora regulatoria; suponen, en conjunto, garantía en la efectividad del desarrollo de capacidades de absorción, de la acumulación de capital y fortalecimiento de la transferencia tecnológica, respaldando así la consolidación del vínculo entre el sector de investigación básica y aplicada.

Por lo anterior, las Instituciones económicas deben, por un lado, contener un entramado jurídico-regulatorio que fomente el carácter emprendedor de los agentes basados en tecnologías TIC (innovación digital), dado que la aceleración de producción de conocimiento aplicado conlleva nuevos desarrollos tecnológicos domésticos resultado de las actividades de I + D propias o de aquella recibida vía transferencia internacional, por ejemplo, de las importaciones. Por otro, establecer un esquema gobernanza y asignación de recursos que consoliden la calidad, confiabilidad y eficiencia de la regulación con la finalidad de cumplimentar y dar seguimiento a la objetividad de las reglas e instrumentos legales entorno de la actividad empresarial, a propósito de la acumulación capital y la inversión en actividades de I + D.

En relación con las Instituciones políticas, traducidas en la estructura y niveles de gobierno, están enfocadas en crear condiciones propicias para mantener la estabilidad macroeconómica, así como emplear instrumentos que influyan en la economía. Debido a lo cual, deben garantizar la sinergia con las Instituciones económicas a propósito diseñar e implementar política económica y pública que precisen los objetivos y estrategias para el crecimiento sostenido de la productividad.

En tal contexto, la consolidación TIC en la dinámica económica procede de circunstancias multifactoriales y de profundos cambios tecnológicos que, a su vez, están provocando transformaciones de negocio, procesos, gestión organizacional y gobernanza, así como la eliminación de tareas simples y repetidas al sustituirlas por nuevas tareas y vacantes basadas en conocimiento TIC y de aplicaciones lógico-críticas. En tal virtud, las tecnologías TIC se introducen como una herramienta cuya operatividad puede ser usada en diferentes rutas dependiendo de la actividad económica en la que se encuentren. Comúnmente la tecnología concerniente a la conectividad y comunicación (despliegue de infraestructura de banda ancha, internet, redes de telefonía fija y móvil) puede intervenir de forma equivalente en todas las industrias, ya que estas tecnologías suministran el enlace inmediato entre agentes sin importar espacio y tiempo; haciendo posible la obtención, transmisión y recepción de información, códigos, imágenes, signos y voz a través del uso de redes alámbricas, inalámbricas y/o satelitales y aplicaciones o plataformas digitales como son: el correo electrónico, software de código abierto, mensajería instantánea, redes de conocimiento, servicios de alojamiento de datos/archivos y la nube. En síntesis, significa reducir brecha digital.

Por otro lado, es posible que algunas industrias requieran el ciclo total de las tecnologías TIC, por ejemplo, la arquitectura lógico-crítica participa en procesos más específicos porque están vinculados con actividades intangibles preproducción (simulaciones, desarrollo de marca, logística de compra de insumos), actividades tangibles (ensamble) y actividades intangibles posproducción (distribución, marketing, logística de venta de producto terminado, servicios, atención al cliente); por lo que requieren de apoyos en la línea de producción como en procesos administrativos, lo cual conduce a una nueva afluencia de servicios, productos y conceptos comerciales, siendo las TIC el soporte estructural para estas actividades industriales que implica considerar que, para emprender una dinámica TIC, el agente requiere de conocimientos específicos, así como de un continuo aprendizaje para que la explotación TIC resulte rentable. Entonces, la producción de

inteligencia programable o software especializado no solo es un aliado para las empresas a efecto de reducir tiempo, riesgos y costos, también es una extensión de capacidades humanas y cognitivas que sirven como complemento en la creatividad, innovación y competitividad.

En esta reflexión, cabe el planteamiento de transferencia tecnológica habilitada por el usufructo TIC porque permite reducir la brecha cognitiva de un país poco industrializado en razón de la velocidad con que se comparte el conocimiento como consecuencia de la abundante disponibilidad de información sobre el estadio tecnológico mundial (patentes, publicaciones, webinars, conferencias y reuniones digitales públicas, licencias, contratos, productos de competencia, marcas) almacenada en la red informática mundial (por sus siglas en inglés *World Wide Web*), así como de aquella procedente de las importaciones, en especial del soporte físico TIC (transistores/semiconductores).

A este respecto, para aprovechar la potencialidad que ofrecen las TIC, los esfuerzos de las entidades gubernamentales debe concentrarse en la expansión TIC que otorga, primero, acumular capital, y segundo, reducir la brecha digital para disminuir las desventajas que podrían enfrentar los agentes a la luz de la brecha cognitiva, la cual en sí representa un gran desafío porque ésta solo generará exclusión de las empresas e individuos al conocimiento, desalienta la I + D doméstica, incrementa las barreras a la entrada a los mercados, eleva la ineficiencia técnica y en la asignación de recursos; que traen como consecuencia la desaceleración de la productividad y bajo o nulo crecimiento económico.

Ciertamente, las disposiciones sobre el acceso, desarrollo, despliegue, uso y aprovechamiento de las tecnologías TIC son piedra angular en la formación de recursos humanos (capacidades de absorción) y acumulación de capital físico y tecnológico, así como en la conformación de una estructura digital transversal (conectividad y comunicaciones, arquitectura lógica-crítica, soporte físico y gestión) para la competitividad de un país; asumiendo que una mayor acumulación de capital tecnológico TIC, la rapidez con que éstas se comparten y una agenda pública TIC de interés general elevarán la productividad agregada.

1.5 Discusión y Conclusiones

En este capítulo se abordó el estudio del crecimiento económico desde el enfoque de oferta, mismo que destaca la importancia de la acumulación de factores como determinante del crecimiento del producto. Como se anotó, a nivel teórico la discusión descansa en la importancia de la naturaleza

del progreso tecnológico, el cual en el modelo neoclásico de Solow-Swan tiene carácter exógeno, frente a la corriente endógena que intenta proporcionar una explicación sobre las causas del cambio tecnológico en la dinámica económica; siendo la discusión teórica central. Por tanto, esta disputa ha ocasionado que los teóricos del crecimiento endógeno den mayor énfasis en demostrar que el progreso tecnológico no mantiene una naturaleza exógena ni por asomo se resuelve fuera del sistema económico, sino que éste es resultado de acciones deliberadas, inversión en I + D y capital humano, en búsqueda de mayores beneficios.

A tal efecto, se distinguen dos fuentes: las inmediatas que tienen que ver con la acumulación de capital humano y el gasto de I + D, y las fundamentales que se consideran como aquellas variables que impulsan la capacidad de los países para acumular factores y producir conocimiento, las cuales se concretan, principalmente, en el Comercio Internacional, las Instituciones y el Sector Financiero. En este orden de ideas se plantea que las externalidades se presentan como un supuesto fundamental de alejamiento de los axiomas tradicionales del modelo neoclásico para abrir paso a las economías de escala, rendimientos marginales crecientes y ganancias extraordinarias, además de controvertir la hipótesis de convergencia.

Particularmente, la ecuación fundamental de crecimiento del modelo de Solow-Swan describe la evolución de la acumulación del capital físico a partir del ahorro y la inversión en reposición; de modo que cuanto más ahorre una economía, menor sea la depreciación y la tasa de crecimiento poblacional, mayor será su producción por trabajador. La predicción que se deduce en razón de ese principio de acumulación es que a medida que una economía vaya aumentando la relación capital-trabajo, en el largo plazo, dejará de crecer, por lo que ésta convergerá a un estado estable. Esta convergencia condicionada sugiere que aquellas economías que estén más lejanas del estado estacionario crecerán a tasas mayores en comparación de aquellas que están más cercanas a él, por lo que, los ingresos de los países tenderán a un punto en donde la producción por trabajador es constante. De ahí que los aumentos sucesivos en el ahorro permitan reponer las necesidades de inversión de reposición para que la relación capital-trabajo permanezca invariable a lo largo del tiempo.

Al respecto, la posible justificación, desde un punto de vista crítico, relacionada con el estado establece y los supuestos asociados con los rendimientos decrecientes del capital por unidad de trabajo efectivo, las condiciones de Inada y la identidad macroeconómica entre el ahorro e

inversión ($S = I$) de Solow-Swan yacen en la evidencia histórica que remite a los hechos estilizados de Kaldor (citado en Snowdon y Vane, 2006), quien señaló que la rentabilidad del capital y la relación capital-producto son estables, de ahí que los ahorros sean una proporción constante de la producción, además de advertir que la relación capital-trabajo también mantiene un crecimiento constante.

Sin embargo, es posible inferir que la proporción del ahorro participa cada vez menos a medida que una economía se acerca al estado estacionario, lo que trae como resultado crecimientos transitorios mas no sostenidos, esto, pone en evidencia las debilidades del modelo porque no solo bloquea toda posibilidad de seguir manteniendo un ritmo de crecimiento, también no es capaz de explicar otros hechos y notablemente evidentes como lo son el incremento de la productividad y una mayor intensidad de capital (sobre todo en economías industrializadas). Es por esta razón que el modelo neoclásico adopta el progreso tecnológico como un componente que inducirá incrementos ininterrumpidos en el capital y el producto, siendo éste el factor que evitará los rendimientos decrecientes del capital porque es aumentativo del trabajo (i.e. aumenta las unidades de eficiencia del trabajo) dando cabida al crecimiento en estado estable. Aunque esa afirmación de Solow-Swan intenta ser convincente, el carácter exógeno del progreso tecnológico aumentativo de la mano de obra no lo es del todo, ya que el modelo pareciera desarrollar una teoría de crecimiento *ad hoc* a características homologadas o iguales asociadas con el conocimiento y capital físico disponible en todas las economías.

A pesar de que el modelo neoclásico ha sido bastante criticado y cuestionado, no se debe perder de vista que éste marca un hecho decisivo en el estado de la cuestión relacionado con la teoría del crecimiento porque es a partir de él del que emergen planteamientos que buscan proporcionar un marco teórico apropiado que explique las razones que dan sustento al progreso tecnológico. De modo que en contraposición surgen, entre otros, los postulados de Romer, Lucas y, Grossman y Helpman.

Sin duda, en este capítulo se reflexionó desde la perspectiva de Romer y Lucas la presencia de factores generadores de externalidades derivadas de la acumulación de conocimiento y habilidades adquiridas por parte de los agentes, mostrando así que el conocimiento eleva la productividad del capital físico y la asignación de recursos en la dinámica productiva apuntala la acumulación de capital humano, motivación que permite resumir que el crecimiento sostenido es

resultado de inversiones en capital humano y en actividades de I + D, constituyéndose como variables que hacen endógeno el cambio tecnológico. Sin embargo, intuitivamente observamos que ambas propuestas asumen que el cambio tecnológico es correspondiente al capital humano que se destina a la investigación, por lo que, en el largo plazo (estado estable), la tecnología como el capital humano serán constantes; idea que dificulta la comprensión alrededor del crecimiento económico sostenido, cuando la noción de estado establece (en donde todas las variables permanecen constantes) del modelo neoclásico es una de las principales posturas que somete a juicio.

Por otra parte, se analizaron los planteamientos de Grossman y Helpman, quienes afirman que la acumulación de conocimiento incrementa la calidad de los bienes finales como de los insumos intermedios, lo que impulsa el crecimiento. Esta idea yace a la luz de las investigaciones desarrolladas por Romer que toman pie en la reflexión sobre bienes diferenciados horizontalmente, por ello, los trabajos de Grossman y Helpman, así como los de Romer se focalizan en las actividades deliberas de I + D (innovaciones motivadas por razones económicas/incentivos de mercado). Aunado lo anterior, estos trabajos asumen que los agentes responden a incentivos de mercado que resultan de la rentabilidad del gasto en investigación experimental, lo cual les otorga poder monopolístico. Sobre el particular, Romer establece ganancias de monopolio de por vida al agente que logra innovar, mientras que Grossman y Helpman aluden que esos beneficios solo pueden ser por un lapso de tiempo; empero, las posibles críticas a estos estudios son, por un lado, adoptar un agente representativo y, por otro, asegurar que todo gasto en I + D produce nuevos conocimientos y capital físico.

Dentro del mismo marco endógeno del crecimiento, Aghion y Howitt, desde una perspectiva neoschumpeteriana, garantizan que la tasa de crecimiento del producto está determinada por la tasa de innovación, ello, al establecer que los nuevos desarrollos tecnológicos destruyen las versiones anteriores hasta hacerlos obsoletos (destrucción creativa). Además, advierten que habrá periodos en los que algunos agentes logren innovar generando externalidades positivas a aquellos que no alcancen tener éxito en la innovación, condición -probabilidad de innovar- que permitirá no solo elevar la productividad media de la innovación, sino también la tasa de crecimiento del producto. De esto se entiende que un agente puede ser monopolista si y solo si se posiciona como innovador durante un periodo en específico; pero no será monopolista a lo largo

de su vida, puesto que existe la posibilidad de que sea desplazado por otro agente en periodos subsecuentes, lo que hace que en cada periodo exista un crecimiento simultaneo de innovaciones que intenten sustituir a otras. En ese sentido, es factible sintetizar que la tasa de innovación está determinada por la frecuencia de las innovaciones y por el tamaño de las mismas; resultados que precisan la endogeneidad del progreso tecnológico.

La tesitura relacionada con la evolución de la tasa de innovación del modelo de Aghion y Howitt permitió proponer una exposición de la representatividad de la innovación mediante la trayectoria que definen a las Tecnologías de Propósito General debido a que éstas, por un lado, abordan la postura de destrucción creativa y, por otro, detallan que las innovaciones sucesivas asociadas a una TPG pueden servir de complemento para: i) producir nueva tecnología; ii) aumentar las capacidades humanas; y iii) elevar la productividad de esa misma tecnología TPG en su versión anterior, o bien de otras tecnologías distintas a la TPG. Este razonamiento se introduce debido a que fue posible identificar posibles vacíos del modelo de Aghion y Howitt, el cual no contempla tres peculiaridades esenciales, primero, la característica de complementariedad de las innovaciones, segundo, la posibilidad de que al mismo tiempo se descubran nuevas tecnologías TPG u otras y, tercero, que las tecnologías coexisten en la economía.

Aunado lo anterior, se propone como valor teórico de esta investigación la inclusión de un parámetro de difusión internacional de tecnología en el sentido de Keller, el cual pretende explicar las ganancias en eficiencia obtenidas, principalmente, por aquellos países que están más distantes de la frontera tecnológica mundial. Esto, es posible ya que conforme una tecnología está disponible y está siendo efectivamente empleada por varios países –independientemente del lugar de origen– con la finalidad de desarrollar tecnología propia, se producirán derrames internacionales de conocimiento; argumento que permite delinear la convergencia desde el punto de vista de la productividad y no del ingreso de los países como lo plantea el modelo de neoclásico.

En correspondencia con lo anterior, la difusión de tecnología como el proceso de acumulación de capital tecnológico resultados de la generación, incorporación y adaptación de nuevo conocimiento, así como de uso intensivo para desarrollar mayor especialización productiva y capacidades tecnológicas locales; no es automática ni inmediata, por lo que, en añadidura, se retoman las Instituciones como aquellos factores que pueden contribuir a desarrollar capacidades de absorción y producción de nuevo conocimiento por parte de los agentes.

En este tenor, la profundización de las TIC constituye una ruta efectiva para mejorar la eficiencia productiva, ya que, por un lado, permite a los agentes elevar su productividad dada la factibilidad de acceder e intercambiar información y conocimiento en tiempo real y mantenerse en comunicación directa e inmediata; y, por otro, posibilita a las empresas/industria/países impulsar las actividades de I + D que les permitan disminuir riesgos, minimizar costos y simplificar los procesos productivos. Análogamente, las Instituciones pueden secundar las ganancias en eficiencia con estrategias de política económica y pública que hagan más eficiente la interacción entre gobierno, empresas y ciudadanía, y al mismo tiempo en el diseño, ejecución y monitoreo de regulación que proporcionen lineamientos o directrices que tengan como propósito reducir la brecha digital y cognitiva, esto, al permitir el acceso TIC a aquellos agentes que están siendo excluidos por fallas de mercado. Por lo que, el desarrollo de las TIC podría constituir una causa inmediata de la productividad y del crecimiento económico sostenido.

2. Efectos de las TIC en el funcionamiento económico: sinopsis de la literatura empírica

Introducción

En este capítulo se presenta una revisión de la literatura empírica cuyo propósito es analizar la relación entre el crecimiento económico, la productividad y las TIC. Sobre el particular, los hallazgos que derivan del conjunto de investigaciones previas son mixtos; por un lado, algunas sostienen significancia estadística y relación positiva entre la productividad, el crecimiento y las TIC en razón de que estas tecnologías se caracterizan por ser complementarias y habilitadoras, lo cual –intuitivamente– sugiere que no solo implican acervos de capital intensivos en tecnología (infraestructura), también conocimiento en virtud del acceso y transformación de la información; lo cual conduce el cambio tecnológico en economías industrializadas como en las semi industrializadas (Sridhar y Sridhar, 2007; Zahra *et al.*, 2008; Majumdar *et al.*, 2009; Saxena *et al.*, 2009; Papastathopoulos y Beneki, 2010; Lee *et al.*, 2012; Alderete y Gutiérrez, 2012; Hofman *et al.*, 2016; Chen *et al.*, 2016; Toader *et al.*, 2018; Majeed y Ayub, 2018; Castaldo *et al.*, 2018; Pradhan *et al.*, 2018; Mayer *et al.*, 2020; Gallardo *et al.*, 2021).

En contraste, otros estudios son menos concluyentes en cuanto a la significancia estadística del vínculo entre las TIC, la productividad y el crecimiento, así como el tamaño del impacto. A tal efecto, asumen que existen otros factores que condicionan la presencia de esta conexión, donde las Instituciones y el comercio son elementos clave para el desarrollo de capacidades de absorción y tecnológicas domésticas, particularmente en el caso de economías semi industrializadas (Dewan y Kraemer, 2000; Lam y Shiu, 2010; Shakeel *et al.*, 2012; Díaz Rodríguez *et al.*, 2018; Maneejuk y Yamaka, 2020; Díaz Rodríguez y Aroche Reyes, 2020).

En virtud de lo anterior, las líneas enunciativas de este capítulo permiten analizar al soporte físico TIC, la conectividad, arquitectura lógico-crítica, las capacidades de absorción, Instituciones y el comercio como canales TIC que contribuyen a la productividad y al crecimiento. Asimismo, posibilitan una reflexión profunda en aspectos teóricos y técnicos debido a la pluralidad teórica-metodológica para abordar las TIC como causales de la productividad a nivel país e industria (también consulte apéndice C).

Este capítulo se organiza de la siguiente manera, en la primera parte se examina la contribución de las TIC en el crecimiento y la productividad para un conjunto de países. En la segunda sección se reflexionan trabajos sobre los efectos TIC a nivel sectorial. En el tercer apartado se encuentran las conclusiones.

2.1. TIC, productividad y crecimiento económico: análisis entre países

La célebre afirmación “*podemos ver la era de las computadoras en todas partes menos en las estadísticas de productividad*” por Robert Solow en 1987, conocida como la paradoja de la productividad, provocó una serie de trabajos empíricos que concentraban sus esfuerzos en comprobar si -en efecto- la introducción de la tecnológica TIC en la actividad económica había provocado una ralentización de la productividad.

En virtud de la premisa de Robert Solow, Dewan y Kraemer (2000) estiman un modelo de efectos fijos con una variable dummy para un grupo de 35 países¹⁵, cuya muestra incluye México, durante el periodo 1985-1993; esto, con la intención de evidenciar la posible relación entre la productividad y las tecnologías de la información (TI). De manera que plantean las siguientes interrogantes: *¿cuál es la experiencia internacional con los rendimientos de las inversiones en TI? ¿En qué se diferencian los rendimientos de las inversiones de capital TI de las inversiones de capital no TI? ¿Existen diferencias sistemáticas entre las economías desarrolladas y en desarrollo con respecto a la estructura de sus rendimientos de la inversión de capital?* Para el caso de países desarrollados, sus resultados muestran que: i) los rendimientos de la inversión TI son positivos y significativos (un aumento del 1 % en TI el PIB aumenta en 0.057 %), y ii) la mano de obra calificada, el stock de capital TI e infraestructura TI como motor de la actividad económica induce ganancias en eficiencia. Mientras que los hallazgos para países en desarrollo son: i) la elasticidad TI es no significativa en virtud de las limitaciones de factores (capital TIC y capital humano) que intensifican la mejora y calidad de las TI, y ii) evidencian rendimientos decrecientes a escala y no correlación entre la inversión TI y el producto. Por ello, llegan a la conclusión de que los países desarrollados experimentan ganancias en eficiencia derivado de la inversión en capital humano,

¹⁵ Estados Unidos, Suecia, Nueva Zelanda, Reino Unido, Noruega, Canadá, Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Australia, Israel, Japón, Irlanda, Holanda, Francia, Singapur, Alemania, Austria, Italia, España, Hong Kong, India, Filipinas, Tailandia, Polonia, Colombia, Turquía, Argentina, Taiwán, Chile, México, Venezuela, Portugal, Corea del Sur y Grecia.

en infraestructura TIC, así como de apertura a cambios organizacionales; en tanto que los países en desarrollo carecen de estos esfuerzos.

De forma similar, en un estudio para 10 países¹⁶ Maneejuk y Yamaka (2020) analizaron datos de series de tiempo y datos panel durante el periodo de 1995 a 2017. El objetivo es comprobar si las suscripciones de telefonía fija, suscripciones de telefonía móvil, suscripciones de banda ancha fija, porcentaje de personas que utilizan Internet, solicitudes de patentes, residentes, gasto en I + D, inversión en TIC compensada por exportaciones de alta tecnología, tasa bruta de matriculación terciaria, mano de obra y capital contribuyen al Producto Interno Bruto. A tal efecto, plantean como hipótesis “*los usuarios de computadoras personales, teléfonos móviles e Internet (como indicadores indirectos de la penetración de las TIC) y la innovación (I + D y patentes) capturan un posible impacto no lineal en el crecimiento económico*”. Sus resultados exponen que existe relación no lineal entre las suscripciones de telefonía fija y móvil y el gasto en I + D para todos los países; empero, refieren que las suscripciones de banda ancha fija, de telefonía fija y móvil son las variables que más influyen en la expansión del producto en economías desarrolladas. En cuanto a las economías en desarrollo, las suscripciones de telefonía fija y móvil, las exportaciones de alta tecnología y las patentes no tienen asociación lineal con el crecimiento económico.

Análogamente, para calcular el Índice de Malmquist y evaluar la relación causal entre las telecomunicaciones y el crecimiento económico, así como del crecimiento y la penetración de la PTF en el sector de las telecomunicaciones, Lam y Shiu (2010) estiman un modelo de panel dinámico y un análisis no paramétrico con una muestra de 105 países de ingresos altos, medios y bajos de las regiones de Europa, Asia, América, Oceanía y África, durante el periodo de 1980 hasta 2006. En virtud de lo anterior, establecen las hipótesis siguientes: “ $H_1 =$ la teledensidad no causa (en sentido de Granger) el PIB real y $H_2 =$ el PIB real no causa (en sentido de Granger) la teledensidad”. A partir de ello, sus resultados muestran relación bidireccional entre el PIB real y el desarrollo de las telecomunicaciones para países con ingresos altos, mientras que, para países con ingresos medios y bajos exhiben relación unidireccional. En cuanto a la PTF, las estimaciones

¹⁶ Islandia, Suiza, Dinamarca, Reino Unido, Países Bajos, China, Brasil, Argentina, Tailandia y Malasia.

exhiben que los países con ingreso medio y alto alcanzan un crecimiento de la PTF menor al compararlos con países de ingresos bajos debido a la conjetura de la “*ventaja del atraso*”.

Parte de la literatura reciente pone especial énfasis en el sentido de causación entre las TIC, el crecimiento y la productividad, ya que se ha encontrado evidencia de bidireccionalidad entre las variables, principalmente, para economías desarrolladas; mientras que para economías en desarrollo esta relación es unidireccional. Además, se puntualiza que existen otros elementos que podrían impactar el sentido de causalidad, tales como las Instituciones y el comercio.

Con base en lo anterior, Sridhar y Sridhar (2007) plantean como hipótesis de causalidad “*la inversión en telecomunicaciones afecta la actividad económica y que la actividad económica puede afectar la inversión en telecomunicaciones*” a la luz de analizar la relación de los servicios de telefonía fija y móvil sobre el crecimiento económico. Para ello, con un modelo estructural analizan datos para 63 países semi industrializados durante el periodo de 1990 a 2001, determinando como variables independientes el capital físico, stock de capital humano y servicios de telefonía, y como variable dependiente el producto nacional. A este respecto, validan su hipótesis debido a que encuentran causación bidireccional e impacto positivo entre la penetración de las telecomunicaciones y el producto nacional cuando controlan los efectos del capital humano y el capital físico. Asimismo, un país puede experimentar altas tasas de crecimiento económico si y solo si aumenta la inversión en el sector de las telecomunicaciones, además de ir acompañado de política económica que incentive un clima competitivo y de desregulación, principalmente, en servicios inalámbricos. No obstante, los autores señalan que la formación bruta de capital es positiva siempre y cuando se vincule con usuarios de banda ancha y de internet; adicionalmente, muestran asociación negativa entre las variables cuando en las regresiones se corren combinaciones basadas en el modelo econométrico especificado. A pesar de ello, afirman que la investigación puede tener sesgos por la limitación de datos.

En ese orden de ideas, Castaldo *et al.* (2018) examinan datos mediante variables instrumentales en 2 etapas, modelo panel dinámico, método de momentos generalizados con un rezago y variables instrumentales de una muestra para 23 países miembros de la OCDE¹⁷ durante

¹⁷ Australia, Austria, Bélgica, Canadá, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Islandia, Irlanda, Italia, Japón, Países Bajos, Nueva Zelanda, Noruega, Corea del Sur, España, Suecia, Suiza, Reino Unido y Estados Unidos

el periodo 1996-2010. Desde este punto de vista, intentan probar la hipótesis “*existe relación causal entre crecimiento de la infraestructura en banda ancha y el crecimiento económico*”; de modo que como variable dependiente señalan el PIB per cápita y como variables independientes el formación bruta de capital fijo, capital humano, la tasa de crecimiento de la fuerza laboral, el periodo que llevan las redes de banda ancha en los países, suscriptores de banda ancha fija por cada 100 habitantes, número de redes alámbricas, redes de cable, redes móviles y variables ficticias sobre cambios estructurales y capacidades de innovar (países líderes y seguidores) con base en el índice de desarrollo TIC de la UIT. En sus resultados indican que: i) todas las regresiones son robustas; ii) existe correlación positiva entre el despliegue de banda ancha y el crecimiento económico; iii) hay tres canales de efectos causales de la capacidad de la infraestructura de banda ancha, primero, impulsa la productividad, segundo, incentiva la producción de nuevas aplicaciones y servicios, tercero, aumenta la eficiencia de las empresas; iv) los países líderes en tecnología son Dinamarca, Finlandia, Francia, Japón, Islandia, Noruega, Países Bajos, Corea del Sur, Suecia y Estados Unidos; v) la formación bruta de capital y capital humano tienen relación positiva y significativa con el PIB per cápita; y vi) entre la fuerza de trabajo, el tiempo de la infraestructura de banda ancha y el PIB per cápita muestran relación negativa. Bajo esa tesis, los autores enfatizan que la intervención gubernamental (política industrial, marco jurídico eficiente, competencia económica, calidad de la educación) en materia TIC es clave para experimentar crecimiento económico, por tanto, en sus programas de política económica deben dar prelación a la inversión y utilidad de la infraestructura de comunicación.

Por su parte, Pradhan *et al.* (2018) llevan a cabo una investigación para 20 países¹⁸ (incluido México) durante el periodo de 2001-2012 con la finalidad de medir la importancia de la relación entre la infraestructura de las TIC, crecimiento económico, índice de precios al consumidor, capital humano y la formación bruta de capital fijo interno. Las hipótesis que plantean son: i) “*la infraestructura de las TIC es una condición previa necesaria para el crecimiento económico*”, ii) “*el crecimiento económico determina la infraestructura TIC*”, iii) “*existe relación causal bidireccional entre el crecimiento económico y la infraestructura TIC, por tanto, éstas pueden complementarse y reforzarse entre sí*”. Los resultados obtenidos mediante un análisis de cointegración para panel y un modelo panel de corrección de error encuentran una asociación

¹⁸ Francia, Alemania, Italia, Reino Unido, Australia, Canadá, Japón, República de Corea, Estados Unidos, Argentina, Brasil, China, India, Indonesia, México, Rusia, Arabia Saudita, Sudáfrica, Turquía y España.

positiva entre el índice de precios al consumidor, la infraestructura de las TIC y el crecimiento económico.

Mientras tanto, Hofman *et al.* (2016), Chen *et al.* (2016), Toader *et al.* (2018), Majeed y Ayub (2018) y Mayer *et al.* (2020) identifican que las TIC contribuyen en la productividad en economías desarrolladas como en desarrollo.

Bajo esa tesitura, en una investigación para 18 países de América Latina (enfaticando los casos de Argentina, Brasil, Chile, Colombia y México) durante el periodo de 1990-2013, Hofman *et al.* (2016) estiman, a nivel agregado, una función de producción a propósito de explorar la participación de las TIC sobre el crecimiento económico y la productividad. Sus hallazgos advierten que para que un país experimente crecimiento económico necesariamente debe elevar su productividad laboral; por lo que, para que suceda, los países deben invertir en infraestructura TIC en razón de la relación causal entre ésta y la productividad. De tal manera, concluyen que aquellas economías que invierten menos en TIC experimentarán menores niveles de productividad y, por ende, menor tasa de crecimiento. Lo cual les posibilita comprobar la siguiente conjetura: *“la principal causa de la brecha de productividad laboral es la brecha cada vez mayor en el capital de TIC”*.

Al formular la hipótesis *“(p)ara obtener mayores beneficios de inversiones en TIC, se necesita inversión de capital intangible”*, Chen *et al.* (2016) estiman una función de producción a nivel industria para analizar si el conocimiento, el gasto en I + D y computadoras de alta tecnología (capital intangible) contribuyen a la productividad laboral. Para tal efecto, analizan una muestra de 10 países europeos para el periodo 1995-2007. En sus estimaciones hallan que aquellas industrias con una mayor participación de las TIC -en el proceso productivo- serán las que tengan mayores elasticidades de capital intangible en comparación con aquellas que invierten poco en estas tecnologías; concluyendo así que las TIC poseen relación causal con la PTF.

Al utilizar técnicas de datos panel, Toader *et al.* (2018) investigan el impacto de la infraestructura TIC sobre el crecimiento económico para un conjunto de países de la Unión Europea en el periodo de 2000 a 2017. En la modelación, los autores especifican como variable dependiente el PIB per cápita y como variables explicativas suscripciones de banda ancha fija por cada 100 habitantes, el porcentaje de hogares con conexión a Internet, porcentaje de personas que utilizan Internet, suscripciones a teléfonos móviles por cada 100 personas, formación bruta de

capital fijo, tasa de inflación, tasa de desempleo, apertura comercial, inversión extranjera directa, gasto de consumo final del gobierno y crédito interno del sector privado; esto, para probar la hipótesis nula “*no existe relación entre Internet, la tecnología de las comunicaciones y el crecimiento económico*” frente a la hipótesis alternativa “*existe una relación positiva entre Internet, la tecnología de las comunicaciones y crecimiento económico*”. En sus hallazgos destacan que las variables concentradoras TIC son positivas y estadísticamente significativas, principalmente se destaca que ante un aumento del 1 % de las suscripciones de banda ancha fija y suscripciones de telefonía móvil, el PIB crece en 0.0767 % y 0.396, respectivamente. En cuanto a las variables macroeconómicas, en su mayoría fueron estadísticamente significativas a excepción de la formación bruta de capital fijo y el crédito interno del sector privado. En virtud de lo anterior, el estudio concluye no rechazar hipótesis alternativa, señalando que sí existe relación entre las TIC y el crecimiento económico.

De la misma manera, Majeed y Ayub (2018) utilizan mínimos cuadrados ordinarios, mínimos cuadrados ordinarios agrupados, mínimos cuadrados de dos etapas, método de momentos generalizados y datos panel para probar la hipótesis siguiente: “*el impacto de las TIC en el crecimiento económico de economías emergentes y en desarrollo es significativamente más grande que en los países desarrollados. Sin embargo, el ‘leapfrogging’ depende fundamentalmente de la ‘capacidad de absorción’ de países emergentes y en desarrollo*”. Al respecto, emplean una muestra de 149 países durante el periodo de 1980 a 2015 para encontrar si existe relación positiva y significativa entre los indicadores TIC y el crecimiento económico a nivel mundial y regional. En sus estimaciones evidencian que existe relación positiva y significativa entre las TIC y el crecimiento económico. A este respecto, exponen que ante un incremento del 1 % en el servicio en línea, uso de banda ancha, Internet, telefonía fija, telefonía móvil, la infraestructura de telecomunicaciones y el gobierno electrónico impulsan el crecimiento del PIB de cada uno de los países de la muestra en 2.301, 0.0464, 0.0351, 0.0271, 0.0199, 2.449 y 3.710 unidades, conducentemente. Paralelamente, hallan que los indicadores antes mencionados son los que permiten tanto a las economías desarrolladas como en desarrollo adquirir nuevas formas TIC para dar un “salto” hacia nuevos mercados en virtud de las capacidades de absorción; en particular, destaca esta conclusión en sub-muestras para Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica (BRICS) y para los países miembros de la Asociación del Asia Meridional para la Cooperación Regional (SAARC).

Mientras que, con el objetivo de responder la siguiente interrogante “¿(1) *la penetración de red de banda ancha es un determinante del crecimiento económico?*”, Mayer *et al.* (2020) con una muestra de datos trimestrales para 29 países miembros de la OCDE durante el periodo 2008:1 a 2012:4 elaboran un modelo de datos panel dinámico con efecto fijos estableciendo como variable dependiente el PIB per cápita y como variables independientes el capital físico (formación de capital), capital humano (índice de educación), mano de obra (tasa de crecimiento de la fuerza laboral), sistema financiero (índice de precios de acciones), infraestructura en banda ancha, penetración de banda ancha, periodo de uso de banda ancha y la velocidad de banda ancha (interacción) para evidenciar el impacto de la banda ancha sobre el crecimiento económico. Al mismo tiempo, extienden su análisis al ejecutar otras técnicas econométricas (i.e. modelo autorregresivo y modelo de momentos generalizados) para evitar sesgo en sus estimadores y regresiones espurias. Después de realizar el ejercicio econométrico, los autores indican que encuentran comportamientos diferenciados de las variables; sin embargo, hallan –en términos generales- que las variables económicas, demográficas, mano de obra, la formación de capital, índice de precios de las acciones son positivos y estadísticamente significativos, con lo cual sugieren que son variables decisivas para el crecimiento económico. Por otro lado, aluden que las variables TIC, en particular la velocidad de banda ancha, muestran mayor significancia estadística; razón por la que describen que los países que revelaron mayor respuesta a la velocidad de banda ancha fueron Hungría, México, Polonia, Portugal, República Eslovaca y Turquía. A este respecto, exponen que ante un aumento del 10 % en promedio en la velocidad de banda ancha, el PIB per cápita de esos países crecerá aproximadamente un 0.5 %. Especialmente, refieren que si México desea alcanzar un crecimiento del 0.5 % en el PIB per cápita, la velocidad de banda ancha debe ser del 27 %. Por añadidura, concluyen que i) la inversión en TIC no genera efectos inmediatos, ii) el mercado laboral y de activos influyen significativamente en el PIB per cápita, y iii) los gobiernos deben poner más atención en la velocidad de banda ancha, así como invertir en mejorar la calidad de la educación a propósito de tener mano de obra calificada que sea capaz de utilizar y aprovechar las tecnologías TIC.

Los estudios previos, si bien ofrecen una visión inicial que permita comprender la importancia de la relación y sentido de causación entre las TIC, la productividad y el crecimiento, así como evidenciar el cuestionamiento de la paradoja de la productividad; también exhiben

posibles restricciones en cuanto a la precisión o formalización teórica que aproxime relevante y, por ende, empíricamente equivalente al planteamiento de sus conjeturas.

En relación con lo anterior, Lee *et al.* (2012) estiman un modelo de momentos generalizados (GMM) especificado para efectos fijos de 44 países subsaharianos en el periodo 1975-2006, con el fin de probar la hipótesis de convergencia, a saber: “*el PIB tiende a crecer a un ritmo lento en los países con mayor nivel de PIB per cápita*”. Sus resultados exhiben que la tasa de crecimiento económico es causada por la inversión en telecomunicaciones, donde los servicios de telefonía fija es un factor causal importante. Empero, sus hallazgos podrían estar sujetos a problemas asociados con la especificación del modelo, así como con la pérdida de información para explicar la variación de la variable respuesta.

Por otra parte, al examinar una muestra de 24 países con datos de 18 años, Zahra *et al.* (2008) realizan un trabajo a propósito de analizar el impacto de las telecomunicaciones en el crecimiento económico. Para ello, plantean las siguientes hipótesis de trabajo: H₁ “*(e)xiste relación significativa entre el desarrollo de la infraestructura de telecomunicaciones en el crecimiento económico*” contra H₂ “*no existe relación significativa entre el desarrollo de la infraestructura de telecomunicaciones en el crecimiento económico*”. A este respecto, los autores argumentan el interés de probar la hipótesis de convergencia de Solow - Swan de 1956 y los planteamientos de Barro de 1991 sobre capital humano; en ese sentido, estiman un modelo panel de efectos fijos y otro de efectos aleatorios, así como la prueba estadística de Granger para verificar causalidad entre las variables telecomunicaciones y crecimiento económico. De este modo, asumen como variable dependiente el PIB per cápita y como variables independientes la población, inversión fija, gasto público, internet y teledensidad de telefonía fija y móvil (usuarios por cada 100 personas). Sobre el particular, los investigadores resaltan que en sus estimaciones aplicaron regazos al PIB per cápita a propósito de la hipótesis de convergencia, a la inversión y al índice de infraestructura de telecomunicaciones que crearon a partir de las variables internet y teledensidad. En los resultados de los modelos de efectos fijos y aleatorios observan coincidencia en que: i) la infraestructura en telecomunicaciones es positiva y significativa asegurando que las telecomunicaciones sí influyen en el crecimiento económico, y ii) logran probar la hipótesis de convergencia, misma que sugiere que aquellas economías con un elevado PIB per cápita tienden a crecer más lento; sin embargo, en el caso de la población, ésta tiene relación positiva en el modelo de efecto fijos, mientras que en

el de efectos aleatorios exhibe relación negativa, debido a lo cual concluyen que: i) existe causalidad en el sentido de Granger entre el crecimiento económico y las telecomunicaciones, ii) se verifica la importancia de las variables macroeconómicas, iii) se confirma la hipótesis de convergencia en ambos modelos, iv) las condiciones iniciales de cada país deben ser importantes en cualquier análisis, v) la política pública debe enfocarse a elevar la infraestructura en telecomunicaciones, a propósito de reducir la brecha digital y disparidad regional, vi) invertir en la calidad de la mano de obra, vii) incentivar actividades de I + D entre empresas nacionales, empresas extranjeras, instituciones públicas de ciencia y tecnología, y con universidades.

Hasta este punto, los distintos estudios sugieren que la inversión en TIC genera ganancias en productividad significativas, ya que éstas provocan cambios en la calidad y diversidad de bienes y servicios; elevar la competitividad de las empresas; mejorar e incrementar las habilidades de la mano de obra, así como las condiciones laborales, esto, con la intención transitar a estándares de vida superiores. Sin embargo, se especifica que para una correcta inferencia empírica es importante incorporar el conjunto de tecnologías TIC, además de otros indicadores que podrían condicionar la hipótesis de convergencia, como es el caso del capital humano.

Apoyados en un modelo de regresión simple, Shakeel *et al.* (2012) analizan la relación entre la IED del sector de las telecomunicaciones y el crecimiento económico de Pakistán. Entre sus estimaciones encuentran que las telecomunicaciones y la IED son motor del crecimiento económico. Por tanto, exponen que existe evidencia estadística entre el crecimiento económico y la penetración de telefonía fija y telefonía móvil, siempre y cuando se introduzcan como variables control la mano de obra y el factor capital. Los resultados anteriores les permitieron probar las hipótesis H₁ “*hay un papel importante de la configuración de las telecomunicaciones en el desarrollo del crecimiento económico*”; y, H₂ “*la Inversión Extranjera Directa en el sector de las telecomunicaciones juega un papel positivo para el desarrollo del crecimiento económico*”.

De manera similar, valiéndose de las técnicas método de emparejamiento, método de regresión espacial, mínimos cuadrados ordinarios (MCO) y coincidencia exacta aproximada (Coarsened Exact Matching, CEM), Gallardo *et al.* (2021) realizan un estudio para Estados Unidos durante el periodo de 2013 a 2017 a propósito de probar la hipótesis “*el producto y la productividad dependen de la magnitud de las inversiones y el nivel o etapa de desarrollo en las regiones*”. Sobre el particular, definen como medida de productividad y variable dependiente al

PIB por trabajo, y como variables independientes la población, diversidad industrial y étnica, dependencia de la industria, tasa de desempleo, el nivel educativo y múltiples indicadores de banda ancha. Sus resultados muestran evidencia estadística vinculada con la relación positiva y significativa entre la infraestructura TIC, indicadores de desempeño económico y la productividad en Estados Unidos. A este respecto, verifican su hipótesis precisando que una población sin acceso a internet y una acentuada brecha digital conlleva una menor productividad; al mismo tiempo, refieren que adoptar y acelerar el despliegue de banda ancha impulsan la productividad y el desempeño económico. De ahí que los autores adviertan que implementar política económica en materia TIC conducirá mayores niveles de productividad en todas las regiones, sobre todo en zonas rurales.

Por otra parte, al plantear la hipótesis *“si bien las TIC representan una condición necesaria para conseguir el crecimiento de la productividad laboral, por sí solas son insuficientes; para que dicho crecimiento ocurra, se requiere que las organizaciones y los trabajadores cuenten con un conjunto de capacidades que les posibiliten incorporar la tecnología dentro de los procesos productivos y de negocios, y potenciar su aprovechamiento. Sin la existencia de esas capacidades, la disponibilidad de las TIC se torna estéril”*, Díaz Rodríguez y Aroche Reyes (2020) estiman técnicas de análisis factorial y de redes neuronales artificiales para mostrar cuales son los componentes TIC que determinan la productividad laboral en México, así como la importancia de cada uno de éstos. Al respecto, el análisis factorial y de componentes principales identifican 4 grupos de elementos TIC que explican el 54 % de la productividad, mismos que se desglosan en: tecnología (infraestructura TIC) con una participación de 25 %, capacidades (capital humano) que representan el 14 %, innovación (de productos y procesos) que equivale al 8 % y software mostrando un 7 % de aportación. En cuanto a la metodología de redes neuronales artificiales de perceptrón multicapa, los investigadores intentan comprobar si las variables arrojadas por las técnicas multivariable convergen a interpretaciones similares; de tal forma que la variable de salida es la productividad laboral y las variables de entrada son tecnología, capital humano, innovación, software y algunas otras variables de control. Los resultados presentan que los elementos de mayor importancia están vinculados con las exportaciones por empleado (0.238), capacidades de los trabajadores (0.146), disponibilidad y uso TIC (0.142), la innovación (0.133) y adopción de software (0.132). Con base en esos hallazgos, los autores prueban su hipótesis y concluyen que la tecnología TIC es fundamental para experimentar mayor productividad laboral; empero, esta

asociación no es automática porque requiere de condiciones iniciales e inversión en infraestructura y habilidades, además de desarrollar capacidades de absorción para aprovechar la transferencia tecnológica en razón de la participación de las empresas en el comercio internacional.

Con base en esta revisión, una reflexión adicional se vincula con los puntos de inflexión derivados por las reformas económicas estructurales en materia TIC llevada a cabo en distintos países, lo que condiciona la estimación e interpretación de resultados en razón de que se excluye –entre otros factores- el efecto de los cambios en los precios relativos, la estructura de mercado y la diversificación de productos / servicios. Asimismo, se reconoce que la tecnología TIC no es una condición suficiente ni automática para elevar la productividad, ya que para lograrlo se requiere de un incremento en el esfuerzo tecnológico local, una mayor intensidad en la relación capital-trabajo y el desarrollo institucional.

2.2. Efectos sectoriales del desarrollo TIC

La literatura teórica y empírica concede un papel relevante a las tecnologías de la información y comunicación en el desarrollo industrial. En efecto, la evidencia muestra que la tecnología digital juega un rol crítico en las empresas, con independencia de su tamaño, ya que su encadenamiento emplea recursos tecnológicos para potencializar los mercados al ser capaces de monitorear los procesos físicos al interior de la fábrica; comunicar de forma inmediata; dar a conocer el surgimiento de una nueva marca de un producto; informar precios y cantidades; multiplicar las aplicaciones TIC; transformar la publicidad (marketing digital); y transitar a un estadio de negocio electrónico.

Desde este punto de vista, al examinar la relación entre la productividad de las empresas (desplegadas) y el despliegue *per se* de banda ancha, Majumdar *et al.* (2009) ejecutan un modelo panel equilibrado para 41 operadores de intercambio local en Estados Unidos desde 1995 a 2000 con el objeto de probar su hipótesis de trabajo: “*los aumentos en la productividad y en el crecimiento de la economía se correlacionan positivamente a nivel de la empresa y la industria con los niveles de capital de tecnologías de la información*”. Los autores muestran que sus resultados, por un lado, prueban la hipótesis de trabajo y, por otro, destacan que el despliegue de banda ancha no solo está relacionado con la productividad de la empresa desarrolladora de esa tecnología, también existe transferencia tecnológica (conocimientos) en virtud de la adopción de esta tecnología por parte de otras empresas. A este respecto, los autores concluyen que: i) a mayor

proporción y uso de banda ancha por parte de las empresas, mayor será su productividad; ii) la eficiencia tecnológica se mejora a medida que se difunde y dispone de tecnología de banda ancha; iii) la red se hace más productiva existen efectos sobre la productividad en otros sectores económicos, lo que conlleva al bienestar social.

Con la finalidad de definir la frontera de producción eficiente para estimar el rendimiento de la productividad de un conjunto de empresas tomadoras de decisiones en el mercado de las telecomunicaciones en la India, Saxena *et al.* (2009) detallan un análisis envolvente de datos (Data Envelopment Analysis – DEA, por sus siglas en inglés). En tal sentido, revelan en sus resultados que las empresas necesitan aumentar su eficiencia operativa a partir de una estrategia de integración de innovación que les posibilite tomar ventaja competitiva para permanecer en el mercado y aumentar su productividad.

De manera similar, Papastathopoulos y Beneki (2010) proponen tres conjuntos de hipótesis, a saber: i) “ H_0 : El factor formas organizativas de las TIC (A1: uso básico, A2: uso avanzado, y A3: uso superior) no tiene efecto en la inversión en TIC frente a la H_1 : El factor formas organizativas de las TIC (A1: uso básico, A2: uso avanzado, y A3: uso superior) tiene un efecto en la inversión en TIC”; ii) “ H_0 : El factor sectores industriales (B1: otros servicios, B2: fabricación, B3: comercio, y B4: Hoteles) no tiene efecto en la inversión en TIC contra H_1 : El factor sectores industriales (B1: otros servicios, B2: fabricación, B3: comercio, y B4: Hoteles) sí tiene un efecto en la inversión en TIC”; y iii) “ H_0 : El efecto del factor formas organizativas no depende del factor sectores industriales de cara a la H_1 : El efecto del factor formas organizativas no depende del factor sectores industriales”. Dicho lo anterior, emplean un Análisis de Varianza Bidireccional (ANOVA) a partir de una encuesta a 54 pymes griegas con el objetivo de obtener datos cuantitativos y cualitativos sobre el uso, aplicación e identificación de tecnologías organizacional basadas en TIC. Los resultados de su estudio encuentran que existe relación estadísticamente significativa entre la gestión organizacional TIC y la inversión en estas tecnologías. A efecto, argumentan que la introducción TIC en los procesos de negocio permite a las empresas tener nuevas oportunidades y múltiples respuestas para hacer frente a sus problemas cotidianos, afirmando que las TIC son fuerza motriz de la estructura organizacional de las corporaciones. No obstante, evidencian que esos resultados dependen de las características de cada sector industrial.

Mencionando como enfoque los fundamentos de la teoría de producción microeconómica y estimando un modelo de mínimos cuadrados ordinarios, Alderete y Gutiérrez (2012) realizan un estudio sobre TIC y la productividad en las industrias de servicios en Colombia con el objetivo de probar la hipótesis “(e)l uso efectivo de las TIC en el sector servicios resultaría en mayor productividad, mejores procesos de servicios, mayor calidad de los productos y de servicios, reducción de costos, y menores tiempos de entrega... generarían mejores servicios al cliente”. En tal sentido, definen como variable dependiente el valor agregado por trabajador (ingresos netos operacionales por trabajador empleado) y como variables independientes tamaño de la empresa, capital TIC, internet, antigüedad de las empresas, capital extranjero de las empresas, educación de los trabajadores (utilizando como proxy los salarios y prestaciones por cada empresa) y tipo de servicio. En sus resultados encuentran que las variables individualmente y en conjunto son estadísticamente significativas. De modo que el capital TIC, capital humano, capital extranjero, tamaño y antigüedad de la empresa, y el tipo de servicios explican la productividad laboral en el sector servicios de Colombia. Igualmente, resaltan, principalmente, que ante un aumento en el capital TIC por trabajador, el internet y capital extranjero, la productividad laboral aumenta entre 7.73 % y 18 %, 3 % y 8 %, 8 % y 14 %; respectivamente. En tal virtud, verifican su hipótesis y concluyen que las TIC, las habilidades para uso y explotación TIC, así como el capital extranjero tienen relación positiva y significativa con la productividad laboral en el sector servicios, por lo que resultan ser los insumos más importantes.

En el mismo contexto, Díaz Rodríguez *et al.* (2018), en un estudio para México, utilizan técnicas econométricas de sección cruzada, análisis factorial y de conglomerado para analizar la relación entre productividad y el uso de TIC a nivel subsectorial a propósito de probar la hipótesis: “el conjunto de infraestructura TIC disponible dentro de las organizaciones por sí solo no es capaz de generar cambios en la eficiencia productiva; para que ello ocurra, se requiere de un conjunto de capacidades de las organizaciones; la interacción de infraestructura y capacidades, determina a su vez, el uso que las organizaciones dan a la tecnología”. Bajo esa tesis, en sus resultados de análisis factorial encuentran que el aprovechamiento, por parte de las empresas, de tecnologías TIC está determinada por la escolaridad y experiencia de la mano de obra con un porcentaje de explicación del 36.29 %, inversión y disponibilidad en infraestructura y capital humano TIC que representan el 13.70 % de descripción, mientras que las capacidades de innovación TIC precisan un 10.05 % de justificación. En cuanto al análisis de conglomerados argumentan la coexistencia

de características diferenciadas en los subsectores examinados, algunos de ellos exhiben mayor productividad en razón de la combinación de tecnologías TIC, educación, experiencia y capacidades de absorción; otros, manifiestan ser subsectores más innovadores en productos y procesos por su alta intensidad TIC; un tercer grupo de subsectores se tipifican por invertir en infraestructura TIC, pero no en habilidades TIC; y un conjunto de subsectores que no tienen ninguna descripción o uso TIC. Por otra parte, en su análisis econométrico hallan que las capacidades de la mano de obra, la accesibilidad y utilidad TIC, y capacidades de innovación son estadísticamente significativas; por ello, explican que a medida que los trabajadores tienen mayor educación y capacitación, incorporación de tecnología TIC en los procesos productivos y capacidad de innovación, la productividad tenderá a ser mayor. De tal manera, concluyen que la importancia de las TIC en la dinámica de los subsectores es importante; pero se requiere de un conjunto de capacidades iniciales para que las empresas puedan apropiarse de los beneficios que éstas les ofrecen.

Al igual que en los estudios a nivel de país, se pueden constatar algunos resultados convergentes sobre el papel de las TIC: i) contribuyen en la productividad de la empresa y de la mano de obra; ii) generan valor o beneficios a las firmas y trabajadores; iii) habilitan la transferencia tecnológica; iv) participan de diferentes formas en las industrias, empresas y negocios; v) requieren de mano de obra calificada para ser aprovechadas en su máximo estadio; vi) facilitan la reducción de costos, eliminación de tareas y minimización de errores; vii) aumentan la competitividad de las empresas; viii) proporcionan la reestructura de negocio; ix) aperturan mercados; y x) desencadenan bienes y servicios diferenciados.

Pese a ello, es evidente la ausencia de una discusión teórica significativa en los estudios empíricos que detalle las implicaciones del desarrollo TIC en el crecimiento y la productividad. Por lo que el planteamiento a investigar podría ser poco claro cuando se intenta responder cuestionamientos o probar hipótesis, quedando el análisis acotado en la operacionalización empírica. Además, las complicaciones metodológicas y la disponibilidad de datos acentúan las dificultades en la generalidad de los resultados.

2.3. Conclusiones

En este capítulo se revisó a nivel empírico la importancia de la participación TIC en la productividad y el crecimiento económico en razón de sus cualidades tecnológicas de

complementariedad, universalidad y facilitadoras/habilitadoras de información y conocimiento. A este respecto, es posible destacar que una innovación en ellas produce reformulaciones importantes al interior de la empresa, industria o país, al consolidándose como aquellas tecnologías que pueden ocasionar consecuencias en el rendimiento y capacidades humanas; además de cambiar el paradigma organizacional (esto es modelo de negocio que contiene convicción, visión, misión, estructura) a los agentes, incluyendo el gobierno y las Instituciones.

Los casos de estudio muestran que existe relación causal entre las TIC, la productividad y el crecimiento. Fundamentalmente son las suscripciones de telefonía fija y móvil, banda ancha, internet, comercio de soporte físico TIC, capacidades de absorción, la ocupación y habilidades TIC los canales que mayor aportan al crecimiento de la productividad. Sin embargo, esta contribución y sentido de causación pueden ser potencializados por las Instituciones quienes empujan/impulsan a los agentes a acumular mayor capital físico y tecnológico TIC; sobre todo en economías semi industrializadas.

En virtud de lo anterior, es importante acotar que, de la reflexión extraída de la literatura empírica, las ganancias en productividad asociadas a las TIC aparentan ser disimiles entre economías industrializadas y semi industrializadas; algunas investigaciones muestran evidencia favorable de la relación significativa y positiva entre las variables para ambos grupos de países, mientras que otras argumentan que este vínculo no se cumple para economías semi industrializadas. No obstante, un argumento factible alrededor de ello es que las dificultades de medición, conceptualización y de agregación de la información referente a las variables, específicamente, TIC y productividad podrían ejercer efectos acotados en la causalidad, así como en el planteamiento de interrogantes fundamentales en la capacidad de arrastre y dispersión del sector TIC.

Desde este punto de vista, diversas investigaciones plantean que la disponibilidad de información resulta ser una limitante al momento de realizar la ejecución de los métodos estocásticos, asumiendo que sus hallazgos están sujetos a revisión y crítica. Asimismo, se ha podido advertir que algunas de las dificultades en el análisis e interpretación de resultados yace, entre otros factores, en el estudio de la dirección causal, la correcta especificación estocástica y el tipo de metodología empleada.

Aunado lo anterior, en general, persiste una limitada discusión sobre los fundamentos teórico-conceptuales del impacto de las TIC en el funcionamiento económico, lo cual, a su vez, dificulta la interpretación de resultados y el correcto contraste de hipótesis, al margen del diseño empírico. Por un lado, los trabajos que discuten la contribución de las TIC desde la perspectiva neoclásica pierden de vista la relación causal entre las variables, pues es en esta asociación donde se destacan las razones acumulativas del éxito en las innovaciones. Por otro lado, aquellos trabajos enfocados en la corriente endógena del crecimiento si bien subrayan la importancia de la relación entre el desarrollo TIC y el progreso tecnológico, este escrutinio suele ser nominal y acotado, lo cual dificulta la correcta operacionalización de hipótesis.

Por ello, el desarrollo de este capítulo permitió introducir un campo de estudio verificable no solo en la parte metodológica, sino también técnica y teórica que, de manera conjunta, servirán de apoyo y guía para profundizar el trabajo de investigación sobre los efectos de las tecnologías de la información y comunicación en la productividad y la tasa de crecimiento económico.

Ciertamente, la relevancia de optar por una técnica panel, en el ejercicio empírico de esta investigación, descansa en disponer de una cantidad considerable de datos que facilite describir congruentemente el vínculo causal entre las TIC, la productividad y el crecimiento para un conjunto de países a lo largo del tiempo; pues es a partir de este razonamiento que la metodología se considera útil (sabiendo que no hay modelo ideal o perfecto) en la indagación oportuna de los datos, así como provechosa en el sustento teórico-empírico de la relación entre progreso tecnológico y el crecimiento. Además, posibilita mitigar problemas de especificación econométrica, regresiones espurias, estadísticos sesgados y algunos otros problemas, como la presencia de autocorrelación.

De modo que, la metodología panel se acentúa como aquella que concede disminuir los obstáculos previamente mencionados, pues con ésta es posible examinar unidades de análisis (corte transversal) y largos periodos de tiempo (series de tiempo), permitiendo incorporar la heterogeneidad no observable de los datos, lo que posibilita evitar sesgos de estimación que no serían posible si se llevará a cabo únicamente una metodología de corte transversal, o bien de serie de tiempo.

3. TIC e Instituciones como cofactores de crecimiento económico a nivel país: análisis de indicadores

Introducción

Desde los años noventa la evidencia empírica ha enfatizado la preponderancia del despliegue y aprovechamiento intensificado de las TIC como elementos promotores del crecimiento económico; sin duda alguna, esta articulación ha sido un rasgo característico de los últimos 30 años. Sin embargo, es inusual encontrar estudios dentro de la literatura empírica que aborden aspectos o una visión de hechos esenciales que sirvan como mecanismo de examinación para considerar posibles tendencias en el largo plazo.

En esta línea de argumentación, el presente capítulo tiene como propósito exponer un análisis histórico de las TIC como TPG cuya evolución, participación e involucramiento en el proceso de transformación de las estructuras económicas de las sociedades han facilitado y habilitado conocimiento tecnológico que, a su vez, garantizan la introducción de nuevos procesos, formas de organización y productos. De modo que es factible advertir que las TIC, en virtud de su proceso de transformación y expansión continua; logran proporcionar ventajas u oportunidades a los agentes, quienes, en la búsqueda de la dominancia tecnológica, se apoyan en las TIC para mejorar sus técnicas de producción, operar con una mejor asignación de factores productivos y alcanzar la máxima producción posible. Por lo que el dinamismo de los indicadores permite suscribir el potencial vínculo entre el crecimiento, la productividad y el grado de penetración y desarrollo de las telecomunicaciones, el tamaño de red, las habilidades TIC, la inversión en infraestructura TIC y la dinámica comercial TIC.

En adición, se valora el papel de las Instituciones como elemento que podría facilitar a los agentes a materializar a las TIC en ganancias en eficiencia; es decir, valorar cómo la credibilidad, compromiso e independencia de las decisiones de los responsables de política económica favorecen la operatividad de los agentes.

En la sección primera se hace un sumario del origen radical y evolución de las TIC, así como su inmersión a la dinámica económica a nivel mundial. En el segundo apartado se reflexiona sobre el comportamiento económico de 30 economías durante el periodo 1994-2020. En la tercera parte se examinan los indicadores de profundización TIC articulados con su influencia sobre la

productividad para los países que conforman la muestra¹⁹. En la cuarta sección se considera el papel que han tenido las Instituciones en la contribución sobre la productividad y el crecimiento. Finalmente, en el quinto numeral se ubican las conclusiones.

3.1. Génesis de las TIC como Tecnologías de Propósito General

Desde tiempos distantes la comunicación y generación de información y conocimiento han sido una constante en las relaciones sociales, funcionales y/o productivas de las actividades humanas. Empero, no es propósito de este apartado meditar detalladamente o discurrir en las edades de la historia la génesis de este medio de interacción económico-social, sino considerar cómo los inventos procedentes de una intención científica o investigación experimental trascienden esferas y logran transformar comportamientos al interior de éstas. De modo que la exposición subsecuente estará orientada en presentar una breve línea de tiempo de las tecnologías TIC y su integración al dinamismo económico.

Así, en 1804 se creó la tarjeta perforada configurada sobre la automatización de la operación telar que facilitaba la obtención de diseños textiles; posteriormente, este principio de informatización se utilizó en 1880 para el procesamiento y mecanización de datos censales por parte de la Oficina de Censos de los Estados Unidos (Téllez Valdés, 1996). En lo subsecuente, en 1834 surge, por un lado, un computador que se aproximaba a la noción de propósito general conocido como la “máquina de Babbage”, el cual propició la ejecución de cálculos de alta complejidad basados en métodos matemáticos y características de la tarjeta perforada (Téllez Valdés, 1996); por otro, se manifiestan los primeros indicativos de la inteligencia artificial. De esta manera, la máquina de Babbage y la inteligencia programable se instauraban como los inventos relevantes para el entendimiento de la era de las computadoras de los años 1920 en adelante.

En 1835 con la invención del telégrafo se introdujo a la actividad económica mundial la facultad de enviar y recibir información con mayor velocidad, empleado el alfabeto/código Morse como sistema de intercambio de mensajes codificados (Calandra y Araya, 2009), cuyo uso se intensificó con la llegada del ferrocarril (EPEC, 2022a).

¹⁹ Alemania, Argentina, Austria, Brasil, Canadá, Chile, China, Colombia, Corea del Sur, España, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Grecia, India, Indonesia, Irlanda, Italia, Japón, Malasia, México, Noruega, Portugal, Reino Unido, Singapur, Sudáfrica, Suecia, Suiza, Tailandia y Turquía

Posteriormente, en 1876 nace “formalmente” el teléfono como un dispositivo o aparato de telecomunicación que, por su capacidad de captar ondas, transformarlas y emitir, en principio, señales acústicas y, después, voz humana a grandes distancias; favoreció la reducción de tiempos de comunicación y operación en distintas actividades económicas (EPEC, 2022b; Calandra y Araya, 2009). Con la inserción del teléfono a la actividad productiva se logró la conexión entre metrópolis, centros de trabajo y puertos marítimos (UIT, 2021). En los años consecutivos fue posible recibir y producir señales con mayor calidad gracias a la creación del micrófono, altavoces y construcción de centrales telefónicas que, para el año 1956, posibilitaron la conexión entre diversos países (EPEC, 2022b). Al mismo tiempo, surge la empresa American Telephone and Telegraph (AT&T) que ha estado figurando un papel preponderante en desarrollos tecnológicos TIC.

Sobre el año 1887 se encontró evidencia de la propagación de ondas electromagnéticas en el aire dando lugar al primer indicio de la radio. No obstante, fue hasta 1901 cuando se inventó el aparato transmisor capaz de emitir señales a considerables distancias, mismas que trascendían más allá del océano Atlántico (EPEC, 2022c; Calandra y Araya, 2009); con lo cual se agudizaba la tecnología alámbrica en materia de telecomunicaciones. Con la aparición de la radio, la comunicación entre individuos se hacía cada vez más fácil y rápida, lo anterior parecía el posible desplazamiento de la prensa escrita, siendo la industria del transporte (mercante, de carga o de pasajeros) una de las actividades económicas más beneficiadas por esta tecnología TIC.

En el año 1920 se suscitaron una serie de acontecimientos en el ámbito de los dispositivos electrónicos y las comunicaciones. En el primer plano, se inventa el aritmómetro electromecánico que interconectaba un compuesto aritmético, una unidad de control, memoria y una máquina de escribir (misma que nace en 1868) para facilitar -aún más- la automatización de operaciones matemáticas (González de Posada, 2020). Mientras que en el campo de las comunicaciones es posible identificar dos eventos: primero, en Estados Unidos se efectuó una transmisión de radio pública a través de la radio modulada, mejor conocida como amplitud modulada (AM) (EPEC, 2022c) que facilitará, acto seguido, la radio mediante frecuencia modulada (FM); y segundo, surge la televisión mecánica y electrónica (aunque el origen de la televisión yace en 1884 con la aparición del Disco de Nipkow) capaces de emitir imágenes. A este respecto, la empresa British Broadcasting Corporation (BBC) inició ensayos de la televisión mecánica en septiembre de 1929;

mientras que las empresas de procedencia británica y estadounidense Electrical and Musical Industries (EMI) y Radio Corporation of America (RCA), respectivamente, comenzaron pruebas en 1931 con la tecnología electrónica (EPEC, 2022d).

En virtud de lo anterior, es factible apreciar cómo la propagación y duración de hechos alrededor de las comunicaciones y la codificación de la información iban atravesando fronteras con mayor velocidad, las cuales iban acentuándose como necesarias en la dinámica productiva. Con esto no solo se alcanzaban grandes avances, de ese momento, en el procesamiento e intercambio de información y en la ejecución de tareas con menos intervención humana a propósito de minimizar riesgos y errores, también se extendía hacia aspectos humanitarios y de promoción del simbolismo de fraternidad entre las naciones como fue el papel que desempeñó la radio en el rescate de vidas humanas en 1912 tras el hundimiento del buque trasatlántico RMS Titanic y el rol de la radiodifusión y la televisión para la transmisión de los Juegos Olímpicos de 1936.

En consecuencia, durante los años 1934-1938, 1940 y 1941 con la finalidad de automatizar procesos en la industria aeronáutica y disminuir errores humanos surgieron, en Alemania, una serie de computadoras electromagnéticas caracterizadas como “propósito general” y catalogadas como la raíz de las primeras computadoras electrónicas (Vizcaíno Sahagún, 1998). Más adelante, en 1943, se origina en Inglaterra la máquina Colossus con el fin de descifrar, en cuestión de segundos, mensajes del gobierno alemán. Con ello se fortalecía la idea de la era de las computadoras electrónicas (López Michelone, 2012).

Siguiendo ese orden, en el periodo 1937-1944 la empresa estadounidense International Business Machines Corporation (IBM) en colaboración con la Universidad de Harvard crearon el primer ordenador conocido como MARK I que operaba cálculos matemáticos básicos y complejos bajo un grupo de indicaciones administrados por tarjetas perforadas capaz de almacenar información/resultados de dichos cálculos. Esta máquina entró formalmente en operación en 1944 en tareas militares (cálculos balísticos) y astronómicas, principalmente (Téllez Valdés, 1996).

Hacia 1947 el concepto de un computador completamente electrónico y digital se materializó con la máquina Electronic Numerical Integrator And Calculator (ENIAC) construida por la Universidad de Pennsylvania para el Laboratorio de Investigación Balística de los Estados Unidos. La computadora tenía como objetivo realizar cálculos complejos de trayectoria y alcance de proyectiles y balas a partir de un sistema decimal, así como resolver temas relacionados con la

aeronáutica. En el mismo periodo, comienza la etapa de la programación con los programas de software (Vizcaíno Sahagún, 1998; Téllez Valdés, 1996).

Seguidamente, entre 1945 y 1952 surge, en Estados Unidos, el ordenador Electronic Discrete Variable Automatic Computer (EDVAC) como un computador electrónico que, entre sus mejoras, ya contaba con un programa almacenado capaz de guardar indicaciones y ejecutar operaciones con números binarios de manera automática (Téllez Valdés, 1998).

En tal contexto, si bien es cierto que los ordenadores fabricados entre 1939 a 1952 dotaron a las sociedades industriales de grandes avances tecnológicos TIC para el procesamiento, elaboración y automatización de cálculos, también lo es que éstos estaban basados en tecnologías de relés (de la industria telefónica), sistema binario y dispositivos electromagnéticos (relay) que, en la medida en que los países iban avanzando en el conocimiento y acelerando su actividad productiva a propósito de la mayor capacidad de producción, aumento del consumo de energía y mejor aprovechamiento de los recursos; reducían su oportunidad de respuesta a nuevas exigencias o necesidades, dado que ese tipo de tecnología aún mecanizaba operaciones matemáticas básicas (sumas, restas, multiplicaciones y divisiones) y resolución de problemas a partir de un algoritmo que resultaban insuficientes para defender el liderazgo tecnológico por parte de algunos países/empresas.

En efecto, con el uso intensificado de las TIC en el gobierno y firmas, la conveniencia de seguir avanzando en la generación de información, codificación de datos y comunicación más eficiente dio paso a la invención –tal vez- más importante para el desarrollo y profundización TIC: el transistor. Es así que en 1947 al interior de los laboratorios Bell de la empresa AT&T se descubrió un dispositivo semiconductor con la capacidad de sustituir los relés y tubos de vacío que sostenían la costosa infraestructura activa de las líneas telefónicas, habida cuenta de que este nuevo aparato electrónico fue competente en mejorar la amplificación de las señales para la transmisión de voz (Riordan *et al.*, 1999). Con el hallazgo del transistor no solo se logró la sustitución de infraestructura de las telecomunicaciones fijas y la reducción de costos de operación en el sector; sino que -al mismo tiempo- se desencadenó una serie de generaciones de computadoras con hardware más pequeño, software más veloz y la disminución de su costo. Por lo que, en el año 1951 aparece la primera computadora de uso comercial, Universal Automatic Computer (UNIVAC I) con la habilidad de procesamiento de datos alfanuméricos (mil palabras), numéricos,

traducción a lenguaje máquina y fabricado con cinta magnética que facilitaba el tratamiento de datos, siendo de gran utilidad en organismos gubernamentales responsables de estadísticas nacionales oficiales (Téllez Valdés, 1998).

En 1957 se plantea –explícitamente- el primer lenguaje de programación llamado FORTRAN e incorporado a un ordenador IBM de uso tecnológico, científico y numérico. Este “traductor de fórmulas” mantenía los principios del código binario de la tarjeta perforada, además de encontrar un lenguaje de programación orientada a objetos (Muller Santa Cruz, 2007); razonamiento que es posible identificar –en la actualidad- en distintos lenguajes de programación (i.e. Python). En años subsecuentes (1958-1960) nacen los siguientes lenguajes de programación: ALGOL, basado en algoritmos de uso militar y científico; BASIC, código indicaciones para principiantes, incorporado en ordenadores de uso comercial/general; COBOL, lenguaje para actividades comerciales, de negocios o administrativas; y, ADA usado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos (Téllez Valdés, 1998).

En el año 1958, la compañía AT&T inventa el primer modem comercial *Bell 101 dataset* capaz de crear imágenes del espacio aéreo. Este dispositivo consistía en una red compuesta por radares que transmitía datos digitales a través una red telefónica; de gran utilidad en la comunicación de bases áreas. Con el advenimiento del modem *Bell 101 dataset*, la era del internet –como nueva tecnología de utilidad generalizada- estaba próxima en alcanzarse (Navarro del Toro, 2021).

Durante los sesenta se comienza con la noción de otro elemento TIC que, hasta nuestros días, sigue siendo otro factor que facilitó el umbral del internet: la red. En ese periodo, se elaboró un sistema nombrado Electronic Data Interchange (EDI) que concedía a las firmas ejecutar transacciones y compartir información comercial de forma electrónica; hecho indujo en 1979 la materialización de compras electrónicas (CEPAL, 2014) hoy conocido como *ecommerce*.

Paralelamente, a causa de estrategias militares, emerge la red “ARPANET” que conectaba una serie de ordenadores de la Universidad de California en Los Ángeles (UCLA), la Universidad de California en Santa Bárbara (UCSB), la Universidad de Utah y el Instituto de Investigación de Stanford (SRI) a propósito de agilizar la comunicación entre organismos gubernamentales e instituciones académicas para realizar investigaciones avanzadas en tecnologías de defensa. De

ahí que en 1969 se efectuara una transmisión de datos entre la UCLA y el SRI que conducirían el nacimiento del internet (UIT, 2009; Calandra y Araya, 2009).

En 1962 las tecnologías de las telecomunicaciones iban en ascenso con el lanzamiento de Telstar I como primer satélite funcional que permitió la conexión televisiva a nivel mundial (Calandra y Araya, 2009). Acto seguido, en 1963 se conciben los circuitos integrados cuyos materiales (semiconductores/transistores) permiten ser encapsulados en una especie de pastilla o chip que hicieron posible la tercera generación de computadoras mucho más rápidas y de menor tamaño. Este conjunto de ordenadores fue aprovechado, inicialmente, en la industria aérea espacial. Hoy por hoy, debido a las cualidades y mejoras en los chips resultan ser insumos esenciales en la manufactura de diversos bienes, tales como: aeronaves, automóviles, teléfonos móviles y fijos, equipos médicos, computadoras, robots, calculadoras, videocámaras, cámaras fotográficas, televisiones, reproductores de música, entre otros (ACIMED, 2007).

En la década de los setentas, la utilidad de la programación alcanzó áreas educativas –a nivel mundial- con la introducción del lenguaje PASCAL que, como objetivo, sensibilizó el aprendizaje de técnicas de programación. En la misma ruta, en noviembre de 1971 la compañía Intel inventa el primer microprocesador 4004 que consistía en un chip incorporado a una computadora de uso personal, lo que dio paso a la cuarta generación de computadoras. Desde este punto de vista, es posible señalar que a partir del nacimiento del microprocesador comienza el uso generalizado de las computadoras ya que aparecen ordenadores personales como Altair, Apple I y II con capacidad de operar a una velocidad de 2MHz²⁰. En el mismo periodo se concibe la fibra óptica cuya presencia inicial fue en las comunicaciones; no obstante, debido a los avances y explotación de sus materiales, la fibra óptica se empleó (a la fecha) para la transmisión masiva e inmediata de datos, como otro indicativo del advenimiento del internet.

En el año 1973, en Estados Unidos, se presenta el primer radioteléfono (teléfono celular) que establecería la idea de un modelo de red pública por medio de una red alámbrica, comenzando a funcionar en 1978. Así, en el año siguiente, ese sistema de telecomunicaciones móviles iniciaría operaciones en Japón (Rodríguez *et al.*, 2005); instante que hace patente el periodo de las próximas generaciones de tecnologías móviles. Al mismo tiempo, se suscita la conexión de red internacional

²⁰ Un megahercio (MHz) es una unidad que mide la rapidez/velocidad con la que trabaja un microprocesador. Es decir, la cantidad de tareas o interacciones que ejecuta la unidad central de una computadora.

“SATNET” que debía facilitar, a través de una red satelital, la comunicación transatlántica. Mientras que al finalizar los setentas la creación del protocolo Internet (IP) posibilitó la comunicación entre redes y computadoras teniendo como resultado la conectividad a escala internacional, concretándose en 1978 con el envío del primer correo electrónico (UIT, 2009).

Con la cantidad de ordenadores interconectados y el extenso volumen de información que se compartía por medio del uso de internet; en 1989 se produce la idea de una red global de uso intensivo capaz de archivar -por medio de enlaces- información que pudiera ser consultada en cualquier momento, planteamiento que derivó en la red mundial que conocemos como World Wide Web (UIT, 2009; Calandra y Araya, 2009).

Es a raíz de la combinación/acceso a internet y a la red informática mundial que se desata una ola de avances tecnológicos en aspectos de organización, procesos y productos. La serie de transformaciones suscitadas en los años noventa como los navegadores web²¹, los motores de búsqueda²², la navegación móvil en 1996, los servicios globales²³ de “*e-commerce*” entre 1995-1998, los procesos productivos asistidos por computadora “*e-business*” en 1997, la transición de la producción de medios de información masivos escritos a digitales (primer libro electrónico en 1998), así como las constantes transmutaciones a redes o comunidades basadas en el conocimiento²⁴ en el año 2003, las redes sociales y de multimedia²⁵ en 2004, y la revolución en la fabricación del soporte físico TIC entorno a la tecnología “inteligente” capaz de enlazarse o conectarse a una red de telecomunicaciones (IBM, 2012; UIT, 2009; Calandra y Araya, 2009); no solo han modificado técnicas y métodos de diseño, producción, distribución, mercadeo y comercialización de bienes y servicios, también están trastocando los perfiles de puestos o vacantes en el mercado laboral, pues en la medida en que las TIC se integran y establecen en la operatividad de los agentes, la demanda de habilidades TIC por parte de las firmas tiende a incrementarse ocasionando desplazamiento de mano de obra no calificada por mano de obra calificada y aplicaciones TIC.

²¹ v. gr. Google Chrome, Safari, Opera, Mozilla Firefox, Internet Explorer.

²² v. gr. AOL, Google, Yahoo, Bing, Ask.

²³ v. gr. Amazon, Ebay, Zappos.

²⁴ v. gr. LinkedIn, Kaggle, Coursera.

²⁵ v. gr. YouTube, Facebook, Twitter, Badoo, WhatsApp, Instagram.

A la postre, es importante mencionar que durante estas fases de consolidación TIC, las Instituciones han asumido un rol fundamental en la proliferación de estas tecnologías. La inversión pública en investigación básica y la elaboración de política económica e industrial que incentive a las empresas a seguir realizando investigación experimental, así como en mantener la generación de capacidades de absorción a favor de la formación de habilidades tecnológicas locales; están otorgando a algunas economías posicionarse en la Frontera Tecnología Mundial y alcanzar mejores estándares de vida para sus sociedades.

3.2. Vertebración de la actividad económica 1994-2020

Los sucesos históricos TIC ponen de manifiesto que los avances tecnológicos hacen posible que los países experimenten periodos prolongados de crecimiento. Desde 1804 las economías han mostrado interés en seguir apoyándose de las tecnologías TIC como fuerza promotora para alcanzar niveles óptimos o máximos de producción conjuntamente con una distribución de recursos que concedan mayores ventajas o posición superior en tecnologías de frontera.

A lo largo del periodo 1994-2020 el contundente crecimiento económico de países europeos, asiáticos y, algunos, latinoamericanos sugiere transformaciones en la composición de la estructura económica que apuntala mayores ganancias en eficiencia. Ciertamente, esta configuración muestra congruencia entre la capacidad de las economías para acumular factores productivos con una determinación de política económica (consulte sección 3.4) que atienda los efectos desiguales del cambio tecnológico y la manera en cómo se distribuyen/asignan los insumos a la dinámica productiva.

Desde este punto de vista, China, India, Irlanda, Corea del Sur, Turquía, Indonesia, Singapur, Malasia, Chile, Tailandia, Finlandia y Suecia muestran incremento sobresaliente en sus niveles de renta per cápita; sin embargo, los diferenciales en términos de crecimiento, productividad, gasto en actividades de I + D y acumulación de capital humano son explícitamente notorios (véase cuadro 1).

Cuadro 1. Actividad económica: 1994-2020.

País	PIB ^T	PIBpc ^T	PTF ^{T/1}	FBC ^T	FBC ^P	XBS ^T	MBS ^T	IED ^T	ICH ^{T/1}	HT ^T	I+D ^P	PAT ^P	R ^P
Alemania	1.2	1.1	0.5	0.6	21.5	4.8	4.4	3.5	0.2	-0.4	2.6	5,663	317,248
Austria	1.5	1.1	0.4	1.5	24.7	4.1	3.5	8.5	0.4	-0.4	2.4	341	37,714
Canadá	2.1	1.3	0.2	2.7	22.2	2.4	3.3	7.3	0.4	-0.2	1.8	607	133,650
Corea del Sur	4.2	3.6	1.3	3.3	32.5	8.6	6.1	9.7	0.9	-1.1	3.1	1,757	238,227
España	1.6	0.9	-0.2	1.8	23.4	3.7	3.6	6.9	0.7	-0.1	1.1	227	104,369
Estados Unidos	2.2	1.3	0.7	2.9	21.4	3.5	4.3	8.7	0.3	-0.1	2.7	14,270	1,152,191
Finlandia	2.0	1.7	0.6	2.8	22.9	4.1	4.2	8.9	0.6	-0.3	3.1	326	39,479
Francia	1.3	0.8	0.3	1.9	22.2	3.3	3.8	5.1	0.5	-0.3	2.2	2,473	223,880
Irlanda	5.7	4.4	1.2	9.2	26.2	9.9	9.5	12.1	0.5	-0.4	1.3	77	14,680
Italia	0.3	0.1	-0.5	0.1	19.6	2.0	2.2	6.4	0.7	-0.3	1.2	805	98,556
Japón	0.7	0.6	0.4	-0.2	26.4	3.4	2.7	8.2	0.4	-0.5	3.0	16,530	651,688
Noruega	2.0	1.1	0.0	3.0	25.3	1.5	3.4	6.9	0.5	-0.3	1.7	116	26,109
Reino Unido	1.6	1.0	0.4	1.8	17.6	3.1	3.7	7.9	0.5	-0.1	1.6	1,843	229,036
Singapur	4.7	2.7	-0.5	4.0	27.8	6.6	6.3	12.4	2.6	-0.3	1.9	108	25,223
Suecia	2.3	1.7	1.1	3.1	23.0	4.5	4.1	9.7	0.3	-0.1	3.3	793	55,897
Suiza	1.7	0.9	0.6	1.5	26.2	3.6	3.2	12.1	0.2	-0.4	2.7	1,030	33,781
Argentina	1.4	0.3	-0.4	0.7	17.5	3.2	2.3	3.4	0.7	-0.6	0.5	10	39,958
Brasil	2.0	1.0	-0.8	1.4	18.3	4.2	4.1	7.2	2.1	-0.3	1.1	57	-
Chile	3.6	2.5	-0.2	4.1	23.4	3.8	5.9	8.2	0.6	-0.8	0.4	7	7,223
China	8.8	8.0	0.7	9.7	41.0	10.2	11.1	11.3	1.0	0.3	1.4	1,409	1,186,080
Colombia	2.9	1.5	-0.1	2.2	21.1	3.1	4.0	13.3	1.0	0.0	0.2	3	-
Grecia	0.4	0.4	-0.2	-0.4	19.7	4.0	3.7	4.6	0.7	-0.1	0.8	14	25,066
India	6.0	4.5	1.6	7.8	32.6	9.9	9.1	18.6	1.3	0.1	0.7	241	-
Indonesia	4.2	2.8	0.2	2.4	29.4	4.1	3.3	8.9	0.5	0.2	0.1	3	-
Malasia	4.6	2.7	0.5	2.3	26.4	4.1	4.1	6.1	1.0	-0.1	0.9	17	-
México	1.8	0.4	-0.5	0.5	22.4	5.4	4.5	9.7	0.8	0.0	0.4	18	32,842
Portugal	1.1	1.0	0.0	0.6	21.8	3.8	3.5	7.5	0.8	0.0	1.0	21	29,897
Sudáfrica ²	2.2	0.8	-0.3	2.1	17.1	2.2	3.6	7.6	1.6	-0.5	0.8	34	19,976
Tailandia	3.1	2.4	1.6	0.5	26.7	4.5	3.7	9.6	1.1	-0.9	0.3	13	-
Turquía	4.6	3.1	0.0	6.0	26.1	6.5	7.0	9.0	1.2	-0.1	0.7	26	59,284

Fuente: elaboración del autor con datos del Banco Mundial, OCDE, UNCTAD y PWT.

PIB: Producto Interno Bruto; PIBpc: Producto Interno Bruto per cápita; PTF: Productividad Total de Factores; FBC: Formación Bruta de Capital; XBS: Exportaciones de bienes y servicios; MBS: Importaciones de bienes y servicios; IED: Inversión Extranjera Directa; ICH: Índice de Capital Humano; HT: Horas trabajadas; I + D: Gasto en investigación y desarrollo; PAT: Patentes triádicas; R: Total de Investigadores de tiempo completo. T/ tasa de crecimiento promedio anual; P/ promedio; 1/ periodo 1994-2019; 2/ periodo 2001-2019 para cifras de horas trabajadas.

En tal sentido, una explicación razonable del comovimiento de los indicadores económicos con el producto de las economías asiáticas yace en los cambios institucionales, principalmente, al sistema jurídico-regulatorio que, como parte de su estrategia de política económica, se caracteriza por priorizar/continuar con un enfoque de adopción e implementación de tecnología de vanguardia que facilita elevar capacidades científicas y tecnológicas para la especialización local a propósito de impulsar la productividad nacional (UNCTAD, 2021; SaKong y Koh, 2010; Lall, 1992). Indudablemente, los países asiáticos reflejan aumentos escalonados y sucesivos en la acumulación de capital físico, humano e inversión que, como parte de la asimilación y proceso de innovación, han contribuido en la creación de nuevos y/o mejorados bienes y servicios con alto valor agregado; situación que podría estar permitiéndoles posicionarse entre los países más innovadores del mundo. Desde este ángulo, la lógica apunta que los esfuerzos en la acumulación de factores conducen a estas economías experimentar crecimiento sostenido y/o elevadas tasas de crecimiento del PIB.

En lo concerniente a países europeos, llama la atención el empeño de Irlanda, Finlandia y Suecia para alcanzar un sistema económico estable y tratar de conseguir/mantener un ritmo de crecimiento similar al de economías como Alemania, Reino Unido, Suiza y Francia. El análisis resulta convincente, pues estos países evidencian, progresivamente, ir aproximándose a un comportamiento más homogéneo para establecer relaciones y tendencias que faculten el proceso de innovación local-regional a partir de la intensificación de la mano de obra calificada, profundización de infraestructura física, inversión en actividades de I + D, incentivos para atraer inversión extranjera, mantener un funcionamiento prospectivo en la actividad comercial, así como tener instituciones gubernamentales confiables (véase apartado 3.4).

En ese orden de ideas, es ostensible reflexionar que el nivel de sincronía en la región europea esté orientado a incorporar capital humano y maquinaria más eficiente en los procesos productivos, debido a que la combinación de esos factores no solo faculta la reducción de costos, tareas repetidas y tiempos de operación; también implica cooperación tecnológica, diferenciación de productos, nuevos métodos de organización y técnicas de producción que pueden inducir ganancias en eficiencia.

En relación con América Latina, los indicadores muestran que Chile, Colombia y Brasil son los países con mejor comportamiento económico durante el periodo; sin embargo, esta trayectoria parece no mantenerse. Por otra parte, México y Argentina reflejan constante desaceleración de su actividad económica (consulte apéndice D). En esta perspectiva, es razonable suponer que el desempeño innovador de las economías latinoamericanas es semejante, pues proyectan limitado potencial en la generación de capacidades de absorción y acumulación de capital tecnológico. Otra reflexión podría motivarse sobre la base de la especialización productiva que no descansa en áreas con alto valor agregado (producción de nuevos diseños, marcas, prototipos, productos, insumos, servicios posproducción), sino en el ámbito de manufactura/ensamble cuya tipificación en las fases de la cadena de valor representan actividades de bajo valor agregado, o bien, por actividades primarias (i.e. minería, energía) que posiblemente estarían explicando el comportamiento de la productividad y la evolución del producto.

3.3. Panorámica estructural, composición y despliegue TIC

En esta investigación se ha planteado que el cambio tecnológico TIC ha desencadenado innovaciones de procesos, productos y de negocio que, a su vez, están permitiendo la transformación de las cadenas de valor, sistemas productivos y producción de bienes y servicios diferenciados. A tal efecto, resaltan algunos hechos que exhiben la expansión en el acceso y uso de las TIC (véase cuadro 2).

Cuadro 2. Indicadores de profundización TIC

País	TF ^{H/P}	TM ^{H/P}	BAF ^{H/P}	BAM ^{H/P}	UI ^P	InTIC ^{P/1}	PatTIC ^{P/2}	Servicios digitales		Bienes TIC		Servicios TIC		VaTIC ^{P/5}	LTIC ^{P/5}
								X ^{T/3}	M ^{T/3}	X ^{P/3/4}	M ^{P/3/4}	X ^{P/3/4}	M ^{P/3/4}		
Alemania	61	109	26	54	59	9,712.7	3,410	6.3	5.6	5.9	9.5	8.8	8.4	5.8	4
Austria	43	122	20	63	56	1,047.6	232	6.2	7.4	4.5	6.3	8.4	8.0	4.8	4
Canadá	52	67	28	59	65	7,914.8	984	4.2	4.5	3.1	8.4	8.7	3.9	5.6	4
Corea del Sur	53	99	32	103	64	6,595.0	7,993	8.5	6.8	25.5	14.7	2.2	1.7	12.9	8
España	42	102	20	70	48	7,303.6	130	-	-	2.5	6.2	9.3	9.1	6.7	4
Estados Unidos	49	87	24	100	60	90,802.0	12,575	6.7	6.3	11.8	13.9	4.2	6.7	5.1	4
Finlandia	26	123	25	117	66	326.8	574	10.1	5.9	10.2	10.0	30.0	11.2	8.8	8
Francia	59	90	28	60	50	9,573.5	1,718	-	-	5.3	7.6	6.6	7.8	6.0	6
Irlanda	45	100	20	82	50	706.5	97	-	-	15.1	16.3	43.1	1.9	10.3	7
Italia	39	133	18	64	39	9,449.8	423	1.9	1.6	2.5	6.1	7.9	9.0	4.9	4
Japón	48	100	23	138	59	21,285.0	20,422	6.6	6.9	12.7	12.6	2.0	5.0	10.6	6
Noruega	32	104	29	88	72	856.3	79	4.4	5.1	1.3	7.7	5.1	6.5	5.4	5
Reino Unido	53	111	26	79	62	10,152.8	1,537	3.3	4.6	8.1	10.1	5.8	5.1	10.5	6
Singapur	40	126	20	120	57	-	218	14.5	10.6	34.5	28.2	6.3	7.2	-	4
Suecia	47	112	28	108	70	1,081.9	779	6.7	7.0	8.9	10.5	19.3	10.5	8.5	8
Suiza	59	113	32	74	64	2,841.1	304	4.0	6.3	1.7	5.6	-	-	-	-
Argentina	22	102	10	47	34	-	7	6.9	7.0	0.2	9.1	11.6	6.2	-	-
Brasil	20	81	8	56	32	-	29	6.6	7.5	1.6	9.8	3.7	6.3	8.7	2
Chile	19	97	10	54	40	1,329.3	2	4.7	6.0	0.5	7.9	3.5	4.3	3.0	1
China	19	63	12	45	25	-	4,780	15.7	10.4	26.9	22.4	9.6	2.9	-	-
Colombia	16	83	6	32	27	-	1	9.1	8.2	0.2	10.0	5.4	5.1	5.2	-
Grecia	52	104	22	51	36	1,391.0	14	2.9	1.7	2.8	5.3	2.3	4.1	3.9	3
India	3	46	1	17	8	-	380	9.9	9.4	1.6	7.4	33.0	3.4	4.6	1
Indonesia	8	77	1	47	12	-	3	3.0	2.6	5.8	6.2	6.7	6.1	-	-
Malasia	18	103	6	58	46	-	51	6.6	6.1	36.9	30.3	6.3	6.6	12.6	7
México	17	67	8	40	28	4,260.6	13	3.7	3.5	18.0	17.0	1.4	0.7	3.8	2
Portugal	43	109	20	50	41	1,172.2	12	7.8	6.1	5.0	6.7	4.9	6.9	6.7	3
Sudáfrica	9	103	1	58	24	-	24	3.5	2.6	1.3	9.2	-	-	-	-
Tailandia	10	103	6	55	23	-	5	6.5	7.6	19.7	15.9	1.1	1.1	-	3
Turquía	22	77	9	45	30	2,906.6	30	13.2	12.6	2.5	5.4	1.9	3.9	4.4	2

Fuente: elaboración del autor con datos del Banco Mundial, OCDE, UNCTAD y UIT.

TF: suscripciones a telefonía fija; TM: suscripciones a telefonía móvil; BAF: suscripciones a banda ancha fija; BAM: suscripciones a banda ancha móvil; UI: porcentaje de individuos que usan internet; InTIC: Inversión en TIC (en dólares USA); PatTIC: Patentes en TIC; X: exportaciones; M: importaciones; VaTIC: valor agregado sector TIC como parte del sector empresarial; LTIC: mano de obra sector TIC. H/promedio por cada 100 habitantes, periodo 2000-2020, P/ promedio, T/ tasa de crecimiento promedio anual, 1/ periodo 2000-2018; 2/ 1994-2018, 3/ 2005-2020, 4/ cifras como porcentaje del comercio total, 5/ cifras como porcentaje del sector empresarial, periodo 2003-2020.

Sobre el particular, destacan los avances en telefonía móvil con mayor crecimiento en Italia, Singapur, Finlandia, Austria, Suiza, Suecia, Reino Unido, Alemania, Portugal, Grecia, Noruega, Malasia, Sudáfrica, Tailandia, Argentina y España; mientras que en Irlanda y Japón el despliegue parece constante. De lo anterior, es posible plantear que la importancia de la edificación de la telefonía móvil se concibe, primero, como un facilitador de comunicación entre agentes, y segundo, una forma de habilitar conocimiento pues a partir de esa tecnología es posible acceder a un ancho de banda.

Simultáneamente, los servicios de banda ancha móvil en Japón, Singapur, Finlandia y Suecia podrían acentuar la conexión en el procesamiento de información y conocimiento a través de medios digitales. De la misma manera, la optimización de tiempos y eliminación de tareas simples y/o repetidas pueden ser algunas de las ventajas proporcionadas por este componente TIC. En virtud de esos posibles beneficios, no es de extrañarse que Corea del Sur, con su estrategia de desarrollo orientada a atender las necesidades industriales a base de intensidad tecnológica y construcción de capacidades y habilidades en TIC (SaKong y Koh, 2010; Suh y Chen, 2008); manifieste amplio interés en seguir reforzando su infraestructura tecnológica TIC.

En el mismo orden de las ideas, la red móvil 4G (consulte cuadro 3) tiene mayor presencia en Singapur, Corea del Sur, Suecia, Estados Unidos y Japón; situación que concede a los usuarios de esta tecnología reducir tiempos de transmisión, carga y descarga de información. En tales circunstancias, se favorece el uso continuo de herramientas de la arquitectura lógica-crítica y conectividad, de modo que podría aumentar el rendimiento de las actividades empresariales.

Siguiendo la ruta de conectividad, la capacidad para proporcionar acrecentadas velocidades de transmisión de datos mediante servicios de banda ancha fija está encabezada por Corea del Sur y Suiza (cuadro 2). Esta tecnología se caracteriza por ser habilitadora de innovación y, al mismo tiempo, favorecedora de la creación de nichos de mercado o entrada a nuevos mercados en razón de la disponibilidad y acceso al conocimiento producido en cualquier parte del mundo; condición que explicaría el dinamismo de la productividad de ambas economías.

En esa reflexión de externalidades estáticas (extensión de red), Noruega, Suecia, Finlandia, Canadá, Suiza, Corea del Sur, Reino Unido y Estados Unidos podrían estar manifestando mayores ventajas en la apropiación de conocimiento ya que a medida que el tamaño de red se incrementa, las externalidades dinámicas se observan fortalecidas por la capacidad de los agentes para identificar valor de la información y del conocimiento disponible a propósito del proceso de innovación local que conduce la producción de nuevas aplicaciones, productos y servicios en el propio sector TIC como de sectores no TIC (cuadro 4).

En adición, cabe resaltar que los indicadores para Reino Unido, Alemania, Noruega, Austria, Francia, Suiza y Suecia sugieren contar con mayor capital humano con habilidades avanzadas TIC (cuadro 3) cuyo uso en industrias dinámicas o de intensidad tecnológica están relacionadas –únicamente- con software especializado, inteligencia programable, programación o

codificación de tareas que admiten la automatización de procesos, disminución de riesgos y simplificación de tareas.

Cuadro 3. Suscripciones a banda ancha fija, red móvil y habilidades TIC

País	Suscripciones a internet de banda ancha fija por cada 100 habitantes, tipo de velocidad			Población cubierta por una red móvil, por tipo de tecnología			Porcentaje de individuos con habilidades en TIC, por tipo de habilidad		
	10 Mbps ^{+P/1}	Entre 2Mbps y 10Mbps ^{P/1}	Entre 256Kbps y 2Mbps ^{P/1}	2G ^{P/2}	3G ^{P/2}	4G ^{P/2}	Avanzada	Estándar ^P	Básica ^P
Alemania ³	22	11	2	99.0	91.3	88.5	12	44	65
Austria ³	16	11	0	98.7	96.1	84.8	11	48	66
Canadá	23	12	1	98.1	97.3	92.7	-	49	66
Corea del Sur ⁴	38	0	0	97.2	99.3	99.6	7	49	66
España ⁴	19	6	1	99.5	96.7	87.7	7	45	57
Estados Unidos	21	6	4	99.6	96.8	98.1	-	-	-
Finlandia ⁴	20	8	4	99.6	96.6	93.2	8	54	69
Francia ³	40	2	0	99.0	95.6	80.2	10	38	59
Irlanda ³	15	9	2	98.9	94.5	83.4	8	37	52
Italia ³	10	13	2	99.7	92.9	81.3	8	32	48
Japón	28	2	0	99.6	99.9	97.6	-	47	58
Noruega ⁴	25	9	5	99.3	97.3	89.6	11	60	68
Reino Unido ³	28	7	0	99.5	97.9	87.5	13	50	63
Singapur ⁴	14	5	4	99.8	99.7	99.9	8	34	49
Suecia ⁴	25	8	2	99.5	99.8	99.1	10	52	64
Suiza ⁴	29	10	3	99.8	97.6	88.7	10	56	65
Argentina	7	10	1	90.1	88.7	73.5	-	-	-
Brasil ⁴	6	4	3	94.2	86.0	66.3	3	13	22
Chile	6	4	2	98.8	87.9	71.9	-	37	52
China	18	4	0	93.4	90.5	79.1	-	-	-
Colombia ⁴	3	5	3	95.4	100.0	78.6	4	25	35
Grecia	24	6	0	99.8	96.1	79.5	4	31	52
India	1	1	0	74.1	56.4	65.4	-	-	-
Indonesia ³	2	0	1	93.5	82.9	53.0	3	20	44
Malasia ⁴	3	2	3	95.1	88.1	67.5	8	34	51
México ⁴	9	4	0	97.6	92.5	55.8	6	25	34
Portugal ⁴	23	3	1	99.2	94.0	96.5	8	38	50
Sudáfrica ⁴	1	1	0	98.2	95.4	59.9	5	10	15
Tailandia ⁴	8	0	0	79.9	95.6	73.0	1	10	16
Turquía ⁴	7	5	1	94.8	76.9	64.4	3	26	35

Fuente: elaboración del autor con datos de la UIT.

P/ promedio, 1/ periodo 2007-2020, 2/ periodo 2000-2020, 3/ porcentaje de individuos con habilidades avanzadas en TIC durante el año 2014, 4/ porcentaje de individuos con habilidades avanzadas en TIC en el año 2020.

Nota: Las habilidades básicas refieren a la gestión de la información (i.e. enviar correos electrónicos, mover o copiar carpetas o archivos); las habilidades estándar concentran aquellas actividades con bases de datos, aplicaciones gerenciales (i.e. desarrollar presentaciones electrónicas ejecutivas, construir y manejar bases de datos); las habilidades avanzadas están vinculadas solamente con software especializado (i.e. inteligencia programable, programación o codificación).

Cuadro 4. Uso TIC por tipo de actividad económica

País	Actividad des comerci ales	Activida des de alojamie nto y servicio de comidas	Activida des de servicios adminis trativos y de apoyo	Activida des financie ras y de seguros	Activida des inmobili arias	Activida des profesio nales, científic as y técnicas	Constru cción	Fabrica ción de product os químico s	Informa ción y comunic ación	Manufa ctura	Otras activida des de servicios	Suminis tro de electrici dad, gas, vapor y aire acondici onado	Transpo rte y almacen amiento
Alemania	74.0	61.6	66.9	83.0	72.2	76.5	63.7	76.7	83.7	70.3	88.9	73.4	64.4
Austria	82.0	72.8	69.4	88.3	89.2	78.7	65.1	76.4	90.5	75.6	87.8	83.6	64.6
España	71.0	62.8	61.6	91.8	71.4	75.4	61.9	70.8	82.1	66.8	80.0	66.8	66.3
Finlandia	90.1	74.4	77.0	-	81.6	83.0	72.6	81.9	87.5	79.8	99.9	82.9	72.8
Francia	71.4	62.8	65.3	85.2	74.8	75.1	61.9	71.7	81.4	68.6	84.0	71.0	64.5
Irlanda	72.0	59.5	70.1	85.4	70.9	76.9	66.9	73.4	84.1	74.8	85.2	75.2	68.5
Italia	65.2	55.6	60.0	89.1	66.6	73.5	61.2	68.6	79.4	65.6	-	69.3	61.2
Japón	63.2	-	-	64.8	64.4	-	60.0	-	75.9	60.0	59.4	-	56.7
Noruega	72.3	59.5	70.1	88.5	71.4	78.4	65.9	75.2	85.6	69.5	88.9	79.6	65.0
Reino Unido	72.9	58.2	71.0	81.2	66.6	76.9	67.5	73.9	82.2	73.6	82.8	73.3	69.2
Suecia	81.2	71.1	73.8	94.4	81.3	80.5	71.8	79.1	84.5	78.5	90.0	82.9	72.0
Suiza	64.8	58.2	57.5	74.6	63.0	66.2	53.5	-	79.1	63.4	-	-	63.7
Brasil	50.7	39.8	50.8	-	57.1	61.3	44.9	-	68.7	50.6	44.9	-	49.3
Chile	41.2	39.8	43.0	59.2	40.3	61.7	49.7	-	60.0	46.4	-	49.7	43.9
Colombia	68.6	84.8	73.1	-	72.1	77.9	-	-	82.8	68.5	81.3	-	76.9
Grecia	63.9	47.8	58.7	85.2	62.2	72.2	56.2	58.5	78.8	62.4	75.0	66.8	61.7
México	27.1	7.9	32.3	58.8	26.4	56.5	65.4	-	57.0	11.8	8.1	67.8	55.2
Portugal	74.7	57.3	69.3	92.8	83.1	81.6	62.3	65.3	82.9	60.1	85.5	72.0	78.0
Tailandia	13.0	6.2	18.6	-	15.4	32.8	11.2	-	38.3	5.8	5.9	-	8.8
Turquía	68.8	63.9	64.4	76.1	69.9	71.7	61.0	70.8	78.0	67.7	80.7	72.5	63.3

Fuente: elaboración del autor con datos de la UNCTAD.

Las cifras indican el porcentaje de empresas que usaron tecnologías TIC para sus actividades productivas durante el periodo 2003-2020; las cuales comprenden: uso de computadoras, red de área local (LAN), extranet, internet (para ofrecer servicios, recibir o hacer pedidos y entrega de productos en línea, capacitación del personal, acceso a servicios financieros, interacción con el gobierno, acceso a la información sobre bienes y servicios, enviar o recibir correos electrónicos, mensajería y tableros de anuncios, contrataciones, videoconferencias, presencia en la web), intranet, banda ancha fija y banda ancha móvil.

Aunado a lo anterior, Estados Unidos, Japón, Reino Unido, Alemania, Francia, Canadá y Corea del Sur muestran inversiones sustanciales en infraestructura TIC, lo cual parece congruente con lo analizado en la sección 3.2 en cuanto al gasto en actividades de I + D. En tal contexto, es razonable deducir que, para estas economías, las ganancias en eficiencia podrían verse estimuladas por el grado de dispersión del sector TIC. En la misma línea de argumentación, Italia, España y México también destacan con inversiones significativas en TIC; no obstante, aunque Italia y España realizan esfuerzos de I + D relevantes, éstos ponen en evidencia no ser suficientes para mostrar ganancias en productividad. Mientras que México apunta fuertes limitantes en materia que, al vincularlos con la tendencia decreciente de la productividad, induce cuestionar la capacidad de arrastre de las TIC.

Las patentes (cuadro 2) otorgadas por las cinco principales oficinas de patentes o familia de patentes IP5²⁶ en el ámbito de equipo electrónico y de procesamiento, dispositivos de comunicación y audiovisuales (OCDE, 2017b) pueden estar explicando la rentabilidad que ofrecen las telecomunicaciones y el soporte físico TIC a Japón, Estados Unidos, Corea del Sur, China y Alemania. En estas condiciones, es posible inferir que el ciclo TIC se completa dónde la inversión en esas tecnologías consolida el vínculo con la productividad debido a que supone, en principio, la integración de nuevas estrategias de innovación para el diseño, producción, distribución, comercialización y consumo de bienes y servicios; y segundo, una mayor participación intersectorial e intrasectorial.

En otro aspecto TIC, los indicadores muestran que Malasia, Singapur, China, Corea del Sur, Tailandia, México e Irlanda son países con mayor porcentaje de exportaciones e importaciones de bienes TIC (cuadro 2); sin embargo, cabe la observación sobre la naturaleza o características de su entramado productivo, es decir, algunas de estas economías están caracterizadas por un bajo aporte en valor agregado y uso intensivo de mano de obra no calificada, mientras que otras todo lo contrario.

En lo que respecta a la transición de procesos y productos hacia capacidades digitales, China, Singapur, Turquía y Finlandia manifiestan inclinación en el uso intensivo del comercio electrónico y negocio electrónico (cuadro 2). Lo anterior, debido a que a través del uso acelerado TIC se favorece la expansión hacia nuevos mercados cuyo ambiente virtual facilita el diseño, producción, distribución y comercialización de productos y servicios; de modo que se convierte en una fuerza impulsora en la generación de valor agregado, aumento del proceso de innovación y de la productividad (UNCTAD, 2019).

El escenario antes presentado permite valorar las posibles ganancias en productividad asociadas a las TIC en economías desarrolladas y en desarrollo, cuya acumulación de capital y de conocimiento TIC les ha facilitado trascender a nuevos estadios tecnológicos y mayor aprovechamiento de los factores productivos. Sin embargo, es posible que este razonamiento no sea factible para países como Grecia, Portugal y México, pues a pesar de evidenciar

²⁶ Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos (USPTO), la Oficina Europea de Patentes (EPO), la Oficina de Patentes de Japón (JPO), Oficina de Propiedad Intelectual de Corea (KIPO), la Oficina Estatal de Propiedad Intelectual de la República Popular de China (SIPO).

comportamiento destacable en algunos indicadores TIC, los efectos sobre la productividad y en el crecimiento parecen acotados, conduciendo a preguntarse: i) ¿por qué en algunas economías el vínculo e impacto de la dinámica TIC sugiere ser más relevante que en otras?, y ii) ¿existen otros factores que condicionan o apuntalan el uso eficiente de las TIC?

3.4. Calidad institucional, productividad y crecimiento económico

La sección precedente permite identificar que la profundización y aprovechamiento TIC es divergente entre países; algunos muestran mayor capacidad de inserción y adaptación TIC, mientras que otros exhiben menor uso y disposición del sector. En otras palabras, los indicadores parecen sugerir que las TIC, en ciertas economías, no representan por sí mismas un sector clave que impulse al resto de las actividades económicas y, al mismo tiempo, no manifiestan posibles indicios de la contribución de las TIC sobre la productividad.

En ese sentido, las Instituciones podrían estar influyendo en el proceso de acumulación de factores productivos y de generadores de externalidades, así como de ganancias en eficiencia habida cuenta de que éstas, de acuerdo con su conformación o estructura, tienen potestad de: i) condicionar el actuar de los agentes, ii) determinar el rumbo de los mercados o de las industrias, iii) influir en las decisiones de inversión de las empresas a partir de política económica y pública, iv) regular en condiciones de competencia, v) ofrecer un ambiente macroeconómico estable, vi) tomar decisiones de política con independencia, vii) brindar seguridad y garantía en el cumplimiento del estado de derecho, y viii) mantener un actuar público transparente y de rendición de cuentas.

Bajo esa tesitura, las Instituciones de Finlandia, Suiza, Noruega, Suecia, Canadá, Austria, Singapur, Alemania, Irlanda, Reino Unido, Estados Unidos, Japón, Francia, Chile, Portugal, España y Corea del Sur hacen notar un mejor ejercicio de la función pública (véase cuadro 5) debido a que es posible advertir que la implementación de una estructura de gobernanza articulada con una agenda de política industrial focalizada en el diseño e implementación de un sistema legal que delimite y haga respetar los derechos de propiedad intelectual y, a su vez, se acompañe de un marco jurídico-regulatorio confiable; conducen e incentivan la innovación.

Cuadro 5. Indicadores de Gobernanza

País	Control de la corrupción	Efectividad del gobierno	Estabilidad política	Calidad regulatoria	Estado de derecho	Transparencia y rendición de cuentas	Índice de Gobernanza (ponderado)
Alemania	1.8	1.6	0.9	1.6	1.7	1.4	1.5
Austria	1.7	1.7	1.1	1.5	1.9	1.4	1.5
Canadá	1.9	1.8	1.1	1.7	1.8	1.5	1.6
Corea del Sur	0.5	1.0	0.4	0.9	1.0	0.7	0.7
España	1.0	1.2	0.1	1.1	1.1	1.1	0.9
Estados Unidos	1.4	1.6	0.4	1.5	1.6	1.2	1.3
Finlandia	2.3	2.1	1.4	1.8	2.0	1.6	1.8
Francia	1.4	1.5	0.5	1.2	1.4	1.2	1.2
Irlanda	1.6	1.5	1.1	1.7	1.6	1.4	1.5
Italia	0.3	0.5	0.5	0.8	0.5	1.0	0.6
Japón	1.4	1.5	1.0	1.1	1.4	1.0	1.2
Noruega	2.1	1.9	1.3	1.5	2.0	1.6	1.7
Reino Unido	1.8	1.7	0.5	1.8	1.7	1.3	1.5
Singapur	2.2	2.2	1.3	2.0	1.6	-0.1	1.5
Suecia	2.2	1.9	1.2	1.7	1.9	1.6	1.7
Suiza	2.1	2.0	1.3	1.7	1.9	1.5	1.7
Argentina	-0.3	-0.1	-0.1	-0.5	-0.5	0.4	-0.2
Brasil	-0.1	-0.1	-0.2	0.0	-0.2	0.4	0.0
Chile	1.4	1.2	0.5	1.4	1.3	1.0	1.1
China	-0.4	0.1	-0.4	-0.2	-0.4	-1.6	-0.5
Colombia	-0.3	-0.1	-1.5	0.2	-0.5	-0.1	-0.4
Grecia	0.2	0.5	0.2	0.6	0.6	0.9	0.5
India	-0.4	0.0	-1.1	-0.3	0.1	0.4	-0.2
Indonesia	-0.7	-0.2	-1.0	-0.3	-0.6	-0.1	-0.5
Malasia	0.2	1.0	0.2	0.6	0.5	-0.4	0.4
México	-0.5	0.2	-0.6	0.3	-0.5	0.1	-0.2
Portugal	1.0	1.1	1.0	1.0	1.1	1.2	1.1
Sudáfrica	0.2	0.5	-0.2	0.4	0.1	0.7	0.3
Tailandia	-0.3	0.3	-0.7	0.2	0.0	-0.4	-0.1
Turquía	-0.1	0.1	-1.1	0.2	0.0	-0.3	-0.2

Fuente: elaboración del autor con datos del Banco Mundial.

Nota: disponibilidad de información 1996, 1998, 2000, 2002-2020. Un valor cercano a 2.5 muestra buenas prácticas relacionadas con la integridad institucional e Instituciones eficientes y eficaces sobre la calidad en la formulación, implementación y monitoreo de políticas públicas que coadyuven a establecer reglas claras, disminución de cargas administrativas, así como del funcionamiento óptimo de las actividades productivas; estabilidad macroeconómica, política y social/democrática; y, promoción de la transparencia de la gestión pública, rendición de cuentas y participación ciudadana.

En tal sentido, parece válido argumentar que las Instituciones sirven como interruptor en el proceso de acumulación de capital tecnológico y humano ya que al fomentar el desarrollo industrial (intersectorial e intrasectorial), incrementar la eficiencia operativa (técnica) y mejorar la asignación de factores, implícitamente, conducen a las empresas a reducir costos, maximizar producción y generar mayores beneficios. Por tanto, las Instituciones tienen la capacidad de promover el incremento sostenido de la productividad, habilitar la generación de tecnología local, y transformar y consolidar la estructura y cadenas productivas de alto valor agregado. Razón por la que resaltan economías como Singapur y Finlandia cuyas Instituciones parecen avanzar en la estabilidad política y gubernamental, el desarrollo de un marco regulatorio confiable y en el combate de la corrupción (cuadro 5).

Desde ese punto de vista, una mayor efectividad en la formulación, implementación y monitoreo de política económica, regulatoria e industrial en Singapur ponen de relieve el interés de las agencias gubernamentales para gestionar estrategias públicas orientadas a: i) estimular el nivel competitivo de las empresas locales a propósito del desarrollo de capacidades tecnológicas domésticas; ii) promover la inversión de firmas nacionales en el exterior cuya finalidad estriba en la conformación de sectores estratégicos; iii) atraer capital extranjero que facilite la transferencia de conocimiento e innovación; iv) facilitar la implementación de negocio a partir de la reducción de cargas administrativas y favorecimiento de la competencia y libre concurrencia en los mercados; v) apoyar y fortalecer las actividades de I + D; y vi) formar capital humano de alta cualificación (ICEX, 2020).

Por otra parte, las entidades públicas en Finlandia ostentan características de independencia en la toma de decisiones, así como soslayar posibles conflictos de interés; cualidades que transmiten certidumbre y confianza a los agentes al momento de emprender/hacer negocio. A este respecto, es razonable pensar que una mejora en la calidad, objetividad y neutralidad en la determinación de estrategias para el funcionamiento eficiente de los mercados no solo elimina la concentración de mercado, también permite suprimir las carencias y altos costos en términos de productividad. Asimismo, los indicadores apuntalan que el perfil del entramado institucional del país europeo refleja, por un lado, la capacidad de cumplimentar acuerdos contractuales, la protección a la propiedad intelectual y la certidumbre del poder judicial (v.gr. en materia mercantil); y, por otro lado, la efectividad de un consenso político que coadyuve a la estabilidad económica a partir del aumento de la democracia política y social.

Contrario a los casos anteriores, sobresale China como la economía con el peor desempeño institucional, lo que podría provocar confusiones en la comprensión de buenas prácticas institucionales o calidad institucional en el contexto de los indicadores del Banco Mundial. Sin embargo, es elemental examinar que la configuración del sistema de gobierno chino radica en el dominio total (proteccionismo) por parte de la autoridad central quien se encarga de implementar reformas estructurales a favor de un funcionamiento económico capaz de mantener crecimiento sostenido del PIB (Martínez 2017; Xu, 2011). Este sistema faculta, a través de la estricta supervisión del gobierno central, a los gobiernos locales tomar decisiones en materia de competencia y desarrollo regional; promoción de proyectos sectoriales; facilitar/otorgar créditos a

empresas estatales; inversión en infraestructura, ciencia y tecnología; y estabilidad social que, de manera conjunta, desarrollen capacidades tecnológicas locales y oportunidades de negocio (Xu, 2011), lo cual ha facilitado la introducción de empresas chinas al comercio internacional.

En tal virtud, es claro que las reformas al contexto institucional económico-político de China han guardado similitud de occidente, pues han privilegiado la acumulación de factores, inversión en actividades de I + D y capital humano; empero ejercida desde una perspectiva de protección a la producción y al empleo. Lo anterior, hace todo sentido cuando se observa el comportamiento económico del país asiático (sección 3.2), donde el dinamismo se ha instituido sobre la inversión en capital físico y humano, producción de tecnología local y actividades comerciales internacionales que han desencadenado la transferencia de grandes capitales chinos al exterior. Ciertamente, el entorno chino constituye potenciales debates en materia de Instituciones y su aplicación a las condiciones históricas, económicas, políticas y sociales de cada país.

En lo concerniente a la calidad de la regulación del sector TIC, las Instituciones de Irlanda, Reino Unido, España, Estados Unidos, Grecia, Portugal, Italia y Austria indican condiciones favorables a la competencia cuya regulación facilita la entrada al mercado y garantiza libre competencia (véase cuadro 6). De este modo, la consolidación de una política de competencia económica podría descansar en la: i) efectividad del marco jurídico y una estrategia de mejora regulatoria fehaciente; ii) estimulación de los agentes a mejorar sus estrategias de gestión u organización; iii) adopción de tecnología de vanguardia en procesos y productos a propósito del uso eficientemente de los factores tendiente a elevar la calidad de los bienes y servicios; y iv) generación de ganancias eficiencia.

Cuadro 6. Calidad de la regulación: restricción a la competencia

País	Total comunicaciones	Comunicaciones fijas	Comunicaciones móviles
Alemania ^{/1}	0.9	0.9	0.8
Austria ^{/1}	0.5	0.8	0.2
Canadá ^{/1}	0.7	0.8	0.6
Corea del Sur ^{/1}	1.2	1.6	0.8
España ^{/1}	0.2	0.3	0.2
Estados Unidos ^{/2}	0.4	0.4	0.3
Francia ^{/1}	0.8	0.8	0.7
Irlanda ^{/1}	0.0	0.1	0.0
Italia ^{/1}	0.5	0.3	0.6
Japón ^{/1}	1.7	1.5	1.9
Reino Unido ^{/1}	0.2	0.3	0.0
Argentina ^{/1}	2.2	2.6	1.8
Brasil ^{/1}	0.7	0.8	0.6
Chile ^{/1}	0.9	0.3	1.5
China ^{/3}	4.6	5.3	3.9
Colombia ^{/1}	1.4	1.4	1.3
Grecia ^{/1}	0.4	0.4	0.4
Indonesia ^{/3}	4.9	5.1	4.6
Malasia ^{/3}	1.5	2.0	1.0
México ^{/1}	1.2	1.5	0.8
Portugal ^{/1}	0.4	0.7	0.2

Fuente: elaboración del autor con datos de la OCDE.

1/ 2018; 2/ 2019; 3/ 2020.

Nota: las ponderaciones están del 0 al 6, donde 0 favorece la competencia.

Cuadro 7. Relevancia del marco regulatorio en el sector TIC

País	Total	Computadoras, equipos y dispositivos electrónicos	TI y otros servicios de información	Telecomunicaciones	Informática y actividades afines	Correos y telecomunicaciones	Equipos de radio, televisión y comunicación
Alemania	7.01	0.57	0.96	19.49	1.24	13.48	1.46
Austria	8.06	0.79	1.22	22.18	1.61	15.46	2.00
Canadá	5.02	0.52	0.78	13.75	1.01	9.57	1.32
Corea del Sur	10.27	0.96	1.51	28.34	1.98	19.79	2.42
España	5.21	0.80	1.04	13.80	1.44	9.75	2.02
Finlandia	5.45	0.80	1.05	14.49	1.42	10.26	2.00
Francia	9.59	0.96	1.47	26.32	1.95	18.40	2.43
Irlanda	5.84	0.86	1.13	15.51	1.53	10.99	2.16
Italia	5.47	0.72	0.99	14.69	1.31	10.35	1.81
Japón	9.13	0.66	1.19	25.55	1.53	17.67	1.72
Noruega	10.11	0.83	1.40	28.10	1.83	19.51	2.13
Reino Unido	2.50	0.27	0.40	6.84	0.49	4.71	0.70
Suecia	7.80	0.62	1.06	21.71	1.37	15.04	1.60
Suiza	14.58	1.21	2.02	40.51	2.65	28.22	3.06
Chile	5.56	0.49	0.79	15.39	0.99	10.69	1.23
Grecia	8.07	1.13	1.52	21.57	2.07	15.27	2.83
México	14.44	1.12	1.94	40.27	2.52	27.99	2.85
Portugal	5.89	0.71	1.01	15.94	1.35	11.18	1.80
Turquía	12.65	1.15	1.84	34.96	2.43	24.39	2.90

Fuente: elaboración del autor con datos de la OCDE.

Nota: a mayor ponderación menor competencia.

En el mismo orden de ideas, el cuadro 7 pone de manifiesto la efectividad de la política de mejora regulatoria respecto al soporte físico TIC, la conectividad y arquitectura lógica-crítica; siendo las Instituciones del Reino Unido quienes evidencian elevado afianzamiento de la normatividad en las actividades del sector TIC. Esto puede conllevar a que las empresas

productoras TIC accedan (sin ningún tipo de restricción o por concentración) a insumos catalogados como esenciales, tecnología y capital que facultan la innovación al interior del sector TIC, impulsando así el progreso en dos vías: primero, elevar la productividad del sector TIC como en sectores no TIC; y segundo, satisfacer las necesidades de la sociedad. Por otra parte, es posible apreciar economías como Corea del Sur que -presumiblemente- estén obstaculizando la competencia en el sector TIC. Tal circunstancia parece no tener mayor sentido por la capacidad de desarrollo de Corea del Sur en el ambiente de las tecnologías de la información y comunicación; pero este comportamiento institucional resulta congruente cuando se considera al sector TIC como estratégico cuya importancia es elemental para elevados niveles de productividad y crecimiento económico (potencial característica del país asiático).

Sobre la misma base, Chile, Canadá y Alemania revelan mayor efectividad en el proceso, instauración y legitimidad de los ordenamientos legales alrededor del soporte físico TIC y arquitectura lógico-crítica. De esta manera, los indicadores analizados en la sección previa cobran sentido cuando el dinamismo del despliegue y uso intensivo de infraestructura TIC en industrias no TIC se refuerza con los efectos positivos que involucra una plataforma jurídico-regulatoria cuya finalidad está ligada a: i) favorecer la equidad, entrada y promoción de nuevos competidores al sector TIC, y ii) crear nuevos mercados y contribuir a la innovación (donde las TIC facilitan el aprovechamiento de factores productivos).

En contraste, México y Suiza manifiestan limitaciones en la formulación, implantación y monitoreo de iniciativas de ley, reglamentos y normas en materia de conectividad y/o comunicaciones. A tal efecto, es factible plantear la congruencia entre el dinamismo TIC (sección 3.3) y el comportamiento de la estructura gubernamental para México, ya que el marco de instrumentos regulatorios podría estar explicando la escasa e insuficiente dinámica TIC y la limitada participación al interior y fuera del sector; razón que, a su vez, puede estar provocando ausencia de innovación, prácticas monopólicas absolutas y relativas, conflictos de interés, mercados pequeños e ineficientes, precios excesivos y baja calidad de los bienes y servicios.

En cambio, Suiza posee un régimen de precios altamente riguroso pues sanciona severamente prácticas monopólicas absolutas y relativas (WTO, 2022), con lo cual estaría justificando que los regulados del sector TIC se enfrentan a mayores desafíos para innovar sus procesos y elevar la calidad de sus servicios. Por ello, conforme avanza la competencia entre

empresas, la supremacía tecnología se hace cada vez más difícil de alcanzar, de modo que las firmas se ven obligadas a seguir innovando a propósito de mantenerse en el mercado. En tal virtud, la dinámica institucional no significa que las leyes –para el caso de Suiza- limiten la innovación y capacidad de dispersión y arrastre del sector TIC, sino todo lo contrario; es derivado del estricto seguimiento y cumplimiento de la normatividad que se demuestra la contundencia de las externalidades estáticas y dinámicas vistas en la sección 3.3.

Cuadro 8. Índice de restricción a la IED

Tipo de restricción País	Total	Capital accionario	Trabajadores extranjeros	Detección y aprobación	Otras restricciones
Alemania	2.4	1.8	0.0	0.0	0.6
Austria	11.6	9.9	0.0	0.9	0.9
Canadá	19.0	9.3	1.3	7.9	0.5
Corea del Sur	16.9	14.6	0.1	1.1	1.1
España	2.4	2.3	0.0	0.0	0.1
Estados Unidos	9.2	6.6	1.0	0.5	1.1
Finlandia	4.4	1.3	1.4	0.0	1.8
Francia	4.6	2.9	0.5	0.0	1.2
Irlanda	4.5	3.6	0.0	0.0	0.9
Italia	5.3	4.7	0.2	0.0	0.4
Japón	5.6	2.6	0.8	0.9	1.3
Noruega	8.7	7.4	0.6	0.0	0.7
Reino Unido	4.5	3.7	0.1	0.0	0.7
Singapur	-	-	-	-	-
Suecia	6.3	3.3	0.0	2.6	0.3
Suiza	9.7	6.2	1.5	0.9	1.1
Argentina	-	-	-	-	-
Brasil	9.5	2.8	0.6	0.8	5.3
Chile	6.0	4.6	1.0	0.0	0.4
China	40.7	24.8	4.9	10.4	0.7
Colombia	2.6	0.6	0.1	0.0	1.9
Grecia	3.9	2.8	0.2	0.4	0.5
India	27.9	21.6	0.7	4.5	1.1
Indonesia	36.4	25.5	5.0	0.0	5.9
Malasia	-	-	-	-	-
México	20.7	8.2	0.0	10.0	2.5
Portugal	1.2	0.8	0.0	0.0	0.4
Sudáfrica	6.6	3.6	0.2	0.0	2.8
Tailandia	-	-	-	-	-
Turquía	-	-	-	-	-

Fuente: elaboración del autor con datos de la OCDE.

Nota: a mayor ponderación menor competencia.

Unido a lo anterior, las estrategias de política de restricción a la IED (véase cuadro 8) en Austria, Corea del Sur, Canadá, India, Indonesia y China dejan claro que no han sido un obstáculo para acelerar el proceso de acumulación de capital tecnológico; de ahí que –básicamente- muestran la protección y crecimiento de un sector considerado como estratégico. Si bien es posible argüir que estas economías han permitido la entrada de capitales extranjeros, también es factible inferir que a media en que estos países consolidan su proceso de industrialización, los responsables de la política económica modifican o emiten leyes que obligan a la IED a servir los intereses nacionales.

En otras palabras, la identificación de normas y reglamentos coadyuvan al proceso de desarrollo de capacidades tecnológicas domésticas a partir de las capacidades de absorción y apropiación, así como de transferencia tecnológica vía IED.

En adición, la política de restricción a la IED en el sector TIC demuestra la importancia que tiene éste como motor clave para la economía de China, Canadá, Corea del Sur y Japón (consulte apéndice D); ejemplos que hacen constar que los beneficios asociados con una mayor protección a las tecnologías de la información y comunicación quedan definidos por la especialización productiva y capacidades de innovación, los cuales magnifican el predominio tecnológico, elevan la competencia en mercados internacionales, suministran insumos capaces de reducir costos de operación, optimizan tiempos de ejecución, promueven cambios en la estructura productiva y elevan la productividad doméstica.

3.5. Conclusiones

En este capítulo se examinaron los acontecimientos TIC que tuvieron lugar durante el periodo 1804 a la fecha, mismos que prepararon terreno para la sucesión y progresiva idealización de tecnologías TIC con cualidades de habilitar o facilitar información y producir conocimiento a escala internacional. Además de permitir una reasignación de tareas y funciones al interior de las empresas y gobierno, así como propiciar una reconversión en las estructuras político-económico-sociales de los países.

Los factores que determinaron la invención de las TIC y las subsiguientes generaciones pusieron de manifiesto la trascendencia de la comunicación, codificación de información y automatización de tareas como parte central del proceso de industrialización que seguían las economías; de modo que las TIC como TPG se convertían en factor facilitador clave de crecimiento sostenido.

Desde la creación de la tarjeta perforada y el telégrafo, pasando por los primeros ordenadores de propósito general, las comunicaciones alámbricas e inalámbricas hasta consolidarse en las computadoras, telefonía móvil y banda ancha que conocemos hoy día; han constatado una desencadena serie de innovaciones en la microelectrónica, informática (sistemas operativos, software especializado y de aplicaciones, redes, redes de datos), inteligencia programable (i.e. algoritmos, inteligencia artificial, aprendizaje automático, redes neuronales artificiales, redes computacionales), capacidades de absorción, telecomunicaciones e Instituciones

que, en conjunto, hicieron posible la producción de otros bienes y servicios complemente nuevos o de mayor calidad.

Este contexto histórico concede verificar cómo las constantes mejoras en la calidad de los bienes y servicios TIC han propiciado nuevos métodos de trabajo, ya que han proporcionado a los agentes mayores habilidades para competir en un ambiente donde las TIC están definiendo condiciones laborales, organizacionales, de producción y formas de negocio.

En asociación, los indicadores muestran que la infraestructura TIC es componente fundamental para los países, puesto que las TIC impulsan la competitividad industrial a partir de la formación de capacidades tecnológicas locales tendientes a transitar hacia nuevos estadios tecnológicos que permite experimentar mayores ganancias en eficiencia y, a la vez, conducen un mejor funcionamiento económico.

De ahí que los canales TIC se consideren relevantes para impulsar la productividad intrasectorial e intersectorial, pues se perciben como insumos esenciales en el diseño, producción, distribución, comercialización, compra y venta de bienes y servicios. Esto, porque: i) faculta la capacidad de reducir costos de producción al poseer nuevos sistemas de comunicación y automatización de procesos; ii) aumenta potencialmente la cualidad del capital humano y gestión organizacional; y iii) producen efectos derrame (spillover).

De modo que habrá economías industrializadas como Corea del Sur, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Irlanda, Japón, Reino Unido y economías de desarrollo creciente tales como China, India, Indonesia y Malasia que asuman la relevancia de las TIC en la dinámica productiva; ya que es posible deducir que un incremento en la productividad en las TIC podría tener efectos derrame hacia otras actividades económicas.

Adicionalmente, en esa dinámica coexisten las Instituciones como otros posibles factores que impulsan los desarrollos tecnológicos y capacidad de apropiabilidad del sector productor TIC como en aquellos que las adoptan. Sobre el particular, una política gubernamental efectiva interviene como catalizador de productividad y crecimiento porque: i) a partir de la combinación de política industrial, programas de financiamiento y una agenda de capacitación de la mano de obra se privilegia la innovación, diferenciación de productos, permanencia de empresas en el

mercado, y la expansión del sector TIC; y ii) a través de una política pública se incentiva la demanda de bienes y servicios TIC.

Empero, si las Instituciones están bajo un actuar indebido (corrupción) por parte de los responsables del diseño e implementación de la política económica y pública materializados en conflictos de interés público-privado, manejo irregular del recurso público, sobrerregulación (marco jurídico-regulatorio ineficiente), presiones políticas, inestabilidad en la implementación de la política económica, carencia en el cumplimiento de contratos, violación a la propiedad intelectual e inseguridad en la canalización efectiva de la IED; obstaculizarán las capacidades de innovación, absorción y de eslabonamiento del sector TIC.

4. Metodología de investigación, análisis e interpretación de resultados

Introducción

Las innovaciones ininterrumpidas por las que han atravesado las tecnologías TIC condujeron a los agentes experimentar cambios radicales en sus estructuras económicas, políticas, sociales, culturales; específicamente, en las formas de producir bienes y servicios. Hoy día estas tecnologías han sido objeto de investigación desde diversas disciplinas científicas, es así que la influencia TIC seguirá siendo propósito de debate al interior de la literatura empírica en razón de su constante cambio a nuevos estadios tecnológicos.

Los acontecimientos históricos han concedido dar a conocer que la producción de bienes y servicios de alto valor agregado facilitada por las tecnologías TIC ha posibilitado a los países a alcanzar mejoras en productividad, eficiencia de la mano de obra y mejores condiciones de bienestar a partir del acceso, procesamiento, almacenamiento, codificación, transmisión, gestión y difusión de conocimiento e información que habiliten reducir costos, disminuir errores, eliminar tareas/funciones repetidas y optimizar tiempos de operación.

El propósito de este capítulo es indagar la importancia de las tecnologías TIC sobre la productividad agregada para un conjunto de países con especial atención en la velocidad con que se difunde el conocimiento y qué factores obstaculizan/propician la capacidad de las economías para acumular factores TIC. En virtud de lo anterior, se pretende responder las preguntas de investigación, a saber: ¿qué tan importante es el impacto de los indicadores de profundización TIC en la productividad agregada a nivel país?, ¿qué factores condicionan la magnitud del impacto de los indicadores de profundización TIC en la productividad agregada a nivel país?, ¿cómo ha cambiado el vínculo TIC – productividad a nivel país durante el periodo de estudio?, y ¿cuál es la contribución de los indicadores de profundización TIC al crecimiento de la productividad a nivel país?

Para contestar esos cuestionamientos, se emplean una estructura de datos panel abordados mediante una especificación econométrica dinámica usando el método “*Pooled Mean Group*” que concede conocer la relación de equilibrio entre TIC-productividad y TIC-crecimiento económico, y modelos de Mínimos Cuadrados Generalizados y Errores Estándar Corregidos para Panel que proporcionan observar el comportamiento TIC sobre el nivel de la productividad de los países.

De ahí que el valor metodológico de esta investigación yace en las características complementarias de las TIC, es decir en observar como la conectividad, el soporte físico TIC, las Instituciones y la velocidad con que se difunde el conocimiento TIC a nivel internacional fomentan mayores niveles de productividad y respaldan crecimiento económico sostenido.

El capítulo está organizado de la siguiente manera. Apartado 4.1 expone los aspectos metodológicos de la operacionalización de la hipótesis de trabajo. La sección 4.2 se encuentran los resultados estimados. Por último, en el numeral 4.3 se argumentan las conclusiones.

4.1. Aspectos metodológicos

El conjunto de indicadores TIC e Instituciones pueden estar desempeñando un rol fundamental en el proceso de crecimiento estimulado por la capacidad de acumular capital físico, mejorar la calidad de mano de obra calificada y producir nuevos conocimientos (materializándose en la aceleración y composición de capital tecnológico local); debido a lo cual, para conocer qué factores condicionan la magnitud de impacto, el vínculo y la contribución de los indicadores de profundización TIC, así como la articulación de las Instituciones sobre el crecimiento económico y la productividad se asume una especificación panel en dos niveles: primero, una dinámica mediante el método “*Pooled Mean Group*” (PMG o medias agrupadas), y segundo, una operacionalización estándar sobre la base de Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG) y Errores Estándar Corregidos para Panel (PCSE, por sus siglas en inglés).

De acuerdo con lo anterior, la forma dinámica de la ecuación se establece como:

$$y_{it} = \sum_{j=1}^p \gamma_{ij} y_{i,t-j} + \sum_{j=0}^q \lambda'_{ij} x_{i,t-j} + \delta'_i d_t + \varepsilon_{it} \quad (4.1)$$

Donde y_{it} es la variable dependiente (productividad/PIB) x_{it} y d_t son vectores ($k \times 1$) y ($s \times 1$), conducentemente, de variables regresoras (patentes, inversión extranjera directa, Instituciones, indicadores TIC y actividad comercial TIC); λ'_{ij} es un vector de ($k \times 1$), mientras que δ'_i es un vector de ($s \times 1$); d_t varia en periodos de tiempo y x_{it} lo hace por grupos y a lo largo del tiempo; γ_{ij} representa un escalar de los coeficientes de la variable dependiente (Pesaran *et al.*, 1997); y ε_{it} es el término de error. Los índices i y t capturan, el país (panel o corte transversal) y la temporalidad (años), respectivamente.

Visto lo anterior, el método de medias agrupadas trabaja con una re-parametrización que, al recoger observaciones de corte transversal y series de tiempo, el modelo descrito en la ecuación (4.1) puede reescribirse como:

$$\Delta y_{it} = \phi_i y_{i,-1} + X_i \beta_i + \sum_{j=1}^{p-1} \gamma_{ij}^* \Delta y_{i,-j} + \sum_{j=0}^{q-1} \Delta X_{i,-j} \lambda_{ij}^* + D \delta_i + \varepsilon_{it} \quad (4.2)$$

En donde $y_i = (y_{i1}, \dots, y_{iT})'$ corresponde a un vector de $(T \times 1)$ observaciones de la variable respuesta del i -ésimo país; $X_i = (X_{i1}, \dots, X_{iT})'$ refleja una matriz de $(T \times k)$ observaciones de las variables independientes que varían entre periodos y países; $D = (d_1, \dots, d_T)'$ constituye una matriz de $(T \times s)$ observaciones que capturan los efectos fijos (v.gr. tendencias temporales); β_i incluye los parámetros de largo plazo, entre tanto λ_{ij}^* los de corto plazo; $y_{i,-1}$ y $X_{i,-j}$ son los j valores rezagados de y_i y X_i , conducentemente; $\Delta y_i = y_i - y_{i,-1}$, $\Delta X_i = X_i - X_{i,-1}$, $\Delta y_{i,-j}$ y $\Delta X_{i,-j}$ constituyen los j rezagos de Δy_i y ΔX_i (Pesaran *et al.*, 1997), respectivamente; finalmente, ε_{it} es el término de error.

Cabe mencionar que la ecuación (4.2) cobra importancia en ϕ ya que, implícitamente, supone la relación de largo plazo entre y_{it} y x_{it} , a saber:

$$y_{it} = -(\beta_i / \phi_i) x_{it} + \eta_{it} \quad (4.3)$$

Donde η_{it} es un proceso estacionario; por lo que si $\phi_i < 0$ existe una relación de largo plazo, pero si $\phi = 0$ no existe tal relación.

En virtud de lo anterior, el método PMG resulta ser una alternativa útil cuando se trabaja con datos panel, pues éste admite variables con diferente orden de integración, lo cual evita los problemas relacionados con el análisis tradicional de cointegración que requiere que las variables incluidas en el sistema sean del mismo orden; además, al emplear el mecanismo de corrección de error es posible estimar los efectos a corto plazo que podrían desviar a las series de su valor tendencial.

En cuanto a la operacionalización estándar se detalla el siguiente modelo con datos panel, a saber:

$$\kappa_{it} = \alpha_{it} + \beta X_{it} + u_{it} \quad (4.4)$$

Donde κ_{it} representa la variable respuesta (productividad) por cada corte transversal, mientras que β es un vector de $k \times 1$ y X_{it} corresponde a la observación it de las K variables

regresoras (patentes, inversión extranjera directa, Instituciones, indicadores TIC y actividad comercial TIC); por otra parte, α_{it} constituye un escalar de n parámetros y u_{it} plantea un error compuesto. Sobre este último punto, el término de perturbación, por formulación, posee la estructura *one-way o two-way*, es decir:

$$u_{it} = \mu_{it} + \lambda_t + v_{it} \quad (4.5)$$

En donde μ_{it} atrapa la heterogeneidad (efecto individual) inobservada constante de cada panel a través del tiempo, λ_t es un efecto temporal inobservable constante de cada corte transversal a lo largo del periodo y v_{it} es un componente puramente aleatorio. Por lo anterior, al advertir que $\lambda_t = 0$, la ecuación (4.4) estaría delimitada (Baltagi, 2005), sustancialmente, por: i) efectos fijos y ii) efectos aleatorios.

En el contexto de la ecuación (4.4), los subíndices i y t capturan la unidad de corte transversal (país) y el periodo (año), conducentemente.

A través de una especificación de efectos fijos se reconoce que existen condiciones/circunstancias individuales de cada panel que podrían estar influyendo o sesgando los predictores, por tanto, un modelo de efectos fijos se ocupa de controlar esa circunstancia. Bajo esa tesisura, la naturaleza constante en el tiempo de cada corte transversal es propia/única, de manera que no debe estar correlacionada con las características de otros paneles incluidos en la especificación. En otras palabras, en un modelo de efectos fijos los coeficientes de las pendientes son invariantes, esto significa que los predictores son insesgados en virtud de la ausencia del aspecto individual de cada panel y, la heterogeneidad (término de error) inobservable es constante, pero no en el tiempo y no está correlacionada con otras entidades de corte transversal. Por consiguiente, se tiene que:

$$\kappa_{it} = \alpha + \beta X_{it} + \mu_{it} + v_{it} \quad (4.6)$$

En la ecuación (4.6) κ_{it} refleja la variable dependiente de cada corte transversal, X_{it} es un vector de $k \times 1$ variables independientes del país i en el periodo t , μ_{it} es el componente del término de error que corresponde al efecto individual de cada panel y v_{it} es el segundo elemento del término de error de índole aleatoria.

En lo que respecta al modelo de efectos aleatorios, la inferencia no será condicionada ya que los efectos individuales de los cortes transversales no están influyendo en los coeficientes. En ese sentido, la fundamentación de un modelo de efectos aleatorios estriba en qué el término de

perturbación no está correlacionado con las variables explicativas, de modo que este modelo asume que la heterogeneidad, esto es el término μ_{it} de la ecuación (4.5), es aleatoria y los coeficientes de las pendientes son permanentes/constantes en el tiempo. Lo anterior se determina por:

$$\kappa_{it} = \alpha + \beta X_{it} + \mu_{it} + v_{it} \quad (4.7)$$

La ecuación (4.7) señala que μ_{it} es una variable aleatoria independiente de v_{it} y, ésta última es el término de error que se distribuye idéntica e independientemente con media cero y varianza constante. Asimismo, los X_{it} son independientes de μ_{it} y v_{it} , para todo i y t (Baltagi, 2005).

Según lo anterior, se recurre a la prueba de Hausman que permite precisar la especificación adecuada para el análisis de los datos, esto es, entre efectos fijos o efectos aleatorios. El estadístico o contraste de Hausman compara los predictores estimados, en consecuencia, estima la distancia entre las dos especificaciones, debido a lo cual concluye que un modelo de efectos aleatorios es mejor cuando las X_{it} no están correlacionadas con los efectos individuales μ_{it} , caso contrario, se elige un modelo de efectos fijos. Es decir:

$$H_0: \hat{\beta}_{EF} - \hat{\beta}_{EA} = 0 \quad (4.8)$$

$$H_1: \hat{\beta}_{EF} - \hat{\beta}_{EA} \neq 0$$

La hipótesis nula de la ecuación (4.8) indica que no existe diferencia sistemática entre los coeficientes, mientras que la hipótesis alternativa existe diferencia sistemática entre los coeficientes. Al mismo tiempo, se emplean las pruebas de correlación contemporánea, autocorrelación y heteroscedasticidad para evaluar la robustez de las estimaciones.

Las hipótesis para observar que los residuos sean homoscedásticos son:

$$H_0: \text{Homoscedasticidad} \quad (4.9)$$

$$H_1: \text{Heteroscedasticidad}$$

Por otra parte, las hipótesis para analizar la existencia de correlación contemporánea:

$$H_0: \text{los residuos son independientes entre los paneles} \quad (4.10)$$

$$H_1: \text{los residuos no son independientes entre los paneles}$$

Mientras que para determinar la presencia de autocorrelación, el planteamiento es:

$$H_0: \text{no autocorrelación} \quad (4.11)$$

$$H_1: \text{autocorrelación}$$

Conforme a lo que antecede, si los coeficientes estimados resultan inconsistentes en razón de los fallos en las propiedades de los estimadores de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), esto

por la presencia de autocorrelación, heteroscedasticidad y correlación contemporánea, la ecuación (4.4) se estima mediante los métodos Mínimos Cuadrados Generalizados y Errores Estándar Corregidos para Panel.

El método de MCG parte de la ecuación:

$$Y = X\beta + u \quad (4.12)$$

Al mismo tiempo, asume que $E(u) = 0$ y que la matriz de varianzas-covarianzas de las perturbaciones viene dada por $E(uu') = \sigma^2\Omega$; donde Ω es una matriz positiva simétrica y bajo el supuesto de que es conocida (Greene, 2002):

$$\sigma^2\Omega = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

Implica que el modelo de MCG procede a partir de la descomposición de la matriz Ω como exponente de una matriz simétrica invertible o matriz no singular P, de tal forma que $\Omega = PP' = P^2$. Al considerar la inversa de la matriz P y pre-multiplicándola con la ecuación del modelo de regresión, se obtiene el modelo transformado:

$$(P^{-1})Y = (P^{-1})X\beta + (P^{-1})u \rightarrow Y^* = X^*\beta + u^* \quad (4.14)$$

Siendo la varianza de u^* :

$$E(u^*u^{*\prime}) = P\sigma^2\Omega P' = \sigma^2I \quad (4.15)$$

De las ecuaciones (4.14) y (4.15) se concluye que el modelo transformado a MCG cumple con los supuestos básicos del modelo MCO, en ese sentido los predictores cumplirán con las propiedades de insesgado, varianza mínima y linealidad. Dado que Ω es conocida; los estimadores β son calculables y eficientes, concluyendo con la expresión del estimador de MCG mediante (Arellano, 2003; Greene, 2002):

$$\begin{aligned} \hat{\beta}_{MCO} &= (X^{*\prime}X^*)^{-1}X^{*\prime}Y^* = (X'P'PX)^{-1}X'P'PY = (X'\Omega^{-1}X)^{-1}X'\Omega^{-1}Y \\ &= \hat{\beta}_{MCG} \end{aligned} \quad (4.16)$$

Por lo que se refiere al método Errores Estándar Corregidos para Panel, como afirman Beck y Katz (1995), resulta ser una alternativa cuando las estimaciones de los parámetros mediante MCO son inconsistentes, o bien puede ocurrir que sean consistentes, pero ineficientes; por lo que una especificación mediante PCSE puede ser más confiable. El método PCSE toma en consideración la fórmula habitual de MCO especificada por la raíz cuadrada de la diagonal principal (Beck, 2001; Beck y Katz, 1995), a saber:

$$Cov(\hat{\beta}) = (X'X)^{-1}\{X'\Omega X\}(X'X)^{-1} \quad (4.17)$$

En tal virtud, ya que la matriz Ω es una constante y, a su vez, multiplicada por la matriz identidad, los errores estándar de MCO son construidos a partir de esta suposición; donde Ω es una matriz de bloques idénticos en la diagonal; de modo que con esa transformación, los residuos de las estimaciones mediante MCO resultan útiles para PCSE (Beck y Katz, 1995), es decir:

$$\hat{\Sigma}_{i,j} = \frac{\sum_{t=1}^T e_{i,t}e_{j,t}}{Y} \quad (4.18)$$

Por lo anterior, se asume que E refiere una matriz $T \times M$ de los residuos de MCO, de forma que es posible estimar Σ por medio de:

$$\hat{\Sigma} = \frac{(E'E)}{T} \quad (4.19)$$

En consecuencia, si Ω es computable por:

$$\hat{\Omega} = \frac{(E'E)}{T} \otimes I_T \quad (4.20)$$

Donde \otimes es el producto de Kronecker, el cual denota una operación de matrices de tamaño arbitrario devolviendo una matriz bloque; entonces, el cálculo del método PCSE yace en la raíz cuadrada de los elementos diagonales (Beck y Katz, 1995):

$$PCSE = \left(\frac{E'E}{T} \otimes I_T \right) X(X'X)^{-1} \quad (4.21)$$

En lo tocante a esta investigación, se espera que una mayor inversión en capital tecnológico (patentes) contribuya a la productividad y al crecimiento, esto, debido a que un incremento del acervo de capital permite, por una parte, el aumento de la capacidad instalada y, por otra parte, elevar la relación capital-trabajo; esta presunción se fundamenta en que a medida que un agente destina recursos monetarios en mano de obra especializada, maquinaria y equipo, así como en la generación de nuevos conocimientos, la profundización del capital se acelerará trayendo como consecuencia mayor producción por trabajador. En cuanto al flujo de IED, se plantea que propicie un aumento en la productividad de las economías receptoras, argumento que confirmara la conjetura que a mayor presencia de empresas transnacionales se observaran mayores ganancias dinámicas debido a las características de tamaño, organización y comercialización de éstas. Asimismo, se visualiza que las TIC evidencien un impacto positivo en la eficiencia, condición que sostendría la idea de que aquellos países que mantienen un proceso ininterrumpido de innovación, vinculación, penetración y acumulación de capital tecnológico y humano especializado en TIC

lograran una expansión sostenida en la tasa de crecimiento del producto. De igual modo, es deseable que las Instituciones faciliten elevar la productividad, lo cual avalaría el planteamiento – desde el enfoque de los modelos endógenos del crecimiento- que las fuentes fundamentales, como es el caso del desarrollo institucional, son elementos clave que apuntalan mayores ganancias en eficiencia. Por último, se asume que un mayor flujo comercial TIC apoyaría a los agentes a acumular factores generadores de externalidades.

4.2. Análisis e interpretación de resultados

La presente investigación analiza los efectos de las TIC e Instituciones como catalizadores de la productividad y crecimiento económico. Como se analizó en el capítulo 3, las TIC han sido sometidas a una serie de modificaciones que no solo han elevado la calidad de las mismas, también han sido objeto de transformaciones radicales que provocaron que estas tecnologías se volvieran necesarias en la dinámica productiva. En tal contexto, se aborda un conjunto de datos de 30 economías y series anuales que van desde 2003 a 2019²⁷ contenidos en los repositorios estadísticos de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), Banco Mundial (BM), Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y de la Penn World Table (PWT). La selección de la muestra está basada en el comportamiento e incremento de los indicadores TIC, del desempeño macroeconómico y del gasto en actividades de I + D.

Como el objetivo general del estudio es indagar la importancia del impacto de los indicadores de profundización TIC en la productividad agregada a nivel país, como variable dependiente se tiene la productividad y la tasa de crecimiento del Producto Interno Bruto, mientras que las variables independientes se desglosan en: primero, indicadores de profundización TIC tales como suscripciones a banda ancha fija, porcentaje de usuarios de internet y exportaciones e importaciones TIC [estas últimas como parte del efecto difusión internacional de conocimientos en el sentido de Keller (2004)]; segundo, índice de calidad regulatoria como variable asociada a las Instituciones; tercero, patentes triádicas que se vinculan con la generación de nuevos conocimientos, tecnologías e innovación; y cuarto, IED como variable control que faculta observar el comportamiento de la transferencia tecnológica entre agentes domésticos y foráneos (véase cuadro 9). Es importante señalar que para la selección de las variables TIC e Instituciones se llevó a cabo una técnica de análisis multivariado que permitió identificar cuáles de éstas explican o

²⁷ En razón de la disponibilidad de información.

exploran con mayor cuidado las relaciones con el crecimiento y la productividad²⁸. Asimismo, las variables fueron transformadas a logaritmos naturales para mitigar problemas de estimación (v.gr. heteroscedásticidad).

Cuadro 9. Definición de variables

Variable	Etiqueta	Descripción
Crecimiento económico	PIB	Producto Interno Bruto (en dólares estadounidenses a precios constantes) que mide el valor total de los bienes y servicios producidos en un país durante un periodo determinado.
Productividad	PTF	Productividad Total de Factores, retoma la participación del factor trabajo y el capital, así como el ingreso (precios) de ambos factores productivos cuya construcción está basada en el Índice de cantidad de Törnqvist (índice translogaritmico).
Inversión Extranjera Directa	IED	Inversión Extranjera Directa, refiere el valor acumulado de las inversiones al final de cada año; expresada en dólares estadounidenses a precios constantes.
Patentes triádicas	PAT	Total de certificaciones otorgadas por la Oficina de Patentes y Marcas de Estados Unidos (USPTO), la Oficina Europea de Patentes (EPO) y la Oficina de Patentes de Japón (JPO). La familia de patentes triádicas confieren comparar la capacidad de innovación entre países/regiones.
Índice de calidad regulatoria	CR	Representa la percepción de los regulados sobre la capacidad del gobierno para planear, diseñar, implementar y monitorear políticas y regulaciones que contribuyan al desarrollo del sector privado; medido entre -2.5 a 2.5.
Suscripciones a banda ancha fija	BAF	Suscripciones de banda ancha fija concentran las suscripciones fijas de acceso de alta velocidad a la Internet pública, las cuales pueden ofrecerse vía cable, DSL, fibra óptica, banda ancha satelital, banda ancha inalámbrica. Incluye suscripciones residenciales como suscripciones para organizaciones. Unidad de medida por cada 100 habitantes.
Porcentaje de usuarios de internet	UI	Es el porcentaje de individuos que usan internet, medido como porcentaje de la población.
Índice comercial TIC	ICTIC	Variable construida a partir de las exportaciones e importaciones de equipos de comunicaciones y componentes electrónicos (computadoras, equipos periféricos, dispositivos móviles), las cuales están medidas como porcentaje del comercio total de mercancías.

Fuente: elaboración del autor.

En consecuencia, la reflexión recae sobre la totalidad de la muestra para continuar con la valoración de dos submuestras, mismas que están fraccionadas en países desarrollados y en desarrollo con base en la clasificación de países según el umbral de ingresos para 2020 del Banco Mundial. A este respecto, en la submuestra compuesta por países desarrollados se encuentran Alemania, Austria, Canadá, Corea del Sur, España, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Irlanda, Italia, Japón, Noruega, Reino Unido, Singapur, Suecia, Suiza; mientras que en la submuestra de países en desarrollo están Argentina, Brasil, Chile, China, Colombia, Grecia, India, Indonesia, Malasia, México, Portugal, Sudáfrica, Tailandia y Turquía.

²⁸ Para ese fin se ejecutó un análisis factorial en el que se exploraron: i) las suscripciones a telefonía fija, suscripciones de telefonía móvil, suscripciones a banda ancha fija y usuarios de internet como indicadores de conectividad; y ii) el índice de control a la corrupción, índice de efectividad del gobierno, índice de estabilidad política y ausencia de violencia, índice de calidad regulatoria, índice de estado de derecho e índice de transparencia y rendición de cuenta como indicadores de Instituciones.

De ahí que, el análisis empírico comienza con la operacionalización dinámica al verificar las propiedades de estacionariedad de las variables a través de la prueba estadística de raíz unitaria para panel de Fisher, en donde los resultados mostraron que las series mantienen procesos estocásticos estacionarios en primeras diferencias. Seguidamente, se revisó la existencia de una relación de equilibrio entre las variables (análisis de cointegración); condición para abordar un modelo PMG y por relevancia de la teoría económica. A tal efecto, se emplea la prueba de Pedroni la cual refleja la relación de largo plazo entre las variables que conforman el sistema (consulte apéndice E), por lo cual se estaría justificando la factibilidad de llevar a cabo, por un lado, una relación entre el crecimiento del PIB, las TIC e Instituciones, y por otro, la asociación entre el incremento de la productividad, indicadores TIC e Instituciones, esto, sin enfrentar problemas de regresiones espurias.

En el orden de las especificaciones dinámicas, en líneas sucesivas se analizan los resultados sobre la tasa de crecimiento de la productividad. En torno al conjunto de economías (véase cuadro 10), los hallazgos exhiben asociación positiva entre la productividad, la patentes, la IED, los usuarios de internet, la banda ancha fija y la actividad comercial TIC, lo cual permite avalar las conjeturas de los modelos de crecimiento endógeno y la suposición de Keller (2004) en relación con la difusión internacional de conocimientos, donde el proceso continuo de innovación, incorporación e intensificación de capital tecnológico, la transferencia tecnológica y la capacidad de apropiación de conocimientos contribuyen al crecimiento de la productividad. Al mismo tiempo, la evidencia indica que las Instituciones son factores promotores de productividad, ya que las acciones gubernamentales encaminadas a elevar la efectividad, eficiencia e innovación en las industrias favorecen la producción de bienes y servicios diversificados o de mejor calidad. En virtud de lo anterior, es posible constatar la hipótesis de trabajo la cual se vincula con: a mayor acumulación de capital tecnológico TIC, innovación, rapidez con que se difunde el conocimiento y calidad de las Instituciones, mayores ganancias en eficiencia experimentarán las economías.

Cuadro 10. Productividad y contribución TIC

Variable	Muestra general	Desarrollados	En Desarrollo
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
	$\Delta \ln PTF$	$\Delta \ln PTF$	$\Delta \ln PTF$
Constante	0.5190 [0.000]*	1.7830 [0.000]*	0.0798 [0.040]*
IED	0.0876 [0.000]*	0.0047 [0.128]	0.0648 [0.001]*
PAT	0.0291 [0.035]*	0.0271 [0.000]*	0.1437 [0.000]*
CR	0.0012 [0.000]*	0.0007 [0.000]*	0.0030 [0.000]*
BAF	0.0323 [0.083]**	0.1332 [0.000]*	-0.0024 [0.874]
UI	0.1842 [0.000]*	-0.1090 [0.000]*	0.0981 [0.000]*
ICTIC	0.0265 [0.032]*	0.0382 [0.000]*	0.1595 [0.001]*
α	-0.1881 [0.000]*	-0.4376 [0.000]*	-0.0468 [0.033]*

Fuente: elaboración del autor con datos de la OCDE, UIT, Banco Mundial y PWT.

Estimaciones basadas en el método *Pooled Mean Group* para panel.

Nota: Muestra general concentra 30 países; submuestra Desarrollados contiene 16 economías; submuestra En desarrollo incluye 14 países; "*" y "**" indican significancia estadística al 5 % y 10 %, respectivamente; p-valor entre corchetes.

Respecto a los países desarrollados, las estimaciones muestran que las Instituciones son elementos clave para el incremento sostenido de la productividad dado que en su dinámica tienen facultan de condicionar el comportamiento de los agentes, fortalecer las cadenas productivas, y promover e incentivar la inversión en capital humano y en actividades de I + D; similar a lo encontrado por Lam y Shiu (2010). Asimismo, los resultados resaltan que la innovación y adopción de nuevas tecnologías materializadas en las patentes y banda ancha fija, respectivamente, elevan significativamente la productividad.

Particularizando en la banda ancha fija se plantea aceptable que esta tecnología eleve ganancias en eficiencia derivado de la tendencia al alza en el despliegue de infraestructura capaz de proveer velocidades superiores a los 10 Mbps cuya cualidad se encuadra en proporcionar el intercambio de información en cuestión de segundos, como lo hace notar la UIT (2018a) en su Informe sobre la Medición de la Sociedad de la Información; escenario que concedería a los agentes reducir tiempos de producción y valerse de aplicaciones digitales para la simplificación de tareas. Empero, los usuarios de internet presentan efectos negativos asociados con la productividad, de modo que es posible suponer que la utilidad generalizada del internet no refiere

o conceptualiza *per se* trabajadores calificados que participen en la producción inmediata de nuevo conocimiento incorporado a las actividades productivas, más bien que los niveles de saturación de red registrados en países desarrollados indican que los usuarios pasan más tiempo online (en línea) en actividades de búsqueda de información de bienes y servicios, o bien de entretenimiento, por ejemplo en plataformas streaming, de videojuegos, de videos interactivos, de música y de redes sociales; esquema que coincide con la UIT (2018a). Por tanto, es posible que cuando el tamaño de red cubra un porcentaje considerable de la población se pierda rol potencializador sobre la productividad si no se complementa con otros canales TIC (i.e. enseñanza de la arquitectura lógico-crítica como inteligencia programable).

Para el caso de países en desarrollo, los resultados muestran que las patentes y la IED contribuyen significativamente al crecimiento de la productividad. Análogamente, las Instituciones provocan ganancias en eficiencia a medida en que éstas orienten la política económica e industrial en la acumulación de factores productivos, adaptación de nuevo conocimiento y especialización productiva; argumento equivalente a lo encontrado por Díaz Rodríguez y Aroche Reyes (2020), Castaldo *et al.* (2018) y Lam y Shiu (2010). En el ámbito TIC, los hallazgos acerca de la banda ancha fija indican ser estadísticamente no significativos, un razonamiento es que a pesar de los avances manifestados en el acceso a esta tecnología los retos siguen siendo bastante notorios (UIT, 2018a), por tanto, para que el grado de penetración de banda ancha se potencialice, indispensablemente, se requiere de mayor infraestructura activa (v.gr. antenas, estaciones terrenas) y pasiva (v.gr. torres, postes); situación que podría estar condicionada por la actividad comercial TIC o por la capacidad de las Instituciones para promover regulación que favorezca la competencia e inversión necesaria para el acceso y despliegue de infraestructura en telecomunicaciones fijas y móviles, tal como lo refiere la UIT en su Informe sobre el estado de la banda ancha para 2020.

No obstante lo anterior, el tamaño de la red refiere impactos semejantes a los estudiados por Alderete y Gutiérrez (2012) y Hofman *et al.* (2016), donde la variable usuarios de internet sugiere ser factor propulsor de la productividad, lo cual parece razonable si se analiza el incremento que ha tenido el número de individuos con acceso a internet articulado con las habilidades básicas y estándar TIC que dan uso a la red para este grupo de economías, como por ejemplo utilizar

mensajería instantánea, enviar o recibir correos electrónicos, buscar información, emplear material de aprendizaje, capacitación en línea y operar hojas de cálculo (UIT, 2018b).

Con la finalidad de abundar en la reflexión sobre economías en desarrollo, se procedió con una estimación auxiliar que prescinde de países que posiblemente están ejerciendo, hasta cierto punto, alguna influencia en los resultados. Sobre esto, la valoración econométrica confirma los hallazgos presentados en el cuadro 10; por tanto, se consolida que la IED, las patentes, la calidad regulatoria, los usuarios de internet y el comercio TIC propician efectos positivos sobre la tasa de crecimiento de la productividad (consulte apéndice G).

Es así que en esta base se satisfacen las premisas del modelo con capital e innovación endógena de Aghion y Howitt (2009) articuladas con el postulado de Keller (2004), donde la convergencia ocurre a través de la productividad (véase capítulo 1, sección 1.3); es decir, a medida que las economías que están más distantes de la FTM pueden alcanzar mejoras de la productividad cuando son capaces de asimilar y adaptar la tecnológica de frontera para sus propios desarrollos tecnológicos. Conclusión equiparable a la manifestada por Lam y Shiu (2010) en lo que respecta a la conjetura de la “ventaja del atraso”.

Continuando con el diagnóstico dinámico, la reflexión alrededor de la tasa de crecimiento del producto esboza que para la totalidad de la muestra los indicadores asociados con la banda ancha fija, los usuarios de internet, la dinámica comercial TIC, el capital tecnológico y la transferencia tecnológica vía IED tienen efectos positivos sobre la tasa de crecimiento del PIB (véase cuadro 11), con lo cual se estaría confirmando la hipótesis teórica del modelo con capital e innovación endógena de Aghion y Howitt (2009), misma que afirma que la tasa de crecimiento del producto está condicionada por la tasa de innovación. Desde esta perspectiva, la evidencia empírica valida que en la medida que se profundice la tecnología TIC y crezca la disponibilidad de conocimientos a nivel internacional mayores serán las posibilidades de innovar por parte de los agentes, de forma que se verán concretadas en el crecimiento económico de los países. En cuanto a las Instituciones, es posible aducir que el conjunto de acciones que realiza el gobierno para mejorar el sistema jurídico-regulatorio y legal cuya esencia esté orientada a desarrollar capacidades tecnológicas locales, promover la competencia y libre competencia, elevar la

cualificación de la mano de obra y fomentar la producción de bienes y servicios con alto valor agregado; conducirán efectos positivos sobre el crecimiento.

Cuadro 11. Crecimiento económico y participación TIC

Variable	<i>Muestra general</i>	<i>Desarrollados</i>	<i>En Desarrollo</i>
	<i>Modelo 1</i>	<i>Modelo 2</i>	<i>Modelo 3</i>
	$\Delta \ln \text{PIB}$	$\Delta \ln \text{PIB}$	$\Delta \ln \text{PIB}$
<i>Constante</i>	0.1573 [0.000]*	0.1733 [0.008]*	0.2214 [0.003]*
<i>IED</i>	0.4320 [0.000]*	0.1138 [0.000]*	0.2159 [0.000]*
<i>PAT</i>	0.1678 [0.000]*	0.0115 [0.041]*	0.1000 [0.000]*
<i>CR</i>	0.0879 [0.090]**	0.0007 [0.000]**	0.0001 [0.022]**
<i>BAF</i>	0.0461 [0.014]*	0.8863 [0.000]*	0.1033 [0.000]*
<i>UI</i>	0.0573 [0.000]*	-0.4143 [0.000]*	0.1769 [0.000]*
<i>ICTIC</i>	0.0588 [0.005]*	0.1484 [0.000]*	0.2340 [0.000]*
α	-0.1397 [0.001]*	-0.1739 [0.009]*	-0.2754 [0.004]*

Fuente: elaboración del autor con datos de la OCDE, UIT, Banco Mundial y PWT.

Estimaciones basadas en el método Pooled Mean Group para panel.

Nota: Muestra general concentra 30 países; submuestra Desarrollados contiene 16 economías; submuestra En desarrollo incluye 14 países; "*" y "**" indican significancia estadística al 5 % y 10 %, respectivamente; p-valor entre corchetes.

Mientras tanto, los hallazgos para los países desarrollados revelan que las patentes, la infraestructura de banda ancha fija y la actividad comercial TIC guardan asociación positiva con la tasa de crecimiento del producto. Por otra parte, la evidencia mantiene congruencia con los usuarios de internet, pues expone relación negativa entre el tamaño de red y el crecimiento del PIB, lo cual podría explicarse cuando la red se hace más omnipresente en la economía se estaría manifestando la reducción de la brecha digital (UIT, 2018a); pero no necesariamente la equivalencia entre individuos que usan internet con mano de obra calificada capaz de procesar información, producir conocimiento y adquirir habilidades (Tello, 2007) avanzadas TIC para aplicar eficientemente este tipo de tecnologías al interior de las actividades económicas. En cuanto a la capacidad de las Instituciones para formular e implementar política y regulaciones en torno a la innovación en las actividades industriales, comerciales y de servicios; se encuentra evidencia positiva sobre el crecimiento sostenido del producto.

Para los países en desarrollo se encuentran resultados semejantes a los señalados por Maneejuk y Yamaka (2020) y Shakeel *et al.* (2012) en torno a las patentes y la IED, variables que reflejan efectos positivos asociados con el crecimiento de producto. De tal forma que se comprueba, desde el enfoque de oferta de la teoría del crecimiento, que la inversión en actividades de I + D, acumulación de capital humano y transferencia tecnológica favorecen al crecimiento de estas economías. Paralelamente, los hallazgos a propósito del vínculo TIC-crecimiento económico suponen que los beneficios provenientes de un mayor despliegue de infraestructura TIC facilita la capacidad de los países para elevar el grado de penetración de soporte físico TIC y servicios de conectividad, de modo que se estaría profundizando la cantidad de usuarios a la red. A su vez, sugieren que a medida en que estos países logren aumentar el tamaño de la red y tengan acceso al conocimiento producido alrededor del mundo podrán habilitar cambios en la forma de producir y procesar información, con lo cual se respaldarían los efectos significativos sobre el crecimiento económico; conclusiones similares a las que llegaron Mayer *et al.* (2020), Maneejuk y Yamaka (2020) y Majeed y Ayub (2018).

En lo que respecta a la operacionalización estándar, en principio, para determinar la mejor especificación panel se emplea la prueba de Hausman; seguidamente, para comprobar la existencia de heteroscedásticidad se examina si los predictores estimados son eficientes y consistentes apelando a las pruebas estadísticas de Wald; Pesaran, relativa a la presencia de correlación contemporánea; y, Wooldridge, para autocorrelación.

Para este fin, la mayoría de las estimaciones indicaron la coexistencia de heteroscedásticidad, correlación contemporánea y autocorrelación (véase apéndice F); motivo por el cual se ejecutaron los métodos Mínimos Cuadrados Generalizados y Errores Estándar Corregidos para Panel que permiten resolver estos problemas y devolver estimadores consistentes, eficientes e insesgados.

Los resultados de las regresiones econométricas para el conjunto de países (consulte cuadro 12) indican asociación positiva entre la productividad, las patentes y la IED, con ello es posible puntualizar que las inversiones en recursos vinculados a ciencia, tecnología y capital humano, así como la transferencia tecnológica respaldan las ganancias en eficiencia. En lo concerniente a los usuarios de internet y banda ancha fija se observa relación directa con la productividad, con lo cual se estaría evidenciando que la penetración de infraestructura TIC fomenta la especialización

productiva e impulsa las capacidades tecnológicas locales. Para el caso de las Instituciones, los hallazgos manifiestan que la calidad en el diseño e implementación de política, la certeza jurídica y un clima independiente en la ejecución de la política económica se asocia positivamente con el nivel de la productividad. En materia de difusión de conocimientos, las estimaciones subrayan que -en general- el flujo comercial TIC incrementa la productividad de los países ya que este proceso de desbordamiento de conocimiento puede ser adoptado para el proceso de innovación local.

Cuadro 12. Ganancias en eficiencia y profundización TIC

Variable	Muestra general	Desarrollados	En Desarrollo
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
	PTF	PTF	PTF
Constante	4.3667 [0.000]*	4.4495 [0.000]*	4.3065 [0.000]*
IED	0.0181 [0.000]*	0.0073 [0.000]*	0.0162 [0.095]**
PAT	0.0063 [0.003]*	0.0090 [0.000]*	0.0034 [0.266]
CR	0.0046 [0.008]*	0.0001 [0.000]*	0.0518 [0.000]*
BAF	0.0041 [0.014]*	0.0074 [0.002]*	0.0020 [0.631]
UI	0.0129 [0.000]*	-0.0064 [0.044]*	0.0257 [0.008]*
BCTIC	0.0079 [0.000]*	0.0000 [0.973]	0.0131 [0.097]**

Fuente: elaboración del autor con datos de la OCDE, UIT, Banco Mundial y PWT.

Estimaciones basadas en el método de Errores Estándar Corregidos para Panel (PCSE) y Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG) para panel.

Nota: Muestra general concentra 30 países; submuestra Desarrollados contiene 16 economías; submuestra En desarrollo incluye 14 países; "*" y "**" indican significancia estadística al 5 % y 10 %, respectivamente; p-valor entre corchetes.

En virtud de lo anterior, se verifica la hipótesis de trabajo que asume, primero, aquellas economías con mayor acumulación de capital tecnológico TIC experimentarán mayores niveles de productividad, ya que este proceso implica la generación, incorporación y adaptación de nuevo conocimiento y, su uso intensivo permite una mayor especialización productiva y el desarrollo de las capacidades tecnológicas locales; sin embargo, esta relación no es inequívoca y automática, pues existen otros factores, como las Instituciones, que podrían condicionar las ganancias en productividad asociadas con la profundización TIC. Segundo, aquellos países con un mayor flujo comercial TIC tienden a incrementar la eficiencia multisectorial, a través del fenómeno de la difusión internacional de conocimientos.

Para economías desarrolladas se mantiene una relación directa entre la productividad, las patentes, la IED, la infraestructura de banda ancha fija y las Instituciones. Por lo que es posible deducir que el efecto en el nivel de productividad aumenta a medida que incrementa: i) la velocidad de acceso al conocimiento global disponible; ii) el proceso de innovación y la generación de nuevos productos, diseños, procesos y gestión organizacional; y iii) la calidad de las regulaciones. En tanto, se sostiene una asociación negativa entre la productividad y los usuarios de internet, de ahí que es posible suponer que la extensión de la red debe estar acompañada de otros canales TIC que consoliden el papel o fuerza promotora de esta tecnología sobre la productividad, ya que su uso por parte de los usuarios no representa -en sí misma- la formación de mano de obra calificada en TIC, el uso de la arquitectura lógico-crítica o de software especializado como potenciales factores que canalizan mayores ganancias en eficiencia, sino que podría estar vinculada con actividades relacionadas con el esparcimiento. Por otro lado, se encuentra evidencia parcial en torno a la actividad comercial TIC, esto, permite inferir que la posible contribución de las exportaciones TIC pierde efecto en el nivel de productividad en virtud de la creciente participación de las importaciones (véase capítulo 3).

Por su parte, la evidencia refuerza que la dinámica comercial TIC, los usuarios de internet, la IED y las Instituciones contribuyen significativamente al nivel de la productividad de los países en desarrollo. A tal efecto, es factible fortalecer la conjetura de convergencia cuya esencia estriba en la capacidad de las economías en acumular factores productivos, invertir en la producción de nuevo conocimiento, así como en adoptar y adaptar tecnología del exterior a las necesidades locales que contribuyan a mejorar la productividad doméstica. Al igual que los hallazgos sobre la tasa de crecimiento de la productividad, la tecnología de banda ancha fija continúa mostrando ser no significativa siendo una presunción razonable que las Instituciones requieren de mayores esfuerzos para estructurar mejores marcos regulatorios que les permitan elevar la inversión y nivel de competencias TIC a propósito de seguir reduciendo la brecha digital y cognitiva.

Por añadidura, se llevó a cabo una especificación estándar complementaria para analizar los efectos sobre el nivel de productividad, misma que excluye países que podrían estar incidiendo en los resultados mostrados en el cuadro 12. Al respecto, la evidencia valida lo previamente encontrado (véase apéndice H) con la diferencia que la actividad comercial TIC manifiesta asociación positiva pero estadísticamente no significativa, de lo cual cabe la reflexión sobre las

características del sector exportador TIC de estas economías cuya base podría estar en actividades de ensamble o manufactura que se tipifican de bajo valor agregado y no de procesos intensivos en tecnología o de alto valor agregado.

En suma, los resultados derivados de la operacionalización dinámica y estándar coinciden, por un lado, en la relación de equilibrio (semejante a lo encontrado por Pradhan *et al.*, 2018), y por otro, en la asociación entre las variables que conforman el sistema. Particularizando en los coeficientes, existe evidencia estadística que la infraestructura de banda ancha fija e Instituciones tienen efectos positivos y significativos sobre la tasa de crecimiento del PIB y de la productividad para el conjunto de países y para economías desarrolladas. Sin embargo, la contribución del tamaño de red sobre la productividad y tasa de crecimiento del producto en los países desarrollados pierde efectos cuando ésta se hace más omnipresente; mientras que la banda ancha fija podría no estar reflejando eficazmente los esfuerzos y avances en el acceso en economías en desarrollo. En virtud de lo anterior, los hallazgos exhortan a reflexionar que no basta solo usar tecnología de vanguardia, también se requiere de una estrategia de monitoreo y evaluación continua para perseguir la acumulación de factores productivos que permitan aprovechar las ventajas que se derivan de las TIC.

4.3. Conclusiones

En este capítulo se analizó la relación dinámica entre la productividad, el crecimiento económico con indicadores TIC, actividad comercial TIC e Instituciones como factores que contribuyen al crecimiento del producto y de la productividad.

Con ese fin, se consideró una estructura de datos panel que ofrece encontrar información relevante mediante coeficientes que capturan efectos/fenómenos individuales y relaciones transversales/temporales que sirvan de apoyo para la confrontación teórica-empírica alrededor de las TIC. A este respecto, para estudiar el impacto, vínculo y contribución de las TIC sobre la productividad y crecimiento económico se analizó un conjunto de países conformado por Alemania, Argentina, Austria, Brasil, Canadá, Chile, China, Colombia, Corea del Sur, España, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Grecia, India, Indonesia, Irlanda, Italia, Japón, Malasia, México, Noruega, Portugal, Reino Unido, Singapur, Sudáfrica, Suecia, Suiza, Tailandia y Turquía mediante indicadores de productividad, crecimiento económico, patentes, IED, suscripciones a

banda ancha fija, el porcentaje de usuarios de internet, exportaciones TIC, importaciones TIC e Instituciones.

Los resultados indican que para la totalidad de la muestra los indicadores TIC son factores catalizadores de ganancias en productividad y crecimiento económico, lo que faculta concebir que las TIC coadyuvan a la reasignación de funciones y tareas al interior de los procesos productivos; facilitan la innovación en procesos, productos y gestión organizacional; permiten acceder a nuevos mercados; y habilitan la diversificación de bienes y servicios que se traducen en beneficios para la sociedad. Conjuntamente, las Instituciones son canales que admiten ganancias en eficiencia debido a que mediante la adopción de política dan consentimiento para que los agentes se conduzcan de cierta manera, o bien realicen o no efectúen actos que afecten positiva o negativamente a los mercados; además de incentivar a los agentes a adquirir capacidades de inversión (recursos financieros), de producción (innovación, diseños, I + D) y de enlace (difusión de conocimiento).

La evidencia para países desarrollados muestra que las patentes e IED son determinantes esenciales de la productividad y crecimiento económico. Sin embargo, se encuentra evidencia parcial alrededor de las TIC dado que, por un lado, se identifica una asociación positiva y significativa entre la banda ancha fija con la productividad y el crecimiento; mientras que, por otro, se exhibe una relación negativa entre los usuarios de internet con la tasa de crecimiento del PIB y la productividad. Lo anterior podría tener fundamentación en que la banda ancha fija puede transmitir información a elevadas velocidades que permite la carga y descarga de datos para operar, por ejemplo, procesos como negocio electrónico, comercio electrónico y aplicaciones/funciones de la arquitectura lógico-crítica, mismas que pueden ser esenciales en las actividades productivas; en tanto que la profundización de usuarios de internet por sí misma no representa trabajadores calificados que aprovechen las ventajas de las TIC al interior de las empresas. Por su parte, la efectividad, integridad y eficiencia de las Instituciones para planear, diseñar e implementar política económica y pública respaldan mejoras en la productividad y del crecimiento sostenido.

Por lo que hace a países en desarrollo, los resultados exhiben que la difusión internacional de conocimientos a partir del comercio TIC y la IED impulsan la productividad y el crecimiento del producto. De la misma manera, los usuarios de internet manifiestan ser canales propulsores de ganancias en eficiencia habida cuenta de que al utilizar tecnología de frontera los países logran acceder al conocimiento producido y disponible a nivel mundial a propósito de adquirir

información especializada que pueda ser aprovechada en las actividades industriales. Empero, se encuentra evidencia estadística parcial respecto a la banda ancha fija donde su participación podría estar condicionada por el dinamismo comercial TIC (adquisición de soporte físico TIC) o por la mejora en la calidad de las regulaciones; por lo que su papel propulsor de ganancias en eficiencia y crecimiento del producto podría verse limitado por el poco despliegue de infraestructura en telecomunicaciones e insuficiente acceso a dispositivos u ordenadores electrónicos, equipos periféricos e insumos TIC. En cuanto a las Instituciones, éstas evidencian ser propulsoras del crecimiento de la productividad dado que una política que defina claramente reglas, criterios, bases, derechos y obligaciones favorece positivamente a la eficiencia de las actividades industriales, comerciales y de servicios.

Por todo lo anterior, las TIC presumen ser una potente TPG que suponen tecnologías proveedoras de nuevas aplicaciones y usos; de tal manera que en ese dinamismo se abren oportunidades de mejora e innovación intersectorial e intrasectorial trayendo como repercusión alcanzar un mejor estadio tecnológico que eleva la productividad y producción de un país.

Conclusiones generales

La presente investigación tiene por objetivo indagar la importancia del impacto de los indicadores de profundización TIC en la productividad agregada a nivel país durante el periodo 1994-2020; además de conocer los factores que condicionan dicho impacto, examinar la transición que ha tenido el vínculo TIC-productividad a lo largo del periodo y estimar la contribución de las TIC sobre el crecimiento de la productividad. Para tal efecto, se abordó desde el enfoque de oferta de la teoría del crecimiento, específicamente corriente endógena, que la acumulación de capital físico y humano, inversión en I + D y los avances tecnológicos (como resultado de conductas intencionadas) permiten a los países experimentar crecimiento sostenido.

En virtud de lo anterior, es la tasa de innovación la que faculta a las economías emprender una reestructuración productiva canalizada a experimentar mayores niveles de eficiencia, lo cual significa que los países deben ser capaces de utilizar el conocimiento disponible en la Frontera Tecnológica Mundial para incorporarlo a su proceso de producción y adecuarlo a las condiciones locales que apuntalen innovaciones propias encaminadas a utilizar sus recursos de manera más eficiente. Ciertamente, en este proceso de innovación existen elementos clave que sustentan la acumulación de factores (capital y trabajo) cuya base se encuentra en la: i) inversión en capital

intelectual materializado en investigaciones que transformen insumos, técnicas de producción y formas organizacionales tendientes a alcanzar máxima producción, reducir costos y generar mayores beneficios; ii) productividad (éxito) de las investigaciones; iii) velocidad con que se difunde la tecnología a nivel internacional; iv) capacidad de encontrar valor/utilidad en el conocimiento existente; v) etapa/estadio de la tecnología de frontera; y, vi) distancia a la FTM.

Dentro de ese orden de ideas, las TIC representan conocimiento e infraestructura porque, por un lado, se fundamentan en conocimiento científico (acumulado sin límite) que ha propiciado ventajas sustanciales en el diseño, producción, comercialización y distribución de nuevos (diversificación) o mejorados bienes y servicios. Por otro lado, porque a medida que el alcance de componentes, dispositivos u ordenadores electrónicos, equipo de comunicaciones, equipos periféricos y soportes magnéticos y ópticos -en forma de insumos y acervos de capital- se hacen presentes y necesarios en las actividades económicas; las TIC, en su función habilitadora como TPG, desencadenan una serie de innovaciones dentro y fuera del sector que elevan la productividad agregada.

Sobre el particular, dentro de la literatura empírica aún existe desproporción en las relaciones causales asociadas a las TIC con la productividad y el crecimiento económico, ya que la complejidad en entender y abordar a las TIC no recae en una sola tecnología (v.gr. conectividad) como muchos estudios analizan a las TIC, sino en un conjunto de tecnologías (canales TIC) que se complementan entre sí para facilitar la innovación y creación de nuevos mercados, bienes y servicios finales. Por ello, en esta investigación se consideró el desarrollo de las TIC desde la perspectiva cíclica de las mismas; es decir, desde de los recursos, acceso y uso hasta la gestión, procesos y gobernanza que hacen posible encontrar razón por la que algunos países hacen mejor/peor manejo y asignación de sus factores productivos y, en consecuencia, consiguen/no logran acceder a nuevas oportunidades habilitadas por las TIC.

Conforme lo previo, el análisis de indicadores TIC permitió observar tendencias en Corea del Sur, Estados Unidos, Finlandia, Francia, Irlanda, Japón, Reino Unido, China, India, Indonesia, Malasia y Singapur. Estos países ponen de manifiesto que han dado prelación a las TIC como insumos que favorecen a la obtención de mayor producción y fomento de industrias de alto valor agregado. Opuesto a lo anterior, fue posible identificar economías en América Latina, particularmente, México y Argentina que pese a los esfuerzos de acumular capital TIC relacionado

con la conectividad aún no está nítidamente manifestado el aprovechamiento de esas tecnologías ni la capacidad de arrastre y dispersión intersectorial e intrasectorial alrededor de las TIC. Asimismo, el contexto Institucional pone en evidencia que si las políticas se orientan a la acumulación de capital físico, capital humano y tecnología; los países serán capaces de reducir brecha digital y cognitiva y, a su vez, disminuir la distancia hacia la FTM.

Consiguientemente, el contraste empírico proporcionó probar la hipótesis de trabajo en la cual se asume que aquellas economías con mayor acumulación de capital tecnológico TIC experimentan mayores niveles de productividad; así como aquellos países con un mayor flujo comercial TIC tienden a incrementar su eficiencia, en virtud del fenómeno de la difusión internacional de conocimientos. A este respecto, se pudo constatar que la banda ancha fija, los usuarios de internet y la comercialización TIC son fuerza motora de ganancias en eficiencia y crecimiento económico sostenido para el conjunto de países que conforman la muestra; sin embargo, esta situación podría estar supeditada a particularidades económico-jurídicas de cada grupo de países, o bien de las condiciones específicas de cada economía.

Sobre el particular, para países desarrollados, las Instituciones reflejan ser razón del comportamiento de la productividad y del crecimiento económico debido a que proceden con política regulatoria que impulsa la innovación en las industrias. En el ámbito TIC se encuentra, por un lado, que las externalidades estáticas de la red pueden perder su carácter potencializador sobre la productividad y el crecimiento económico en virtud de la naturaleza del uso de la red por parte de los usuarios. Por otro, la tecnología de banda ancha y la actividad comercial TIC muestran ser factores propulsores de ganancias en eficiencia y de crecimiento del producto, escenario admisible derivado de la trayectoria de la banda ancha y de indicadores que muestran la capacidad de exportaciones e importaciones de bienes y servicios TIC.

En cuanto a los países en desarrollo se observa evidencia parcial sobre la aportación de la banda ancha fija a la productividad; de ahí que el despliegue e inversión de esta tecnología – posiblemente- estén subordinados a dos motivaciones: primero, en la capacidad de los países para mejorar el sistema jurídico-regulatorio en torno a las TIC, y segundo, en la actividad comercial TIC. Pese lo anterior, los usuarios de internet muestran ser factores propulsores de ganancias en eficiencia cuya raíz podría estar vinculada con la adquisición de habilidades básicas y estándar TIC.

Indiscutiblemente, esta investigación ofrece un panorama internacional que revela la importancia de incorporar tecnologías de la información y comunicación a las actividades productivas de los países. La evolución e incremento constante de las TIC en economías desarrolladas y en desarrollo no solo permiten hacer comparaciones regionales a propósito de conocer la tendencia, penetración, despliegue y desarrollo de competencias TIC, también ayudan a reflexionar sobre el posicionamiento (distancia) que tienen los países a la FTM.

De modo que a raíz de los resultados obtenidos en este trabajo surgen preguntas adicionales alrededor de la participación de las TIC e Instituciones sobre la productividad para economías fuera de la FTM. A este respecto, es factible plantearse si la ruta TIC puesta en práctica por los países, principalmente en desarrollo, favorece la efectiva acumulación de conocimientos y si la implementación de política económica y pública por parte de las Instituciones está resultando factible para garantizar el acceso universal TIC que se refleje con mayor detalle en el crecimiento de la productividad y del producto, ya que durante la realización de este documento se hizo frente a limitantes que frenaron un análisis exhaustivo y/o individualizado, tales como la falta de información de indicadores institucionales y TIC que brinden mayor énfasis y oportunidad de estimar el rol potencializador de estas variables sobre la acumulación de capital tecnológico TIC y el papel cíclico de las propias tecnologías TIC.

Bajo esa tesitura se enmarcan potenciales trabajos futuros dedicados a escudriñar pormenorizadamente el desarrollo y profundización TIC en un país en concreto, o bien en la articulación y capacidad de empuje de las TIC en una industria en particular, o en el vínculo TIC-Instituciones que admitan una revisión regulatoria con el fin de evaluar si el entramado institucional, efectivamente, es capaz de impulsar la velocidad con que se difunden las tecnologías de frontera y, en consecuencia, generar ganancias en eficiencia.

Bibliografía

- Acemoglu Daron y Restrepo Pascual (2018). The Race between Man and Machine: Implications of Technology for Growth, Factor Shares, and Employment. *The American Economic Review* 108 (6), 1488-1542.
- Acemoglu Daron y Robinson James (2008). The Role of Institutions in Growth and Development. Commission on Growth and Development. The World Bank. Working Paper No. 10.
- ACIMED (2007). Jack Kilby, el precursor de los microchips. *ACIMED*, 16(3) Recuperado en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352007000900015&lng=es&tlng=es.
- Aghion, P. y Howitt (2009). *The Economics of Growth*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Alderete, María y Gutiérrez, Luis (2012). TIC y productividad en las industrias de servicios en Colombia. *Lecturas de Economía*, 77 (julio-diciembre), pp. 163-188. Universidad de Antioquia, 2012.
- Arellano, Manuel. (2008). *Panel Data Econometrics. Advanced Texts in Econometrics*. Oxford University Press Inc., New York.
- Argandoña, Antonio. (2001). *La nueva economía y el crecimiento económico. Economía y Ética*. Universidad de Navarra. Barcelona.
- Ávila Díaz, WD, (2013). Hacia una reflexión histórica de las TIC. *Hallazgos*, 10 (19),213-233. ISSN: 1794-3841. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=413835217013>.
- Baltagi, H. B. (2005). *Econometric Analysis of Panel Data*. Third edition, John Wiley & Sons Inc., Nueva York.
- Baporikar, N. (2013). ICT Challenge for eBusiness in SMEs. *International Journal of Strategic Information Technology and Applications*, 4(1), 15-26, January-March 2013.
- Beck, N. and Katz, J. N. (1995). What to do (and not to do) with Time-Series Cross-Section Data. *The American Political Science Review*, sep., 1995, Vol. 89, No. 3 (Sep., 1995), pp. 634-647. <https://www.jstor.org/stable/2082979>.
- Beck, N. (2001). Time-Series–Cross-Section Data: What Have We Learned in the Past Few Years? *Annual Review of Political Science*, 2001. Vol. 4:271–93. <https://doi.org/10.1146/annurev.polisci.4.1.271>.

- Benkler, Y. (2006). *The wealth of networks: How social production transforms networks and freedom*. New Haven, CT: Yale University Press.
- Bresnahan, T. and Trajtenberg, M. (1995). General purpose technologies “Engines of growth?” *Journal of Economics* 65, 83-108.
- Brynjolfsson, E. (1993). The Productivity Paradox of Information Technology. *Communications of the ACM*. December 1993/Vol. 36, No. 12.
- Caballero, G. y Garza, M. D. (2010). *Los fundamentos de la nueva economía institucional hacia la economía de los recursos naturales: comunes, instituciones, gobernanza y cambio institucional*. Universidad de Vigo.
- Calandra Bustos, P. y Araya Arraño, M. (2009). *Conociendo las TIC*. Chile: Universidad de Chile. Disponible en: <http://www.agren.cl>.
- Carlaw, Kenneth I. and Lipsey, Richard G. (2011). Sustained endogenous growth driven by structured and evolving general purpose technologies. *J Evol Econ* (2011) 21:563–593. DOI 10.1007/s00191-010-0212-2.
- Castaldo, A., Fiorini, A., & Maggi, B. (2018). Measuring (in a time of crisis) the impact of broadband connections on economic growth: an OECD panel analysis. *Applied Economics*, 2018. VOL. 50, NO. 8, 838–854. <https://doi.org/10.1080/00036846.2017.1343448>.
- CEPAL (2014). Boletín FAL # 156, Facilitación del Comercio y el Transporte en América Latina y el Caribe. Agosto 2022, de CEPAL. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36017/8/FAL_Bolet%20%ADn156_es.pdf.
- CEPAL (1991). Productividad Total de Factores: Revisión metodológica y una aplicación al sector manufacturero uruguayo. Agosto 2022, de CEPAL. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/28778>.
- Coe, David., Helpman, Elhanan. & Hoffmaister, Alexander (2009). “International R&D Spillovers and institutions”, *European Economic Review*, Vol. 53 (7):723-741.
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128–152. <https://doi.org/10.2307/2393553>.

- Chen, W., Niebel, T. y Saam, M. (2016). Are intangibles more productive in ICT-intensive industries? Evidence from EU countries. *Telecommunications Policy*, 40, 471-484. Elsevier Science. <http://dx.doi.org/10.1016/j.telpol.2015.09.010>.
- David, Paul M. y Dominique, Foray (2002). Fundamentos económicos de la sociedad del conocimiento, Comercio Exterior Vol. 52 (6): 472-490. <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/23/2/davi0602.pdf>.
- Dewan, S. and Kraemer, K. (2000). *Information Technology and Productivity: Evidence from Country-Level Data*.
- Díaz Rodríguez, Héctor Eduardo y Aroche Reyes, Fidel (2020). Determinantes de la productividad laboral en México: una aproximación desde la teoría del crecimiento endógeno con redes neuronales artificiales. CEPAL, Revista de la CEPAL N° 130, abril de 2020.
- Díaz Rodríguez, Héctor E., Sosa Castro, Magnolia M., y Cabello Rosales, A. (2018). Uso de TIC y productividad en México: un análisis subsectorial. *Métodos cuantitativos para la economía y la empresa* (25). Junio 2018, pp. 156-185.
- Díaz Rodríguez, Héctor Eduardo (2017). Tecnologías de la información y comunicación y crecimiento económico. *Economía Informa* 405, julio-agosto 2017, pp. 30-45.
- Dixit, A. (2009). Governance Institutions and Economic Activity, *American Economic Review*, 99 (1), 5-24.
- EPEC (2022a). Morse y el telégrafo eléctrico. Agosto 2022, de EPEC. Disponible en: <https://www.epec.com.ar/docs/epec-educando/morse-y-el-telegrafo-electrico.pdf>.
- EPEC (2022b). La invención del teléfono. Agosto 2022, de EPEC. Disponible en: <https://www.epec.com.ar/docs/educativo/institucional/fichatelefono.pdf>.
- EPEC (2022c). La invención de la radio. Agosto 2022, de EPEC. Disponible en: <https://www.epec.com.ar/docs/educativo/institucional/ficharadio.pdf>.
- EPEC (2022d). La invención de la televisión. Agosto 2022, de EPEC. Disponible en: <https://www.epec.com.ar/docs/educativo/institucional/fichatelevision.pdf>.
- Flórez, M., Aguilar, A. J., Hernández, Y. K., Salazar, J. P., Pinillos, J. A. y Pérez, C.A. (2017). Sociedad del conocimiento, las TIC y su influencia en la educación. *Espacios*, Vol. 38 (N° 35) Año 2017. Pág. 39.

- Gallardo, R., Whitacre, B., Kumar, I. and Upendram, S. (2021). Broadband metrics and job productivity: a look at county-level data. *The Annals of Regional Science* 66:161–184. <https://doi.org/10.1007/s00168-020-01015-0>.
- González de Posada, Francisco. (2020). El aritmómetro electromecánico de Torres Quevedo (1920), primer ordenador. *Conmemoración de su centenario (2020) a la luz de la historia de la ciencia del último siglo*. Barcelona: Real Academia Europea de Doctores. Disponible en: <https://raed.academy/wp-content/uploads/2020/12/discurso-ingreso-Francisco-Gonzalez-de-Posada.El-aritmometro-electromecanico-de-Torres-Quevedo-cmpr.pdf>.
- Gordon, Robert J. (2015). “Secular Stagnation: A Supply-Side View”. *American Economic Review*, 105 (5), 54-59.
- Gordon, Robert J. (2012). “Is U.S. Economic Growth Over? Faltering Innovation Confronts the Six Headwinds”. NBER Working Paper No. 18315, August.
- Gordon, Robert J. (2000). “Does the New Economy Measure Up to the Great Inventions of the Past?”, *Journal of Economic Perspectives*, 14, 4.
- Gordon, Robert J. (1999). Has the “New Economy” Rendered the Productivity Slowdown Obsolete?, Northwestern University.
- Green, W. H. (2020). *Econometric Analysis*. Eighth edition, Pearson Education. New York.
- Green, W. H. (2002). *Econometric Analysis*. Fifth edition, Prentice Hall. New York.
- Grossman, G. and Helpman, E. (1994). Endogenous Innovation in the Theory of Growth. *Journal of Economic Perspective*, vol. 8 (1), pp. 23-44.
- Grossman, G. and Helpman, E. (1991). Quality Ladders in the Theory of Growth. *The Review of Economic Studies*, Vol. 58, No. 1. (Jan., 1991), pp. 43-61.
- Hardy, Thomas (2001). (IA: Inteligencia Artificial). *POLIS, Revista Latinoamericana*, 1 (2),0. [septiembre de 2022]. ISSN: 0717-6554. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30500219>.
- Helpman, Elhanan (2004). *The mystery of economic growth*. Cambridge, Mass.: The Belknap Press.
- Helpman, Elhanan and Trajtenberg (1996). *Diffusion of General Purpose Technologies*. National Bureau of Economic Research. NBER Working paper series. Cambridge, MA, 02138.

- Hernández Laos, Enrique (2007). La productividad multifactorial: concepto, medición y significado. *Economía: Teoría y Práctica*, Número 26, Enero-Junio 2007, pp. 31-67. Disponible en: <https://economiatyp.uam.mx/index.php/ETYP/article/view/315/212>.
- Hofman, A., Aravena, C. y Aliaga, V. (2016). Information and communication technologies and their impact in the economic growth of Latin America, 1990–2013. *Telecommunications Policy*, 40, 485-501. Elsevier Science. <http://dx.doi.org/10.1016/j.telpol.2016.02.002>.
- IBM (2012). e-business y servicio Web. Agosto 2022, de IBM. Disponible en: <https://www.ibm.com/docs/es/i/7.1?topic=e-business-web-serving>.
- ICEX (2020). Informe económico y comercial. Agosto 2022, de ICEX. Disponible en: https://www.icex.es/icex/wcm/idc/groups/public/documents/documento/mde5/odmx/~edi_sp/doc2019831643.pdf?utm_source=RSS&utm_medium=ICEX.es&utm_content=23-09-2019&utm_campaign=Informe%20econ%C3%B3mico%20y%20comercial.%20Singapur%202019.
- Islam, D. (2015). The Use of Information and Communication Technology (ICT) and Business Management: Contemporary Issues and Challenges. Business and Applied Sciences Academy of North America (BAASANA). Conference held during 12-14 August 2015 in New Your City of USA.
- ITU (2021). Measuring digital development. Agosto 2022, de ITU. Disponible en: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/facts/default.aspx>.
- ITU (2020). The State of Broadband Tackling Digital Inequalities: A Decade for Action. Octubre de 2022, de ITU. Disponible en: <https://www.itu.int/es/mediacentre/Pages/PR20-2020-broadband-commission.aspx>.
- ITU (2017). Big data for measuring the information society. Agosto 2022, de ITU. Disponible en: https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/statistics/Methodological%20Guide%20and%20Proposed%20ICT%20Indicators%20Based%20on%20Big%20Data_27Feb2019.pdf.
- Jayakar, K., Schejter, A., and Taylor, R. (2010). Small businesses and broadband: Key drivers for economic recovery. Working Paper – March 2010. Institute for Information Policy. The Pennsylvania State University. University Park, PA 16802.
- Jones, Charles (2000). *Introducción al crecimiento económico*. México: Pearson Educación.

- Keller, W. (2004). "International Technology Diffusion". *Journal of Economic Literature*, Vol. XLII (September 2004) pp. 752–782.
- Lall, Sanjaya. (1992). Technological capabilities and industrialization, *World Development*, Vol 20 (2): 165-186, Feb, 1992. [https://doi.org/10.1016/0305-750X\(92\)90097-F](https://doi.org/10.1016/0305-750X(92)90097-F).
- Lam, Pun-Lee. y Shiu, S. (2010). Economic growth, telecommunications development and productivity growth of the telecommunications sector: Evidence around the world. *Telecommunications Policy*, 34, mayo, pp. 185-199. Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2009.12.001>.
- Lee, Sang H., Levendis, John and Gutierrez, Luis (2011). 'Telecommunications and economic growth: an empirical analysis of sub-Saharan Africa', *Applied Economics*, First published on: 11 January 2011 (iFirst). <http://dx.doi.org/10.1080/00036846.2010.508730>.
- Lipsey, Richard G., Carlaw, Kenneth I., and Bekar, Clifford T. (2005). *Economic Transformations. General Purpose Technologies and Long Term Economic Growth*. New York: Oxford.
- López Michelone, Manuel. (2012). El enigma de Turing. Agosto 2022, de UAM. Disponible en: http://www.uam.mx/difusion/casadeltiempo/56_v_jun_2012/casa_del_tiempo_eIV_num_56_07_11.pdf.
- Lucas, R. Jr. (1988). "On the mechanics of economic development". *Journal of Monetary Economics*, vol. 22, pp. 3-42.
- Macdougald, Joseph J. (2011). "Internet Use and Economic Development: Evidence and Policy Implications". Graduate Theses and Dissertations. <https://scholarcommons.usf.edu/etd/3225>.
- Majeed, M.T. and Ayub, T. (2018). Information and Communication Technology (ICT) and Economic Growth Nexus: A Comparative Global Analysis. *Pakistan Journal of Commerce and Social Sciences*. Vol. 12 (2), 443-476.
- Majumdar, S. K., Carare O. and Changy H. (2009). Broadband adoption and firm productivity: evaluating the benefits of general purpose technology. *Industrial and Corporate Change*, Volume 19, Number 3, pp. 641–674, doi:10.1093/icc/dtp042 .
- Maneejuk, P. y Yamaka, W. (2020). "An analysis of the impacts of telecommunications technology and innovation on economic growth". *Telecommunications Policy*, 44, 102038. Elsevier Science. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2020.102038>.

- Martínez Rivera, Sergio. (2017). China: ¿oportunidad o utopía para el crecimiento económico de México y de América Latina? *Economía Informa*. 403, marzo-abril 2017. Disponible en: <http://www.economia.unam.mx/assets/pdfs/econinfo/403/02MartinezRivera.pdf>.
- Mayer, W., Madden, G. & Wu, C. (2020). Broadband and economic growth: a reassessment. *Information Technology for Development* 2020, Vol. 26, No. 1, 128–145. <https://doi.org/10.1080/02681102.2019.1586631>.
- Moncada Blanco, Y., Hernández Carrillo, G., Rodríguez Ibáñez, R., y Hernández Peña, Y. (2018). La adopción tic como eje transformador en las empresas. En Y. Hernández., y A.J. Aguilar-Barreto. (Ed.), *La investigación social: comprendiendo fenómenos en contexto*. (pp. 158-180). Cúcuta, Colombia: Ediciones Universidad Simón Bolívar.
- Muller Santa Cruz, H. (2007). Programando en Fortran. Agosto 2022, de Universidad Nacional de la Plata, Argentina. <http://anyp.fcaglp.unlp.edu.ar/biblio/fortran/fortran90.pdf>.
- Navarro del Toro, Guillermo José. (2021). Aplicación de software matemático en carreras de ingeniería. *Revista iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, Vol. 12, Núm. 22, enero - junio 2021, e236. <https://doi.org/10.23913/ride.v11i22.954>.
- North, Douglass C. (1995). Five propositions about institutional change, 15-26, en Knight, J. y I. Sened (eds) (1995). *Explaining social institutions*. University of Michigan Press.
- North, Douglass C. (1994). Economic Performance through Time, *The American Economic Review*, Vol. 84, N. 3, 359-368.
- North, Douglass C. (1993). Institutions and Credible Commitment, *Journal of Institutional and Theoretical Economics*, Vol. 149, N. 1, 11-23.
- North, Douglass C. (1990). *Institutions, Institutional Change and Economic Performance* (New York: Cambridge University Press).
- OCDE (2020a), *OCDE Digital Economy Outlook 2020*. OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/bb167041-en>.
- OCDE (2020b), *Perspectivas económicas de América Latina 2020: Transformación digital para una mejor reconstrucción*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/f2fdced2-es>.
- OCDE (2017a), *creando una cultura de independencia: Guía práctica contra influencias indebidas, Gobernanza de reguladores*, Éditions OCDE, París. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264287877-es>.

- OCDE (2017b). Perspectivas de la OCDE sobre la Economía Digital 2017. Agosto 2022, de OCDE.
- OCDE (2015), The Innovation Imperative: Contributing to Productivity, Growth and Well-Being, OECD Publishing, Paris. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264239814-en>.
- OCDE (2011). Herramientas para la evaluación de la competencia. Volumen I: Principios. Agosto 2022, de OCDE. Disponible en: www.oecd.org/competition/toolkit.
- OECD (2009). “Information Economy Product Definitions Based on the Central Product Classification (version 2)”, OECD Digital Economy Papers, No. 158, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/222222056845>
- OCDE (2008), “Information Economy Product Definitions Based on the Central Product Classification (version 2)”, OECD Digital Economy Papers, No. 158, OECD Publishing, Paris.
- OCDE (2007). Information economy. Sector definitions based on the international standard industry classification (isic 4). DSTI/ICCP/IIS(2006)2/FINAL.
- OCDE (2002a). Measuring the Information Economy. OECD PUBLICATIONS, 2, rue André-Pascal, 75775 PARIS CEDEX 16. PRINTED IN FRANCE (00 2002 29 1 P) – No. 81855 2002.
- OCDE (2002b). Perspectivas de la OCDE sobre las tecnologías de la información 2002. Agosto 2022, de OCDE.
- OCDE (2001). Measuring Productivity OECD Manual. Measurement of aggregate and industry-level productivity growth. Organization for Economic Co-Operation and Development. <http://www.oecd.org/sdd/productivity-stats/2352458.pdf>.
- OIT (2020). Impulsando la productividad: Una guía para Organizaciones Empresariales. Agosto 2022, de OIT. Disponible en: https://www.ilo.org/actemp/publications/WCMS_759690/lang--es/index.htm.
- Oliner, S. & Sichel, D. (2000). The Resurgence of Growth in the Late 1990s: Is Information Technology the Story? Journal of Economic Perspectives. Volume 14. Number 4. Fall 2000. Pages 3–22.
- Ordóñez, S. y Bouchain, R. (2011). Capitalismo del conocimiento e industria de servicios de telecomunicaciones en México. UNAM, Instituto de Investigaciones Económicas.

- Ordóñez, S. (2004). La nueva fase de desarrollo y el capitalismo del conocimiento: elementos teóricos. Comercio Exterior, Vol. 54, Núm. 1, enero de 2004.
- Papastathopoulos, A. and Beneki, C. (2010). Organizational forms based on information & communication technologies (ICTs) adoption. Research in Business and Economics Journal.
- Pampillón, Rafael (2001). La nueva economía: análisis, origen y consecuencias. Las amenazas y las oportunidades. Economía Industrial. Núm 340. 2001/IV, pp. 43-50.
- Pesaran, M.H., Shin, Y. and Smith, R.P. (1997) Pooled Estimation of Long-Run Relationships in Dynamic Heterogeneous Panels. University of Cambridge, Department of Applied Economics, Cambridge.
- Pradhan, R., Mallik, G. y Bagchi, T. (2018). Information communication technology (ICT) infrastructure and economic growth: A causality evinced by cross-country panel data. IIMB Management Review 30, 91–103. ScienceDirect. <https://doi.org/10.1016/j.iimb.2018.01.001>.
- Riordan, Michael, Lillian Hoddeson, and Conyers Herring. (1999). “The Invention of the Transistor”. Modern Physics, Vol 71, No. 2: Centenary.
- Rodríguez Gámez, O., Hernández Perdomo, R., Torno Hidalgo, L., García Escalona, L., Rodríguez Romero, R. (2005). Telefonía móvil celular: origen, evolución, perspectivas. Ciencias Holguín, XI (1),1-8. [agosto de 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181517913002>.
- Rodrik, Dani (2008). Second-Best Institutions. American Economic Review: Papers & Proceedings 2008, 98:2, 100-104.
- Rodrik, Dani (2004). Industrial Policy for the twenty-first century. Cambridge, MA 02138.
- Rodrik, D., Subramanian, A. y Trebbi, F. (2002). Institutions Rule: The Primacy of Institutions over Geography and Integration in Economic Development. IMF Working Paper WP/02/189. November 2002.
- Romer, David (2012). Advanced macroeconomics. University of California, Berkeley: McGraw-Hill.
- Romer, Paul M. (1994). The Origins of Endogenous Growth. Journal of Economic Perspectives, vol. 8 (1), pp. 3-22.

- Romer, Paul M. (1990). Endogenous Technological change. *The Journal of Political Economy*, vol. 98(5), pp. 71-102.
- Romer, Paul M. (1986). "Increasing Returns and Long-Run Growth". *Journal of Political Economy*, 94 (5), 1002-37.
- SaKong, Il y Koh, Youngsun. (2010). *La economía coreana: Seis décadas de crecimiento y desarrollo*. KDI, CEPAL.
- Sánchez Juárez, Isaac. (2011). *Instituciones y crecimiento económico en México*. Foro Bional Iberoamericano de Estudios del Desarrollo. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México. Disponible en: <https://riedesarrollo.org/memorias/2011/pdf/M6-1.pdf>.
- Saxena, V., Thakur, T., & Singh, R.P. (2009). Productivity analysis of the Telecommunication Sector in India. *International Journal of Engineering and Technology*. Vol.1(2), pp. 40-45.
- Shakeel, M., Ghafoor, R., & Malik, H. (2012). Telecommunications Role in Economic Growth with Respect to Pakistan. *Global Journal of Management and Business Research*, Vol. 12, Issue 19, Version 1.0.
- Snowdon, B. y Vane, H. (2006). *Modern Macroeconomics: Its Origins, Development and Current State*. USA: Edward Elgar Publishing.
- Solow, R. (1957). "Technical Change and the Aggregate Production Function" *The Review of Economics and Statistics*, Vol. 39 (3), pp. 312-320.
- Sridhar, K., and Sridhar, V. (2007), Telecommunications Infrastructure and Economic Growth: Evidence from Developing Countries, *Applied Econometrics and International Development*, 7, (2), 37-56.
- Suh, Joonghae y Chen, Derek. (2008). *Corea como una economía del conocimiento: Proceso evolutivo y enseñanzas*. KDI, Banco Mundial.
- Schumpeter, J. (1942). *Capitalism, Socialism and Democracy*. Quinta edición con nueva introducción. Londres, George Allen & Unwin, 1976.
- Takashi Inaba and Mariagrazia Squicciarini (2017). ICT: a new taxonomy based on the international patent classification. *OECD Science, Technology and Industry Working Papers* 2017/01.
- Téllez Valdés, Julio. (1996). *Derecho Informático*. México: McGRAW HILL. Disponible en: <https://biblio.juridicas.unam.mx/bjv/detalle-libro/1941-derecho-informatico>.

- Tello Leal, Édgar (2007). Las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC) y la brecha digital: su impacto en la sociedad de México. RUSC. Revista Universidades y Sociedad del Conocimiento, 4 (2),1-8. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=78011231006>.
- Thirlwall, A. (2003). La naturaleza del crecimiento: un enfoque alternativo para comprender el funcionamiento de las naciones. México: Fondo de la Cultura Económica.
- Toader, E., Firtescu, B., Roman, A. & Anton, S. (2018). Impact of Information and Communication Technology Infrastructure on Economic Growth: An Empirical Assessment for the EU Countries. Sustainability 2018, 10, 3750; doi:10.3390/su10103750.
- UIT (2021). Azerbaiyán celebra la historia de las telecomunicaciones y persigue el futuro digital. Agosto 2022, de UIT. Disponible en: <https://www.itu.int/hub/2021/11/azerbaijan-celebrates-telecom-history-and-pursues-digital-future/>.
- UIT (2020). Manual para la medición del acceso y el uso de las TIC en los hogares y por las personas. Agosto 2022, de UIT. Disponible en: https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/manual/ITUManualHouseholds2020_S.pdf.
- UIT (2018a). Informe sobre Medición de la Sociedad de la Información. ITU Publicaciones. Octubre 2022, de UIT. Disponible en: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/misr2018/MISR2018-ES-PDF-S.pdf>.
- UIT (2018b). Portada de Conjunto de herramientas para las habilidades digitales. ITU (2018). Octubre 2022, de UIR. Disponible en: https://www.itu.int/en/ITU-D/Digital-Inclusion/Documents/Digital-Skills-Toolkit_Spanish.pdf.
- UIT (2009). Aniversario de Internet y la World Wide Web. Agosto 2022, de UIT. Disponible en: <https://www.itu.int/net/itunews/issues/2009/10/34-es.aspx>.
- UNCTAD (2021). Algunos países en desarrollo bien situados en tecnologías de frontera, pero la mayoría se queda atrás. Comunicado de Prensa folio UNCTAD/PRESS/PR/2021/007. Agosto 2022. Disponible en: <https://unctad.org/es/press-material/algunos-paises-en-desarrollo-bien-situados-en-tecnologias-de-frontera-pero-la>.
- UNCTAD (2019). Informe sobre la economía digital 2019. Creación y captura de valor: Repercusiones para los países en desarrollo. Agosto 2022, de UNCTAD. Disponible en: https://unctad.org/es/system/files/official-document/der2019_overview_es.pdf.
- Vizcaíno Sahagún, Carlos (1998). Editorial. Computación y Sistemas, 1 (3), 0 [Consulta agosto de 2022]. ISSN: 1405-5546. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61510301>.

- Volpentesta, Jorge R. (2016). El impacto de las TIC sobre las estructuras organizacionales y el trabajo del hombre en las empresas. *FACES* | 2016 | Año 22 N° 46 | 81-94.
- Williamson, O. E. (2000). The New Institutional Economics: Taking Stock, Looking Ahead, *Journal of Economic Literature*, Vol. 38, 595-613.
- Williamson, O. E. (1985). *The Economics Institutions of Capitalism: Firms, Markets, Relational Contracting*. The Free Press. Nueva York.
- WTO (2022). Informe de prensa folio WT/TPR/S/425. Agosto 2022, de WTO. Disponible en: https://www.wto.org/spanish/tratop_s/tpr_s/s425_sum_s.pdf.
- Xu, Chenggang. (2011). The Fundamental Institutions of China's Reforms and Development. *Journal of Economic Literature* 2011, 49:4, 1076–1151. Disponible en: <https://www.aeaweb.org/articles?id=10.1257/jel.49.4.1076>.
- Yongcheol Shin & Ron P Smith & Mohammad Hashem Pesaran. (1998). "Pooled Mean Group Estimation of Dynamic Heterogeneous Panels," *Edinburgh School of Economics Discussion Paper Series 16*, Edinburgh School of Economics, University of Edinburgh. Disponible en: <https://www.econ.cam.ac.uk/people-files/emeritus/mhp1/jasaold.pdf>.
- Zahra, K., Azim, P. & Mahmood, A. (2008). Telecommunication Infrastructure Development and Economic Growth: A Panel Data Approach. *The Pakistan Development Review*, 47: 4. Part II (Winter 2008) pp. 711-726.

Apéndice A

Desarrollo matemático del modelo de capital e innovación endógena de Aghion y Howitt (2009)

Se parte de una función de bienes finales:

$$Y_t = L^{1-\beta} \int_0^1 A_{it}^{1-\beta} x_{it}^\beta di \quad (\text{A.1})$$

Los insumos intermedios diferenciados se producen de acuerdo a la siguiente función:

$$x_{it} = K_{it} \quad (\text{A.2})$$

El costo del monopolista está dado por:

$$R_K x_{it} = R_K K_{it} \quad (\text{A.3})$$

La productividad de la innovación se define como:

$$A_{it} = \tau \vartheta A_{it-1} + (1 - \tau) A_{it-1} \quad (\text{A.4})$$

Por construcción, se debe obtener la cantidad de bienes intermedios diferenciados x_{it} en equilibrio; optimizando la función de beneficios del productor de insumos intermedios:

$$\Pi = IT - CT \rightarrow \Pi_t = p_{it} x_{it} - R_{Kt} x_{it} \quad (\text{A.5})$$

Donde p_{it} representa el precio del bien intermedio, el cual es igual al producto marginal del bien intermedio, esto es:

$$p_{it} = \frac{\partial Y_t}{\partial x_{it}} = \beta A_{it}^{1-\beta} x_{it}^{\beta-1} \quad (\text{A.6})$$

Sustituyendo (A.6) en (A.5), es posible reescribir la función de beneficios como:

$$\Pi = \left(\beta A_{it}^{1-\beta} x_{it}^{\beta-1} \right) x_{it} - R_{Kt} x_{it} \quad (\text{A.7})$$

Reduciendo términos de (A.7):

$$\Pi_t = \beta A_{it}^{1-\beta} x_{it}^\beta - R_{Kt} x_{it} \quad (\text{A.8})$$

Maximizando la ecuación (A.8) con respecto a la cantidad de insumos, se obtiene:

$$\frac{\partial \Pi_t}{\partial x_{it}} = \beta \beta A_{it}^{1-\beta} x_{it}^{\beta-1} - R_{Kt} = 0 \quad (\text{A.9})$$

Despejando x_{it} de (A.9) para tener la cantidad de bienes intermedios diferenciados de equilibrio:

$$x_{it} = \left(\frac{\beta^2}{R_{Kt}} \right)^{\frac{1}{1-\beta}} A_{it} \quad (\text{A.10})$$

Bajo la premisa $x_{it} = K_{it}$ y considerando que el modelo plantea las siguientes acotaciones: a) la tasa de alquiler del capital se determina en el mercado de capitales, mientras que la oferta del acervo de capital (K_t) está predeterminada y, b) la demanda es igual a la suma de las demandas de todos los sectores ($\int_0^1 K_{it} di = \int_0^1 x_{it} di$). La oferta de acervo de capital queda de la siguiente manera:

$$K_t = \int_0^1 \left(\frac{\beta^2}{R_{Kt}} \right)^{\frac{1}{1-\beta}} A_{it} di \rightarrow K_t = \left(\frac{\beta^2}{R_{Kt}} \right)^{\frac{1}{1-\beta}} A_t \quad (\text{A.11})$$

A_t es la productividad media de la innovación de la economía ($A_t = \int_0^1 A_{it} di$).

Análíticamente, se despeja a R_{Kt} de (A.11) para obtener:

$$R_{Kt} = \beta^2 \left(\frac{K_t}{A_t} \right)^{\beta-1} \rightarrow R_{Kt} = \beta^2 \omega_t^{\beta-1} \quad (\text{A.12})$$

En esta ecuación la tasa de alquiler de equilibrio del capital es una función decreciente del acervo de capital por trabajador efectivo: $\omega_t = K_t/A_t$. En tal virtud, se retoma la cantidad de bienes diferenciados (A.10) y al sustituir (A.12) en (A.10) se puede finalmente tener la cantidad de equilibrio de los bienes intermedios:

$$x_{it} = \left(\frac{\beta^2}{R_{Kt}} \right)^{\frac{1}{1-\beta}} A_{it} \rightarrow x_{it} = \left(\frac{\beta^2}{\beta^2 \omega_t^{\beta-1}} \right)^{\frac{1}{1-\beta}} A_{it} \quad (\text{A.13})$$

La ecuación (A.13) puede ser reescrita como:

$$x_{it} = \left(\frac{\omega_t^{1-\beta} \beta^2}{\beta^2} \right)^{\frac{1}{1-\beta}} A_{it} \rightarrow x_{it} = \omega_t A_{it} \quad (\text{A.14})$$

Los beneficios de equilibrio se obtienen sustituyendo (A.14) y (A.12) en (A.8):

$$\Pi_t = \beta A_{it}^{1-\beta} (\omega_t A_{it})^\beta - (\beta^2 \omega_t^{\beta-1}) (\omega_t A_{it}) \quad (\text{A.15})$$

Reduciendo términos:

$$\Pi_t = \beta(1-\beta) \omega_t^\beta A_{it} \quad (\text{A.16})$$

Por construcción, dividimos ambos lados de (A.16) entre la productividad de la innovación (A_{it}) para obtener la función de beneficios ajustada por productividad:

$$\frac{\Pi_t}{A_{it}} = \frac{\beta(1-\beta) \omega_t^\beta A_{it}}{A_{it}} \rightarrow \tilde{\pi}(\omega_t) = \beta(1-\beta) \omega_t^\beta \quad (\text{A.17})$$

Por tanto, los beneficios son una función creciente en el acervo de capital por trabajador efectivo, de modo que un aumento de (ω_t) reduce el costo unitario de producción del monopolista.

Ahora bien, sustituyendo la ecuación (A.14) en (A.1), la función de producción puede ser reescrita como:

$$Y_t = A_t \omega_t^\beta \quad (\text{A.18})$$

Según la ecuación (A.18) la tasa de crecimiento del producto (g_Y) está determinada por la tasa de innovación (g_A) , como sigue:

$$\frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{\dot{A}}{A} \equiv g_Y = g_A \quad (\text{A.19})$$

A este respecto, el proceso de innovación es la probabilidad de que ocurra una innovación; por lo que, en caso de que un monopolista logre innovar, operará bajo un parámetro de productividad:

$$A_{it} = \vartheta A_{it-1} \quad (\text{A.20})$$

En (A.20) la productividad del bien intermedio que se está empleado en la producción actual se encuentra sobre el valor de A_{it-1} (periodo anterior) hasta $A_t = \vartheta A_{it-1}$, para $\vartheta > 1$.

Por definición, la probabilidad de innovar τ es:

$$\tau = \eta(n) \quad (\text{A.21})$$

Donde

$$\eta(n) = \rho n^\theta \quad (\text{A.22})$$

Siendo

$$n = \frac{R_t}{A_t^*} \quad (\text{A.23})$$

Sustituyendo (A.23) en (A.22) se tiene que $\eta(n) = \rho \left(\frac{R_t}{A_t^*}\right)^\theta$. Quedando la probabilidad de innovar (A.21) como:

$$\tau = \rho \left(\frac{R_t}{A_t^*}\right)^\theta \quad (\text{A.24})$$

Sobre el particular, ρ es un parámetro de productividad del sector de investigación, (R_t) el total del producto gastado en actividades de I + D y (A_t^*) el nivel de productividad objetivo que se especifica como:

$$A_t^* = \vartheta A_{it} \quad (\text{A.25})$$

Con este fin, se obtiene la probabilidad de innovar de equilibrio. Para ello retomamos la ecuación (A.24) y despejamos el gasto en I + D, como sigue:

$$\tau = \rho \left(\frac{R_t}{A_t^*} \right)^\theta \rightarrow R_t = \frac{A_t^* \tau^{1/\theta}}{\rho^{1/\theta}} \quad (\text{A.26})$$

En consecuencia, el agente monopolista elegirá el tamaño del gasto en I + D que maximice su pago simultáneo por producir insumos y por la innovación, el cual está dado por:

$$\Gamma = \tau \Pi_t - R_t \quad \rightarrow \quad \Gamma = \tau \tilde{\pi}(\omega_t) A_{it} - \frac{A_t^* \tau^{1/\theta}}{\rho^{1/\theta}} \quad (\text{A.27})$$

Si tiene éxito en la innovación, entonces Π_t será Π_t^* , por lo que es posible reescribir (A.27) como:

$$\Pi_t^* = \tilde{\pi}(\omega_t) A_t^* \rightarrow \Gamma = \tau \tilde{\pi}(\omega_t) A_t^* - \frac{A_t^* \tau^{1/\theta}}{\rho^{1/\theta}} \quad (\text{A.28})$$

Para maximizar el beneficio del monopolista (A.28), se debe elegir el valor de equilibrio de (R_t) que es equivalente a obtener el óptimo de τ , así que las C.P.O. de Γ con respecto de τ :

$$\frac{\partial \Gamma}{\partial \tau} = \frac{\partial \left(\tau \tilde{\pi}(\omega_t) A_t^* - \frac{A_t^* \tau^{1/\theta}}{\rho^{1/\theta}} \right)}{\partial \tau} = 0 \rightarrow \tilde{\pi}(\omega_t) A_t^* - \frac{1}{\theta} A_t^* \tau^{\frac{1}{\theta}-1} = 0 \quad (\text{A.29})$$

Despejando τ de (A.29):

$$\tau = \rho (\tilde{\pi}(\omega_t) \theta \rho)^{\frac{\theta}{1-\theta}} \quad (\text{A.30})$$

Con esto, considere que la tasa de innovación (crecimiento de la productividad) viene dada por:

$$g_A = \frac{A_{it} - A_{it-1}}{A_{it-1}} \quad (\text{A.31})$$

Sustituyendo (A.4) en (A.31), se deduce que:

$$g_A = \frac{\tau \vartheta A_{it-1} + (1 - \tau) A_{it-1} - A_{it-1}}{A_{it-1}} = \frac{A_{it-1} (\tau \vartheta + 1 - \tau - 1)}{A_{it-1}} = \quad (\text{A.32})$$

$$\tau \vartheta - \tau = \tau (\vartheta - 1)$$

En caso de no tener éxito ($1 - \tau$), $g_A = 0$.

Sustituyendo (A.30) en (A.32):

$$g_A = \tau (\vartheta - 1) = \rho (\tilde{\pi}(\omega_t) \theta \rho)^{\frac{\theta}{1-\theta}} (\vartheta - 1) \quad (\text{A.33})$$

Hipótesis teórica: en el largo plazo, la tasa de crecimiento del producto está determinada por la tasa de innovación, misma que está definida por el tamaño de la innovación (ϑ), la productividad del sector de investigación (ρ) y al acervo de capital ajustado por la productividad agregada (ω_t).

Apéndice B

Cuadro B1. Canales TIC

Canal TIC	Elementos	Contiene	Papel/participación en...
Soporte físico	Componentes	Semiconductores o chips, transistores, medios magnéticos, circuitos electrónicos.	Insumo intermedio en la producción de nuevos bienes de capital.
	Dispositivos u ordenadores electrónicos	Computadoras personales o de escritorio, monitores, pantallas, máquinas electrónicas.	Actividades administrativas, operaciones bancarias, actividades comerciales, seguimiento de inventarios, control de tráfico aéreo y marítimo, aprendizaje electrónico o educación a distancia, consumo de energía, ámbito ambiental, diagnóstico de enfermedades y cirugías a distancia.
	Equipo de comunicaciones	Antenas, teléfonos móviles y fijos, conmutadores, router, modem, repetidores, radio transmisores.	Tareas de comunicación digital o de red en tiempo real.
	Soportes magnéticos y ópticos	Discos ópticos, soportes de disco duro y cintas magnéticas de sonido y video.	Insumo intermedio en la producción de nuevos bienes de capital.
	Equipo periféricos	Dispositivos auxiliares independientes de los ordenadores electrónicos.	Complemento de dispositivos u ordenadores electrónicos (mouse, teclado, micrófono, escáner).
Arquitectura lógica-crítica (adaptación de procesos manuales a digitales y	Aplicaciones especializadas y personalizadas	Software de gestión empresarial	Mejorar la gestión del conocimiento e información y la planificación de procesos y recursos

migración a la nube)		Programas y códigos informáticos, aplicaciones móviles, sitios web, gráficos, simulaciones y animaciones, sistemas operativos, bases de datos, inteligencia programable, big data y gestión de redes	Sistemas de apoyo para la toma de decisiones; seguridad y operaciones financieras; facturación y pagos; control de inventarios; soporte del comercio electrónico; integración entre proveedores y empresas; diseño, producción e ingeniería asistidos por computadoras para la creación y fabricación de un producto determinado; control del transporte aéreo, marítimo y terrestre; seguridad pública; reconocimiento fácil e identidad personal; administración de información del sector eléctrico; comunicación en tiempo real; diagnóstico de enfermedades y cirugías realizadas por computadora; sistemas de gobierno abierto.
	Software de código abierto	R studio, Python, Moodle, Linux, Open office, WordPress, Wikipedia, Second life, Kaggle	Desarrollar capacidad colectiva o individual para realizar software de adquisición gratuita en medios digitales.
Conectividad (interacción y transmisión de la información y conocimiento)	Telecomunicaciones		Cuestiones organizacionales y de negocio: transición de una estructura vertical a una horizontal, contacto online con proveedores y clientes, implementar marketing digital y gestionar la cadena de suministro a través de la web.
		Internet; extranet; intranet; telefonía fija; telefonía móvil; nube; servicios inalámbricos y alámbricos, por cable, vía satélites, fibra óptica.	Relaciones comerciales: entrada a mercados y creación de nuevos, acceso a gran cantidades de información relativa a mercancías, precios, cantidades, relaciones de compra venta, entre otras operaciones.
		(gestionar, organizar, comunicar y coordinar actividades de manera directa, presencial y/o a distancia)	Ámbito laboral: implementación de teletrabajo o home office.
			Formación, aprendizaje, capacitación y cursos de actualización de la mano de obra: autoaprendizaje, desarrollo profesional, nuevas habilidades, interconexión con usuarios nacionales e internacionales que propicia transferencia de conocimiento.

			<p>Administración pública: implementación de gobierno abierto e instituciones regulatorias, política económica innovadora, reducción de cargas administrativas, simplificación de trámites, promoción de transparencia y rendición de cuentas y, favorecimiento de la participación ciudadana y empresarial.</p> <p>Reducir brecha digital y brecha cognitiva: elevar base de conocimiento, desarrollar capacidades de absorción, disminuir la desigualdad social, mayor mano de obra calificada.</p>
Capacidad de absorción	Capital tecnológico y humano	Capacidades de inversión	Reunir recursos financieros que compense la inversión física.
		Capital humano	Desarrollar nuevas habilidades e ideas para codificar la información (educación, experiencia, cursos de actualización, acervo de conocimiento).
		Capacidad de esfuerzo tecnológico	Estrategias de negocio o comerciales, producción, acumulación de conocimiento, licencias, manuales, patentes, gasto en I + D, diseño de marca, innovación tecnológica.
Servicios de acompañamiento y mejora continua	Sistemas operativos no personalizados y aplicaciones comerciales	Microsoft Windows, Microsoft Office, Corel Draw, AutoCAD, Adobe Photoshop, iOS, Teamviewer, Avast Antivirus, Zoom.	Hospedaje de sitios web; proveer servicios de procesamiento y registro de datos; recuperación de información; instalación de software comercial; arrendar equipo TIC; mantenimiento a equipo de comunicaciones, computadoras, dispositivos de almacenamiento y hardware periférico.
Gestión, procesos y gobernanza	Instituciones económicas	Negocio electrónico	Concebir la digitalización en su totalidad para replantean estructura, objetivos, funciones y responsabilidades del negocio.
		Comercio electrónico	Compra-venta de bienes y servicios a través de la información almacenada en sitios web.
		Reglas jurídico-regulatorias, gobernanza, asignación de recursos, gobierno abierto	Factibilidad de negocio, protección a la propiedad intelectual, marco jurídico eficiente, incentivos económicos a la innovación, regulación económica factible. Transparencia y rendición de cuentas, participación ciudadana, reducción de brecha digital y

			cognitiva, eliminación de actividades corruptas, pluralismo, democracia.
	Instituciones políticas	Estructura política y control de la agenda política	Estructura de Gobierno: Ejecutivo, Legislativo, Judicial. Niveles de Gobierno: Federal, Estatal, Municipal.
		Sistema legal	
		Leyes primarias	
		Política fiscal y monetaria	
Comercio Internacional	Importaciones	Soporte físico TIC	Adquirir transferencia tecnológica y conocimiento.

Apéndice C

Cuadro C1. Revisión de la literatura empírica, principales resultados

Autores	Objetivo	Metodología	Resultados y Conclusiones
Dewan, S. y Kraemer, K. (2000)	Estimar la contribución de las tecnologías de la información (TI) en el crecimiento de la productividad.	Método: Análisis panel a través de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) y modelo de efectos fijos. Muestra: 36 países durante el periodo de 1985-1993. Variables: PIB per cápita; PIB; Horas trabajadas; Capital no TI como porcentaje del PIB; Costo Laboral como porcentaje del PIB; Capital TI como fracción del PIB seccionado en cuatro categorías (hardware computacional, datos de comunicaciones que no representan telecomunicaciones ni microelectrónica, software y servicios).	1. Un incremento del 1% en acervo TI, el PIB crecerá en 0.057 % en países desarrollados. 2. “1 promedio anual acumulado de la tasa de crecimiento de las TI sobre el PIB es del 2.98 % para países desarrollados. 3. Alrededor del 27.77 % del incremento de las TI explica el aumento de la tasa de crecimiento del PIB para economías desarrolladas; de modo que el porcentaje de crecimiento del PIB asociado con las TI es del 1.58%. 4. Para economías desarrolladas encontraron que los retornos procedentes de la inversión fueron estadísticamente significativa y positiva. En el caso de países en desarrollo, los hallazgos mostraron no significancia estadística en los retornos de la inversión en TI.
Sridhar, K., and Sridhar, V. (2007)	Analizar el efecto de la penetración de los servicios de telecomunicaciones en el crecimiento económico.	Método: Modelo estructural ejecutando con el Método de Variables Instrumentales a partir de información de datos panel. Muestra: 63 países durante el periodo 1990-2001. Variables: PIB; PIB per cápita; Formación Bruta de Capital Fijo; Total de fuerza laboral; TIC (número de líneas telefónicas fijas, suscripciones a telefonía móvil,	1. Existe relación bidireccional entre las telecomunicaciones y el crecimiento económico. 2. La producción agregada aumenta en 0.3 % y 0.7 % ante un aumento del 1 % en los insumos de mano de obra y capital, respectivamente. 3. Un incremento del 1 % en la teledensidad aumenta la producción nacional en 0.15 %. 4. La penetración de las telecomunicaciones incrementa en

		teledensidad, promedio de gasto mensual en telefonía fija, ingresos por servicios de telefonía fija y móvil).	0.2 % ante un aumento del 10 % en la inversión en telecomunicaciones.
Zahra, K., Azim, P. y Mahmood, A. (2008)	Investigar el impacto causal de la infraestructura de las telecomunicaciones sobre el crecimiento económico.	<p>Método: Información de datos panel mediante técnica estándar de efectos fijos y efectos aleatorios.</p> <p>Muestra: 24 países durante 18 años.</p> <p>Variables: PIB per cápita; Tasa de crecimiento poblacional; Inversión; Gasto público; TIC (teledensidad e internet).</p>	<p>1. Modelo de efectos fijos: a) los países con alto PIB per cápita tienden a crecer a un ritmo más lento y b) la teledensidad contribuye positiva y significativamente al crecimiento del producto en 0.000319.</p> <p>2. Modelo de efectos aleatorios: a) las economías con altas tasas de PIB per cápita muestran una tendencia de crecimiento más lenta, b) la tasa poblacional por arriba de la óptima indica asociación negativa sobre el crecimiento económico, c) ante un aumento del nivel de teledensidad, se espera que el PIB crezca en 0.00339.</p> <p>3. Existe causalidad bidireccional entre el PIB y la teledensidad: PIB causa Teledensidad ($F=2.0531$, $p=0.152$) Teledensidad causa PIB ($F=6.338$, $p=0.012$).</p> <p>4. La inversión en telecomunicaciones muestra rendimientos crecientes a escala debido a que la mayoría de los países están en constante desarrollo y despliegue de infraestructura en telecomunicaciones.</p> <p>5. La política pública debe orientarse a proporcionar infraestructura en telecomunicaciones para obtener efectos positivos en el crecimiento económico.</p>
Majumdar, S. K., Carare O. y Changy H. (2009)	Probar que los aumentos en la productividad y en el crecimiento de la economía se correlacionan positivamente a nivel de la empresa y la industria con los niveles de capital de tecnologías de la información.	<p>Método: Información panel empleando modelo de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) y Método de Mínimos Cuadrados Corregidos (COLS).</p> <p>Muestra: 41 operadores de la industria de telecomunicaciones en Estados Unidos durante el periodo 1995 a 2000.</p> <p>Variables: Eficiencia productiva; Compensación que captura las diferencias en el capital humano; Cliente asociada con gastos operativos del cliente e ingresos</p>	<p>1. Existe relación positiva entre el despliegue de banda ancha y la productividad de los operadores de la industria de telecomunicaciones.</p> <p>2. Banda ancha como tecnología que genera ganancias en eficiencia en las empresas y catalizadora de transferencia tecnológica.</p> <p>3. La introducción de la Ley de Telecomunicaciones en 1996 impulsó la productividad de la industria de telecomunicaciones.</p> <p>4. El puntaje promedio de eficiencia productiva de las empresas que conforman la industria fue de 0.837.</p> <p>5. El parámetro de eficiencia</p>

		operativos totales; Corporativos relacionada con actividades de planeación e I + D; Competidores; Interruptores que significa la participación del mercado; Tiempo que captura influencia exógenas; TIC (banda ancha, llamadas por línea).	productiva promedio en una escala del 0 al 1 fue de 0.831 para las empresas que mostraron descenso en la productividad; 0.845 para empresas con crecimiento neutral y 0.837 para empresas que señalaron un crecimiento positivo de la eficiencia productiva.
Lam, Pun-Lee y Shiu, S. (2010)	Estudiar las relaciones entre las telecomunicaciones, el crecimiento de la productividad del sector de las telecomunicaciones y el crecimiento económico.	Método: Análisis dinámico mediante el Método de los Momentos Generalizados (GMM) utilizando una especificación panel y Análisis envolvente como método no paramétrico. Muestra: 105 países durante el periodo 1980 a 2006. Variables: PIB; TIC (capital, trabajadores, suscripciones a telefonía fija y móvil).	1. Existe relación bidireccional entre el PIB y el desarrollo de las telecomunicaciones para países con ingresos altos ($H_1=3.18$, $H_2=4.71$). 2. Encuentran relación unidireccional entre el PIB y las telecomunicaciones para países de ingresos medios y bajos [medio-bajo ($H_1=3.37$, $H_2=23.91$); ingresos bajos ($H_1=2.85$, $H_2= 6.00$)]. 3. Se cumple la suposición de la ventaja del atraso. Los resultados exhiben que las economías con ingresos bajos experimentan mayor crecimiento de la PTF en comparación de países de ingresos medios y altos ($t=0.0774$, $p=0.0247$). 4. Una estrategia de política coadyuva al crecimiento de la productividad en el sector de las telecomunicaciones.
Papastathopoulos, A. and Beneki, C. (2010)	Examinar empíricamente las nuevas formas organizativas que surgen del uso de todas las TIC.	Método: Análisis de Varianza Bidireccional (ANOVA). Muestra: 54 pymes griegas. Variables: TIC (tecnologías de identificación y captura de datos y tecnologías telemáticas; internet; correo electrónico; sitio web básico: sin comercio electrónico o actividades de comercio electrónico; sistemas de procesamiento de transacciones - TPS; redes de área local).	1. Existe evidencia de una relación significativa entre las inversiones en TIC con las nuevas formas organizativas TIC y estrategia para la adopción de las TIC. 2. Las formas organizativas mostraron contribuir al modelo ($F(2,40) = 4.929$, $p = 0.012$). 3. La estrategia de configuración indicó que no coadyuvan al modelo ($F(1,40) = 0.4$, $p = 0.53$); sin embargo, la interacción entre la inversión TIC registrada con las formas organizativas TIC y la estrategia TIC fue estadísticamente significativa ($F(2,40) = 11.165$, $p < 0.001$). 4. La introducción TIC posibilita a las empresas obtener nuevas oportunidades y soluciones para resolver sus problemas cotidianos. 5. Las TIC son motor clave de la estructura organizacional de las firmas.

<p>Alderete María y Gutiérrez Luis (2012)</p>	<p>Analizar los determinantes de la productividad laboral de las empresas de servicios de Colombia en el año 2008 con especial énfasis en el capital TIC y usos de las TIC.</p>	<p>Método: Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) corrigiendo los errores por método clúster a nivel de regiones.</p> <p>Muestra: empresas de la industria de servicios para el año 2008 (Encuesta Anual de Servicio del Departamento Nacional de Estadísticas).</p> <p>Variables: Valor agregado por trabajador (ingresos netos operacionales por trabajador empleado); Tamaño de la empresa; Capital TIC; Internet; Antigüedad de las empresas; Capital extranjero de las empresas; Educación de los trabajadores (proxy salarios y prestaciones por cada empresa); Tipo de servicio.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. La inversión en capital fijo TIC fomenta la productividad de las industrias de servicios. 2. Un aumento en el capital TIC por trabajador aumenta la productividad laboral en un 7.73 %. 3. El capital humano posee relación positiva y significativa con la productividad laboral; por lo que las empresas deben emprender programas de capacitación al trabajador para generar capacidades de absorción. 4. Ante un aumento en el capital no TIC la productividad se eleva entre un 14 % y un 18 %. 5. El incremento de la productividad del 3 % y 8 % es generada por un aumento en componentes TIC, a saber: internet, website y extranet. 6. La productividad laboral incrementa entre el 8 % y el 14 % en virtud un aumento en el capital extranjero.
<p>Shakeel, M., Ghafoor, R. y Malik, H. (2012)</p>	<p>Investigar la relación entre el crecimiento económico y el desarrollo en el sector de las telecomunicaciones en Pakistán.</p>	<p>Método: Modelo de regresión simple y estadística básica (encuestas).</p> <p>Muestra: 113 agentes.</p> <p>Variables: PIB, IED; TIC (telecomunicaciones móviles).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las telecomunicaciones tienen un rol importante en el crecimiento económico de Pakistán. 2. La IED indica efecto positivo y significativo en el crecimiento económico de Pakistán. 3. Existe fuerte relación entre el crecimiento económico y las telecomunicaciones. 4. Inversión Extranjera Directa resulta necesaria para conformar la infraestructura en telecomunicaciones.
<p>Chen, W., Niebel, T. y Saam, M. (2016)</p>	<p>Analizar la importancia cuantitativa del capital TIC sobre el crecimiento de la productividad laboral.</p>	<p>Método: Estimación de una función de producción mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios (efectos fijos).</p> <p>Muestra: 10 países durante el periodo 1995-2007.</p> <p>Variables: Valor agregado; capital no TIC; capital TIC (indicador de intensidad aproximado de las TIC); Trabajo y Capital intangible.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El capital también se identifica como un importante impulsor del crecimiento de la productividad laboral. 2. Una industria con intensidad media en TIC genera cambios porcentuales en su producto alrededor del 17.4 %. 3. El capital intangible contribuye al crecimiento de la productividad; encontrando que en industrias intensivas en TIC la productividad laboral tiende a crecer más. 4. La diferencia en el crecimiento de la productividad de una industria de acumulación lenta de capital TIC versus una con intensidad TIC será del 0.677 %.

<p>Hofman, A., Aravena, C. y Aliaga, V. (2016)</p>	<p>Verificar si la contribución de las tecnologías de la información y comunicación al crecimiento económico y la productividad se cumplen para América Latina.</p>	<p>Método: Elaboración de una función de producción. Muestra: 18 países durante 1990–2013. Variables: PIB per cápita; Acervos de capital; Formación Bruta de Capital Fijo; Trabajadores; capital TIC.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Relación causal entre la productividad y el capital TIC. 2. En América Latina el capital TIC representa el 6 %. 3. El capital TIC es el principal determinante de la brecha en la productividad laboral del América Latina con respecto a Estados Unidos. 4. La falta de capital TIC causa niveles bajos de productividad laboral.
<p>Castaldo, A., Fiorini, A., & Maggi, B. (2018)</p>	<p>Estimar el impacto de la difusión de banda ancha fija como determinante tecnológico de crecimiento económico.</p>	<p>Método: Información panel utilizando modelo dinámico mediante Variables Instrumentales y Método de Momentos Generalizados. Muestra: 23 países durante 1996-2010. Variables: PIB por trabajador; Capital Humano calificado; Formación Bruta de Capital Fijo como proporción del PIB; TIC (suscriptores de banda ancha fija, suscripciones a telefonía móvil; suscripciones a la red vía cable).</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Correlación positiva entre la banda ancha y el crecimiento económico. 2. La penetración de banda ancha es un componente tecnológico que permite aumentar la eficiencia de asignación, por lo cual afirman que la banda ancha es el determinante más efectivo del crecimiento económico. 3. El impacto sobre el PIB ante un aumento porcentual de la banda ancha es del 0.402 %. 4. La Formación Bruta de Capital y el Capital Humano muestran asociación positiva con el crecimiento económico; por tanto, ante un aumento del 1 % en las primeras variables, el producto crecerá en 0.179 % y 0.040 %, respectivamente. 5. La intervención pública (marcos regulatorios, competencia y política industrial) influyen en la difusión de la banda ancha.
<p>Díaz Rodríguez Héctor Eduardo, Sosa Castro Magnolia Miriam y Cabello Rosales Alejandra (2018)</p>	<p>Analizar los determinantes del uso diferenciado de TIC a nivel subsectorial en México.</p>	<p>Método: Análisis factorial, Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) para sección cruzada y de conglomerado. Muestra: 78 subsectores con datos de la Encuesta sobre Tecnologías de la Información y Comunicación (ENTIC). Variables: Productividad laboral; TIC (porcentaje de empresas por subsector que usan línea fija, porcentaje de empresas por subsector que usan línea móvil, porcentaje de empresas por subsector que usan internet, porcentaje de empresas por subsector que usan computadora,</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. La escolaridad y la experiencia de los trabajadores son determinantes del uso y aprovechamiento de las TIC. 2. El 39.29 % explica el uso TIC por parte de las empresas al asociarlo con la escolaridad y experiencia del personal. 3. El 13.70 % representa la inversión, capital humano TIC y acceso a infraestructura en las empresas. 4. El 10.05 % es justificado por las capacidades de innovación de las empresas. 5. La diferencia en la productividad a nivel sectorial yace en la capacidad de las empresas en adaptar y combinar tecnologías TIC

		<p>porcentaje de empresas por subsector que usan software, porcentaje de empresas por subsector que usan nube); Uso y aprovechamiento TIC (índice de usos de internet, índice de usos de software, índice de uso de nube, porcentaje de empresas por subsector que tuvieron proyectos, porcentaje de empresas por de innovación); Capacidades (remuneraciones, porcentaje de empresas que cuentan con departamento de sistemas, porcentaje de empresas que capacitan a su personal).</p>	<p>con educación, experiencia y capacidades de absorción; así como en la innovación de productos y procesos con uso intensivo TIC. 6. La mano de obra calificada, inserción tecnológica TIC muestran asociación positiva y significativa con la productividad, de tal manera que las TIC son razón de ganancias en productividad.</p>
<p>Majeed, M.T. y Ayub, T. (2018)</p>	<p>Encontrar relación positiva y significativa entre los indicadores TIC y el crecimiento económico a nivel mundial y regional.</p>	<p>Método: Mínimos Cuadrados Ordinarios, Mínimos Cuadrados Ordinarios Agrupados, Mínimos Cuadrados de dos etapas, Método de Momentos Generalizados y estructura de datos panel.</p> <p>Muestra: 149 países para el periodo 1980 a 2015.</p> <p>VARIABLES: PIB; PIB per cápita; Fuerza de trabajo; Formación Bruta de Capital Físico; Índice de capital humano; Tasa de inflación; gasto en I + D; Uso de energía; TIC (suscripciones a telefonía fija, suscripciones de telefonía móvil, suscripciones de banda ancha fija, porcentaje de personas que utilizan Internet, infraestructura en telecomunicaciones, Índice de servicios en línea, Índice de gobierno electrónico)</p>	<p>1. Existe relación positiva y significativa entre las TIC y el crecimiento económico; por lo que el servicio en línea (2.301), uso de banda ancha (0.0464), Internet (0.0351), telefonía fija (0.0271), telefonía móvil (0.0199), la infraestructura de telecomunicaciones (2.449) y el gobierno electrónico (3.710) impulsan el crecimiento del PIB.</p> <p>2. Las TIC permiten dar un "salto" hacia nuevos mercados.</p> <p>3. El capital humano, capital físico y la fuerza laboral son factores que contribuyen al crecimiento económico.</p> <p>4. La contribución sobre el PIB, para el caso de economías desarrolladas, está catalizado por la telefonía móvil (0.0024), los usuarios de internet (0.0071), la telefonía fija (0.0099), la banda ancha fija (0.0101), la infraestructura en telecomunicaciones (1.263), los servicios en línea (0.577) y el gobierno electrónico (1.678).</p> <p>5. En cuanto a países en desarrollo, la telefonía móvil (0.0063), los usuarios de internet (0.0211), la telefonía fija (0.039), la banda ancha fija (0.054), la infraestructura en telecomunicaciones (3.152), los servicios en línea (1.637) y el gobierno electrónico (3.219) coadyuvan al crecimiento económico.</p>

<p>Pradhan, R., Mallik, G. y Bagchi, T. (2018)</p>	<p>Examinar las relaciones de largo plazo presentes entre PIB real per cápita y la infraestructura de tecnologías de la información y la comunicación.</p>	<p>Método: Análisis de cointegración para panel y un modelo panel de corrección de error.</p> <p>Muestra: 20 países durante 2001-2012.</p> <p>Variables: PIB per cápita; Índice de Precios al Consumidor; Capital Humano (tasa de participación laboral); Formación Bruta de Capital Fijo; TIC (usuarios de internet y adopción de banda ancha fija).</p>	<p>1. El crecimiento económico se explica por la infraestructura TIC en banda ancha (0.008) e internet (0.023); el índice de precios al consumidor (0.214); la participación en la fuerza laboral (0.466) y por la formación bruta de capital fijo (0.223).</p> <p>2. Existe relación de largo plazo y causalidad entre el conjunto de variables que conforman el sistema.</p>
<p>Toader, E., Firtescu, B., Roman, A. y Anton, S. (2018)</p>	<p>Identificar y evaluar el efecto del uso de la infraestructura de las TIC en el crecimiento económico de los países de la Unión Europea.</p>	<p>Método: Estructura panel empleando Mínimos Cuadrados Generalizados.</p> <p>Muestra: países de la Unión Europea para el periodo 2000-2017.</p> <p>Variables: PIB per cápita; Formación Bruta de Capital Fijo; Tasa de inflación; Tasa de desempleo; Apertura Comercial; Inversión Extranjera Directa; Gasto de consumo final del gobierno; Nivel de desarrollo financiero; TIC (suscripciones de banda ancha fija, porcentaje de hogares con conexión a Internet de banda ancha a través de la computadora del hogar, porcentaje de personas que utilizan Internet y suscripciones de telefonía celular móvil).</p>	<p>1. Efecto positivo del uso de la infraestructura de las TIC en el crecimiento económico; de modo que las TIC son motor importante del crecimiento.</p> <p>2. Un aumento del 1 % de las suscripciones de banda ancha fija y suscripciones de telefonía móvil, el PIB crece en 0.0767 % y 0.396 %, respectivamente.</p> <p>3. Existe relación positiva y significativa entre la apertura comercial y el crecimiento económico. A tal efecto, un incremento del 1 % en el grado de apertura comercial el PIB crecerá entre 0.475 % y 0.686 %.</p> <p>4. El gasto del gobierno muestra significancia estadística, de tal manera que un aumento del 1 por ciento en el gasto del gobierno, el PIB crece entre 0.232 % y 0.433 %.</p>
<p>Díaz Rodríguez y Aroche Reyes (2020)</p>	<p>Entender las razones por las cuales la adopción de TIC y su uso creciente no han producido efectos positivos en la productividad en México.</p>	<p>Método: Análisis factorial, Componentes principales y Redes neuronales artificiales.</p> <p>Muestra: 6,468 empresas representativas de 157, 611 organizaciones con diez empleados o más; clasificada en 76 subsectores (Encuesta sobre Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, ENTIC).</p> <p>Variables: Productividad laboral; 34 variables sobre el uso de TIC (ENTIC).</p>	<p>1. Las capacidades académicas y organizacionales, y el sector externo determinan la contribución de las TIC sobre la productividad laboral de México.</p> <p>2. Análisis factorial y de componentes principales, 4 grupos de elementos TIC que explican el 54 % de la productividad, a saber: tecnología-infraestructura TIC (25 %); capacidades-capital humano (14 %); innovación de productos y procesos (8 %) y software (7 %).</p> <p>3. Las exportaciones por empleado (0.238), capacidades de los trabajadores (0.146), disponibilidad y uso TIC (0.142), la innovación (0.133) y adopción de software (0.132) contribuyen a la productividad laboral de México.</p>

			<p>4. Diseñar política de largo plazo para el desarrollo de las capacidad de los trabajadores; de modo que las políticas gubernamentales deben complementar las políticas de capacitación laboral en el uso de herramientas TIC.</p> <p>5. Fomentar el uso TIC, principalmente, en aquellas actividades económicas consideradas como estratégicas.</p>
Maneejuk, P. y Yamaka, W. (2020)	Examinar en qué medida la tecnología y la innovación de las telecomunicaciones han ayudado a mejorar el crecimiento económico de los países desarrollados y en desarrollo.	<p>Método: Estructura panel y de series de tiempo; modelo de regresión kink y modelo de efectos fijos.</p> <p>Muestra: 10 países para el periodo 1995-2007.</p> <p>VARIABLES: PIB; patentes (solicitudes); gasto en I + D; exportaciones de alta tecnología; matriculación en educación a nivel terciario; mano de obra; capital; TIC (suscripciones de telefonía fija, suscripciones de telefonía móvil, suscripciones de banda ancha fija, porcentaje de personas que utilizan Internet).</p>	<p>1. Existe asociación positiva entre las suscripciones de telefonía fija y las exportaciones de alta tecnología sobre el crecimiento económico; por lo que el PIB aumenta entre 0.878 % y 0.701 % asociado con un incremento porcentual de la telefonía fija, y el 0.038 % en relación con el aumento del 1 % de las exportaciones para países en desarrollo. Para el caso de economías desarrolladas, dado un aumento del 1 % en las exportaciones la contribución al crecimiento del producto es del 0.003 %.</p> <p>2. El impacto sobre el crecimiento económico aumenta en 1.72 % y 0.103 % ante un incremento del 1 % en las suscripciones móviles y las solicitudes de patentes para economías en desarrollo.</p> <p>3. En cuanto a países desarrollados, el aumento del 1 % en infraestructura de banda ancha impulsa el 0.522 % del producto.</p> <p>4. Existe efecto de torcedura en la asociación entre el desarrollo de las telecomunicaciones y el crecimiento económico para países desarrollados y en desarrollo.</p> <p>5. Las telecomunicaciones y la innovación tienen mayor impacto en economías en desarrollo que en las desarrolladas.</p>
Mayer, W., Madden, G. y Wu, C. (2020)	Investigar el impacto de la velocidad de banda ancha y su interacción con la penetración en el crecimiento.	<p>Método: Modelo de umbral de datos panel dinámico con efectos fijos, Modelo Autorregresivo y Modelo de Momentos Generalizados.</p> <p>Muestra: 29 países durante 2008:1 a 2012:4.</p> <p>VARIABLES: PIB per cápita; Formación Bruta de Capital; Índice</p>	<p>1. La penetración de banda ancha es estadísticamente significativa y coadyuva (1.69) al crecimiento económico.</p> <p>2. Países con mayor respuesta a la velocidad de banda ancha: Hungría, México, Polonia, Portugal, República Eslovaca y Turquía.</p> <p>3. Un aumento del 10 % en la velocidad de banda ancha, aumenta</p>

		<p>de educación como capital humano; tasa de crecimiento de la fuerza laboral como mano de obra; Índice de precios de las acciones como sistema financiero; TIC (infraestructura en banda ancha, penetración de banda ancha, periodo de uso de banda ancha y la velocidad de banda ancha).</p>	<p>el PIB en un rango de 0.04 % para México y 0.020 % para Suecia. Asimismo, para lograr un aumento del 0.5 % en el PIB, se requerirá un aumento del 27 % en la velocidad de banda ancha para México y del 96 % de aumento para Suecia. 4. La banda ancha funge como factor impulsor de la penetración de las TIC, por lo que permite la transmisión de información y el conocimiento, en consecuencia, contribuye al crecimiento económico.</p>
<p>Gallardo, R., Whitacre, B., Kumar, I. y Upendram, S. (2021)</p>	<p>Comprender mejor el impacto de múltiples indicadores de banda ancha en la productividad laboral, incluidas medidas innovadoras más amplias de inclusión digital.</p>	<p>Método: Método de emparejamiento, Método de regresión espacial, Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) y coincidencia exacta aproximada.</p> <p>Muestra: a nivel de condado de los Estados Unidos, periodo 2013 a 2017.</p> <p>Variables: PIB por trabajador (como medida de productividad); Población; Diversidad industrial y étnica; Dependencia de la industria; Tasa de desempleo; Nivel educativo; TIC (porcentaje de hogares sin acceso a Internet, porcentaje de la población que no utiliza Internet a una velocidad mínima de 25 Mbps, puntaje del índice de brecha digital, indicador ficticio que indica si un condado está clasificado como en apuros digitales y porcentaje de la población con acceso a banda ancha fija).</p>	<p>1. La adopción digital exhibe un impacto positivo mayor asociado con la productividad laboral en comparación con las medidas centradas en la velocidad o la disponibilidad. 2. Existen diferencias geográficas en la relación entre productividad y diferentes métricas de banda ancha. 3. Significancia estadística al nivel de $p < 0.05$: porcentaje de la población que no utiliza Internet a una velocidad mínima de 25 Mbps, índice de brecha digital, condado en apuros digitales y el índice de brecha digital. 4. Aquellos condados con un alto porcentaje de hogares en dificultades digitales poseen un impacto menor en la productividad. 5. Las variables porcentaje de hogares sin acceso a Internet, índice de brecha digital y condado en apuros digitales muestran signo negativo y significancia estadística, lo cual indica que a menor tecnología en telecomunicaciones menores ganancias en eficiencia.</p>

Apéndice D

Cuadro D1. Actividad económica: 1994-2020

País	Producto Interno Bruto			Producto Interno Bruto per cápita			Productividad multifactorial ^{1/}			Formación Bruta de Capital						Exportaciones de bienes y servicios			Importaciones de bienes y servicios		
	1994-2000 ^T	2000-2010 ^T	2010-2020 ^T	1994-2000 ^T	2000-2010 ^T	2010-2020 ^T	1994-2000 ^T	2000-2010 ^T	2010-2020 ^T	1994-2000 ^T	2000-2010 ^T	2010-2020 ^T	1994-2000 ^P	2000-2010 ^P	2010-2020 ^P	1994-2000 ^T	2000-2010 ^T	2010-2020 ^T	1994-2000 ^T	2000-2010 ^T	2010-2020 ^T
Alemania	1.8	0.9	1.1	1.7	0.9	0.9	0.6	0.2	0.7	1.8	-0.7	1.2	24.0	20.9	20.7	8.5	5.0	2.3	8.2	3.9	2.7
Austria	2.9	1.5	0.6	2.8	1.1	0.0	0.9	0.3	0.2	2.9	0.1	2.1	26.2	24.1	24.4	8.4	3.9	1.9	6.2	3.3	2.0
Canadá	3.8	1.9	1.3	3.0	1.9	0.3	0.7	-0.3	0.5	5.7	3.4	0.2	20.2	22.0	23.7	8.7	-0.6	1.7	7.8	2.8	1.1
Corea del Sur	6.4	4.7	2.6	5.5	4.1	2.1	1.7	1.9	0.5	3.8	3.6	2.5	35.1	32.2	31.2	15.9	9.6	3.4	8.6	7.7	3.1
España	3.9	2.1	-0.1	3.4	0.7	-0.3	-0.4	-0.5	0.1	7.3	0.6	-0.2	23.6	27.3	19.6	10.0	2.3	1.4	11.4	2.5	0.2
Estados Unidos	4.0	1.8	1.6	2.8	0.8	0.9	0.8	0.7	0.4	7.1	0.0	3.3	22.4	21.7	20.4	7.4	3.7	1.0	10.9	2.9	2.0
Finlandia	5.0	1.8	0.6	4.7	1.4	0.3	2.4	0.2	-0.1	8.9	0.8	1.4	21.6	23.4	23.3	10.8	2.8	1.5	9.1	3.7	1.9
Francia	2.8	1.3	0.4	2.3	0.6	0.0	1.2	-0.1	0.1	4.8	0.7	1.3	20.6	22.4	23.1	8.8	1.9	1.4	8.6	2.9	1.9
Irlanda	9.4	2.8	6.5	8.4	1.0	5.5	3.7	-0.2	1.1	14.8	0.0	15.8	21.6	25.4	28.9	18.2	5.1	10.0	17.9	4.4	9.8
Italia	2.2	0.3	-0.8	2.2	-0.1	-0.9	0.3	-1.1	-0.4	4.2	0.1	-2.1	19.8	21.2	18.2	5.4	1.0	1.0	7.1	1.8	-0.2
Japón	1.3	0.6	0.4	1.1	0.5	0.5	0.3	0.2	0.6	0.4	-2.1	1.4	30.1	25.7	24.7	5.3	4.7	1.1	5.1	2.1	2.0
Noruega	3.7	1.6	1.3	3.1	0.7	0.4	1.2	-0.3	-0.3	5.5	2.8	1.8	24.2	23.2	27.7	4.9	0.2	0.8	5.9	4.0	1.3
Reino Unido	3.3	1.4	0.8	3.0	0.8	0.2	1.1	0.2	0.1	4.5	0.6	1.3	18.4	17.5	17.1	7.2	2.7	1.2	8.4	3.5	1.1
Singapur	5.9	5.8	2.9	3.0	3.4	1.9	-2.0	1.1	-1.3	9.7	3.7	1.0	34.2	25.5	26.8	9.5	8.2	3.4	10.4	7.4	2.8
Suecia	3.6	2.2	1.7	3.5	1.6	0.6	2.0	1.0	0.7	5.5	2.3	2.6	21.2	22.8	24.2	9.6	3.3	2.8	8.5	2.8	2.9
Suiza	2.0	1.9	1.4	1.5	1.0	0.4	0.8	0.6	0.5	1.6	1.3	1.6	27.2	26.2	25.6	6.3	3.7	1.8	6.1	3.1	1.5
Argentina	1.7	3.4	-0.7	0.5	2.4	-1.8	-0.7	0.9	-1.6	-0.6	4.8	-2.6	19.3	17.0	16.9	8.8	5.0	-1.6	4.4	4.8	-1.4
Brasil	2.4	3.6	0.3	0.9	2.5	-0.6	-0.9	0.3	-1.9	5.2	3.6	-2.8	18.4	18.8	18.2	5.2	6.4	1.4	6.8	7.8	-1.1
Chile	5.2	4.1	2.1	3.9	3.2	0.9	0.3	-0.2	-0.4	6.3	7.2	0.0	25.6	22.0	23.2	8.6	4.1	0.8	9.0	9.2	1.0
China	9.0	10.6	6.8	8.0	9.9	6.3	-0.6	2.8	-0.6	6.9	14.4	6.8	36.3	40.2	44.6	14.4	12.7	5.2	13.5	15.1	5.8
Colombia	1.6	4.0	2.5	-0.1	2.7	1.3	-1.3	0.1	0.5	-8.2	9.7	1.6	20.3	20.2	22.1	5.9	3.7	0.9	-1.9	8.3	3.3
Grecia	3.4	1.8	-2.5	2.9	1.5	-2.2	0.9	0.0	-1.1	7.4	-1.1	-4.0	23.7	24.1	13.2	13.1	1.5	1.4	13.3	1.2	0.7
India	6.3	6.7	5.0	4.4	5.1	3.9	1.5	1.4	2.0	6.3	13.0	3.7	27.4	34.8	33.8	13.7	14.0	3.8	11.4	14.7	2.4
Indonesia	2.0	5.2	4.6	0.5	3.8	3.3	-3.2	1.1	1.4	-6.5	6.0	4.4	27.7	25.7	33.8	3.1	6.5	2.3	1.0	6.9	1.2
Malasia	5.6	4.6	4.0	3.0	2.6	2.6	-1.0	1.0	0.9	0.0	3.2	2.7	35.0	23.0	24.1	10.4	3.8	0.9	7.4	4.6	1.7
México	3.3	1.5	1.3	1.7	0.0	0.0	-0.2	-1.1	0.0	1.4	1.7	-1.1	22.8	22.3	22.5	11.5	3.5	3.8	11.0	2.9	2.3
Portugal	4.1	0.7	-0.2	3.6	0.5	0.1	-0.1	-0.2	0.2	7.4	-1.5	-1.1	26.3	24.1	17.3	7.0	3.0	2.7	8.8	2.3	1.7
Sudáfrica ²	2.8	3.5	0.6	1.1	2.1	-0.7	0.2	0.6	-1.5	3.4	6.3	-2.7	16.3	17.2	17.3	6.0	2.0	0.3	4.7	5.9	0.7
Tailandia	1.9	4.6	2.2	0.8	3.9	1.8	0.0	1.8	2.5	-10.3	5.9	2.1	31.9	25.0	24.6	9.0	6.3	0.3	3.5	6.9	0.7
Turquía	4.7	4.0	5.2	3.1	2.6	3.6	0.1	-0.3	0.3	6.2	6.4	5.6	23.6	24.8	28.9	11.0	5.5	4.9	14.9	6.0	3.5

Fuente: elaboración del autor con datos del Banco Mundial, OCDE, UNCTAD y PWT.
T/ tasa de crecimiento promedio anual; P/ promedio; 1/ periodo 1994-2019.

continua pág. 149

Cuadro D1. Actividad económica: 1994-2020

País	Inversión extranjera directa			Índice de capital humano ¹			Horas trabajadas anuales ²			Gasto en Investigación y Desarrollo			Patentes triádicas			Número de Investigadores		
	1994-2000 ^T	2000-2010 ^T	2010-2020 ^T	1994-2000 ^T	2000-2010 ^T	2010-2020 ^T	1994-2000 ^T	2000-2010 ^T	2010-2020 ^T	1994-2000 ^P	2000-2010 ^P	2010-2020 ^P	1994-2000 ^P	2000-2010 ^P	2010-2020 ^P	1994-2000 ^P	2000-2010 ^P	2010-2020 ^P
Alemania	8.2	5.1	-0.6	0.4	0.2	0.1	-0.8	-0.3	-0.3	2.2	2.5	3.0	5,883	6,463	4,767	241,231	283,454	388,085
Austria	11.6	15.4	0.2	0.5	0.5	0.3	0.0	-0.8	-0.3	1.7	2.3	3.0	260	362	381	18,715	30,647	44,478
Canadá	17.7	9.4	-0.6	0.6	0.4	0.2	0.0	-0.4	-0.1	1.7	1.9	1.7	499	666	614	94,102	135,159	162,484
Corea del Sur	17.7	9.7	5.2	1.2	0.8	0.9	-0.8	-1.5	-0.8	2.1	2.6	4.1	465	1,988	2,392	100,612	185,469	356,596
España	7.0	12.5	1.4	0.7	0.6	0.7	0.1	-0.3	-0.1	0.8	1.1	1.3	121	246	279	57,033	107,379	131,716
Estados Unidos	22.1	0.0	10.3	0.3	0.3	0.1	0.3	-0.6	0.2	2.5	2.6	2.9	13,838	15,342	13,379	883,140	1,118,235	1,365,909
Finlandia	22.2	11.2	-0.6	0.6	0.6	0.5	-0.2	-0.4	-0.3	2.7	3.4	3.1	412	324	268	-	40,450	39,039
Francia	0.2	10.8	2.6	0.3	0.6	0.6	-0.7	-0.1	-0.2	2.2	2.1	2.2	2,309	2,819	2,251	156,890	206,505	280,961
Irlanda	17.9	6.2	14.9	0.5	0.6	0.6	-0.3	-1.2	0.3	1.2	1.2	1.4	44	78	94	6,945	11,565	22,113
Italia	10.6	8.1	2.3	0.8	0.8	0.6	0.0	-0.4	-0.3	1.0	1.1	1.3	706	840	825	69,994	82,850	129,932
Japón	15.4	13.2	-0.4	0.5	0.4	0.3	-0.4	-0.4	-0.5	2.7	3.1	3.2	12,008	18,433	18,052	613,591	658,892	668,748
Noruega	9.0	16.9	-3.4	0.4	0.7	0.3	-0.5	-0.4	-0.1	1.6	1.6	1.9	103	122	122	17,239	23,036	31,072
Reino Unido	13.1	7.0	5.7	0.9	0.5	0.2	-0.3	-0.3	0.1	1.6	1.6	1.6	1,821	2,029	1,688	152,263	228,765	279,981
Singapur	10.5	16.6	9.5	2.7	1.2	4.0	0.5	-0.4	-0.6	1.5	2.1	2.0	43	128	128	10,522	23,581	37,141
Suecia	24.6	11.8	-0.2	0.1	0.5	0.3	0.1	0.0	-0.2	3.3	3.4	3.3	854	817	709	36,821	49,594	65,658
Suiza	11.1	17.9	7.2	0.2	0.3	0.2	-0.3	-0.5	-0.4	2.3	2.5	3.0	832	1,036	1,164	24,105	25,549	42,874
Argentina	18.1	0.3	-1.7	0.3	0.6	1.0	-0.1	-0.6	-0.9	0.4	0.4	0.6	7	11	11	25,662	33,678	51,855
Brasil	8.8	18.2	-2.2	1.9	1.9	2.5	-0.2	-0.4	-0.3	1.0	1.1	1.2	26	67	69	-	-	-
Chile	11.5	11.1	3.7	0.6	0.7	0.6	-0.6	-0.9	-0.8	-	0.3	0.4	2	7	11	-	5,452	7,753
China	15.3	9.4	10.7	1.6	0.5	1.1	0.8	0.4	0.0	0.7	1.3	2.0	44	601	3,122	560,337	1,068,916	1,659,056
Colombia	12.0	19.7	8.1	1.2	1.0	1.0	-0.2	0.4	-0.4	0.1	0.2	0.3	2	3	5	-	-	-
Grecia	4.2	7.3	2.3	0.7	0.8	0.7	0.0	-0.4	0.1	0.5	0.6	1.0	8	15	16	11,806	18,103	32,526
India	27.1	26.2	7.1	2.1	1.0	1.1	0.1	0.1	0.1	0.7	0.8	0.7	29	206	422	-	-	-
Indonesia	5.7	17.9	2.4	1.4	1.0	-0.6	0.4	0.4	-0.2	0.1	0.1	0.2	2	3	3	-	-	-
Malasia	12.9	4.6	3.8	1.3	1.1	0.7	0.0	-0.1	-0.1	0.4	0.7	1.2	6	22	22	-	-	-
México	22.0	9.0	3.6	1.0	0.7	0.7	0.2	-0.1	-0.1	0.3	0.4	0.4	10	17	23	20,086	36,503	36,986
Portugal	10.2	11.1	2.5	1.5	0.5	0.7	0.5	-0.1	-0.2	0.6	1.0	1.4	5	17	36	13,626	26,372	43,636
Sudáfrica	20.8	12.9	-4.3	0.9	1.8	1.7	-	-0.7	-0.2	0.6	0.8	0.8	33	40	29	8,533	17,702	23,808
Tailandia	10.1	13.8	5.1	0.9	1.3	1.1	-0.7	-0.6	-1.1	0.2	0.2	0.6	4	9	24	-	-	-
Turquía	3.2	23.3	-0.5	1.3	1.0	1.4	0.4	-0.3	-0.2	0.4	0.6	0.9	4	17	51	18,483	40,245	101,456

Fuente: elaboración del autor con datos del Banco Mundial, OCDE, UNCTAD y PWT.

T/ tasa de crecimiento promedio anual; P/ promedio; 1/ periodo 1994-2019; 2/ horas trabajadas en Sudáfrica durante el periodo 2001-2019.

Cuadro D2. Indicadores de profundización TIC

País	Suscripciones a telefonía fija		Suscripciones a telefonía móvil		Suscripciones banda ancha fija		Suscripciones banda ancha móvil		Porcentaje de individuos que usan internet			Inversión TIC ¹		Patentes TIC ²		
	2000-2010 ^{P/H}	2010-2020 ^{P/H}	2000-2010 ^{P/H}	2010-2020 ^{P/H}	2000-2010 ^{P/H}	2010-2020 ^{P/H}	2000-2010 ^{P/H}	2010-2020 ^{P/H}	1994-2000 ^P	2000-2010 ^P	2010-2020 ^P	2000-2010 ^P	2010-2020 ^P	1994-2000 ^P	2000-2010 ^P	2010-2020 ^P
Alemania	65	56	96	122	15	38	19	64	10	62	85	9,988.3	9,248.2	2,386	3,972	3,572
Austria	44	41	107	139	13	27	20	76	13	56	83	1,282.6	756.4	87	231	338
Canadá	60	44	52	83	20	36	29	59	20	69	89	7,092.4	9,026.9	515	1,171	1,178
Corea del Sur	51	55	79	118	25	39	85	108	12	71	90	7,176.6	5,746.7	2,434	8,697	11,269
España	43	42	93	112	11	29	17	75	4	43	79	8,155.7	6,172.1	43	145	184
Estados Unidos	59	39	68	107	16	32	37	114	23	64	80	93,771.9	85,577.2	9,112	13,403	14,482
Finlandia	41	11	107	141	18	31	55	131	21	70	89	-	690.0	480	671	542
Francia	58	61	77	103	16	41	23	72	6	47	81	9,263.2	9,923.3	1,159	1,920	1,934
Irlanda	49	41	96	105	12	27	49	85	6	45	82	746.0	651.2	49	95	138
Italia	43	35	122	147	11	25	23	72	7	36	62	10,242.5	8,422.9	326	494	418
Japón	46	50	75	126	16	30	82	143	12	61	88	27,286.7	13,633.2	13,564	24,053	21,812
Noruega	45	19	97	111	19	39	67	93	23	79	96	618.6	1,051.8	40	86	99
Reino Unido	56	50	103	119	15	37	39	83	11	64	90	16,734.0	1,936.3	1,133	1,689	1,703
Singapur	43	36	106	149	15	27	66	137	15	58	82	-	-	115	268	246
Suecia	61	34	99	125	21	36	73	115	23	78	92	672.1	1,580.4	535	723	1,050
Suiza	69	49	96	131	20	43	28	78	19	69	88	2,589.6	3,083.7	190	335	365
Argentina	23	22	67	141	4	16	5	47	2	21	67	-	-	3	9	10
Brasil	21	20	49	115	3	12	6	66	1	22	59	-	-	6	26	50
Chile	21	18	66	130	5	15	6	58	4	31	70	920.3	1,913.8	1	2	3
China	21	17	32	95	3	20	1	53	0	13	51	-	-	68	2,361	10,967
Colombia	18	15	50	118	2	11	2	37	1	15	55	-	-	1	1	3
Grecia	53	50	94	116	8	31	19	55	3	26	64	1,716.7	1,011.0	4	15	20
India	4	2	17	77	0	1	0	18	0	3	18	-	-	21	203	850
Indonesia	8	8	31	125	0	2	10	51	0	5	26	-	-	1	3	6
Malasia	18	18	69	138	3	9	4	74	6	44	72	-	-	9	56	78
México	17	17	46	89	3	12	1	47	1	17	53	4,721.6	3,910.1	7	11	21
Portugal	41	46	103	115	10	30	22	53	7	34	67	1,391.3	947.9	2	11	20
Sudáfrica	10	7	61	144	1	2	17	58	2	9	51	-	-	15	26	30
Tailandia	10	9	55	151	2	10	0	60	1	14	43	-	-	1	6	9
Turquía	27	16	62	93	4	13	7	49	1	20	57	2,720.0	3,115.0	2	18	64

Fuente: elaboración del autor con datos del Banco Mundial, OCDE, UNCTAD y UIT.

H/promedio por cada 100 habitantes, periodo 2000-2020, P/ promedio, 1/ periodo 2000-2018; 2/ 1994-2018.

continúa pág. 151

Cuadro D2. Indicadores de profundización TIC

País	Servicios digitales ³				Bienes TIC ^{3/4}				Servicios TIC ^{3/4}				Valor agregado TIC ⁵		Trabajadores TIC ⁵	
	X 2000- 2010 ^P	X 2010- 2020 ^P	M 2010 ^P	M 2010- 2020 ^P	X 2000- 2010 ^P	X 2010- 2020 ^P	M 2010 ^P	M 2010- 2020 ^P	X 2000- 2010 ^P	X 2010- 2020 ^P	M 2000- 2010 ^P	M 2010- 2020 ^P	2000-2010 ^P	2010-2020 ^P	2000-2010 ^P	2010-2020 ^P
Alemania	52.3	58.3	40.7	47.6	7.0	4.8	10.6	8.4	7.8	9.4	6.6	9.3	7.6	4.9	5	4
Austria	33.4	39.2	34.3	41.2	5.2	3.7	7.3	5.3	6.5	9.1	6.7	8.5	6.4	3.9	5	4
Canadá	55.9	58.6	45.3	47.8	4.1	2.1	9.4	7.4	8.7	8.7	3.4	4.2	5.6	-	4	-
Corea del Sur	23.6	33.4	34.2	40.0	28.3	22.4	15.8	13.4	1.1	2.6	1.2	1.8	12.9	-	8	-
España	30.0	33.7	49.2	53.3	3.4	1.5	7.3	5.1	-	9.3	-	9.1	7.1	6.3	4	4
Estados Unidos	56.7	60.3	47.0	53.9	14.2	9.3	14.2	13.5	3.4	4.5	6.0	7.1	5.1	-	4	-
Finlandia	55.9	65.7	56.4	56.6	16.8	3.2	12.9	7.0	13.9	31.8	9.4	11.5	12.7	6.2	9	7
Francia	46.0	52.0	50.1	52.8	6.5	4.0	8.6	6.5	-	6.6	-	7.8	8.6	4.7	6	5
Irlanda	87.1	88.6	88.9	92.6	22.5	6.9	23.4	8.6	39.6	44.8	2.1	1.8	10.3	-	7	-
Italia	40.3	42.8	49.5	49.6	3.0	1.9	7.0	5.4	7.6	8.0	8.0	9.2	8.0	3.5	5	4
Japón	47.6	54.2	40.7	55.3	16.5	8.7	13.2	12.0	1.2	2.4	2.6	6.1	12.4	8.8	7	6
Noruega	36.6	40.8	37.2	41.1	1.5	1.1	8.6	6.9	4.2	5.6	4.6	7.4	7.8	3.9	6	5
Reino Unido	73.3	74.5	44.3	52.5	11.6	4.3	12.2	8.0	5.1	6.2	4.6	5.4	10.5	9.7	6	6
Singapur	39.4	51.1	45.3	52.6	38.2	30.8	29.9	26.4	-	6.3	-	7.2	-	-	4	5
Suecia	56.1	65.5	48.4	54.2	10.8	7.1	11.2	9.9	15.5	19.3	8.2	10.5	10.6	6.3	8	7
Suiza	66.5	68.2	65.6	69.5	2.3	1.1	7.1	4.2	-	-	-	-	-	-	-	-
Argentina	39.6	47.3	34.9	38.2	0.3	0.1	9.7	8.5	8.9	13.1	5.6	6.4	-	-	-	-
Brasil	52.7	60.3	48.6	53.9	2.6	0.5	10.7	8.8	1.9	4.5	6.7	6.1	8.7	-	2	-
Chile	22.9	33.4	35.2	43.4	0.5	0.4	7.8	7.9	2.9	3.7	4.0	4.5	3.0	-	1	-
China	28.6	43.5	39.1	28.0	27.0	27.0	22.9	21.7	4.5	12.0	2.6	3.0	-	-	-	-
Colombia	20.5	21.5	35.4	42.3	0.2	0.2	10.3	9.6	6.7	4.7	4.1	5.4	-	5.2	-	-
Grecia	8.3	10.5	24.6	24.8	2.9	2.6	5.9	4.7	1.7	2.7	3.9	4.3	7.1	2.5	4	3
India	72.9	70.6	36.1	39.2	1.6	1.5	6.9	7.9	33.5	32.8	3.2	3.5	7.4	1.8	-	1
Indonesia	32.3	33.7	37.5	40.6	8.0	3.6	4.9	7.8	9.3	5.4	5.0	6.6	-	-	-	-
Malasia	20.8	28.3	32.1	37.9	42.6	30.9	35.6	24.9	5.5	6.6	5.6	7.1	12.6	-	7	-
México	14.1	15.8	27.3	31.3	19.9	16.3	17.5	16.6	2.5	0.8	0.8	0.6	4.3	3.5	2	2
Portugal	22.5	23.8	39.0	41.7	6.7	3.2	7.8	5.4	4.2	5.1	6.8	6.9	6.5	7.2	3	3
Sudáfrica	19.6	26.3	28.4	36.4	1.4	1.2	10.1	8.2	-	-	-	-	-	-	-	-
Tailandia	22.6	20.5	36.2	41.7	23.3	16.1	18.4	13.2	1.2	1.0	0.8	1.3	-	-	3	-
Turquía	5.6	10.5	24.8	39.0	3.3	1.5	6.0	4.8	1.7	2.0	1.5	5.0	-	4.4	-	2

Fuente: elaboración del autor con datos del Banco Mundial, OCDE, UNCTAD y UIT.

P/ promedio, T/ tasa de crecimiento promedio anual, 3/ 2005-2020, 4/ cifras como porcentaje del comercio total, 5/ cifras como porcentaje del sector empresarial, periodo 2003-2020.

Cuadro D3. Índice de restricción a la IED: sector TIC

Ámbito TIC	Comunicaciones					Dispositivos eléctricos, electrónicos y otros					Telecomunicaciones fijas					Telecomunicaciones móviles				
	Total	Capital accionario	Trabajadores extranjeros	Detección y aprobación	Otras restricciones	Total	Capital accionario	Trabajadores extranjeros	Detección y aprobación	Otras restricciones	Total	Capital accionario	Trabajadores extranjeros	Detección y aprobación	Otras restricciones	Total	Capital accionario	Trabajadores extranjeros	Detección y aprobación	Otras restricciones
Alemania	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Austria	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Canadá	59.8	42.9	7.5	9.4	0.0	10.4	0.0	1.0	9.4	0.0	59.8	42.9	7.5	9.4	0.0	59.8	42.9	7.5	9.4	0.0
Corea del Sur	42.3	37.1	0.5	1.1	3.6	1.8	0.0	0.0	1.1	0.7	42.3	37.1	0.5	1.1	3.6	42.3	37.1	0.5	1.1	3.6
España	2.4	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	2.4	0.0	0.0	0.0	2.4	2.4	0.0	0.0	0.0
Estados Unidos	11.0	0.0	0.0	10.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	2.0	20.0	0.0	0.0	20.0	0.0
Finlandia	3.0	0.0	1.4	0.0	1.6	3.0	0.0	1.4	0.0	1.6	3.0	0.0	1.4	0.0	1.6	3.0	0.0	1.4	0.0	1.6
Francia	3.2	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	3.2	0.0	0.0	0.0	3.2	3.2	0.0	0.0	0.0
Irlanda	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Italia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Japón	28.6	22.1	4.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.2	40.7	8.0	2.5	0.0	6.1	3.6	0.0	2.5	0.0
Noruega	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Reino Unido	1.3	0.0	1.1	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	1.3	0.0	1.1	0.0	0.2	1.3	0.0	1.1	0.0	0.2
Suecia	20.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	20.0	0.0	20.0	0.0	0.0	20.0	0.0
Suiza	1.6	0.0	1.6	0.0	0.0	1.6	0.0	1.6	0.0	0.0	1.6	0.0	1.6	0.0	0.0	1.6	0.0	1.6	0.0	0.0
Brasil	9.3	1.8	0.0	0.0	7.5	2.5	0.0	0.0	0.0	2.5	7.5	0.0	0.0	0.0	7.5	11.1	3.6	0.0	0.0	7.5
Chile	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
China	78.7	55.2	5.0	18.5	0.0	16.1	2.0	5.0	9.1	0.0	80.7	57.1	5.0	18.6	0.0	76.6	53.2	5.0	18.4	0.0
Colombia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Grecia	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2
India	32.1	14.3	6.4	11.4	0.0	2.8	0.0	0.0	2.8	0.0	32.1	14.3	6.4	11.4	0.0	32.1	14.3	6.4	11.4	0.0
Indonesia	45.0	35.0	5.0	0.0	5.0	11.8	1.8	5.0	0.0	5.0	47.5	37.5	5.0	0.0	5.0	42.5	32.5	5.0	0.0	5.0
México	20.7	10.7	0.0	10.0	0.0	10.0	0.0	0.0	10.0	0.0	31.4	21.4	0.0	10.0	0.0	10.0	0.0	0.0	10.0	0.0
Portugal	1.6	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	1.6	0.0	0.0	0.0	1.6	1.6	0.0	0.0	0.0
Sudáfrica	2.1	0.0	0.0	0.0	2.1	2.1	0.0	0.0	0.0	2.1	2.1	0.0	0.0	0.0	2.1	2.1	0.0	0.0	0.0	2.1

Fuente: elaboración del autor con datos de la OCDE.

Nota: a mayor ponderación menor competencia.

Apéndice E

Cuadro E1. Pruebas de raíz unitaria para panel

Variable	Fisher-ADF ^{1/}		Fisher-Phillips-Perron		I(d)
	Sin tendencia	Con tendencia	Sin tendencia	Con tendencia	
<i>Niveles</i>					
<i>lnpib</i>	80.389 [0.040]	53.805 [0.700]	150.639 [0.000]	45.253 [0.921]	I(1)
<i>lnptf</i>	54.884 [0.662]	51.065 [0.787]	53.146 [0.723]	48.969 [0.844]	I(1)
<i>lnied</i>	176.690 [0.000]	93.406 [0.003]	205.499 [0.000]	61.795 [0.411]	I(1)
<i>lnpat</i>	101.265 [0.000]	72.443 [0.130]	117.440 [0.000]	110.519 [0.000]	I(1)
<i>cr</i>	73.482 [0.113]	95.384 [0.002]	66.506 [0.263]	58.429 [0.533]	I(1)
<i>lnbaf</i>	247.889 [0.000]	297.651 [0.000]	1999.375 [0.000]	915.576 [0.000]	I(1)
<i>lnui</i>	200.621 [0.000]	200.854 [0.000]	396.997 [0.000]	222.541 [0.000]	I(1)
<i>lnictic</i>	87.094 [0.012]	41.486 [0.967]	71.667 [0.143]	56.811 [0.593]	I(1)
<i>Primeras diferencias</i>					
<i>d.lnpib</i>	97.544 [0.001]	86.376 [0.014]	242.226 [0.000]	207.268 [0.000]	I(0)
<i>d.lnptf</i>	97.421 [0.016]	138.394 [0.000]	286.195 [0.000]	245.201 [0.000]	I(0)
<i>d.lnied</i>	86.213 [0.014]	125.472 [0.000]	446.995 [0.000]	492.972 [0.000]	I(0)
<i>d.lnpat</i>	132.763 [0.000]	112.788 [0.000]	704.705 [0.000]	623.611 [0.000]	I(0)
<i>d.cr</i>	141.128 [0.000]	100.447 [0.000]	468.494 [0.000]	358.545 [0.000]	I(0)
<i>d.lnbaf</i>	303.549 [0.000]	297.280 [0.000]	839.264 [0.000]	611.009 [0.000]	I(0)
<i>d.lnui</i>	175.570 [0.000]	102.877 [0.000]	460.269 [0.000]	535.632 [0.000]	I(0)
<i>d.lnictic</i>	155.481 [0.000]	204.536 [0.000]	408.098 [0.000]	344.225 [0.000]	I(0)

Fuente: elaboración del autor.

Nota: 1/ H₀: todos los paneles tienen una raíz unitaria y H₁: al menos un panel es estacionario. Entre corchetes se encuentra el p-valor. La mayoría de las variables están expresadas en logaritmo natural, como excepción está el Índice de calidad regulatoria. "d." significa el operador de primera diferencia. pib: Producto Interno Bruto, ptf: Productividad Total de Factores; ied: Inversión Extranjera Directa; pat: Patentes triádicas; cr: Índice de calidad regulatoria; baf: suscripciones a banda ancha fija por cada 100 habitantes; ui: porcentaje de individuos que usan internet; ictic: índice comercial TIC (importaciones y exportaciones como porcentaje del comercio total de mercancías).

Cuadro E2. Productividad y contribución TIC, pruebas de cointegración.

Pedroni

<i>Estadístico</i>	<i>Muestra general</i>		<i>Desarrollados</i>		<i>En Desarrollo</i>	
	<i>Modelo 1</i>		<i>Modelo 2</i>		<i>Modelo 3</i>	
	<i>Panel</i>	<i>Grupo</i>	<i>Panel</i>	<i>Grupo</i>	<i>Panel</i>	<i>Grupo</i>
<i>v</i>	-4.355		-3.833		-1.955	
<i>rho</i>	7.388	9.09	5.251	6.665	4.934	6.094
<i>t</i>	-11.04	-16.09	-9.177	-10.02	-7.182	-11.52
<i>adf</i>	-2.534	1.012	-3.54	-0.01518	1.122	1.701

Fuente: elaboración del autor.

Nota: H₀: no existe cointegración y H₁: todos los paneles cointegran.**Cuadro E3. Crecimiento económico y participación TIC, pruebas de cointegración.**

Pedroni

<i>Estadístico</i>	<i>Muestra general</i>		<i>Desarrollados</i>		<i>En Desarrollo</i>	
	<i>Modelo 1</i>		<i>Modelo 2</i>		<i>Modelo 3</i>	
	<i>Panel</i>	<i>Grupo</i>	<i>Panel</i>	<i>Grupo</i>	<i>Panel</i>	<i>Grupo</i>
<i>v</i>	0.7951		2.019		0.158	
<i>rho</i>	8.074	10.16	5.411	6.821	5.537	6.815
<i>t</i>	-5.798	-5.903	-4.365	-7.695	-4.105	-2.646
<i>adf</i>	2.032	7.077	3.594	5.786	1.12	3.207

Fuente: elaboración del autor.

Nota: H₀: no existe cointegración y H₁: todos los paneles cointegran.

Apéndice F

Pruebas de diagnostico

Cuadro F1. Prueba de Hausman

Estadístico	Muestra general	Desarrollados	En Desarrollo
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Chi2 (4)	35.23	19.9	24.71
Prob>chi2	[0.0000]	[0.0029]	[0.0004]

Fuente: elaboración del autor.

H₀: La diferencia de los coeficientes no es sistemática

Cuadro F2. Prueba de heteroscedasticidad

Estadístico	Muestra general	Desarrollados	En Desarrollo
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Chi2 (4)	12835.23	1884.87	577.31
Prob>chi2	[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]

Fuente: elaboración del autor.

H₀: La varianza es constante para todo i

Cuadro F3. Prueba de autocorrelación

Estadístico	Muestra general	Desarrollados	En Desarrollo
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Chi2 (4)	103.41	47.61	208.4
Prob>chi2	[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]

Fuente: elaboración del autor.

H₀: No existe autocorrelación

Cuadro F4. Prueba de correlación contemporánea

Estadístico	Muestra general	Desarrollados	En Desarrollo
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Chi2 (4)	6.517	6.786	1.568
Prob>chi2	[0.0000]	[0.0000]	[0.1169]

Fuente: elaboración del autor.

H₀: Existe independencia transversal

Apéndice G

Cuadro G1. Productividad y contribución TIC

Variable	En Desarrollo	
	Modelo 4	
	$\Delta \ln PTF$	
Constante	0.1011	[0.007]*
IED	0.0627	[0.002]*
PAT	0.1414	[0.000]*
CR	0.0030	[0.000]*
BAF	-0.0020	[0.894]
UI	0.0951	[0.000]*
BCTIC	0.1593	[0.001]*
alfa	-0.0583	[0.003]*

Fuente: elaboración del autor con datos de la OCDE, UIT, Banco Mundial y PWT. Estimaciones basadas en el método Pooled Mean Group para panel.

Nota: Se excluye a China de la muestra; "*" y "***" indican significancia estadística al 5 % y 10 %, respectivamente; p-valor entre corchetes.

Cuadro G2. Productividad y contribución TIC, pruebas de cointegración.

Pedroni

Estadístico	En Desarrollo	
	Modelo 4	
	Panel	Grupo
v	-1.63	
ρ	4.542	5.72
t	-7.593	-11.95
adf	0.8421	2.082

Fuente: elaboración del autor.

Nota: H_0 : no existe cointegración y H_1 : todos los paneles cointegran.

Apéndice H

Cuadro H1. Ganancias en eficiencia y profundización TIC

Variable	En Desarrollo	
	Modelo 4	
	PTF	
Constante	4.3922	[0.000]*
IED	0.0147	[0.055]**
PAT	0.0018	[0.415]
CR	0.0413	[0.000]*
BAF	0.0011	[0.775]
UI	0.0213	[0.014]*
BCTIC	0.0044	[0.468]

Fuente: elaboración del autor con datos de la OCDE, UIT, Banco Mundial y PWT. Estimaciones basadas en el método de Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG) para panel.

Nota: Se excluye a China de la muestra; "*" y "**" indican significancia estadística al 5 % y 10 %, respectivamente; p-valor entre corchetes.

Cuadro H2. Prueba de Hausman

Estadístico	En Desarrollo
	Modelo 4
Chi2 (4)	21.86
Prob>chi2	[0.0013]

Fuente: elaboración del autor.

H₀: La diferencia de los coeficientes no es sistemática

Cuadro H3. Prueba de heteroscedasticidad

Estadístico	En Desarrollo
	Modelo 4
Chi2 (4)	545.82
Prob>chi2	[0.0000]

Fuente: elaboración del autor.

H₀: La varianza es constante para todo i

Cuadro H4. Prueba de autocorrelación

Estadístico	En Desarrollo
	Modelo 4
Chi2 (4)	202.39
Prob>chi2	[0.0000]

Fuente: elaboración del autor.

H₀: No existe autocorrelación

Cuadro H5. Prueba de correlación contemporánea

Estadístico	En Desarrollo
	Modelo 4
Chi2 (4)	1.615
Prob>chi2	[0.1062]

Fuente: elaboración del autor.

H₀: Existe independencia transversal



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

ACTA DE EXAMEN DE GRADO

No. 00228

Matricula: 2203801087

Efectos de las tecnologías de la información y comunicación en el crecimiento económico. Un estudio a nivel país 1994-2020.

En la Ciudad de México, se presentaron a las 17:00 horas del día 14 del mes de diciembre del año 2022 en la Unidad Iztapalapa de la Universidad Autónoma Metropolitana, los suscritos miembros del jurado:

DR. HERI OSCAR LANDA DIAZ
DR. EDUARDO MACARIO MOCTEZUMA NAVARRO
DR. JOSE LUIS ESTRADA LOPEZ



Bajo la Presidencia del primero y con carácter de Secretario el último, se reunieron para proceder al Examen de Grado cuya denominación aparece al margen, para la obtención del grado de:

MAESTRA EN ESTUDIOS SOCIALES (ECONOMIA SOCIAL)

DE: THALIA SILVA BARRON

THALIA SILVA BARRON
ALUMNA

y de acuerdo con el artículo 78 fracción III del Reglamento de Estudios Superiores de la Universidad Autónoma Metropolitana, los miembros del jurado resolvieron:

APROBAR

MTRA. ROSALIA SERRANO DE LA PAZ
DIRECTORA DE SISTEMAS ESCOLARES

Acto continuo, el presidente del jurado comunicó a la interesada el resultado de la evaluación y, en caso aprobatorio, le fue tomada la protesta.

DIRECTOR DE LA DIVISION DE CSH

MTRO. JOSE REGULO MORALES CALDERON

PRESIDENTE

DR. HERI OSCAR LANDA DIAZ

VOCAL

Eduardo Macario Moctezuma Navarro
DR. EDUARDO MACARIO MOCTEZUMA NAVARRO

SECRETARIO

DR. JOSE LUIS ESTRADA LOPEZ