

Disponibilidad regional de la infraestructura de telecomunicaciones. Un análisis multivariado*

Regional Telecommunications Infrastructure:
A Multivariate Analysis

*Rebeca Escobar Briones
y Yobanny Melesio Sámano Claudio***

ABSTRACT

Background: Telecommunications services are provided with infrastructure that has a multifactorial character and that is relevant for its impact on economic performance and, therefore, on employment and the standard of living of the population. To date there is no proposal in the academy, which exclusively measures the infrastructure and has been applied at a local level. The purpose of this study is to define a quantitative index to determine the sectoral infrastructure that the different states in Mexico have.

Methodology: The index is estimated through the weighted average of indicators, proving the suitability of the sample through tests and multivariate analysis techniques, and calculating the specific weights of each indicator through principal components.

Results: The estimated composite index allows for a measurement designed exclusively to detect the advance or lag in infrastructure provision.

Conclusions: An index to determine the sectoral infrastructure at state level is estimated. This measurement provides useful information for the definition of specific public policies.

* Artículo recibido el 31 de julio de 2017 y aceptado el 31 de enero de 2018. El contenido de este documento, así como las conclusiones que en él se presentan, son responsabilidad exclusiva de los autores.

** Rebeca Escobar, Centro de Estudios del Instituto Federal de Telecomunicaciones (correo electrónico: rebeca.escobar@ift.org.mx). Yobanny M. Sámano, Universidad Nacional Autónoma de México (correo electrónico: yobanny_sc@hotmail.com).

Keywords: composite index; infrastructure; telecommunications; state ranking. *JEL Classification:* R11, O33, C18.

RESUMEN

Antecedentes: las telecomunicaciones son servicios que se prestan con infraestructura de carácter multifactorial, la cual resulta relevante por su impacto sobre el desempeño económico y el nivel de vida de la población. No hay una propuesta que mida de manera exclusiva la infraestructura sectorial y que sea aplicada a nivel local, por lo que se hace necesario contar con una métrica con ese objetivo.

Metodología: el estudio se estima a través del promedio ponderado de diversos indicadores, ensayando la idoneidad de la muestra mediante pruebas y técnicas de análisis multivariado, y calculando los pesos específicos de cada indicador a través de componentes principales. Además, presenta una estratificación de los mismos con base en su nivel relativo de equipamiento. Se valida la propuesta por medio de la estimación econométrica de una relación positiva y significativa con tres indicadores de progreso económico.

Resultados: el índice compuesto que se estima genera una medida diseñada exclusivamente para detectar el avance o rezago en la dotación de infraestructura.

Conclusiones: se aporta un índice cuantitativo para determinar la infraestructura de telecomunicaciones con que cuentan las entidades de México, el cual es útil para el diseño de políticas públicas.

Palabras clave: índice compuesto; infraestructura; telecomunicaciones; *ranking* de estados. *Clasificación JEL:* R11, O33, C18.

INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones tienen hoy una gran relevancia en la vida de las personas y en las actividades productivas de los países. De manera creciente su uso ha permitido ampliar y facilitar la comunicación entre los individuos, pues les ha dado acceso a servicios antes fuera de su alcance, así como al conocimiento y a la recreación a nivel global. En lo económico, las telecomunicaciones son necesarias para promover la productividad (Shahiduz-zaman y Alam, 2014; Cronin *et al.*, 1993) y el crecimiento (Al-mutawkkil *et al.*, 2009; Pradhan *et al.*, 2014), ya que reducen los costos de las transacciones y de la producción y mejoran la calidad de los servicios.

El acelerado desarrollo tecnológico exige una mayor inversión para la expansión y la continua modernización de la infraestructura con la que se prestan los servicios. Los requerimientos de inversión son particularmente

relevantes en países como México, en los que existe aún rezago en la penetración de los servicios y donde prevalece desigualdad local de equipamiento. En diciembre de 2016, por cada 100 hogares mexicanos había 59 líneas de telecomunicación fija y 48 suscripciones de banda ancha fija; en servicio móvil se reportaron 91 suscriptores por cada 100 habitantes y 61 de banda ancha. Para estos indicadores, Chile registró respectivamente 82, 56, 149 y 120, mientras que Argentina reportó 75, 51, 144 y 93.

Las telecomunicaciones son servicios que se prestan con infraestructura que tiene carácter multifactorial. Ésta engloba todas las instalaciones, construcciones y el equipamiento para proveer servicios de naturaleza diferente como las comunicaciones fijas y las móviles, tanto de voz como de datos.

El despliegue de infraestructura se sujeta a importantes costos directos, de oportunidad y de transacción, por lo que son las áreas más densamente pobladas y con mayor capacidad económica las que generalmente cuentan con mayor disponibilidad de equipamiento. Esas disparidades en la infraestructura pueden incidir en el potencial de crecimiento y desarrollo de las distintas regiones del país (Shahiduzzaman y Alam, 2014), lo que acentúa la brecha en el desarrollo regional.

Para detectar las zonas que han logrado un mejor equipamiento, o en su caso las áreas donde se hace más necesaria la inversión, es importante contar con una medida cuantitativa sobre la infraestructura existente. Sin embargo, a la fecha no se dispone de un índice integral que abarque los diferentes aspectos de la infraestructura y que permita comparar de manera unívoca la situación relativa de cada región en cuanto a su infraestructura de telecomunicaciones. Al respecto, existen algunas alternativas para medir la infraestructura sectorial, sugeridas por autores en la academia, así como por reguladores y organismos en el mundo. Pero a pesar de la gran variedad de propuestas para integrar en una medida los diferentes fenómenos multifactoriales, son escasas las propuestas que se acotan estrictamente a la medición de la infraestructura sectorial. La mayor parte de los estudios contemplan fenómenos más amplios y por tanto no se circunscriben a la infraestructura física; algunos consideran aspectos diversos de las telecomunicaciones como su accesibilidad y uso, o las habilidades de la población para su adopción; otros incluyen un componente de infraestructura, pero éste va agregado a otros aspectos, como los precios de los servicios. Por lo anterior, es necesario contar con un índice o una medida que permita estimar tal variable y que integre las distintas infraestructuras correspondientes a la provisión de los servicios de telecomunicación.

El objeto del estudio es definir un índice cuantitativo para determinar la infraestructura sectorial con que cuentan las diferentes unidades geográficas. El índice debe reflejar exclusivamente lo relativo a la infraestructura

para permitir ordenar dichas unidades según su equipamiento y detectar las zonas de mayor necesidad en infraestructura. Asimismo, deberá ser incluyente de los distintos aspectos de la infraestructura y cubrirá los 32 estados federales que integran México, a fin de generar una medida del equipamiento en infraestructura a nivel local. El índice propuesto permite, además, ser replicado y utilizado a otro nivel de desagregación geográfica, incluyendo la internacional o municipal.

Un índice específico para la infraestructura de las telecomunicaciones facilita llegar a conclusiones en materia de políticas públicas sectoriales. Específicamente, las reformas realizadas en 2013 a la Constitución Política de México¹ prevén que el Estado promueva políticas de inclusión digital universal, en la cual se contempla el desarrollo de la infraestructura de telecomunicaciones; la accesibilidad y la conectividad a las tecnologías de la información y comunicación; el desarrollo de las habilidades digitales, así como los programas de gobierno digital, gobierno y datos abiertos, fomento a la inversión pública y privada en aplicaciones de telesalud, telemedicina y expediente clínico electrónico, y el desarrollo de aplicaciones, sistemas y contenidos digitales, entre otras políticas.

Lo anterior es particularmente importante si se considera que otros aspectos asociados a las telecomunicaciones (como las habilidades de uso, la accesibilidad económica, la calidad del capital humano o el equipamiento familiar con dispositivos) requieren acciones específicas de naturaleza muy diferente al fomento de la inversión en infraestructura. Acotar el estudio a la infraestructura sectorial no prejuzga sobre la gran relevancia de esos otros aspectos necesarios para el desarrollo integral de las telecomunicaciones y su uso, los cuales deberán ser tema de la política de Estado o de algún sector en específico, como el educativo o el de salud. El estudio sí ofrece información útil para determinar las entidades que requieren mayor inversión en la infraestructura y, por ende, para el diseño de la política sectorial.

La medición de la infraestructura de telecomunicaciones es relevante por su impacto en el desempeño económico y, por lo tanto, en el empleo y el nivel de vida de la población (Hanafizadeh *et al.*, 2009; Shahiduzzaman y Alam, 2011 y 2014; Pradhan *et al.*, 2009; Dutta, 2001). Para determinar la conveniencia del índice propuesto se evalúa su relación con tres indicadores de desempeño económico: el PIB per cápita, el índice de competitividad económica y la tasa de poblacional urbana.

¹ El contenido de la reforma puede consultarse en <http://www.ift.org.mx/transparencia/marco-normativo/reforma-constitucional>

El estudio genera una medición relativa de la infraestructura de telecomunicaciones agregada; además, permite medir por tipo de servicios —fijo y móvil— el equipamiento local. La medición generada responde a los criterios recomendados por la OCDE (2008) y usados por diferentes autores en el plano internacional. Esto ofrece un primer criterio de validez. Además, se constata su solidez mediante la estimación de una relación positiva y significativa con los tres indicadores de progreso económico antes señalados.

El estudio está organizado de la siguiente manera. En la sección I se presenta la revisión bibliográfica sobre la materia. En la sección II se incluyen la revisión bibliográfica sobre las propuestas de índices compuestos y las consideraciones sobre los indicadores para medir la infraestructura de telecomunicaciones y se plantean los aspectos metodológicos para estimar dos subíndices y un índice de infraestructura en telecomunicaciones, además de los resultados cuantitativos obtenidos. En la sección III se presentan algunas consideraciones sobre la consistencia del índice y se evalúa su relación con valores de desempeño económico. Al final se consignan las conclusiones del estudio y se hacen algunas recomendaciones para futuras aplicaciones del índice. Además, se incluye un apéndice con las precisiones metodológicas relevantes.

I. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE LOS ÍNDICES DE MEDICIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA

El diseño de un índice compuesto presenta diferentes consideraciones, que abarcan la selección de indicadores que reflejen los distintos aspectos y dimensiones de la infraestructura; se incluyen, en su caso, la imputación de datos faltantes, la determinación de las categorías o los subíndices en que pueden integrarse y la técnica para agregarlos en una métrica. Este último aspecto implica definir las ponderaciones y la estandarización de los indicadores para su agregación. Estos aspectos han sido señalados y desarrollados por diferentes autores y destacados por la OCDE (2008).

Sobre la selección de indicadores, cabe destacar que la infraestructura de telecomunicaciones puede ser pasiva o activa. La primera incluye todos los elementos y accesorios que proporcionan soporte a la infraestructura activa, como bastidores, cableado subterráneo y aéreo, canalizaciones, construcciones, ductos, obras, postes, sistemas de suministro y respaldo de energía eléctrica, sistemas de climatización, sitios, torres y demás aditamentos, incluyendo los derechos de vía que sean necesarios para la instalación y operación de las redes, así como para la prestación de servicios de telecomunicaciones. La infraestructura activa se refiere al *software* y a los elementos

de las redes de telecomunicaciones que almacenan, emiten, procesan, reciben o transmiten escritos, imágenes, sonidos, señales, signos o información de cualquier naturaleza.

Existen dos formas de medir la infraestructura de telecomunicaciones: una directa y otra indirecta. La directa se refiere a las mediciones o información sobre la infraestructura pasiva y activa para la prestación de los servicios disponible en una localidad o área geográfica, tal como los kilómetros de cableado tendidos, el número de líneas, las torres y antenas de servicio móvil, la cobertura de una tecnología, o los puntos seguros de internet. La medición indirecta se refiere propiamente al uso de las telecomunicaciones por parte de los consumidores, ya que supone que existe la infraestructura física correspondiente para hacer uso de los servicios. En este segundo grupo se encuentran las penetraciones de servicios, el número de suscriptores de los servicios, el tráfico cursado, entre otros. En la literatura económica no hay muchos índices que incluyan sólo indicadores directos sobre la disponibilidad de infraestructura de telecomunicaciones, debido a la escasez de estadísticas sobre ese tipo de infraestructura.

De los estudios analizados se infiere también que la mayoría de los índices desarrollados por los investigadores académicos e institucionales se enfocan en medir fenómenos o aspectos sectoriales más amplios que la infraestructura, como es el caso del desarrollo digital (Hanafizadeh *et al.*, 2009), el desarrollo de las telecomunicaciones (Gerpott y Ahmadi, 2015), el nivel de penetración digital (Katz y Koutroumpis, 2013; Billon *et al.*, 2009; Corrocher y Ordanni, 2002) o la conectividad (Waverman *et al.*, 2011). Así, pocos índices se limitan exclusivamente a la medición de la infraestructura sectorial, aunque otros muchos sí la consideran, pero como una de las dimensiones del fenómeno estudiado. Al-mutawkkil *et al.* (2009), Hanafizadeh *et al.* (2009) y Pradhan *et al.* (2014) presentan tres de las propuestas más centradas en la infraestructura de telecomunicaciones. Otro ejemplo es el índice de infraestructura de las telecomunicaciones planteado por la ONU (2010), que incorpora cinco indicadores, de los cuales sólo uno de ellos (computadoras por habitante) se aparta del concepto tradicional de infraestructura y refleja más bien el equipamiento de la población. La ONU incluye infraestructuras fija, móvil e internet, y las mide con tasas de penetración de los servicios.

Al-mutawkkil *et al.* (2009) definen y estiman a través de componentes principales (CP) y técnicas no paramétricas un índice compuesto de infraestructura, que integra diversos indicadores de medición de la infraestructura en tres subíndices: equipamiento fijo, móvil y de internet. De manera paralela estima otro subíndice de infraestructura y acceso a los servicios de radiodifusión, que no agrega al índice de infraestructura de telecomunicaciones, por

considerar que sólo existe complementariedad de este servicio con los otros tres, y no sustituibilidad. Hanafizadeh *et al.* (2009) presentan un índice para medir la brecha digital que incluye indicadores de infraestructura y acceso, el cual estiman a través de análisis factorial. Éste incorpora 12 indicadores básicos de los servicios fijo, móvil e internet, incluyendo sus precios, además de la penetración de radio y televisión. Pradhan *et al.* (2014) proponen un índice de infraestructura calculado con CP aplicados a tres indicadores de medición directa de infraestructura, uno por cada servicio: fijo, móvil e internet.

Otros autores cubren una temática más general y no acotada a la infraestructura. No obstante, la gran mayoría de los estudios reconocen que el despliegue físico de infraestructura de telecomunicaciones y la oferta de capacidad de transmisión son parte esencial del desarrollo sectorial y digital (Katz y Koutroumpis, 2013; UIT, 2008; Corrocher y Ordanni 2002; Waverman *et al.*, 2011), ya que éstos son un prerrequisito para que el cliente final tenga acceso a las redes y use los servicios. Así, diversos estudios incorporan en sus índices generales un subíndice de infraestructura o de acceso, para lo cual privilegian la inclusión de variables de su uso, como el porcentaje de la población que tiene cobertura de redes celulares (por ejemplo, Waverman *et al.*, 2011; Katz, 2015), la penetración de redes móviles (Waverman *et al.*, 2011; UIT, 2008), o el número de suscriptores del servicio de banda ancha (Hanafizadeh *et al.*, 2009; Billon, 2009). Son pocos los estudios que incluyen en sus índices o subíndices de infraestructura variables que de manera directa permiten evaluar la extensión de las redes y sus capacidades de transmisión de datos, como los kilómetros de red tendida, el número de estaciones de transmisión o el número de servidores seguros. De hecho, el uso de indicadores indirectos refleja las restricciones de información que enfrentan los diferentes autores y que los llevan a utilizar indicadores de uso de la infraestructura, los cuales reflejan su existencia y extensión (Gerpott y Ahmadi, 2015). Los índices integrales buscan evaluar el desarrollo de la infraestructura de telecomunicaciones como parte de una materia más amplia que tiene que ver con la adopción y el uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), y también en diversos casos las mediciones del nivel de habilidades humanas para el uso de las TIC.

Es posible apreciar que algunos índices (UIT, 2009, por ejemplo) dan a la variable de uso un trato de fenómeno binario, es decir, la característica está presente o no lo está. Sin embargo, la evidencia muestra que la intensidad promedio del uso de los servicios de telecomunicaciones varía fuertemente entre países, estados y sus habitantes, por lo que resultan más adecuados los indicadores numéricos. Otros índices incluyen la accesibilidad económica de los servicios y, por lo tanto, consideran los precios de

ciertos servicios o los ingresos generados por éstos (Katz y Koutroumpis, 2013; UIT, 2009).

Otro aspecto central en la estimación de un índice compuesto es el de la agregación de los indicadores. Por su naturaleza diversa, los indicadores pueden estar expresados en diferentes unidades. Por lo anterior, se requieren técnicas estadísticas de estandarización para agregarlos; las más comúnmente usadas en la construcción de índices compuestos incluyen la de *z-scores* (utilizados por la ONU, 2010; Hanafizadeh *et al.*, 2009), la normalización con valores de referencia (UIT, 2009), o valores máximos y mínimos que llevan los valores a un rango entre cero y uno (Waverman *et al.*, 2011).²

Una vez estandarizados los valores de los diferentes indicadores, se plantea la mecánica de agregación. Al respecto, la OCDE (2008) hace recomendaciones sobre el uso del análisis multivariado, el cual permite determinar la idoneidad de la estructura de los indicadores seleccionados. La literatura consultada sugiere el empleo de análisis de factores y de CP para ese fin, así como la aplicación de pruebas de Káiser-Meyer Olkin (KMO), de Cronbach y de esfericidad de Bartlett. La UIT (2003), Al-mutawkkil *et al.* (2009), Katz y Koutroumpis (2013) y Waverman y Koutroumpis (2011) son ejemplo de ello. Algunos autores usan incluso los pesos estimados por esas técnicas como ponderadores para agregar los indicadores normalizados. Lo anterior elimina subjetividad a la determinación de ponderaciones y permite replicar los ejercicios en otros ámbitos o tiempo, pero puede presentar algún grado de complejidad (Al-mutawkkil *et al.*, 2009).

II. ESTIMACIÓN DEL ÍNDICE DE INFRAESTRUCTURA DE TELECOMUNICACIONES

1. Consideraciones metodológicas

Para definir el índice de infraestructura de telecomunicaciones (II-T) se estudiaron las alternativas sugeridas por autores en la academia, de las cuales se infirió que existen diferentes metodologías para la estimación de índices compuestos. De entre ellas se eligió la que mayores fortalezas presenta para el fin específico que se plantea. Así, el II-T que se propone es incluyente de los distintos aspectos de la infraestructura y brinda un diagnóstico integral de la situación que en materia de telecomunicaciones presentan los diferentes

² La OCDE (2008) incluye otras metodologías, como el *ranking*, las escalas categóricas o el método de indicadores cíclicos, entre otros.

estados en México. Esta métrica permite detectar las zonas que presentan una mayor necesidad en cuanto a la inversión en infraestructura.

La propuesta que se presenta considera un índice cuantitativo integrado por dos subíndices, cada uno compuesto a su vez por diversos indicadores. Los subíndices distinguen la disponibilidad de equipamiento para la prestación de los servicios fijos y móviles, y por ello tienen la virtud de generar una medida sobre las dos categorías de infraestructura. Al respecto, Pradhan *et al.* (2014) y Al-mutawkkil *et al.* (2009) definen tres categorías de infraestructura: las líneas fijas, los servicios móviles e internet; el BCG (2015) clasifica también la infraestructura en fija y móvil; la ONU (2010) usa cinco indicadores que reflejan los servicios fijo, móvil e internet y añade el uso de computadoras; Bagchi (2005) agrega también a los servicios fijos, móvil e internet el uso de computadoras personales. Para este estudio, los subíndices se dividen sólo en servicios fijos y móviles. En México, como en el resto del mundo, la infraestructura de telecomunicaciones fija y móvil se usa de manera creciente en la transmisión de datos, por lo que, a diferencia de autores como Pradhan *et al.* y Al-mutawkkil *et al.*, no se distinguen los servicios de voz de los de internet. Estos últimos van cobrando relevancia en las canastas de consumo de los usuarios y en la penetración de los servicios, lo que hace redundante distinguirlos.³ Más aún, todas las nuevas inversiones en redes de infraestructura se realizan con el objeto de ofrecer o aumentar la calidad y la capacidad de transmisión de banda ancha, y no para llevar de manera exclusiva la voz, como era en el pasado.

Se propone el uso de 11 indicadores estimados a nivel estatal para 2015, agrupados en los subíndices mencionados (véase el cuadro 1). Cabe destacar que los organismos internacionales y, en general, la academia avalan el uso de los indicadores propuestos, según se señala en el cuadro. Como se mencionó, estas variables no han sido integradas previamente en un índice compuesto que mida exclusivamente la infraestructura, ni se han aplicado a nivel local para un fin similar al objeto de este estudio. No obstante, han sido usadas, en combinación con otras variables, para estimar la infraestructura como parte de estudios de la brecha digital o el desarrollo sectorial.

Para este estudio se usaron variables con información completa, por lo que no se hizo ninguna imputación de datos faltantes. Asimismo, se privilegió la utilización de indicadores directos, aunque algunos son de tipo indirecto, puesto que no se contaba con mayor información directa. Sobre la

³ En México, el tráfico de datos de banda ancha móvil pasó de 36 957 TB en el primer trimestre de 2015 a 107 071 TB al cuarto trimestre de 2016, lo que representa un crecimiento de casi 190%. Lo anterior sugiere la tendencia del consumo presente y la mayor importancia que tiene cada día el uso de datos. En el mismo periodo, el tráfico de voz creció 89%. Para las cifras, véase <https://www.ovumkc.com/>

CUADRO 1. Indicadores de infraestructura de telecomunicaciones

Categoría de infraestructura e indicador	Definición	Referencias de uso en mediciones de infraestructura
<i>Infraestructura fija</i>		
Penetración de la telefonía residencial	(Número de líneas telefónicas/población) * 100	Waverman <i>et al.</i> (2011), Katz (2015), ^a Hanafizadeh <i>et al.</i> (2009), ^a Billon <i>et al.</i> (2009) ^a
Penetración de la telefonía no residencial	(Número de líneas de telefonía no residencial/unidades económicas) * 100	Waverman <i>et al.</i> (2011), Katz (2015), ^a Hanafizadeh <i>et al.</i> (2009), ^a Billon <i>et al.</i> (2009) ^a
Accesos del servicio de banda ancha fija residencial	(Accesos residenciales de banda ancha fija/hogares) * 100	Hanafizadeh <i>et al.</i> (2009), ^a BCG (2015), ^c Waverman <i>et al.</i> (2011), ^c Corrocher (2012) ^a
Accesos del servicio de banda ancha fija no residencial	(Accesos no residenciales de banda ancha fija/unidades económicas) * 100	Sabbagh <i>et al.</i> (2012), ^c Hanafizadeh <i>et al.</i> (2009), ^a BCG (2015), ^c Waverman <i>et al.</i> (2011), ^c Corrocher y Ordanni (2012) ^a
Accesos del servicio de banda ancha fija residencial con fibra óptica	(Accesos residenciales de banda ancha fija provistas a través de fibra óptica/hogares) * 100	Los accesos de fibra óptica son equivalentes a los indicadores de velocidad y calidad de la red adoptados por Katz y Koutroumpis (2013) y Waverman <i>et al.</i> (2011)
Accesos del servicio de banda ancha fija no residencial con fibra óptica	(Accesos no residenciales de banda ancha fija provistas a través de fibra óptica/unidades económicas) * 100	Los accesos de fibra óptica son equivalentes a los indicadores de velocidad y calidad de la red adoptados por Katz y Koutroumpis (2013) y Waverman <i>et al.</i> (2011)

<i>Categoría de infraestructura e indicador</i>	<i>Definición</i>	<i>Referencias de uso en mediciones de infraestructura</i>
<i>Infraestructura fija</i>		
Líneas públicas por habitante	(Líneas de telefonía pública/población) * 100	Pradhan et al. (2014), Al-mutawkkil et al. (2009), Hanafizadeh et al. (2009)
Penetración televisión restringida provista con cable	(Suscripciones de TV por cable residencial/hogares) * 100	Similar a penetración y accesos de banda ancha, ya que a través de cable DOCSIS y fibra óptica es posible ofrecer servicios de voz y de internet
<i>Infraestructura móvil</i>		
Cobertura servicios 3G		Sabbagh et al. (2012), Katz (2015), ^b Geppott y Ahmadi (2015)
Cobertura servicios 4G		Similar al anterior
Penetración del servicio móvil	(Suscripciones de telefonía celular/población) * 100	Katz (2015), ^a Hanafizadeh et al. (2009), Waverman et al. (2011)

^a No distingue entre servicios residenciales y no residenciales.

^b Indicador similar; incluye cobertura de 2G.

^c Usa penetración del servicio en vez de accesos.

imputación de datos faltantes, se pueden considerar cinco posibles técnicas: la imputación simple, por medias no condicionales, por regresión, por máxima verosimilitud, y la imputación múltiple. Cada técnica tiene fortalezas y desventajas según los datos que se analicen (OCDE, 2008). Para el estudio exhaustivo de las técnicas de imputación de datos se puede consultar a Little y Rubin (2002), o el artículo de Medina y Galván (2007), publicado por la CEPAL. Cabe destacar que las técnicas de imputación permiten reducir los sesgos en la información, además de que el análisis se realiza con base en cierta completitud en el conjunto de datos (Schuschny y Soto, 2009). En general, las técnicas de imputación de valores faltantes proporcionan también una medida de la fiabilidad de cada valor imputado, lo que permite evaluar su impacto en el agregado (OCDE, 2008).

Los servicios de telecomunicaciones pueden clasificarse también por su uso residencial y no residencial (empresarial). Esta distinción de los servicios ha sido utilizada por Waverman *et al.* (2011) y por el BCG (2015) en su índice de *e*-intensidad. Esta distinción busca reflejar el impacto del uso empresarial de los servicios de banda ancha y de telecomunicación en general que están más orientados a la productividad. Los indicadores de accesos sustituyen a las mediciones de penetración de los servicios y reflejan mejor la disponibilidad de infraestructura.

Todos los indicadores fueron definidos en sentido positivo, reflejando una mejor condición de equipamiento en la medida en que toman mayores valores. Dado que tienen diferentes unidades, fue necesario estandarizar sus valores para permitir su agregación en una única métrica. Se eligió el método de *z-score*,⁴ que transforma los indicadores a una escala con media cero y desviación estándar uno. Esto es, los indicadores estandarizados muestran el número de desviaciones típicas en que un valor dado se sitúa por encima o debajo de la media de su muestra o población; en otras palabras, se trata de la distancia (dirección y grado) en que un valor individual se aleja de la media, en una escala de unidades de desviación estándar. La estandarización permite eliminar las distorsiones derivadas de las diferentes medidas al realizar la agregación de los indicadores.

Una vez que se estandarizaron los indicadores, se aplicó la técnica de análisis multivariado de CP⁵ con el propósito de determinar la relación entre indicadores y evaluar la consistencia de los indicadores. El análisis de CP

⁴ Para estandarizar se siguió la siguiente fórmula: $Z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_i}{\sigma_i}$, donde: Z_{ij} es la variable estandarizada para el indicador i en el estado j ; x_{ij} es el valor del indicador i en el estado j ; \bar{x}_i es el promedio del indicador i , y σ_i es la desviación estándar para el indicador i .

⁵ Para una explicación exhaustiva del método de CP véanse OCDE (2008) y Härdle y Simar (2015).

revela cómo se asocian diferentes variables y cómo cambian en relación entre sí; transforma variables correlacionadas en un nuevo conjunto de variables no correlacionadas usando una matriz de covarianza o su forma estandarizada, la matriz de correlación. Con CP se puede resumir un conjunto de indicadores, al mismo tiempo que se preserva la proporción máxima posible de la variación total del conjunto de datos original, además de que guía la selección de metodologías de ponderación de los datos y de su agregación.

Las pruebas utilizadas para determinar el nivel de correlación son la de Kaiser-Meyer-Olkin (κ_{MO}) y la de esfericidad de Bartlett. La prueba κ_{MO} es un método estadístico que compara las magnitudes de los coeficientes de correlación de los indicadores con las magnitudes de los coeficientes parciales de correlación; de acuerdo con algunos autores (Hanafizadeh *et al.*, 2009) la prueba κ_{MO} debe tomar valores iguales o mayores a 0.6, a fin de garantizar que el análisis de CP genere resultados confiables. Por su parte, la prueba de Bartlett supone que para una muestra suficientemente grande la distribución se aproxima a una *chi*-cuadrada, lo que implica que la correlación de la muestra deriva de una población normal con variables independientes. De no haber esa independencia, los datos se consideran adecuados para el análisis multivariado (valores de la prueba menores a 0.05, que sugieren una elevada relación entre variables; mientras que valores más elevados para la prueba, 0.1 o más, indican que los indicadores son inapropiados para el análisis multivariado).

Existen metodologías diferentes que son utilizadas para estimar índices. Así, por ejemplo, se tiene el método de promedio ponderado no paramétrico,⁶ que es de fácil estimación, pero que depende de la apreciación subjetiva del investigador para la determinación de los ponderadores. El enfoque de envoltura de datos es eficaz para analizar las eficiencias relativas de las unidades de toma de decisión con características similares; no obstante, depende de un enfoque fronterizo de los valores y requiere que en un inicio se identifiquen los valores atípicos. El análisis de fronteras estocásticas es útil para el análisis de datos de panel, pero supone que las funciones tomen una forma de función de producción, por lo que no resultan convenientes para otras aplicaciones. También está el análisis de factores,

⁶ Esta metodología fue usada por la Organización de las Naciones Unidas en la estimación de su índice de desarrollo humano, disponible en <https://publicadministration.un.org/egovkb/Portals/egovkb/Documents/un/2010-Survey/Statistical-annex.pdf>. Lo mismo vale para la estimación del índice ArCo de D. Archibugi y A. Coco (2005), "A New Indicator of Technological Capabilities for Developed and Developing Countries", *World Development*, 3 (4), 629-654, 2004. Disponible en <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308596108001286>

cuyo mecanismo de ponderación es objetivo y requiere que no haya correlación entre la varianza común y las varianzas únicas. Por último, el método de CP, que fue descrito anteriormente.

Si bien no hay un consenso sobre cuál es la mejor metodología, las últimas cuatro son consideradas más adecuadas, en virtud de que no requieren la elección subjetiva de ponderadores. En el caso concreto de este estudio no fue posible utilizar el enfoque de datos envolvente o el análisis de fronteras estocástico, por no contar con los datos de panel necesarios.

En la selección del método de CP se valoró de manera particular que esta técnica asigna ponderaciones mayores a los indicadores que tienen la mayor variación entre los estados. Se consideró que ésta es una propiedad deseable para los fines del estudio, ya que se busca la comparación entre entidades, lo que determina que los indicadores individuales que son similares entre estados resulten de menor interés para explicar las diferencias en su desempeño (OCDE, 2008).⁷ Otras características que promovieron la elección de los CP son el tamaño de la muestra y la estructura de los datos, que resultaron favorables para su uso. Una de las condiciones para llevar a cabo ese análisis es que el conjunto de indicadores no sea reducido, esté altamente correlacionado y no tenga datos atípicos. Todas estas condiciones se presentaron en la muestra usada, por lo que el análisis de CP es apropiado para realizar el estudio.

El análisis de CP ha sido usado por autores como Al-mutawkkil *et al.* (2009), Waverman *et al.* (2011) y Corrocher y Ordanini (2002). Se puede usar también para determinar el peso específico de cada indicador dentro de los subíndices (Waverman *et al.*, 2011; Al-mutawkkil *et al.*, 2009; Gerpott y Ahmadi, 2015, por ejemplo). En este estudio, los pesos de cada indicador se obtuvieron de acuerdo con la proporción de varianza que se explica en función del factor que se asocia⁸ y cada factor se ponderó de acuerdo con su contribución de proporción de varianza explicada en el conjunto de datos. Así, cada subíndice estará definido como $SubI_j^k = \sum_n w_i^k z_{ij}^k$, donde k es el subíndice móvil o fijo; $SubI_j^k$ es el valor del subíndice k para el estado j ; w_i^k es el peso de los indicadores i del subíndice k , definido a través de CP,

⁷ La eliminación de redundancias y el uso de los pesos obtenidos a partir de CP como ponderadores contribuye a eliminar la sobrerrepresentación de alguno de los indicadores (Gerpott y Ahmadi, 2015). De acuerdo con la OCDE (2008), algunas de las debilidades de la técnica de CP son: las correlaciones no representan necesariamente la influencia real de los indicadores individuales sobre el fenómeno que se mide, ya que es sensible a modificaciones en los datos básicos (revisiones y actualizaciones de datos) y a la presencia de valores atípicos, lo que puede introducir una “variación espuria”. También es sensible a los problemas de las pequeñas muestras y minimiza la contribución de los indicadores individuales que no se mueven con otros indicadores individuales.

⁸ Existen diferentes métodos a la hora de ponderar utilizando CP; el método seguido en este estudio se basa en Nicoletti, Scarpetta y Boylaud (2000).

y z_{ij}^k es la variable estandarizada para el indicador i en el estado j para cada subíndice k .

Cabe recordar que al aplicar la normalización de los indicadores, sus valores estandarizados serán positivos si la situación relativa del estado es mejor que la media, y negativos cuando acusan un mayor rezago. Así, al agregarlos en los subíndices o en el Π - T , se observa que en la medida que aumenta el valor de los subíndices y del Π - T será mejor la situación local en cuanto a la infraestructura. Para facilitar la interpretación de las cifras, una vez construidos los subíndices y el Π - T , éste se ajustó a un escalar entre cero y 100.

La metodología propuesta genera una métrica unidimensional para cada subíndice. Se brinda así un resumen de todas las variables incluidas en el análisis. Además, se aplica la metodología de estratificación multivariada de Dalenius-Hodges (1959),⁹ que permite agrupar los estados en zonas o conjuntos homogéneos internamente y diferentes entre sí, considerando diversos indicadores a la vez. Ese método permite la formación de estratos (por ejemplo, nivel alto, medio o bajo), de modo que la varianza estimada para cada categoría es mínima. El procedimiento para la conformación de estratos parte de la matriz de datos (con i indicadores y j estados). Cada estrato que se obtiene a partir de esta metodología integra a las entidades con características más homogéneas.

2. Estimación de subíndices e índice Π - T

A continuación se presentan los resultados obtenidos con las metodologías propuestas. El primer tratamiento a los datos fue la normalización mediante la estandarización, que es ampliamente conocida para hacer comparables variables que son medidas en diferentes unidades. Con la aplicación de las pruebas KMO y de esfericidad de Bartlett se comprobó la idoneidad de la muestra. Además, el análisis de CP permitió estimar ponderadores definidos como los pesos específicos, los cuales se utilizaron para estimar los subíndices de infraestructura fija y móvil. Así se obtienen las medidas para cada tipo de servicio, lo que permite determinar un nivel de equipamiento relativo de los estados por tipo de infraestructura.

Para la estimación del Π - T se promediaron los subíndices fijo y móvil. Cabe destacar que, alternativamente, podría repetirse el análisis de CP a los subíndices, a fin de agregarlos en un único índice sin necesidad de determinar subjetivamente ponderadores entre éstos. Sin embargo, dado que sólo se cuenta con dos subíndices, el método de CP asigna a cada uno un peso de

⁹ Véase también INEGI, 2010.

CUADRO 2. Resultados de la estimación de subíndices e II-T, y de la estratificación multivariada

<i>Entidad</i>	<i>II-T</i>		<i>Subíndice móvil</i>		<i>Subíndice fijo</i>	
	<i>Valor</i>	<i>Estrato</i>	<i>Valor</i>	<i>Estrato</i>	<i>Valor</i>	<i>Estrato</i>
Ciudad de México	100.0	Alto	100.0	Alto	100.0	Alto
Nuevo León	85.4	Alto	85.5	Alto	85.7	Alto
Baja California	56.2	Alto	70.5	Alto	43.4	Alto
Jalisco	55.2	Alto	68.0	Alto	44.0	Alto
Coahuila	52.8	Alto	63.2	Medio	43.9	Alto
Colima	50.8	Alto	70.1	Alto	33.3	Medio
Querétaro	49.6	Medio	51.8	Medio	48.8	Alto
Aguascalientes	49.1	Medio	64.8	Alto	35.1	Medio
Quintana Roo	48.5	Medio	63.3	Medio	35.6	Medio
Estado de México	48.3	Medio	76.9	Alto	21.8	Medio
Morelos	47.8	Medio	61.0	Medio	36.3	Medio
Sonora	47.7	Medio	60.3	Medio	36.8	Alto
Tamaulipas	46.0	Medio	62.5	Medio	31.5	Medio
Sinaloa	44.5	Medio	57.2	Medio	33.6	Medio
Baja California Sur	43.0	Medio	43.2	Medio	44.4	Medio
Chihuahua	41.1	Medio	55.3	Medio	28.9	Medio
Yucatán	39.5	Medio	56.4	Medio	24.7	Medio
Nayarit	34.9	Medio	47.6	Medio	24.3	Medio
Guanajuato	32.5	Medio	42.2	Medio	24.9	Medio
Tlaxcala	31.2	Medio	56.0	Medio	9.0	Bajo
Puebla	28.7	Bajo	42.1	Medio	17.6	Bajo
Durango	28.4	Bajo	37.5	Bajo	21.5	Medio
Campeche	26.6	Bajo	29.8	Bajo	25.6	Bajo
Michoacán	25.8	Bajo	37.1	Bajo	16.9	Bajo
San Luis Potosí	24.6	Bajo	27.9	Bajo	23.4	Bajo
Veracruz	24.0	Bajo	34.1	Bajo	16.1	Bajo
Tabasco	18.6	Bajo	34.5	Bajo	5.3	Bajo
Hidalgo	17.8	Bajo	31.6	Bajo	6.7	Bajo
Zacatecas	9.8	Bajo	5.5	Bajo	16.6	Bajo
Guerrero	7.2	Bajo	9.5	Bajo	7.5	Bajo
Oaxaca	0.5	Bajo	3.8	Bajo	0.0	Bajo
Chiapas	0.0	Bajo	0.0	Bajo	2.8	Bajo

FUENTE: elaboración propia.

0.5, lo que equivale a sacar un promedio aritmético de ambos. Así, $II-T_j = \sum_n 0.5Subl_j^k$. Los resultados se presentan en el cuadro 2, que incluye también los resultados de la estratificación multivariada, esto es, el estrato (alto, medio o bajo) en el que es asignada cada entidad.

Cabe destacar que el ejercicio se aplica a una serie de corte transversal para el año 2015 y no como idóneamente se aplicaría a un panel. Lo anterior se explica por las limitaciones en la información. El análisis de CP es sensible a modificaciones en los datos, como las derivadas de revisiones, actualizaciones y la inclusión de nuevas unidades geográficas. Esta restricción reduce la capacidad predictiva del II-T en la estimación de un ejercicio para otro periodo, ya que podrían obtenerse ponderadores diferentes. En contraste, el uso de un panel permitiría dar mayor estabilidad a los valores de los ponderadores. A su vez, el uso de ponderadores subjetivos permitiría mantener los valores aun al utilizar una muestra temporal diferente; sin embargo, este método tiene otras limitaciones. Más adelante se presenta un análisis de sensibilidad.

Los resultados permiten inferir que entidades como la Ciudad de México, Nuevo León, Baja California, Jalisco, Coahuila y Colima muestran el equipamiento más elevado cuando se considera el II-T que integra ambos tipos de equipamiento (fijo y móvil). En el otro extremo se encuentran Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Zacatecas, Hidalgo, Tabasco, Veracruz, San Luis Potosí, Michoacán, Campeche, Durango y Puebla. Una estratificación similar se presenta cuando se considera de manera exclusiva la infraestructura para servicios fijos (véase la gráfica 1).

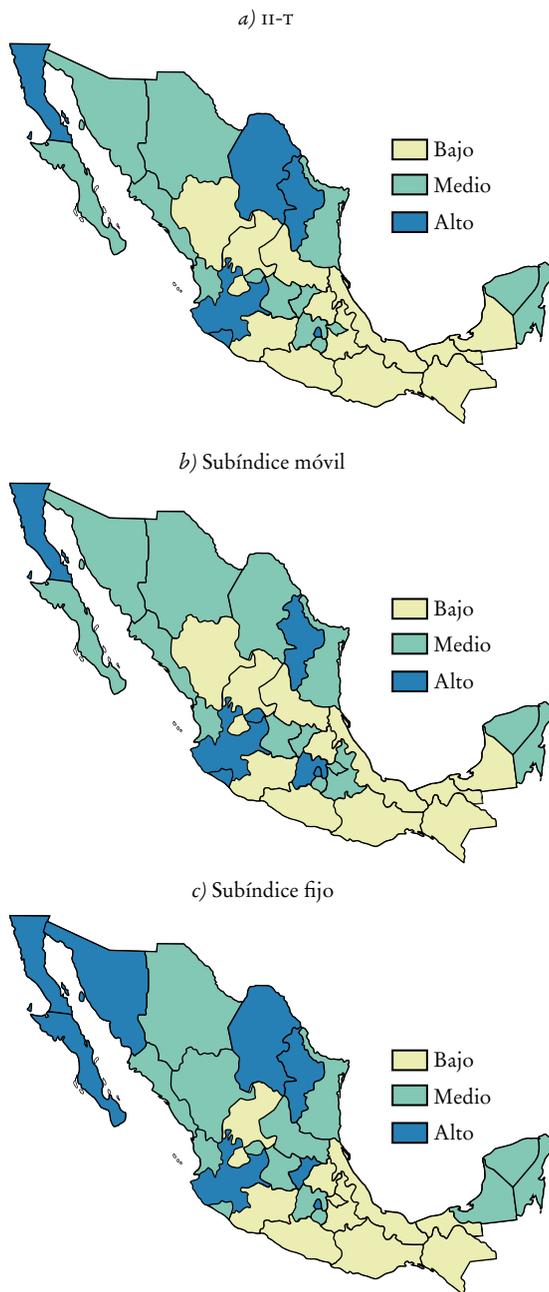
Entidades como el Estado de México y Colima presentan un equipamiento móvil relativamente mejor que el que tienen en materia de infraestructura fija. Por su parte, Durango acusa una situación inversa, ya que en ese estado se cuenta con infraestructura fija relativamente mejor que la móvil.

La dispersión en el equipamiento de infraestructura móvil es más elevada que la fija. En este último caso se presentan valores extremos para la Ciudad de México y Nuevo León, ya que esas dos entidades presentan un equipamiento mucho mayor que el resto del país (véanse las gráficas 2 y 3).

III. APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE INFRAESTRUCTURA DE LAS TELECOMUNICACIONES

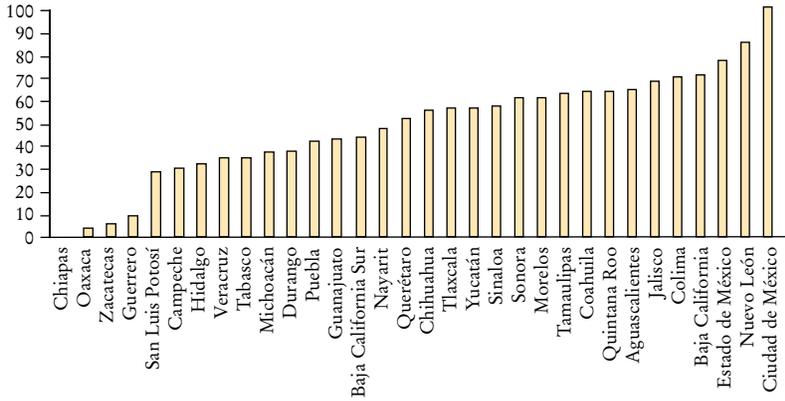
La relación entre el desarrollo de la infraestructura de telecomunicaciones y el progreso económico y social ha sido estudiada por diversos autores. Éstos han planteado hipótesis alternativas sobre la relación, las cuales cubren desde las opiniones que consideran que la construcción de infraestruc-

GRÁFICA 1. Estratificación multivariada según el nivel de equipamiento de infraestructura de telecomunicaciones, 2015

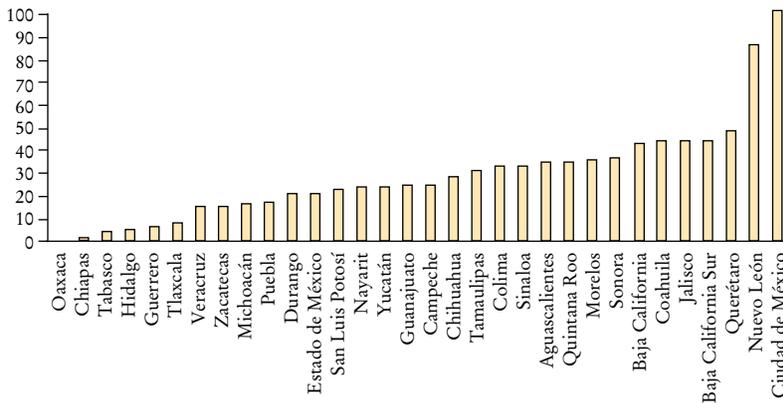


GRÁFICA 2. Distribución de subíndices de servicios de telecomunicaciones y del II-T

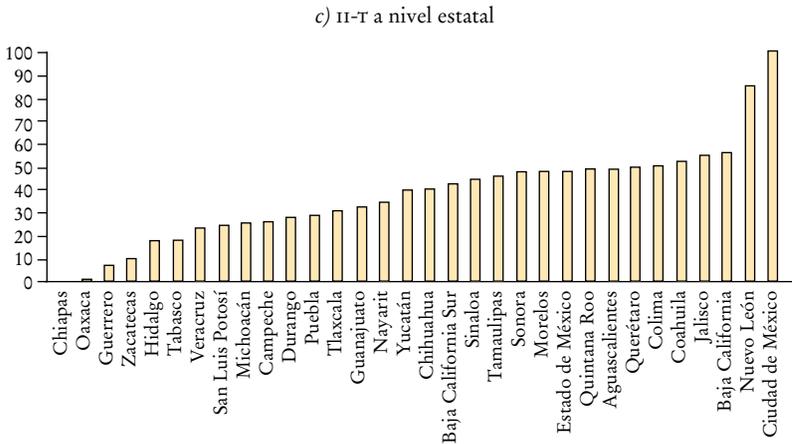
a) Subíndice móvil por estado



b) Subíndice fijo por estado



GRÁFICA 2 (continuación)



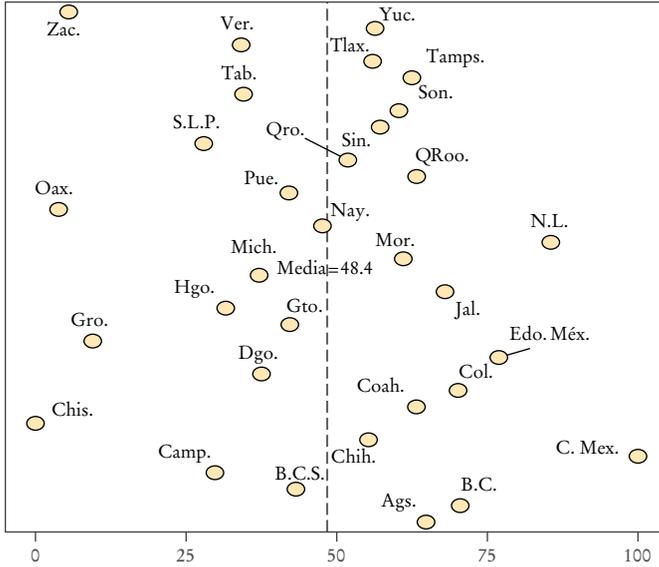
FUENTE: elaboración propia.

tura de telecomunicaciones es una precondition al crecimiento económico (*supply leading hypothesis*, Cieślík y Kaniewska, 2004), hasta quienes consideran que no hay relación alguna entre variables (Veermacheni *et al.*, 2007; Shiuu y Lam, 2008). En medio de estas posturas están desde luego los estudios que establecen que el crecimiento económico promueve la inversión en infraestructura de telecomunicaciones y no al revés (*demand leading hypothesis*, Billon *et al.*, 2009), y las aportaciones de los autores que generan evidencia sobre una retoalimentación o relación bidireccional entre la construcción de infraestructura de telecomunicaciones y el crecimiento económico (Shahiduzzaman y Alam, 2014, y Pradhan *et al.*, 2009).

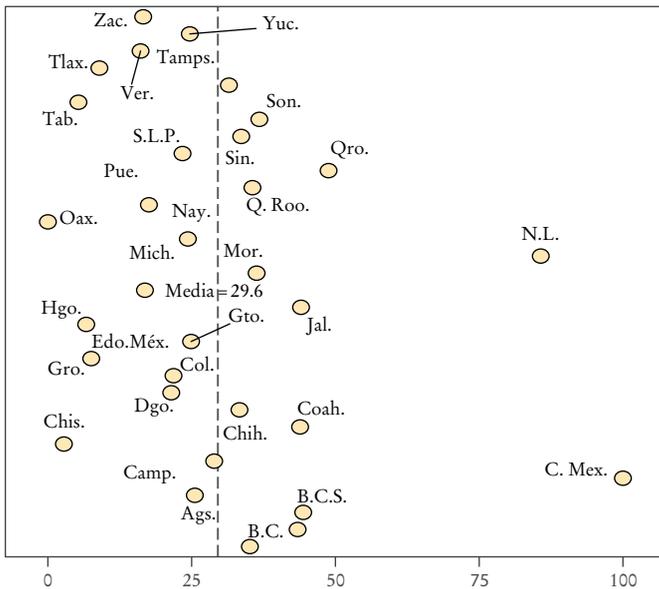
Sobre la relación entre infraestructura y PIB, Dutta (2001) establece una relación bidireccional entre variables. Este autor demuestra, con la metodología de causalidad de Granger aplicada a una serie de tiempo de 30 países, que existe una fuerte relación entre los indicadores directos de infraestructura y el producto. Encuentra que la relación descrita es más fuerte que el impacto que existe del crecimiento hacia la inversión de telecomunicaciones. Hanafizadeh *et al.* (2009) evalúan la relación entre la brecha digital de los países, medida a través de un índice de infraestructura y acceso a las TIC, y el ingreso. Aportan evidencia de la relación cercana entre variables, no obstante que existen algunos casos atípicos. Para una muestra de 20 países, Pradhan *et al.* (2009) examinan la relación entre el desarrollo de infraestructura de telecomunicaciones y cinco variables: el crecimiento económico, la

GRÁFICA 3. *Dispersión del II-T y los subíndices de infraestructura de telecomunicaciones*

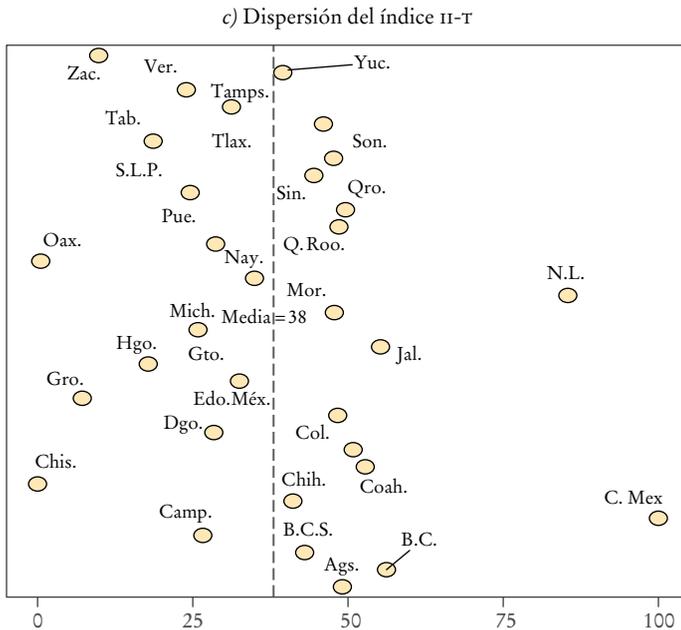
a) *Dispersión del subíndice móvil*



b) *Dispersión del subíndice fijo*

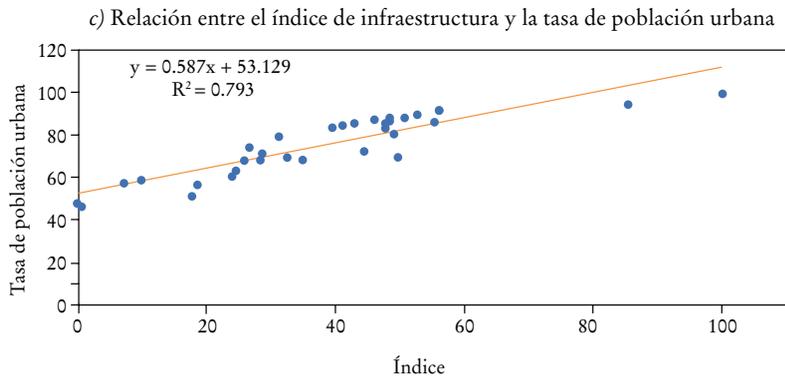
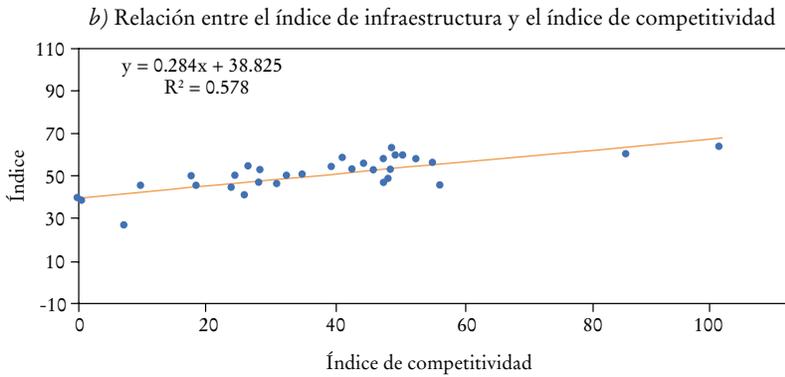
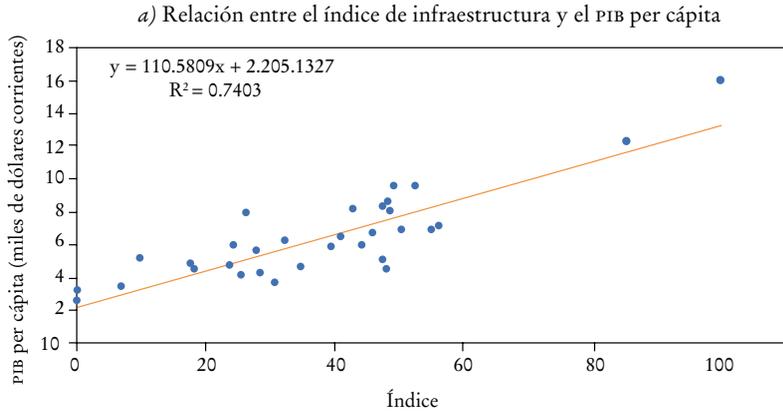


GRÁFICA 3 (continuación)



formación bruta de capital, la inversión extranjera directa, la tasa de urbanización y la apertura comercial. Para medir la infraestructura de telecomunicaciones estiman un índice compuesto y para evaluar la relación entre variables aplican la metodología de Var a un panel de 22 años. Su resultado indica que la relación entre variables es de largo plazo y en ambos sentidos. De hecho, sugieren que el desarrollo de infraestructura de telecomunicaciones siempre promueve crecimiento económico, aunque tiene un límite; en contraste, el crecimiento no siempre motiva el desarrollo de infraestructura. Shahiduzzaman y Alam (2014) aportan evidencia sobre la relación entre las TIC, el PIB y la productividad en Australia. Demuestran una relación bidireccional entre el PIB (y productividad) y las TIC; además, estas últimas contribuyen de manera significativa a la producción tanto en el corto como en el largo plazo. Al-mutawkkil *et al.* (2009) analizan la relación de un índice compuesto de infraestructura en telecomunicaciones y el crecimiento económico, así como respecto de otros índices como el de desarrollo humano de la ONU, el índice ICT de la UIT, y el índice ArCo de tecnologías. Los autores establecen que el desarrollo de las telecomunicaciones es un factor

GRÁFICA 4. Relación del I-T con indicadores de progreso



relevante para el crecimiento. Gerpott y Ahmadi (2015) evalúan un índice del avance de las telecomunicaciones respecto de la variación bianual del PIB per cápita y el índice de desarrollo humano, encontrando una relación positiva. Sabbagh *et al.* (2012) establecen una relación positiva entre un índice de digitalización y diferentes indicadores de progreso económico (crecimiento del PIB, creación de empleos e innovación), social (calidad de vida y acceso a servicios básicos) y sobre el desempeño gubernamental (transparencia, educación y uso de *e-gobierno*).

De acuerdo con la literatura descrita, hay numerosos ejemplos que evidencian el efecto positivo de la inversión en infraestructura sobre el crecimiento y el progreso económico, o, en su caso, sobre la relación bilateral entre ambas variables, en la cual se determina un efecto mayor derivado de la inversión sobre el crecimiento. Estos hallazgos encuentran respaldo adicional en la espera que existe en algunas regiones y países, respecto de la oferta de servicios de telecomunicaciones como los que se prestan con fibra óptica o los de redes móviles de 4G. Dicha espera es considerada por algunos autores (Banco Mundial, 2005) como indicio de las limitaciones en la oferta, más que una restricción de la demanda. Por otra parte, se ha mencionado la falta de consenso respecto de cuál sea la mejor técnica para estimar índices compuestos.

Para probar la validez del Π -T sugerido se realiza un ejercicio econométrico que permite inferir si la propuesta ofrece una medición válida de clasificación de las unidades geográficas respecto de tres indicadores de progreso: el PIB per cápita, la tasa de urbanización y el índice de competitividad económica. Esta mecánica de validación ha sido ampliamente documentada en la academia y es recomendada por la OCDE (2008). Además del ejercicio de validación, debe recordarse que la construcción del Π -T se ha basado en una metodología que le permite tener capacidad predictiva respecto de las mediciones del progreso económico, ya que su definición incluyó la integración de todas las sugerencias propuestas por la OCDE y utilizadas por diversos autores. Por su parte, el Π -T debe su fortaleza a su diseño, enfocado en medir exclusivamente la infraestructura para la provisión de los servicios de telecomunicaciones, sin incorporar otras variables que responden a políticas y causas diferentes.

Mediante el Π -T y las cifras estatales de progreso se corrobora una relación positiva y significativa entre éstos, con coeficientes de correlación superiores a 70% y un ajuste de la recta con los datos (R^2) en rango aceptable (véase la gráfica 4). El resultado es consistente con la teoría económica, con lo cual se infiere que la capacidad predictiva del Π -T es adecuada. De lo anterior se infiere que las entidades con un mayor equipamiento de telecomu-

nicaciones (Π -T más alto), tienen un mejor nivel tanto de PIB per cápita, como de competitividad; como era de esperar, éstas son generalmente las entidades que presentan una mayor tasa de población urbana.

El resultado aporta evidencia a la hipótesis que sustenta la importancia que tienen las telecomunicaciones en la actualidad, no sólo en el PIB, sino en la competitividad de las empresas; en este último, mejorando los aspectos productivos mediante la especialización de los trabajadores, la reducción de costos de transacción y una mayor innovación.

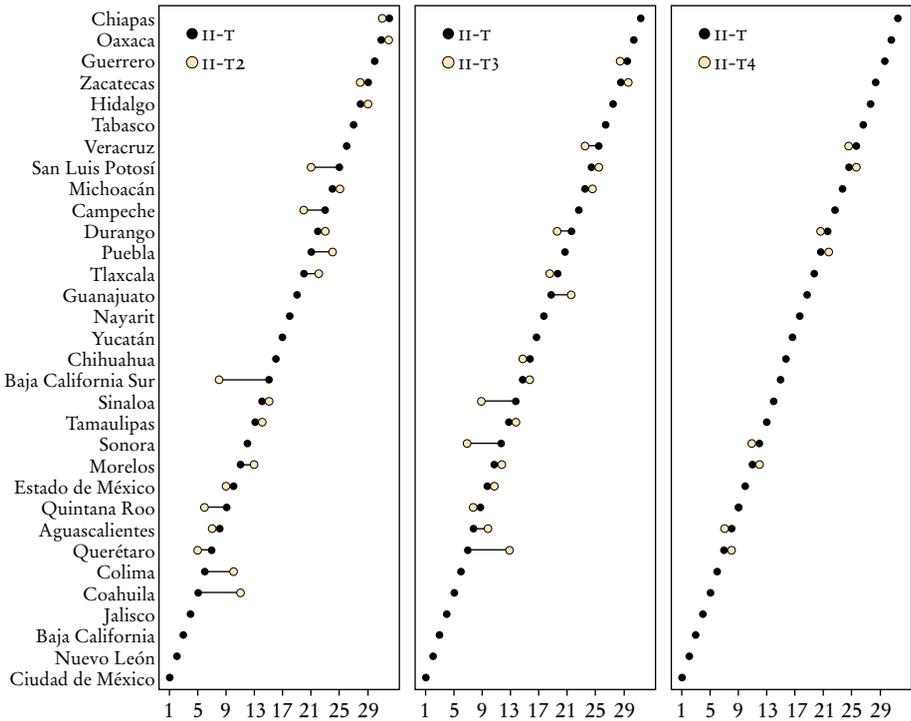
1. *Análisis de sensibilidad*

Se realizaron pruebas de sensibilidad a fin de determinar el impacto que tiene modificar algunos de los supuestos que se realizaron al proponer los indicadores para la medición del Π -T. Específicamente, se hicieron tres ejercicios adicionales de construcción del índice (Π -T₂, Π -T₃ y Π -T₄). En las dos primeras modificaciones se cambia la integración de indicadores y en la tercera se estimaron los subíndices fijo y móvil con la aplicación de ponderadores subjetivos iguales a $1/N$, donde N es el número de indicadores originalmente propuestos que integran cada subíndice. Para la primera alternativa (Π -T₂) se omite la tasa de penetración de fibra óptica en el subíndice fijo y la de 4G del subíndice móvil. Lo anterior supone que la infraestructura de nueva generación aún no aporta aspectos relevantes de la infraestructura.¹⁰ Para el índice Π -T₃ se eliminan los indicadores de 3G y telefonía pública de los subíndices móvil y fijo, respectivamente. Esta variación presupone una mayor contribución de las nuevas tecnologías. Como se señaló, la última variación usa los mismos indicadores, pero aplica ponderadores fijos para la agregación.

Los resultados muestran que las alternativas generan pocos cambios en el orden de los estados derivados de los nuevos índices respecto del Π -T originalmente estimado, sin que éstos sean particularmente significativos. En el Π -T₂ destaca la mejor posición relativa de Baja California Sur y San Luis Potosí y un retroceso de Coahuila y Colima. En el caso del Π -T₃ se aprecia un mayor avance en la posición de Sinaloa y Sonora y un retraso en la de Querétaro. En estas dos modificaciones la mayoría de las entidades cambia una posición o permanece en el mismo lugar. Respecto del Π -T₄ se observan incluso menos cambios en las posiciones estatales (véase la gráfica 5).

¹⁰ Para cifras de 2015 este supuesto no es excesivo, en virtud de que la penetración de nuevas tecnologías aún no era importante.

GRÁFICA 5. Variación en el ordenamiento de las entidades respecto del Π -T



FUENTE: elaboración propia.

Con los nuevos índices se realizó también el ejercicio econométrico respecto de los indicadores de progreso económico. De éstos se deducen las mismas conclusiones que con el Π -T, esto es, que los índices alternativos también presentan relaciones positivas con los indicadores de progreso, acordes con lo esperado, y en todos los casos los coeficientes son de signo igual y de magnitud comparable a aquella de los presentes en el ejercicio original.

De lo anterior se concluye que cualquiera de los índices considerados produce una medición adecuada de la infraestructura de telecomunicaciones. No obstante, el Π -T refleja con mayor integridad los distintos aspectos de la infraestructura, y en ese sentido resulta una mejor opción que las alternativas.

CUADRO 3. *Análisis de sensibilidad. Relación entre indicadores de progreso e índices de infraestructura alternativos*

Índice	PIB per cápita	Tasa de población urbana	Índice de competitividad
II-T	$y = 110.60x + 2205.37$ $R^2 = 0.7405$	$y = 0.5873x + 53.137$ $R^2 = 0.7932$	$y = 0.2841x + 38.818$ $R^2 = 0.5785$
II-T2	$y = 112.61x + 2365.884$ $R^2 = 0.7872$	$y = 0.5713x + 54.947$ $R^2 = 0.7696$	$y = 0.2786x + 39.613$ $R^2 = 0.5704$
II-T3	$y = 111.10x + 1778.577$ $R^2 = 0.6986$	$y = 0.6051x + 50.239$ $R^2 = 0.7872$	$y = 0.2926x + 37.423$ $R^2 = 0.5734$
II-T4	$y = 110.92x + 2150.131$ $R^2 = 0.7368$	$y = 0.5904x + 52.789$ $R^2 = 0.7930$	$y = 30.2860x + 38.634$ $R^2 = 0.5800$

Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES

La estimación de un índice compuesto de infraestructura de telecomunicaciones como el propuesto en este estudio resulta de relevancia, pues a nivel local no se encuentra una medición similar. Incluso a nivel internacional no se detecta un índice que mida exclusivamente la infraestructura, ya que la mayoría de las propuestas tienen un objetivo más amplio pero menos acotado para el diseño de políticas públicas.

La estimación de índices puede estar sujeta a cierta subjetividad en la selección de indicadores y de las técnicas de agregación, particularmente en lo que se refiere a la ponderación de las variables. La propuesta que aquí se presenta busca acotar estas causas de subjetividad, para lo que se aplican criterios de selección de los indicadores acordes con la teoría económica y el uso validado de las variables, así como con la implementación de métodos estadísticos que permiten ponderar los indicadores de manera objetiva y eficiente.

El II-T proporciona una medida relativa de equipamiento de infraestructura que permite un ordenamiento relativo (*ranking*) de las diferentes enti-

dades de México. Tiene la virtud de proporcionar medidas parciales independientes en lo relativo a las categorías de servicios: fijo y móvil. Además proporciona una medida integral para la infraestructura de telecomunicaciones (el Π -T).

A diferencia de otras propuestas, el Π -T sólo incluye indicadores de infraestructura y deja de lado aspectos como las habilidades de uso de las TIC, la penetración de *e*-servicios o la accesibilidad económica de los servicios que se prestan con dicha infraestructura. Ello permite contar con una medición diseñada exclusivamente para detectar el avance o rezago en la dotación de infraestructura, la cual responde a políticas públicas específicas e independientes de la política educativa, por ejemplo. Esto significa que el Π -T permite evaluar su valor de clasificación específico y contrasta así con otras propuestas en el ámbito internacional.

En concordancia con la teoría económica, el Π -T sugiere que a nivel local existe una relación positiva y significativa respecto de importantes variables de progreso económico, lo que corrobora su validez y la relevancia de la inversión en infraestructura sectorial. Este tipo de estimaciones puede extenderse a otros campos en los que la teoría predice una relación entre la infraestructura sectorial y otras variables sociales y económicas; sin embargo, en dichos campos los estudios cuantitativos para determinar la relación aún son escasos. Tal es el caso de la productividad del trabajo, la penetración de los servicios de banda ancha y, con ellos, el comercio electrónico, el *e*-gobierno y el acceso a mayores contenidos de entretenimiento y noticias, así como a la educación y a la salud, entre otros.

Debe decirse que en futuras investigaciones podrá abordarse el estudio a un nivel de desagregación más específico como el municipal, a fin de generar información útil para el diseño de políticas públicas locales enfocadas al desarrollo regional, tales como el desarrollo de pequeñas y medianas empresas, aplicaciones para la agricultura, la educación y la salud. Otra línea de investigación futura podría abordar la estimación de índices para los países latinoamericanos y su asociación respecto del crecimiento económico y la productividad. Un estudio de esta naturaleza permitiría determinar el impacto del desarrollo en infraestructura de telecomunicaciones en variables de interés económico, en países con nivel de desarrollo similar al de México.

APÉNDICE

CUADRO A1. *Ranking de las entidades según II-T e índices alternativos*

<i>Entidad</i>	<i>II-T</i>	<i>II-T2</i>	<i>II-T3</i>	<i>II-T4</i>
Ciudad de México	1	1	1	1
Nuevo León	2	2	2	2
Baja California	3	3	3	3
Jalisco	4	4	4	4
Coahuila	5	11	5	5
Colima	6	10	6	6
Querétaro	7	5	13	8
Aguascalientes	8	7	10	7
Quintana Roo	9	6	8	9
Estado de México	10	9	11	10
Morelos	11	13	12	12
Sonora	12	12	7	11
Tamaulipas	13	14	14	13
Sinaloa	14	15	9	14
Baja California Sur	15	8	16	15
Chihuahua	16	16	15	16
Yucatán	17	17	17	17
Nayarit	18	18	18	18
Guanajuato	19	19	22	19
Tlaxcala	20	22	19	20
Puebla	21	24	21	22
Durango	22	23	20	21
Campeche	23	20	23	23
Michoacán	24	25	25	24
San Luis Potosí	25	21	26	26
Veracruz	26	26	24	25
Tabasco	27	27	27	27
Hidalgo	28	29	28	28
Zacatecas	29	28	30	29
Guerrero	30	30	29	30
Oaxaca	31	32	31	31
Chiapas	32	31	32	32

CUADRO A2. Estratificación de los estados de acuerdo con los subíndices e II-T

	Subíndice móvil						II-T			
	Subíndice móvil		Subíndice fijo		II-T		Valor	Estrato	Valor	Estrato
	Valor	Estrato	Valor	Estrato	Valor	Estrato				
Ciudad de México	100	Alto	Ciudad de México	100	Alto	Ciudad de México	100	Alto	Alto	
Nuevo León	85.5	Alto	Nuevo León	85.7	Alto	Nuevo León	85.4	Alto	Alto	
Estado de México	76.9	Alto	Queretaro	48.8	Alto	Baja California	56.2	Alto	Alto	
Baja California	70.5	Alto	Baja California Sur	44.4	Alto	Jalisco	55.2	Alto	Alto	
Colima	70.1	Alto	Jalisco	44	Alto	Coahuila	52.8	Alto	Alto	
Jalisco	68	Alto	Coahuila	43.9	Alto	Colima	50.8	Alto	Alto	
Aguascalientes	64.8	Alto	Baja California	43.4	Alto	Querétaro	49.6	Medio	Medio	
Quintana Roo	63.3	Medio	Sonora	36.8	Alto	Aguascalientes	49.1	Medio	Medio	
Coahuila	63.2	Medio	Morelia	36.3	Medio	Quintana Roo	48.5	Medio	Medio	
Tamaulipas	62.5	Medio	Quintana Roo	35.6	Medio	Estado de México	48.3	Medio	Medio	
Morelia	61.1	Medio	Aguascalientes	35.1	Medio	Morelia	47.8	Medio	Medio	
Sonora	60.3	Medio	Sinaloa	33.6	Medio	Sonora	47.7	Medio	Medio	
Sinaloa	57.2	Medio	Colima	33.3	Medio	Tamaulipas	46	Medi	Medi	
Yucatán	56.4	Medio	Tamaulipas	31.5	Medio	Sinaloa	44.5	Medio	Medio	
Tlaxcala	56	Medio	Chihuahua	28.9	Medio	Baja California Sur	43	Medio	Medio	

Chihuahua	55.3	Medio	Campeche	25.6	Medio	Chihuahua	41.1	Medio
Querétaro	51.8	Medio	Guanajuato	24.9	Medio	Yucatán	39.5	Medio
Nayarit	47.6	Medio	Yucatán	24.7	Medio	Nayarit	34.9	Medio
Baja California Sur	43.2	Medio	Nayarit	24.3	Medio	Guanajuato	32.5	Medio
Guanajuato	42.2	Medio	San Luis Potosí	23.4	Medio	Tlaxcala	31.2	Medio
Puebla	42.1	Medio	Estado de México	21.9	Medio	Puebla	28.7	Bajo
Durango	37.5	Bajo	Durango	21.5	Medio	Durango	28.4	Bajo
Michoacán	37.1	Bajo	Puebla	17.6	Bajo	Campeche	26.6	Bajo
Tabasco	34.5	Bajo	Michoacán	16.9	Bajo	Michoacán	25.8	Bajo
Veracruz	34.1	Bajo	Zacatecas	16.6	Bajo	San Luis Potosí	24.6	Bajo
Hidalgo	31.6	Bajo	Veracruz	16.1	Bajo	Veracruz	24	Bajo
Campeche	29.8	Bajo	Tlaxcala	9	Bajo	Tabasco	18.6	Bajo
San Luis Potosí	27.9	Bajo	Guerrero	7.5	Bajo	Hidalgo	17.8	Bajo
Guerrero	9.5	Bajo	Hidalgo	6.7	Bajo	Zacatecas	9.8	Bajo
Zacatecas	5.5	Bajo	Tabasco	5.3	Bajo	Guerrero	7.2	Bajo
Oaxaca	3.9	Bajo	Chiapas	2.8	Bajo	Oaxaca	0.5	Bajo
Chiapas	0	Bajo	Oaxaca	0	Bajo	Chiapas	0	Bajo

CUADRO A3. Matriz de datos

Entidad	3G	4G	TEL MOVIL	P_TV_ RES_CAB	P_TEL_ RES	P_TEL_ NRES	LIN_PUB_ HAB	ACC_ RES_ RES_BAF_ HOG	ACC_ NRES_ BAF_UEC	ACCS_RES_ BAF_ FIOP_ HOG			ACCS_ NRES_ BAF_ FIOP_ UEC		
Aguascalientes	0.884	0.692	104.41	27.2	46.6	136.4	9.8	408.0	515.0	10.0	223.1				
Baja California	0.891	0.798	103.46	31.9	46.7	158.4	8.4	612.8	872.5	4.0	177.3				
Baja California Sur	0.731	0.505	100.55	37.2	41.8	118.4	6.2	505.2	783.6	13.7	442.9				
Campeche	0.722	0.421	82.70	47.7	25.0	66.4	9.4	350.7	398.4	0.1	2.5				
Coahuila	0.955	0.778	81.64	27.1	46.3	166.9	16.3	499.7	637.1	5.2	271.7				
Colima	0.975	0.780	93.25	29.9	45.8	93.4	11.9	491.7	582.5	1.7	53.8				
Chiapas	0.588	0.256	56.50	21.5	12.4	40.6	5.2	136.9	225.4	2.4	35.0				
Chihuahua	0.907	0.673	83.18	18.3	42.3	133.3	7.8	447.6	628.8	3.8	203.4				
Ciudad de México	0.999	0.965	132.46	34.1	94.9	400.7	17.1	859.7	836.6	40.7	920.9				
Durango	0.833	0.456	80.01	21.7	33.0	94.0	11.5	338.5	386.3	1.1	103.5				
Guanajuato	0.818	0.634	71.99	24.8	45.3	84.0	8.5	381.3	400.3	4.4	103.6				
Guerrero	0.702	0.262	60.40	11.7	30.5	41.7	8.0	277.3	219.7	0.9	19.9				
Hidalgo	0.903	0.369	67.65	14.3	26.1	51.7	5.8	257.5	291.9	0.3	31.3				
Jalisco	0.951	0.713	99.59	31.8	59.3	148.1	9.5	535.7	527.5	8.8	351.7				
Estado de México	0.976	0.778	107.76	15.7	45.9	64.4	6.9	460.1	284.7	3.8	279.5				
Michoacán	0.918	0.501	62.46	33.1	34.6	49.5	4.9	322.1	290.9	1.6	42.5				

Entidad	3G	4G	TEL MOVIL	P_TV_ RES_CAB	P_TEL_ RES	P_TEL_ NRES	LIN_PUB_ HAB	ACC_ RES_BAF_ HOG	ACC_ NRES_ BAF_UEC	ACCS_RES_ BAF_ FOP_ HOG			ACCS_ NRES_ FOP_ HOG		
										ACC_ RES_BAF_ HOG	ACC_ NRES_ BAF_UEC	ACC_RES_ BAF_ FOP_ HOG	ACCS_ NRES_ FOP_ HOG	ACCS_ NRES_ FOP_ HOG	ACCS_ NRES_ FOP_ HOG
Morelia	0.974	0.693	83.97	29.2	54.1	100.8	9.4	538.5	386.5	7.8	237.9	237.9	7.8	237.9	237.9
Nayarit	0.893	0.514	86.74	30.9	36.0	98.6	9.7	389.9	395.1	0.3	24.1	24.1	0.3	24.1	24.1
Nuevo León	0.986	0.851	116.47	28.6	78.3	398.4	13.6	688.8	843.0	24.5	1270.7	1270.7	24.5	1270.7	1270.7
Oaxaca	0.657	0.223	58.94	9.3	19.9	33.8	5.9	189.0	206.6	0.7	10.2	10.2	0.7	10.2	10.2
Puebla	0.933	0.500	71.04	18.1	40.2	60.1	8.4	361.0	281.2	3.3	86.1	86.1	3.3	86.1	86.1
Queretaro	0.791	0.639	95.53	40.8	46.0	168.6	8.3	561.1	719.0	12.6	320.7	320.7	12.6	320.7	320.7
Quintana Roo	0.882	0.678	102.98	26.7	28.1	153.0	7.9	473.8	894.5	8.5	164.4	164.4	8.5	164.4	164.4
San Luis Potosí	0.721	0.416	79.47	22.1	37.6	89.2	7.3	349.9	403.7	6.6	236.4	236.4	6.6	236.4	236.4
Sinaloa	0.965	0.559	92.15	33.5	31.8	178.7	9.4	429.8	584.1	3.7	131.9	131.9	3.7	131.9	131.9
Sonora	0.948	0.617	94.62	41.1	35.5	114.8	9.0	518.2	654.7	2.3	129.9	129.9	2.3	129.9	129.9
Tabasco	0.880	0.392	74.55	12.8	18.2	76.4	4.5	221.5	406.6	0.8	24.9	24.9	0.8	24.9	24.9
Tamaulipas	0.969	0.751	81.11	33.5	40.4	145.6	9.9	423.4	582.0	0.5	7.3	7.3	0.5	7.3	7.3
Tlaxcala	0.992	0.567	84.98	17.9	33.3	35.9	6.6	326.6	165.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Veracruz	0.848	0.449	71.61	20.0	28.2	71.7	9.2	319.6	379.8	1.9	41.4	41.4	1.9	41.4	41.4
Yucatán	0.900	0.571	97.95	32.2	30.1	64.3	7.9	366.4	336.7	9.1	164.9	164.9	9.1	164.9	164.9
Zacatecas	0.550	0.336	64.34	30.1	31.9	58.6	7.4	315.0	311.0	0.1	4.7	4.7	0.1	4.7	4.7

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-mutawakkil, A., A. Heshmati y J. Hwang (2009), "Development of Telecommunication and Broadcasting Infrastructure Indices at the Global Level", *Telecommunications Policy*, 33 (3-4), 176-199.
- Bagchi, K. (2005), "Factors Contributing to Global Digital Divide: Some Empirical Results", *Journal of Global Information Technology Management*, 8 (3), 47-65.
- Banco Mundial (2005), "Monitoring & Evaluation Tool Kit for e-Strategies Results".
- Billon, M., F. Lera-Lopez y R. Marco (2009), "Disparities in ICT Adoption: A Multidimensional Approach to Study the Cross-Country Divide", *Telecommunications Policy*, 33 (10-11), 596-610.
- Boston Consulting Group (BCG) (2015), "Digital Intensity and GDP Per Capita", Working Paper, BCG. Disponible en: <http://www.rioaltoconsultancy.com/pdfs/appendices/BCG%20report%20-%20The%20Connected%20Kingdom.pdf>
- Cieřlik, A., y M. Kaniewska (2004), "Telecommunications Infrastructure and Regional Economic Development: The Case of Poland", *Regional Studies*, 38, 713-725.
- Corrocher, N., y A. Ordanini (2002), "Measuring the Digital Divide: A Framework for the Analysis of Cross-Country Differences", *Journal of Information Technology*, 17, 9-19.
- Dalenius, T., y J. L. Hodges Jr. (1959), "Minimum Variance Stratification", *Journal of the American Statistical Association*, 54 (285), 88-101.
- Dutta, A. (2001), "Telecommunications and Economic Activity: An Analysis of Granger Causality", *Journal of Management Information System*, 17 (4), 71-95.
- Gerpott, T., y N. Ahmadi (2015), "Advancement of Indices Assessing a Nation's Telecommunications Development Status: APLS Structural Equation Analysis of over 100 Countries", *Telecommunications Policy*, 39 (2), 93-111.
- Hanafizadeh, M. R., A. Saghaei y P. Hanafizadeh (2009), "An Index for Cross-Country Analysis of ICT Infrastructure and Access", *Telecommunications Policy*, 33 (7), 385-405.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (2010), "Nota técnica. Estratificación multivariada", Censo de Población y Vivienda 2010. Disponible en: <http://gaia.inegi.org.mx/scince2/documentos/scince/fichaTecnica.pdf>
- Katz, R. L., y F. Callorda (2015), "Impacto de arreglos institucionales en la digitalización y el desarrollo económico de América Latina", Conferencia anual CPR LATAM, Cancún. Disponible en: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2713990
- Katz, R. L., y P. Koutroumpis (2013), "Measuring Digitization: A Growth and Welfare Multiplier", *Technovation*, 33 (10-11), 314-319.

- Little, R., y D. Rubin (2002), *Statistical Analysis with Missing Data*, 2ª ed., John Wiley & Sons, Nueva York.
- Medina, F., y M. Galván (2007), “Imputación de datos: teoría y práctica”, División de Estadística y Proyecciones Económicas, CEPAL (Serie Estudios Estadísticos y Prospectivos, 54), Santiago de Chile.
- Nicoletti, G., S. Scarpetta y O. Boylaud (2000), “Summary Indicator of Product Market Regulation with an Extension to Employment Protection Legislation”, Working Paper No. 226, Departamento de Economía de la OCDE, París. Disponible en: http://www.oecd.org/eco/Giuseppe_Nicoletti_OECD_CV.pdf
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2008), *Handbook of Constructing Composite Indicators*. Disponible en: <http://www.oecd.org/std/42495745.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU) (2010), *E-Government Survey 2010. Leveraging E-Government at a Time of Financial and Economic Crisis*. Disponible en: <https://publicadministration.un.org/egovkb/Portals/egovkb/Documents/un/2010-Survey/Complete-survey.pdf>
- Pradhan, R. P., M. B. Arvin, N. R. Norman y S. K. Bele (2014), “Economic Growth and the Development of Telecommunications Infrastructure in the G-20 Countries: A Panel-VAR Approach”, *Telecommunications Policy*, 38 (7), 634-649.
- Sabbagh, K., R. Freidrich, B. El-Darwiche y M. Sing (2012), “Maximizing the Impact of Digitization”, Booz & Company, Disponible en: https://www.strategyand.pwc.com/media/uploads/Strategyand_Maximizing-the-Impact-of-Digitization.pdf
- Shahiduzzaman, M., y A. Khorshed (2014), “The Long-Run Impact of Information and Communication Technology on Economic Output: The Case of Australia”, *Telecommunications Policy*, 38 (7), 623-633.
- Schuschny A., y H. Soto (2009), “Guía metodológica. Diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible”, documento de proyecto, ONU. Disponible en: http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3661/S2009230_es.pdf?sequence=1
- Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) (2003), “ITU Digital Access Index: World’s First Global ICT Ranking”, Ginebra. Disponible en: http://www.itu.int/newsroom/press_releases/2003/30.html
- ____ (2009), “Measuring the Information Society: The ICT Development Index”, Ginebra. Disponible en: https://www.itu.int/ITU-D/ict/publications/idi/material/2009/MIS2009_w5.pdf
- Waverman, L., K. Dasgupta y J. Rajala (2011), *Connectivity Scorecard 2011*, Berkeley Research Group, Communicea and Nokia Siemens Networks, Londres.
- Waverman, L., y P. Koutroumpis (2011), “The Telecommunications Regulatory Governance Index (TRGI)”, *Telecommunications Policy*, 35 (5), 480-468.