

# **Disponibilidad Municipal de la Infraestructura de Telecomunicaciones<sup>1</sup>**

**Rebeca Escobar-Briones<sup>2</sup>y  
Yobanny Melesio Sámano Claudio<sup>3</sup>**

## **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, 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 (Shahiduzzaman y Alam, 2014; Cronin et al, 1993) y el crecimiento (Al-mutawkkil, 2009; Pradahn, 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 en donde prevalece desigualdad local de equipamiento. En diciembre de 2016, había en el país 59 líneas de telecomunicación fijas y 48 suscripciones de banda ancha fija por cada 100 hogares; en telecomunicaciones móviles se reportan 91 suscriptores por cada 100 habitantes y 61 de banda ancha. Para estos indicadores Chile registró 82, 56, 149 y 120 y Argentina 75, 51, 144 y 93.

Las telecomunicaciones son servicios que se prestan con infraestructura que tiene carácter multifactorial. Esta engloba todas las instalaciones, construcciones, equipos y equipamiento, para proveer servicios de naturaleza diferente como las comunicaciones fijas incluyendo el Internet, las móviles de voz y de datos, y la transmisión de servicios de audio y video a través de cable u otra tecnología.

---

<sup>1</sup> El contenido de este documento de Investigación, así como las conclusiones que en él se presentan son responsabilidad exclusiva de la autora y no reflejan necesariamente las del Centro de Estudios ni las del Instituto Federal de Telecomunicaciones.

<sup>2</sup> Investigadora en Competencia Económica del IFT. Experta en competencia, organización industrial y telecomunicaciones. Fue Candidata a Comisionada para el IFT y la Cofece en 2013 y 2016. Es maestra en Política Pública (ITAM) y postgrado en Administración de Empresas (U. Católica de Lovaina). Egresada de la carrera de economía (ITAM), con amplia experiencia en regulación y competencia como Dir. General de Regulación y Privatización, así como de Asuntos Internacionales en la CFC, entre otros cargos. Experiencia en regulación sectorial y promoción de competencia, determinación de poder sustancial y condiciones de competencia efectiva; evaluación de candidatos a participar en licitaciones; interconexión; comunicación satelital, entre otros.

<sup>3</sup> Estudiante de la Facultad de Economía de la Universidad Nacional Autónoma de México interesado en temas de potenciamiento económico, ciencia y tecnología, mercados financieros. Actualmente realiza sus prácticas profesionales en el Centro de Estudios del Instituto Federal de Telecomunicaciones.

El despliegue de infraestructura se sujeta a importantes costos directos, de oportunidad y de transacción, por lo que las áreas más densamente pobladas y con mayor capacidad económica son las que generalmente cuentan con una mayor disponibilidad de equipamiento. Las disparidades en la infraestructura pueden incidir en el potencial de crecimiento y desarrollo socioeconómico de las distintas regiones del país (Shahiduzzaman y Alam, 2014), acentuando 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. 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 materia de la infraestructura de telecomunicaciones. A nivel municipal esta información es aún más escasa.

Existen algunas alternativas para medir la infraestructura sectorial sugeridas por autores en la academia, así como por los diferentes 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 acoten 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 este va agregado a los otros aspectos como los precios de los servicios. Por lo anterior, se hace necesario contar con un índice o medida que permita estimar esta variable y que integre las distintas infraestructuras correspondientes a la provisión de los servicios de telecomunicación. No se prejuzga en este estudio sobre la relevancia de factores educativos o de accesibilidad económica, que inciden sobre el desarrollo digital.

El objeto del estudio es definir un índice cuantitativo para determinar la infraestructura sectorial con que cuentan los municipios de México para el año 2015. El índice propuesto refleja exclusivamente lo relativo a la infraestructura para permitir ordenar dichas unidades según su equipamiento y detectar las zonas de mayor necesidad en esa materia. La limitada información disponible sujetó la estimación del índice al uso de indicadores sobre la penetración de los servicios. Estos son comúnmente aceptados en la literatura económica y por los organismos internacionales, pero son sólo medidas indirectas de la disponibilidad de infraestructura, ya que idealmente se requieren indicadores sobre la existencia del equipamiento empleado para la prestación de los servicios, por lo que el índice es una aproximación que se realiza a través de las tasas de penetración de los diferentes servicios.

Un índice específico para la infraestructura de las telecomunicaciones facilita llegar a conclusiones en materia de políticas públicas sectoriales. Lo anterior es particularmente importante si se considera que otros aspectos asociados a las telecomunicaciones (como las habilidades de uso, la accesibilidad económica o la calidad del capital humano), requieren de política y de acciones específicas de naturaleza diferente a la inversión en infraestructura.

La definición de un índice y la medición de la infraestructura de telecomunicaciones es relevante por el impacto que esta tiene sobre el desempeño económico y por ende, sobre el empleo y el nivel de vida de la población (Hanafizadeh et al, 2009; Shahiduzzaman y Alam, 2014, 2011; Pradah, 2009; Dutta, 2001;). Para determinar la eficacia del índice propuesto se evalúa en este estudio su relación con dos indicadores de progreso: el Índice de Marginación estimado por la Comisión Nacional de Población (Conapo) y con la proporción de la población activa con ingresos muy bajos (de menos de dos salarios mínimos). Este último, como una aproximación del ingresos de la población, ya que no se cuenta con el PIB per cápita a nivel de desagregación requerido.

Cabe destacar que el ejercicio genera una medición para cada municipio respecto de su equipamiento sectorial. Los índices estimados brindan una medición relativa de la infraestructura sectorial, la cual observa en su diseño los criterios recomendados por la OCDE (2009) y usados por diferentes autores en el plano internacional. Lo anterior ofrece un primer criterio de validez. Así también se prueba la relación esperada entre el índice de infraestructura de telecomunicaciones (II-T) y los indicadores de progreso social mencionados en el párrafo anterior, corroborándose así la consistencia de la propuesta. Esta permite además replicarla y utilizarla a otro nivel de desagregación geográfica, en otros periodos o bien, cuando se cuente con mayor información sobre el equipamiento sectorial.

En la primera sección se presenta la revisión bibliográfica sobre los índices compuestos y su aplicación relacionada a la infraestructura de telecomunicaciones. En un segundo apartado, se incluye la propuesta de indicadores para medir la infraestructura sectorial, además de que se plantean las consideraciones metodológicas aplicables al diseño de un Índice compuesto que mida exclusivamente la infraestructura de telecomunicaciones, así como lo relativo al método de estratificación de Dalenius-Hodges. En la tercera sección se presentan los principales resultados cuantitativos del índice. En virtud de que el estudio cubre 2,446 municipios del país, el artículo se circunscribe a los resultados locales más destacados. Los resultados numéricos completos pueden consultarse por medio electrónico<sup>4</sup>. El cuarto apartado presenta una evaluación de la consistencia del II-T, al relacionarlo con dos indicadores de progreso socioeconómico que dan una medida sobre el desempeño socioeconómico de cada municipio. En la quinta sección se integran las conclusiones del estudio, y en el último apartado se presenta la bibliografía empleada. El estudio incluye además un anexo electrónico con los resultados desagregados a nivel de todos los municipios analizados

## **1. Revisión Bibliográfica sobre los Índices de Medición de la Infraestructura**

---

<sup>4</sup> Véase anexo estadístico de este estudio.

En este apartado se presenta una revisión bibliográfica sobre los índices compuestos en materia de telecomunicaciones y radiodifusión, que han definido diversos autores en la academia, así como los organismos interesados en la infraestructura sectorial.

La infraestructura es un concepto multifactorial que requiere para su determinación de diferentes indicadores que reflejan los distintos aspectos y dimensiones de la misma. El objeto de este estudio es estimar un índice compuesto, II-T, que proporcione una medida única de la disponibilidad de la misma a nivel local, y que permita determinar las áreas de acuerdo a su rezago o avance en la materia.

El diseño de un índice compuesto presenta diferentes consideraciones que abarcan la selección de indicadores que explican toda la infraestructura, incluyendo en su caso, la imputación de datos faltantes, la determinación de las categorías o subíndices en que pueden integrarse, y la técnica para agregarlos en una métrica o índice compuesto. Este último aspecto implica definir las ponderaciones y la estandarización de los indicadores para su agregación, ya que estos normalmente están definidos en distintas unidades. Estos aspectos han sido señalados y desarrollados por diferentes autores y destacados por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2009).

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, entre otros, 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 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 o radiodifusión que almacenan, emiten, procesan, reciben o transmiten escritos, imágenes, sonidos, señales, signos o información de cualquier naturaleza.

Existen dos formas de medir la infraestructura sectorial, 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 de telecomunicaciones 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 indirecta se refiere propiamente al uso de las telecomunicaciones por parte de los consumidores. Bajo ese criterio se supone que para poder usar las telecomunicaciones o hacer uso de los servicios, debe haber infraestructura física que lo respalde. En este segundo grupo se encuentran las penetraciones de servicios, el número de suscriptores de los servicios, el tráfico cursado, la disponibilidad de equipos en los hogares y negocios, entre otros. En la literatura económica no hay muchas índices que incluyan sólo indicadores directos sobre la disponibilidad de infraestructura de telecomunicaciones y la radiodifusión. Lo anterior, debido a la escasez de estadísticos directos relacionados con esta variable. Para ello, si bien

no es idóneo, se ha generalizado el uso de indicadores indirectos en la medición de infraestructura.

De los estudios analizados se infiere también, que la mayoría de los índices desarrollados por los investigadores académicos e institucionales se abocan a 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, 2013; Billon et al, 2009; Corrocher y Ordanni, 2002); la conectividad (Waverman et al, 2011) o el desempeño digital (Katz, 2017). Así, pocos índices se limitan exclusivamente a la medición de la infraestructura sectorial, aunque sí la consideran como uno de las dimensiones del fenómeno estudiado. Al mutawkkil et al (2009), Hanafizadeh et al (2009) y Pradah 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 5 indicadores, de los cuales sólo uno de ellos (computadoras por habitante) se aparta del concepto tradicional de infraestructura (fija, móvil e Internet, los cuales mide con tasas de penetración de los servicios) y refleja de manera indirecta, a través del equipamiento de la población, la existencia de infraestructura necesaria para el uso del mismo.

Al mutawkkil et al definen y estiman a través de componentes principales (CP) y técnicas no paramétricas, un *Índice de Infraestructura Compuesto* 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 presentan un *Índice del Dividendo Digital* que incluye indicadores de infraestructura y acceso, el cual estiman a través de análisis factorial Este incorpora 12 indicadores básicos de los servicios fijo, móvil e internet, incluyendo los precios de esos servicios, además de la penetración de radio y televisión. Pradah et al proponen un *Índice de Infraestructura de Telecomunicaciones* 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 (Koutroumpis y Katz, 2013; BCG, 2015; ITU, 2008; Corrocher y Ordanni 2002; Waveran et al, 2011), ya que estos son un prerrequisito para que el cliente final tenga acceso a las redes y use los servicios. Así, diversos estudios incorporan un subíndice de infraestructura o de acceso, para lo cual privilegian la inclusión de variables del uso de la misma, 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, ITU, 2008) o el número de suscriptores del servicio de banda ancha (Hanafizadeh et al, 2009; Billón, 2009). Como se señaló, 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 la existencia y la extensión de la misma (Gerpott y Ahmadi, 2015).

Por otra parte, se aprecia que muchos índices como el planteado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT, 2009), 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. Otros índices incluyen la accesibilidad económica de los servicios y por tanto consideran indicadores sobre los precios de ciertos servicios o de los ingresos generados por los mismos (Katz y Koutroumpis, 2013 y UIT, 2009).

Otro aspecto central en la estimación de un índice compuesto es el de la agregación de los distintos indicadores. Por su naturaleza diversa, los indicadores pueden estar expresados en diferentes unidades; así, su agregación requiere de técnicas estadísticas que permitan estandarizar los valores. Las más comúnmente utilizadas en la construcción de índices compuestos, incluyen la estandarización o z-scores (utilizados por ONU; 2009 o Hanafizadeh et al, 2009); la normalización con valores de referencia (UIT, 2009) o con valores máximos y mínimos que lleva los valores a un rango entre cero y uno (Waverman et al, 2011)<sup>5</sup>.

Una vez estandarizados los valores de los diferentes indicadores se plantea la mecánica para la agregación de los mismos. Al respecto, la OCDE (2009) recomienda el uso del análisis multivariado, que permite determinar la idoneidad de la estructura de los indicadores seleccionados. Asimismo, la literatura consultada sugiere el uso de análisis de factores y de componentes principales (CP) para ese fin, y la aplicación de pruebas de Káiser-Meyer Olkin (KMO), de Cronbach y de esfericidad de Bartlett. La UIT (2003); Al mutwakkil et al (2009); Katz y Koutroumpis (2013) y Waverman et al (2011), usan esas técnicas. Algunos autores aplican incluso los pesos estimados por esas técnicas como ponderadores para la agregación de los indicadores estandarizados. Lo anterior elimina subjetividad a la determinación de ponderaciones, permite replicar los ejercicios en otros ámbitos o tiempo, no obstante puede presentar algún grado de complejidad (Al mutwakkil et al, 2009).

---

<sup>5</sup> La OCDE (2009) incluye otras metodologías como el ranking; las escalas categóricas o el método de indicadores cíclicos, entre otros.

## 2. Estimación del Índice de Infraestructura de Telecomunicaciones (II-T)

### Consideraciones Metodológicas para la estimación del II-T

Para realizar la definición del índice de infraestructura sectorial se estudiaron las diferentes alternativas sugeridas por autores en la academia y las organizaciones internacionales. A partir de estas destaca que existen diferentes alternativas metodológicas para la estimación de índices compuestos, por lo que, de entre ellas, se eligió la que mayores fortalezas presenta. Así, sujeto a la información disponible, el índice compuesto que se propone es incluyente de los distintos servicios que se prestan con la infraestructura y brinda un diagnóstico de la situación que en materia de la infraestructura de telecomunicaciones cuentan los diferentes municipios de México. La propuesta que se presenta considera un índice cuantitativo integrado por cuatro indicadores representativos, uno por cada uno de los principales servicios de telecomunicaciones, a saber: porcentaje de viviendas con telefonía fija; porcentaje de viviendas con telefonía móvil; porcentaje de viviendas con Internet y porcentaje de viviendas con televisión restringida (Véase Cuadro 1).

Los indicadores tienen la virtud de generar una medida sobre los diferentes aspectos relacionados a la infraestructura de telecomunicaciones. Se cubre así, los principales servicios que se prestan y demandan en materia sectorial, pero agregados en una sola métrica, lo que facilita detectar las zonas de mayor necesidad en cuanto a la inversión en infraestructura. Al respecto, Pradah et al (2014) y Al mutawkkil et al (2009) definen tres categorías de infraestructura según el servicio, fijo, móviles y el internet e incluyen diferentes indicadores para cada categoría; BCG (2015) clasifica también la infraestructura según los servicios fijos y móviles; ONU (2010) usa cinco indicadores que reflejan los servicios fijo, móvil e Internet, y añade el uso de computadoras. Cabe destacar que Hanafizadeh et al (2009) incluyen 12 indicadores que abarcan esos servicios tanto en materia de infraestructura como de accesibilidad económica (precios), entre otros. A nivel municipal, la escasez de información limita el número de indicadores que pueden incorporarse a este estudio, por lo que se buscó incluir al menos un indicador de cada servicio. Idóneamente, cada servicio debería ser representado con más de un indicador directo de infraestructura<sup>6</sup>. 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 podría no separarse el servicio fijo y móvil de voz del Internet. Cabe destacar que los organismos internacionales y, en general la academia, avala el uso de los indicadores propuestos, según se detalla en el cuadro 1. Los indicadores han sido utilizados en la estimación del desarrollo digital o la brecha digital, entre otros, pero no han sido integradas previamente en un índice compuesto que mida de manera exclusiva la infraestructura, ni se han aplicado a nivel municipal para un fin similar al objeto de este estudio. Cabe reiterar que, idealmente la infraestructura debe medirse con indicadores directos sobre su disponibilidad. La limitada disponibilidad de información limita el alcance de este estudio, el cual se circunscribe a los indicadores indirectos, específicamente la

---

<sup>6</sup> Escobar-Briones (2017), mide a nivel de los 32 Estados un Índice compuesto de infraestructura de telecomunicaciones. Utiliza para ese fin 11 indicadores, 8 de telecomunicación fija y 3 de móvil, incluyendo en ambas categorías los relativos a Internet y la telefonía pública.

penetración de los servicios de telecomunicaciones en las viviendas de la población. Así, el II-T ofrece solamente una aproximación del equipamiento local.

| <b>Cuadro 1. Indicadores de Telecomunicaciones</b> |                                                 |                                                                                                        |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Indicador                                          | Definición                                      | Referencia                                                                                             |
| Viviendas con telefonía fija                       | (Viviendas con telefonía fija / Viviendas) *100 | Waverman et al, 2011;Katz, 2015 (1); Hanafizadeh et al, 2009 (1); Billon et al, 2009 (1).              |
| Viviendas con telefonía móvil                      | (Viviendas con telefonía móvil/Viviendas.)* 100 | Similar a penetración de servicio móvil. Katz,2015 (1) ; Hanafizadeh et al, 2009; Waverman et al, 2011 |
| Viviendas con internet                             | (Viviendas con internet/ Viviendas) * 100       | Hanafizadeh et al, 2009 (1); BCG, 2015 (3); Waverman et al, 2011 (3); Corrocher, 2012 (1)              |
| Penetración de televisión restringida              | (Viviendas con TV restringida /Viviendas)* 100  | Similar a penetración                                                                                  |

Para este estudio, se usaron variables con información completa por lo que no se realizó ninguna imputación de datos faltantes. Además, se tuvo en cuenta la relevancia de los indicadores y su relación con las variables incluidas, de acuerdo al análisis multivariado que se aplica. Los cuatro indicadores fueron definidos en sentido positivo, reflejando una mejor condición de equipamiento en la medida que toman mayores valores. La selección de variables en este estudio se limitó debido a la escasez de información estadística a nivel municipal. Así por ejemplo, para dar cuenta de la infraestructura de telecomunicaciones móvil pudiera resultar más adecuada la cobertura de las redes de 4 y 3G. Sin embargo, la disponibilidad se acota a los hogares que reportan el servicio.

Dado que los indicadores tienen diferente rango de medida, fue necesario estandarizar o normalizar sus valores para que al estimar el índice compuesto ninguno de ellos sesgue el valor de la métrica. De los diferentes métodos que se usan para este fin, se eligió la estandarización o z-score<sup>7</sup>, 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 obtenido se aleja de la media, en una escala de unidades de desviación

<sup>7</sup> 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 Municipio  $j$ ;  $x_{ij}$  es el valor del indicador  $i$  en el Municipio  $j$ ;  $\bar{x}_i$  = es el promedio del indicador  $i$ ;  $\sigma_i$  = es la desviación estándar para el indicador  $i$ .

estándar. Así, a la hora de agregar los indicadores en un índice se elimina la presencia de distorsiones debido a las diferencias entre las medidas de los indicadores.

Una vez que se estandarizaron los indicadores, se utilizó la técnica de análisis de CP<sup>8</sup> con el que se determinó la relación entre indicadores y evaluó la consistencia de los indicadores. El análisis de CP revela cómo diferentes variables cambian en relación entre sí y cómo se asocian. Esto se logra transformando variables correlacionadas en un nuevo conjunto de variables no correlacionadas usando una matriz de covarianza o su forma estandarizada, la matriz de correlación. Mediante esta técnica se puede resumir un conjunto de indicadores individuales al mismo tiempo que se preserva la proporción máxima posible de la variación total del conjunto de datos original. Las mayores ponderaciones se asignan a los indicadores individuales que tienen la mayor variación entre los municipios. Esta es una propiedad deseable para las comparaciones entre estos, ya que los indicadores individuales que son similares entre los municipios son de menor interés para explicar las diferencias en el desempeño (OCDE, 2009:26).<sup>9</sup> Los CP promueven así que el índice compuesto sea rico en información relevante, pero con el menor número de variables posible.

Así, una de las condiciones que se deben cumplir para llevar a cabo el análisis de CP es que el conjunto de indicadores debe estar altamente correlacionado, ya que, si las correlaciones son bajas el análisis de CP no sería apropiado. Las pruebas utilizadas para determinar el nivel de correlación son la de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y de esfericidad de Bartlett. La prueba KMO 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 la prueba KMO debe tomar valores iguales o mayores a 0.6, a fin de garantizar que el análisis de CA genere resultados confiables (Hanafizadeh, 2009). Por su parte, la prueba de Bartlett supone que para una muestra suficientemente grande, la distribución se aproxima a una Chi-cuadrada, lo que supone 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).

El análisis de CP ha sido usado por autores como (Al mutwakkil et al, 2009; Waverman y Koutroumpis, 2011; Corrocher y Ordanini, 2002). Se puede usar también para

---

<sup>8</sup> Para una explicación del método de CP véase OCDE (2009) y Härdle y Simar (2015).

<sup>9</sup> La eliminación de redundancias y el uso de los pesos obtenidos a partir de CP como ponderadores, contribuye además a eliminar la sobre representación de alguno de los indicadores (Gerpott y Ahmadi, 2015). De acuerdo con la OCDE (2009), 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’. Así también, es sensible a los problemas de las pequeñas muestras, que son particularmente relevantes cuando se centra en un conjunto limitado de entidades; por último, minimiza la contribución de los indicadores individuales que no se mueven con otros indicadores individuales

determinar el peso específico de cada indicador dentro del índice (Waverman y Koutroumpis, 2011; Al-mutawkkil et al, 2009; Gerpott y Ahmadi, 2015, por ejemplo). Esto es, los pesos de cada indicador se obtienen de acuerdo a la proporción de la varianza que se explica en función del factor que se asocia

En este estudio, el índice compuesto II-T se define en función de la siguiente fórmula:  $IIT_j = \sum_n w_i z_{ij}$ , donde  $w_i$  es el peso de los indicadores  $i$  en el índice, los cuales se definen como los pesos estimados a través de CP; y  $z_{ij}$  es la variable estandarizada para el indicador  $i$  en el municipio  $j$ .<sup>10</sup>

Cabe recordar que al aplicar la normalización de los indicadores, los valores estandarizados serán positivos si el valor del indicador del estado es mejor que la media (situación relativa), y negativos cuando acusan un mayor rezago. Así, al agregarlos en el índice se observa también que en la medida que aumenta el valor del II-T, mejor será la situación local en cuanto a la infraestructura disponible. Para facilitar la interpretación de las cifras, una vez construido el II-T, este se ajustó a un escalar entre cero y 100. Se brinda así un resumen de la información de las cuatro variables incluidas en el análisis.

Además, se aplica la metodología de estratificación multivariada de Dalenius-Hodges (1959)<sup>11</sup>, que permite agrupar los estados en zonas o conjuntos homogéneos internamente y diferentes entre sí, considerando diversos indicadores a la vez. Ese método consiste en la formación de estratos (por ejemplo en niveles: muy alto, alto, medio, medio-bajo y bajo) de manera que la varianza estimada para cada categoría sea mínima, pero máxima entre estratos. El procedimiento para la conformación de estratos parte de la matriz de datos (que incluye  $i$  indicadores y  $j$  municipios). Cada estrato que se obtiene a partir de esta metodología integra a los municipios con las características más homogéneas.

### 3. Estimación del Índice de Infraestructura de Telecomunicaciones II-T

Se presentan a continuación los resultados obtenidos de la aplicación de las metodologías propuestas. El Cuadro 2, fue elaborado a partir de los indicadores de los 2,446 municipios publicados por INEGI (2015) y resume los valores medios de los indicadores utilizados para la construcción del II-T, así como otros estadísticos necesarios para evaluar la idoneidad de la información. Cabe destacar que todos los indicadores muestran el porcentaje de las viviendas con los distintos servicios de telecomunicación y por tanto son similares a la tasa de penetración de los mismos.

| <b>Cuadro 2. Indicadores de Telecomunicaciones 2015</b> |              |                |                            |                 |               |               |
|---------------------------------------------------------|--------------|----------------|----------------------------|-----------------|---------------|---------------|
| <b>Indicador (%)</b>                                    | <b>Media</b> | <b>Mediana</b> | <b>Desviación estándar</b> | <b>Varianza</b> | <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> |

<sup>10</sup> Existen diferentes métodos de aplicar las ponderaciones utilizando CP; el método seguido en este estudio se basa en Nicoletti, Scarpetta y Boylaud (2000).

<sup>11</sup> Véase también INEGI, 2010.

|                                  |      |      |      |       |     |      |
|----------------------------------|------|------|------|-------|-----|------|
| Viviendas con teléfono fijo      | 20.2 | 17.7 | 14.1 | 197.8 | 0.0 | 84.0 |
| Viviendas con teléfono celular   | 57.4 | 64.9 | 25.1 | 631.2 | 0.0 | 95.0 |
| Viviendas con internet           | 12.1 | 8.0  | 12.8 | 163.5 | 0.0 | 81.9 |
| Viviendas con televisión de paga | 31.1 | 29.0 | 18.9 | 355.6 | 0.0 | 85.1 |

**Fuente:** Elaboración propia a partir de cifras del INEGI

El primer tratamiento a los datos fue la normalización mediante la estandarización, la que como fue señalado, se eligió por ser ampliamente conocida y útil para hacer comparables las variables. Con la aplicación de CP y las pruebas KMO y de esfericidad de Bartlett se comprobó la idoneidad de la muestra. Así, las correlaciones entre los cuatro indicadores toman valores cruzados entre 0.741 y 0.415, sugiriendo una adecuada relación entre variables, la cual queda también determinada con las prueba KMO y de esfericidad de Bartlett (Véanse Cuadros 3 y 4).

| <b>Cuadro 3- Matriz de Correlaciones</b> |                             |                                |                        |                          |
|------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------|
| %                                        | Viviendas con teléfono fijo | Viviendas con teléfono celular | Viviendas con internet | Viviendas con TV de paga |
| Viviendas con teléfono fijo              | 1.000                       | .415                           | .741                   | .415                     |
| Viviendas con teléfono celular           | .415                        | 1.000                          | .675                   | .565                     |
| Viviendas con internet                   | .741                        | .675                           | 1.000                  | .516                     |
| Viviendas con TV de paga                 | .415                        | .565                           | .516                   | 1.000                    |

**Fuente:** Elaboración propia a partir de cifras del INEGI

| <b>Cuadro 4- Pruebas KMO y Bartlett</b>                |                         |
|--------------------------------------------------------|-------------------------|
| Medida Keiser-Meyer-Olkin de adecuación de Muestreo    | <b>.677</b><br>4604.486 |
| Prueba de Esfericidad de Bartlett- Aprox. Chi Cuadrado | 6<br><b>.000</b>        |
| Gl                                                     |                         |
| Sig                                                    |                         |

**Fuente:** Elaboración propia a partir de cifras del INEGI

| <b>Cuadro 5- Varianza Total Explicada</b> |               |             |
|-------------------------------------------|---------------|-------------|
| Total                                     | % de varianza | % acumulado |
| 2.7                                       | 66.88         | 66.9        |
| 0.7                                       | 17.09         | 84.0        |
| 0.5                                       | 11.53         | 95.5        |
| 0.2                                       | 4.50          | 100.0       |

**Fuente:** Elaboración propia

| <b>Cuadro 6. Matriz de Componente y Ponderadores para la Estimación del II-T</b> |                          |                      |
|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|----------------------|
| <b>Indicadores</b><br>%                                                          | <b>Primer componente</b> |                      |
|                                                                                  | <b>Componente</b>        | <b>Ponderación %</b> |
| Viviendas con teléfono fijo                                                      | .789                     | 23.3                 |
| Viviendas con teléfono celular                                                   | .815                     | 24.8                 |
| Viviendas con internet                                                           | .909                     | 30.9                 |
| Viviendas con televisión de paga                                                 | .750                     | 21.0                 |

**Nota:** análisis de componentes principales.

**Fuente:** Elaboración propia.

De acuerdo con el análisis de CP, el primer componente explica el 67% de la varianza de la muestra (Cuadro 5); con ella se estimó el índice compuesto II-T para cada municipio considerado. Cabe recordar que los CP generan pesos específicos o ponderadores, los cuales se usan en este estudio para calcular el II-T, evitando aplicar criterios subjetivos sobre la relevancia de los indicadores que lo integran. El II-T de cada municipio da una medida del avance local relativo en materia de infraestructura sectorial.

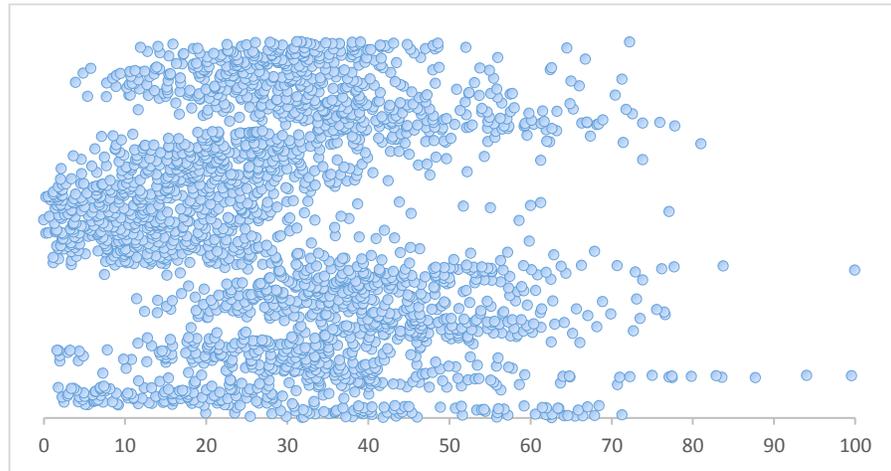
Con base en los resultados obtenidos del II-T se observa una gran recurrencia de municipios con valores del IIT entre 20 y 40, y una gran dispersión en los valores más altos.<sup>12</sup> (Véase Gráfica 1). Por otra parte, los municipios que presentan elevados valores del II-T son más escasos en número, pero estos son normalmente los más poblados, y en los que se encuentra la mayor capacidad de compra. Esto es, la gráfica señalada muestra que hay una mayor dispersión en cuanto a la infraestructura cuando se trata de un mejor equipamiento. Entre los municipios que reportan mejor equipamiento se encuentran 15 de las 16 delegaciones de la Cd. de México<sup>13</sup>, San Pedro Garza García y San Nicolás de los Garza en Nuevo León; Corregidora en Querétaro; Coacalco, Huizquilucan, Metepec, Naucalpan y Cuautitlán Izcalli, todos ellos municipios conurbados a la Cd. de México y parte del Estado de México; y Cuernavaca en Morelos. En el otro extremo, los municipios con el índice más bajo son todos pertenecientes al estado de Oaxaca: San Pablo Tijaltepec, Santa María Zaniza, San Juan Mixtepec, Santiago Apoala, San Juan Petlapa, San Pedro Mixtepec, Santa María Quiépolani, Santa María Yosoyúa, Santiago Ixcuintepec, Magdalena Peñasco, Coicoyán de las Flores, Santiago Nuyoó, San Miguel Piedras, Santa Catarina Zapoquila, San Juan Teita, Santa María Peñoles, San Lorenzo Cuaunecuiltitla, Santa María Yucuhiti, San Cristóbal Amatlán, San Lucas Camotlán. Otros casos que acusan el mayor atraso (estrato 1) en la infraestructura sectorial son, por ejemplo, Cochoapa el Grande, Acatepec, Metlatónoc y Atlamajalcingo del Monte (Guerrero); San Andrés Duraznal, Mitontic, Chalchihuitán (Chiapas); Eloxochitlán, San Sebastián Tlacotepec y San Diego la Mesa Tochimiltzingo (Puebla), Mixtla de Altamirano, Texcatepec y Atlahuilco (Veracruz), (Véase Cuadro 7 y anexo estadístico)

<sup>12</sup> Cabe recordar que los indicadores de los 2,446 municipios, así como los volares de los II.T pueden consultarse en el anexo estadístico de este estudio.

<sup>13</sup> En la Cd. de México sólo la delegación de Milpa Alta queda fuera del estrato de Muy Alto equipamiento en infraestructura; esta unidad poblacional se integra al segundo mejor estrato.

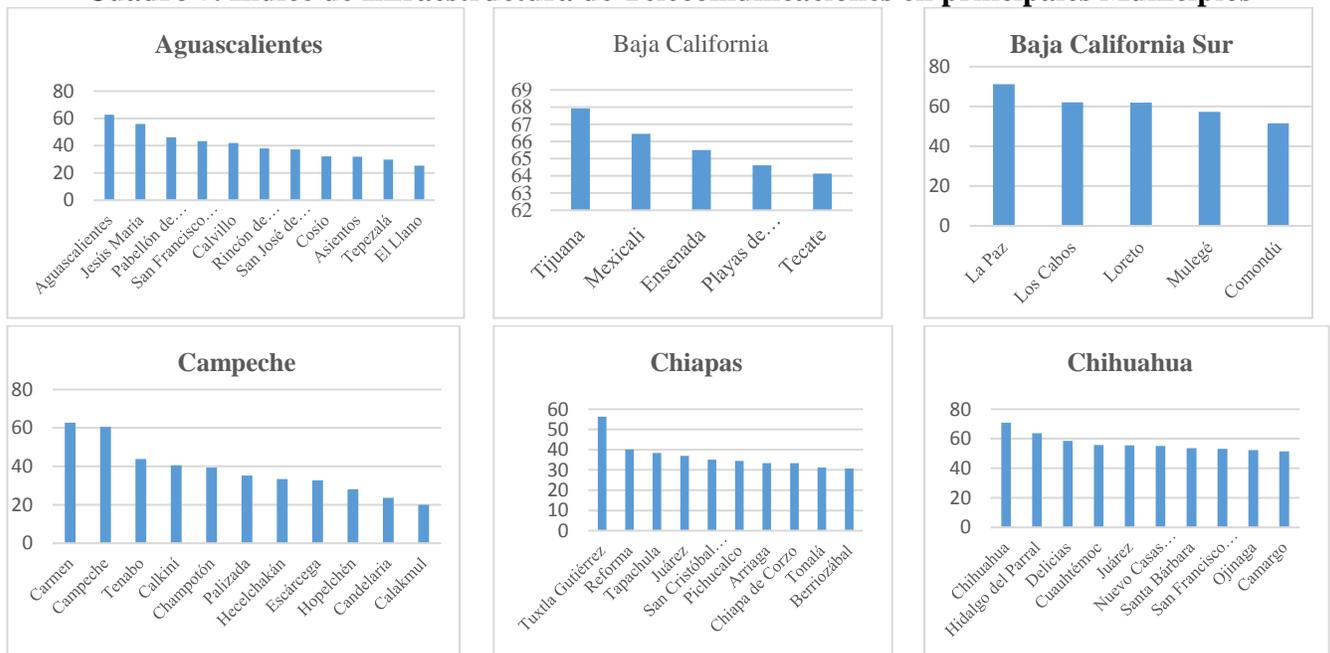
Cabe recordar que el valor del II-T ofrece un valor relativo que permite ordenar los diferentes municipios según su equipamiento sectorial, detectando cuáles de ellos acusan una mayor necesidad de inversión en infraestructura de telecomunicaciones. Así, el II-T no da una medida absoluta ni porcentual de la disponibilidad de esta.

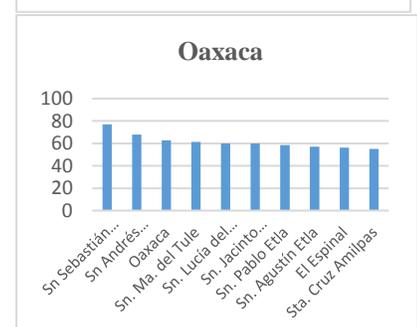
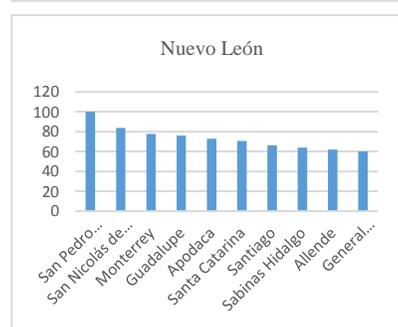
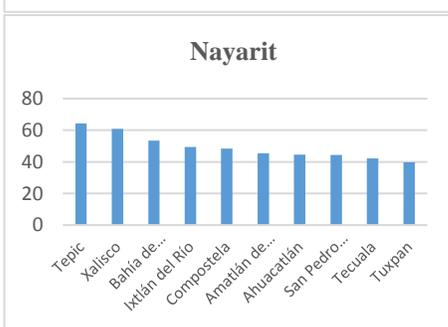
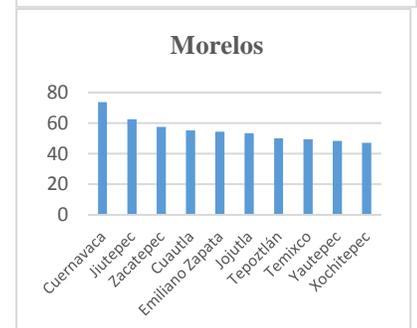
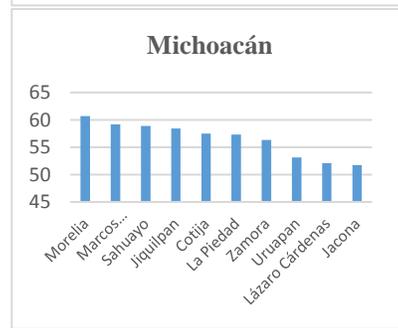
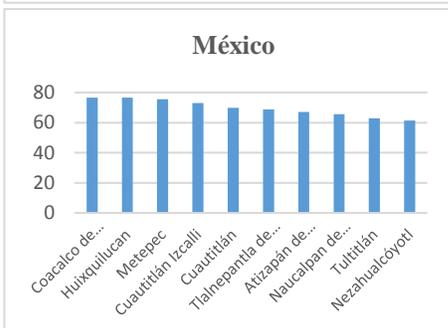
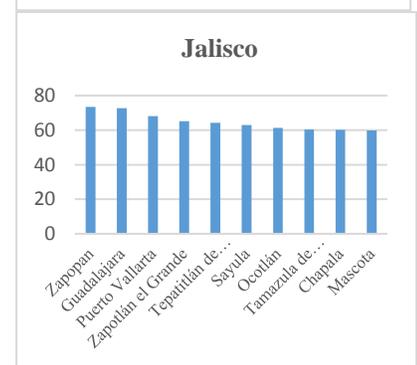
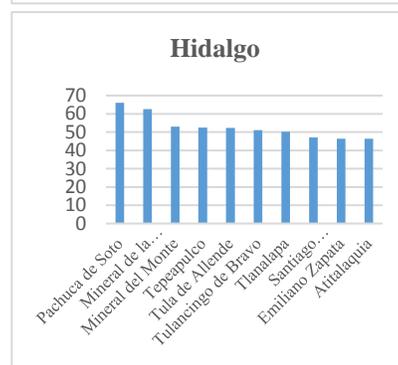
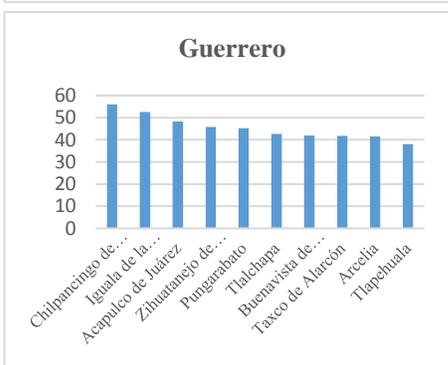
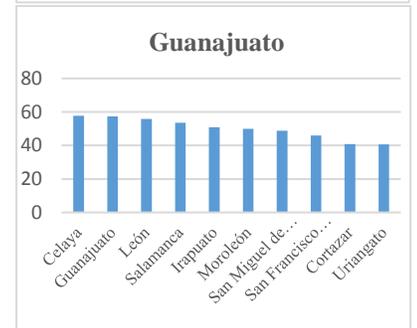
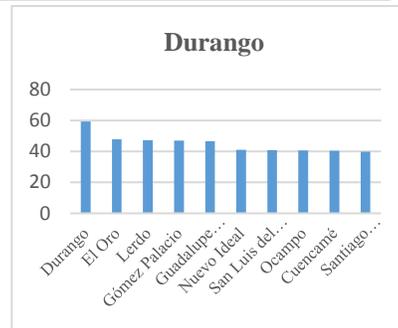
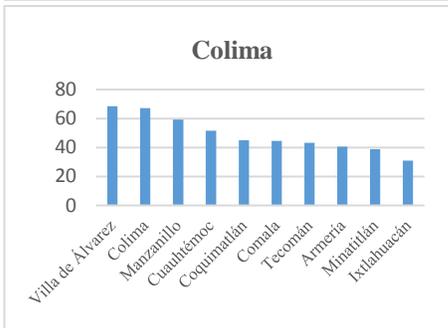
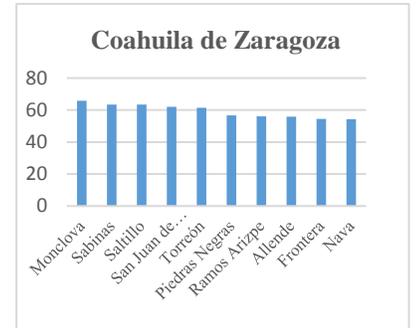
**Gráfica 1. Distribución del Índice a Nivel Municipal**

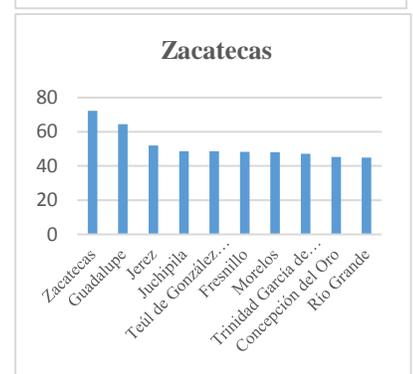
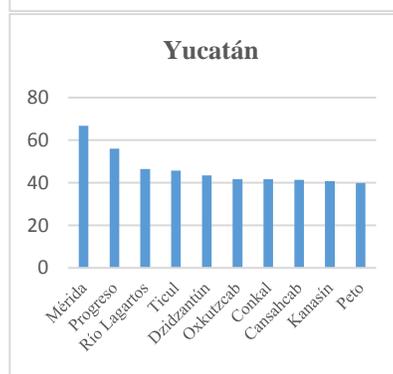
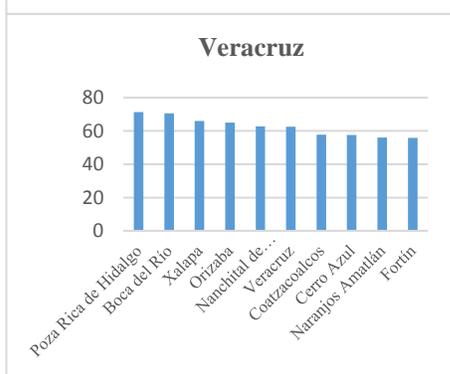
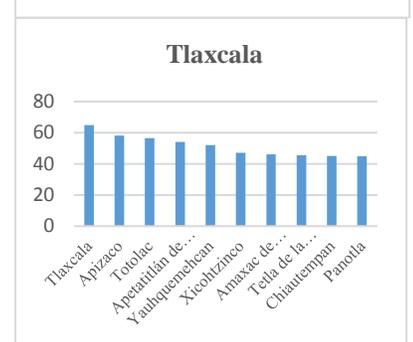
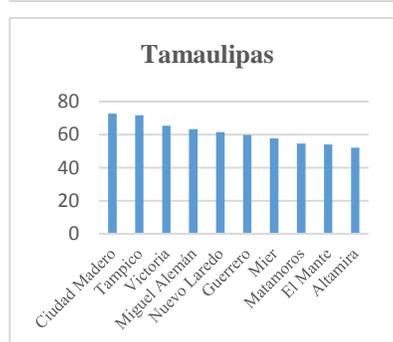
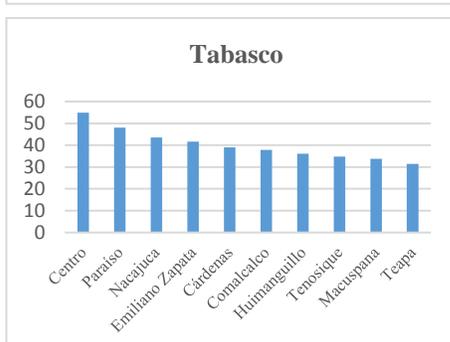
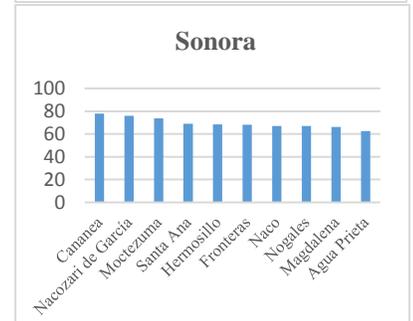
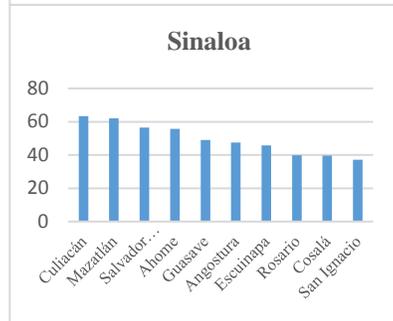
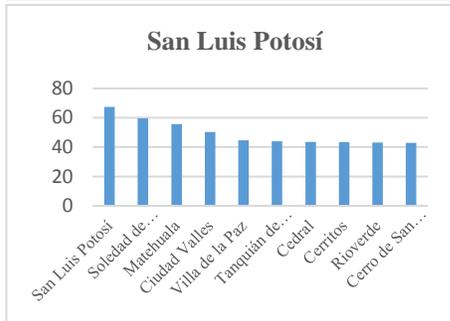
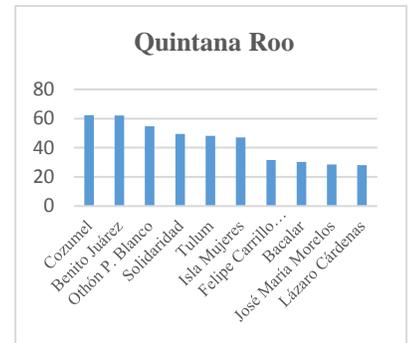
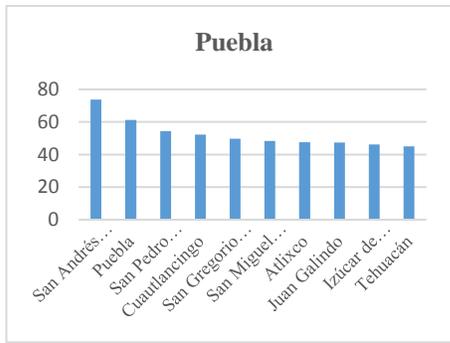


Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 7. Índice de Infraestructura de Telecomunicaciones en principales Municipios**



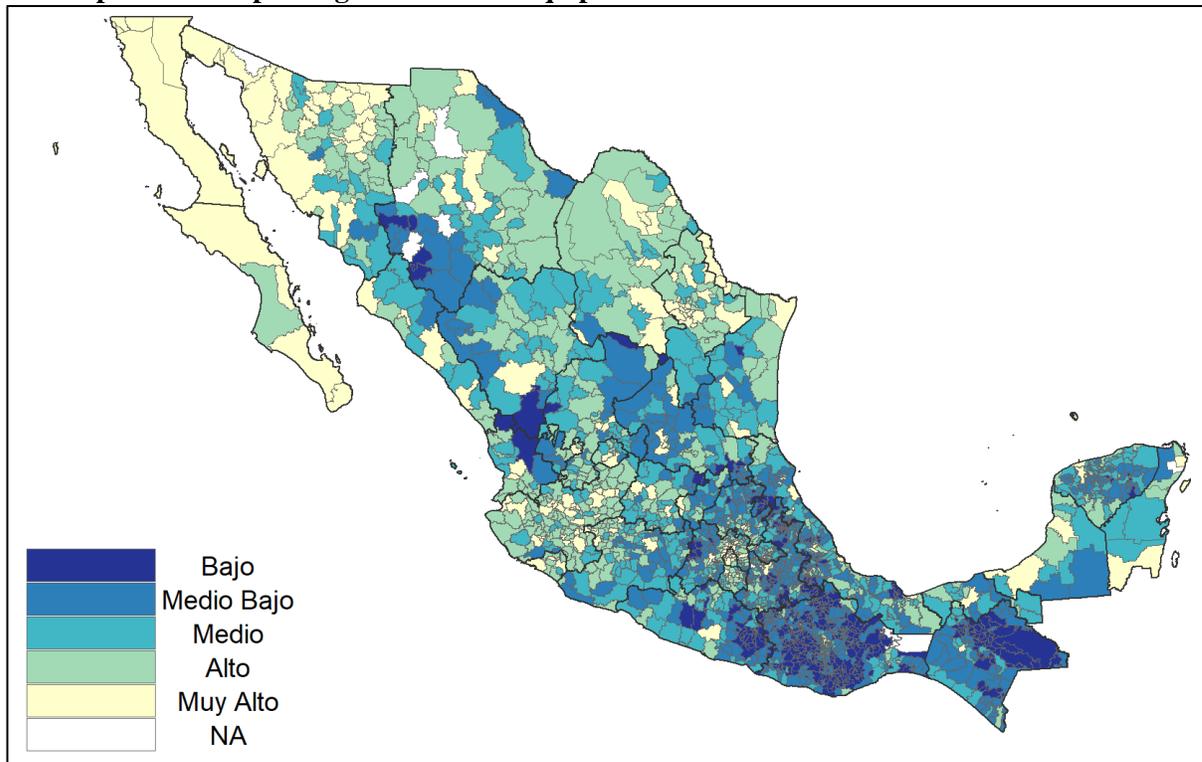




A partir del método de estratificación multivariada descrito en la sección anterior, se agruparon los Estados en cinco categorías según su nivel de infraestructura sectorial: alto, medio alto, medio, medio bajo y bajo. Los resultados de este ejercicio se presentan en el Mapa 1 y en los Cuadros 8 y 9. El Cuadro 8 presenta un resumen de la estratificación multivariada, señalando que 8.7% de los municipios integran el estrato de muy alto equipamiento, con un 43% de la población. En contraste, 519 municipios (21.2% del total) integran el grupo con menos infraestructura. A este grupo pertenece el 3.7% de la población. La dispersión de la población es sin lugar a dudas un factor que afecta la inversión y por tanto requiere del apoyo de la política pública para ser incorporado al desarrollo

sectorial. Por su parte, el Cuadro 9 resume los resultados de la estratificación multivariada describiendo por Estado el porcentaje de municipios y de la población, que quedan agrupados en cada estrato. A manera de ejemplo se señala que en 8 entidades (Aguascalientes, Baja California, BC Sur, Cd. México, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Sonora) más del 75% de la población se encuentra en el estrato muy alto de equipamiento sectorial. En el otro extremo, se encuentran Guerrero, Oaxaca, Chiapas y Puebla, en donde más de la tercera parte de la población vive en municipios con equipamiento medio bajo o bajo.

**Mapa 1. Municipios según Estrato de equipamiento de Infraestructura de Telecomunicaciones**



Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 8. Resultados Agregados de la Estratificación Multivariada**

| Estratos   | Intervalos | Municipios |            | Población  |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|            |            | Total      | Porcentaje | Total      | Porcentaje |
| Bajo       | (0 16]     | 519        | 21.2       | 5,270,319  | 3.7        |
| Medio Bajo | (16 28]    | 673        | 27.5       | 11,920,249 | 8.3        |
| Medio      | (26 38]    | 543        | 22.2       | 38,873,553 | 27.1       |
| Alto       | (38 54]    | 497        | 20.3       | 25,147,111 | 17.6       |
| Muy Alto   | (54 100]   | 214        | 8.7        | 62,001,019 | 43.3       |

Fuente: Elaboración propia

| Cuadro 9. Porcentaje de Municipios y Población en Cada Estado por Estrato |            |                        |      |            |       |      |
|---------------------------------------------------------------------------|------------|------------------------|------|------------|-------|------|
| Entidad                                                                   | Municipios | Porcentaje en Estratos |      |            |       |      |
|                                                                           |            | Población              | Bajo | Medio Bajo | Medio | Alto |

|           |     | Total      | %    | Mun. | Pob. |
|-----------|-----|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ags.      | 11  | 1,312,544  | 1.1  | 0    | 0    | 9.1  | 1.5  | 36.4 | 7    | 36.4 | 15.5 | 18.2 | 76   |
| B.C.      | 5   | 3,315,766  | 2.8  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 100  | 100  |
| B.C.S.    | 5   | 712,029    | 0.6  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 20   | 10.2 | 80   | 89.8 |
| Camp.     | 11  | 899,931    | 0.8  | 0    | 0    | 18.2 | 8    | 36.4 | 15.4 | 27.3 | 17.5 | 18.2 | 59   |
| Chis.     | 118 | 5,217,908  | 4.4  | 47.5 | 32.7 | 39   | 30.9 | 11   | 17.4 | 1.7  | 7.5  | 0.8  | 11.5 |
| Chih.     | 62  | 3,492,454  | 2.9  | 6.5  | 0.8  | 17.7 | 5.2  | 25.8 | 2.4  | 40.3 | 12.6 | 9.7  | 79   |
| CDMX      | 16  | 8,918,653  | 7.5  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 6.3  | 1.5  | 93.8 | 98.5 |
| Coah.     | 38  | 2,954,915  | 2.5  | 0    | 0    | 2.6  | 0.7  | 23.7 | 10.4 | 44.7 | 11.5 | 28.9 | 77.3 |
| Col.      | 10  | 711,235    | 0.6  | 0    | 0    | 0    | 0    | 10   | 0.8  | 60   | 32.9 | 30   | 66.4 |
| Dgo.      | 39  | 1,754,754  | 1.5  | 2.6  | 2.2  | 20.5 | 4.8  | 41   | 15.2 | 33.3 | 40.4 | 2.6  | 37.3 |
| Gto.      | 46  | 5,853,677  | 4.9  | 4.3  | 0.3  | 17.4 | 3.9  | 43.5 | 24.8 | 28.3 | 32.4 | 6.5  | 38.6 |
| Gro.      | 81  | 3,533,251  | 3.0  | 27.2 | 12.2 | 29.6 | 19.7 | 30.9 | 23.3 | 11.1 | 37.1 | 1.2  | 7.7  |
| Hgo.      | 84  | 2,858,359  | 2.4  | 6    | 2.9  | 40.5 | 23.5 | 29.8 | 25.7 | 21.4 | 32.9 | 2.4  | 15   |
| Jal.      | 125 | 7,844,830  | 6.6  | 0    | 0    | 4    | 0.7  | 13.6 | 2.8  | 60.8 | 24.4 | 21.6 | 72.1 |
| Edo. Méx. | 125 | 16,187,608 | 13.6 | 5.6  | 2.8  | 22.4 | 8.1  | 27.2 | 7.8  | 31.2 | 25.9 | 13.6 | 55.4 |
| Mích.     | 113 | 4,584,471  | 3.8  | 0    | 0    | 25.7 | 11.7 | 35.4 | 21.6 | 32.7 | 40   | 6.2  | 26.8 |
| Mor.      | 33  | 1,903,811  | 1.6  | 0    | 0    | 6.1  | 2.1  | 36.4 | 13.3 | 42.4 | 36.8 | 15.2 | 47.8 |
| Nay.      | 20  | 1,181,050  | 1.0  | 10   | 4.7  | 5    | 1.2  | 25   | 18.5 | 50   | 35.7 | 10   | 39.9 |
| N.L.      | 51  | 5,119,504  | 4.3  | 0    | 0    | 3.9  | 0.3  | 19.6 | 3.1  | 39.2 | 8.8  | 37.3 | 87.9 |
| Oax.      | 566 | 3,901,674  | 3.3  | 55.3 | 30.9 | 30.9 | 27   | 8.5  | 14.9 | 3.5  | 16.8 | 1.8  | 10.3 |
| Pue.      | 216 | 6,157,149  | 5.2  | 24.5 | 8.7  | 48.1 | 28.5 | 18.1 | 13.7 | 7.9  | 19.1 | 1.4  | 29.9 |
| Q. Roo.   | 18  | 2,038,372  | 1.7  | 0    | 0    | 33.3 | 13   | 33.3 | 9.3  | 22.2 | 25.6 | 11.1 | 52   |
| Qro.      | 10  | 1,501,562  | 1.3  | 0    | 0    | 10   | 1.8  | 30   | 10.5 | 30   | 17.4 | 30   | 70.2 |
| S.L.P.    | 58  | 2,717,820  | 2.3  | 8.6  | 3.9  | 53.4 | 25.6 | 13.8 | 8.5  | 19   | 16.7 | 5.2  | 45.4 |
| Sin.      | 18  | 2,966,321  | 2.5  | 0    | 0    | 5.6  | 1.1  | 44.4 | 17.7 | 27.8 | 15.9 | 22.2 | 65.3 |
| Son.      | 71  | 2,833,399  | 2.4  | 0    | 0    | 2.8  | 0.4  | 19.7 | 8.1  | 42.3 | 10.3 | 35.2 | 81.2 |
| Tab.      | 17  | 2,395,272  | 2.0  | 0    | 0    | 23.5 | 9.5  | 47.1 | 40.1 | 23.5 | 21.8 | 5.9  | 28.6 |
| Tamps.    | 43  | 3,441,698  | 2.9  | 2.3  | 0    | 14   | 2    | 37.2 | 6.2  | 25.6 | 35.3 | 20.9 | 56.5 |
| Tlax.     | 60  | 1,272,847  | 1.1  | 0    | 0    | 18.3 | 14.4 | 45   | 36.9 | 30   | 32.1 | 6.7  | 16.6 |
| Ver.      | 212 | 8,112,505  | 6.8  | 19.8 | 7.2  | 34.9 | 19.3 | 25   | 21.8 | 14.2 | 23   | 6.1  | 28.7 |
| Yuc.      | 106 | 2,097,175  | 1.8  | 2.8  | 0.6  | 45.3 | 14.3 | 37.7 | 25.7 | 12.3 | 13.9 | 1.9  | 45.4 |
| Zac.      | 58  | 1,579,209  | 1.3  | 5.2  | 0.6  | 13.8 | 11   | 37.9 | 25.3 | 39.7 | 41.9 | 3.4  | 21.2 |

**Nota:** Se abrevia “municipios” como “mun” y “población” como “pob”

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4. 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. Estos han planteado diferentes hipótesis sobre la relación, las cuales cubren desde las opiniones que consideran que la construcción de infraestructura de telecomunicaciones es una precondition al

crecimiento económico (*supply leading hipótesis* propuesta por autores como Cieslik y Kaniewsk, 2004), hasta quienes han planteado que no hay relación alguna entre ambas variables (Vermacheneni et al, 2007; Shiuu et Lam, 2008; Ramlan y Ahmed, 2009, en Pradah et al, 2009). Además, están desde luego los estudios de autores que consideran que el crecimiento económico promueve la inversión en infraestructura de telecomunicaciones y no al revés (*demand leading hipótesis*; Billon et al, 2009) y las aportaciones de los autores que generan evidencia sobre una retro-alimentación o relación bidireccional entre la construcción de infraestructura de telecomunicaciones y el crecimiento económico (Shahiduzzaman y Alam, 2014; Pradah et al, 2009; Maiorano y Ster, 2007).

Así, por ejemplo, sobre la relación entre infraestructura y PIB, Dutta (2001) establece una relación bidireccional entre ambas variables. Este autor demuestra con la metodología de causalidad de Granger aplicada a una serie de tiempo de treinta 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 ambas variables, no obstante que existen algunos casos atípicos (outlayers). Pradah et al (2009) examinan para una muestra de 20 países desarrollados, la relación entre el desarrollo de infraestructura de telecomunicaciones y cinco variables: el crecimiento económico, la 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 aplican a un panel de 22 años, la metodología de Var para evaluar la relación entre variables. Establecen diferentes hipótesis sobre la relación entre variables y encuentran que la relación es de largo plazo y en ambos sentidos. De hecho sugieren que el desarrollo de infraestructura de las telecomunicaciones siempre promueve crecimiento económico, aunque tiene un límite; en contraste, el crecimiento no siempre motiva el desarrollo de la infraestructura. Por su parte, Shahiduzzaman y Alam (2014), utilizando causalidad de Granger, aportan evidencia sobre la relación entre las TIC y el PIB y la productividad en Australia. Demuestran una relación bidireccional entre PIB (y productividad) y las TIC; además de que 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 radiodifusión y el crecimiento económico, así como respecto a otros índices como el de desarrollo humano de la ONU, el índice ICT de la UIT, y el índice ArCo de tecnologías. Establecen que el desarrollo de las telecomunicaciones y la radiodifusión son factores relevantes para el crecimiento. Gerpott y Ahmadi (2015) evalúan un índice del avance de las telecomunicaciones respecto a la variación bianual del PIB per cápita y al Índice de Desarrollo Humano, encontrando una relación positiva. Sabagh 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 a la literatura revisada y 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. Este tipo de hallazgos encuentran respaldo adicional en el hecho de la espera que existe en algunas regiones y países respecto a 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, 20005), como indicio de las limitaciones en la oferta, más que existir una restricción de demanda.

La construcción del II-T se ha basado en la asignación de ponderadores para los indicadores que lo componen y en técnicas de agregación que le permiten tener una importante capacidad predictiva respecto a las mediciones del progreso económico. Sin embargo, se ha mencionado la falta de consenso respecto a la mejor técnica para estimar un índice compuesto y las limitaciones que este estudio ha enfrentado en cuanto a la información estadística a nivel municipal. Así, para probar la validez del II-T estimado se realiza un ejercicio econométrico que permite inferir si la propuesta ofrece una medición válida de clasificación de los municipios respecto a dos indicadores que pueden aproximar el progreso o la falta de este. Esta mecánica ha sido ampliamente documentada en la academia y recomendada por la OCDE (2009).

Cabe destacar que el II-T se definió integrando todas las propuestas aplicables al diseño de un índice compuesto sugeridas por la OCDE y utilizadas por diversos autores en la academia (Katz, 2012, Hanafizadeh et al, 2009, entre otros). Así también, debe su fortaleza a su diseño enfocado en medir exclusivamente la infraestructura para la provisión de los servicios de telecomunicaciones, sin incorporar otro tipo de variables que responden a políticas y causas diferentes al desarrollo de infraestructura.

Específicamente, a manera de prueba de validación, se estima la relación entre el II-T y el Índice de Marginación (IM), así como la del II-T con un estimador del ingreso por persona, que en este caso se aproxima con cifras de la población económicamente activa con ingresos menores a los dos salarios mínimos mensuales (SMM)<sup>14</sup>. El IM fue propuesto por la Conapo y cubre la marginación de la población de cada municipio a través de cuatro dimensiones relacionadas al nivel de vida, a saber: educación, vivienda, distribución poblacional e ingresos monetarios<sup>15</sup>. El IM está definido de tal manera que reporta un mayor valor en la medida que hay una mayor pobreza, por tanto su relación con el II-T es negativa,

---

<sup>14</sup> En 2015, el SMM en México era \$70.10 pesos diarios, esto es, dos SMM ascendían al año \$ 51,173 pesos. En ese año el PIB per cápita anual ascendió a \$144,902 pesos, según cifras del Banco Mundial. Cabe destacar que mientras el PIB per cápita se refiere a toda la población, el número de salarios mínimos se determina a partir de la población empleada. Así, si bien el indicador empleado da una referencia del ingreso monetario, no puede asimilarse al ingreso familiar o por persona y sólo puede considerarse como una aproximación de este.

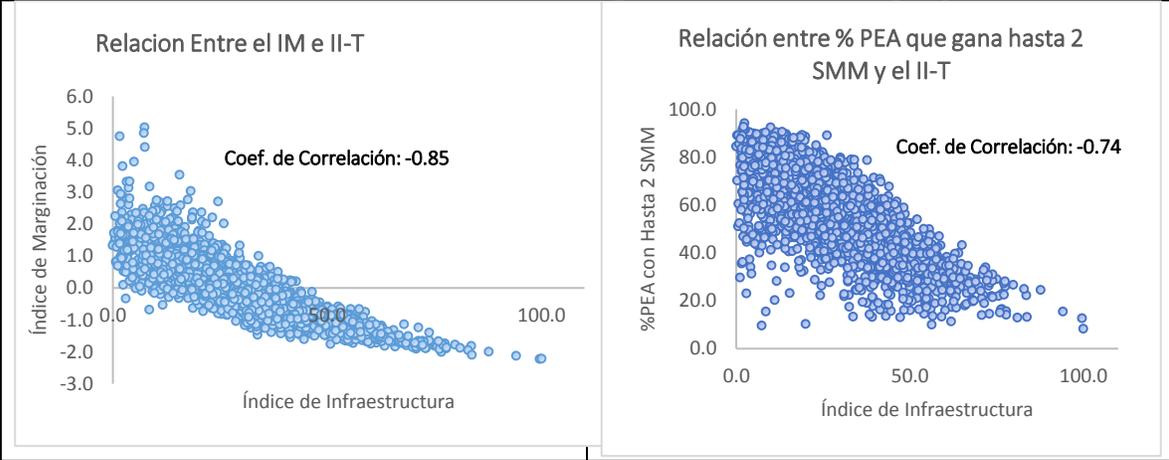
<sup>15</sup> Conapo considera para medir la educación, la inclusión de dos indicadores: la tasa de analfabetismo y el porcentaje de población sin estudios de primaria completos. Para vivienda considera cinco variables: viviendas sin drenaje, sin luz, sin agua entubada, con piso de tierra y con hacinamiento. La distribución de la población se mide con el porcentaje de población en localidades con menos de cinco mil habitantes; y los ingresos, a través del porcentaje de población ocupada con ingresos de hasta dos salarios mínimos. Todos estos indicadores son agrupados por Conapo en el Índice de Marginación.

denotando que cuando existe una mayor infraestructura la marginación será menor. Esto es, a mayor infraestructura deberá existir una menor marginación, ya que la disponibilidad de los servicios contribuye a la productividad y a mejorar el nivel de vida poblacional. Por su parte, la relación entre II-T y el porcentaje de población con ingresos menores a dos SMM deberá ser también negativa, ya que en la medida que el equipamiento es mayor, la productividad aumenta reduciendo la proporción de trabajadores en la categoría de ingresos bajos (2 o menos SMM).

La Gráfica 4 muestra la relación del II-T respecto del IM, la cual muestra la relación negativa planteada. De lo anterior se infiere que los municipios con un mejor equipamiento de telecomunicaciones (II-T más alto) tienen una menor marginación, esto es, un mejor nivel de vida. Así también, se muestra la relación entre II-T y el porcentaje de PEA con ingresos menores a 2 salarios mínimos, la cual también es negativa, sugiriendo que una menor proporción de la población se encuentra en los grupos de menores ingreso, en la medida que las poblaciones cuentan con más infraestructura sectorial.

El Cuadro 9 presenta los resultados de las regresiones correspondientes a las relaciones previamente descritas. Como variable de control se incluye el porcentaje de la PEA que labora en los sectores secundario y terciario. El modelo aplicado es de mínimos cuadrados ordinarios con parámetros con errores robustos utilizando la metodología de White. Las relaciones encontradas aportan evidencia a la hipótesis que sustenta la importancia que tienen las telecomunicaciones en la actualidad no solo en la competitividad de las empresas, sino en el bienestar de la población. Estos resultados validan también la solidez del II-T y su capacidad predictiva.

**Gráfica 4. Correlación del II-T respecto a variables de progreso**



Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 10. Relación II-T con indicadores de progreso socioeconómico**

| <u>Variables</u> | <u>IM</u> | <u>Variables</u> | <u>%PEA con hasta2 SMM</u> |
|------------------|-----------|------------------|----------------------------|
| II-T             | -0.828*** |                  |                            |

|               |           |               |            |
|---------------|-----------|---------------|------------|
|               | (0.0204)  | II-T          | -0.134***  |
| PEA 2° y 3°   | -0.984*** |               | (0.00404)  |
|               | (0.0753)  | PEA 2° y 3°   | -0.0982*** |
| Constante     | 0.618***  |               | (0.0177)   |
|               | (0.0484)  | Constante     | 0.616***   |
|               |           |               | (0.0118)   |
| Observaciones | 2,446     | Observaciones | 2,446      |
| R-cuadrada    | 0.740     | R-cuadrada    | 0.559      |

Errores estándar robustos en paréntesis. \*\*\*  $p < 0.01$ , \*\*  $p < 0.05$ , \*  $p < 0.1$

## 5. Conclusiones

La estimación de un índice compuesto de infraestructura de telecomunicaciones como el propuesto en este estudio es relevante pues no se cuenta con una medición similar a nivel municipal. Más aún, 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 sujetarse 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 estuvo limitada por la escasez de información a nivel municipal; sujeto a esta restricción, se buscó seleccionar los indicadores indirectos de medición de infraestructura acorde con la teoría económica y de uso validado por las organizaciones internacionales y los autores en la academia. En la parte técnica, se implementaron métodos estadísticos que permiten ponderar los indicadores de manera objetiva, aplicando los pesos derivados de la metodología de CP.

El II-T proporciona una medida relativa de equipamiento de infraestructura, que permite realizar un ordenamiento (ranking) de los diferentes municipios, tanto al interior de cada Estado, como a nivel nacional. El índice propuesto tiene la virtud de integrar indicadores de los principales servicios de telecomunicación, además de proporcionar una medida integral para la infraestructura de telecomunicaciones (el II-T). No obstante, debe recalarse que la falta de información estadística acota los indicadores a las tasas de penetración de los servicios, y que el alcance del estudio podrá fortalecerse en la medida que se cuente con indicadores directos de infraestructura.

A diferencia de otras propuestas, el II-T sólo mide la infraestructura, dejando a lado aspectos como las habilidades de uso de las TIC, la accesibilidad económica de los servicios que se prestan con dicha infraestructura, el equipamiento de dispositivos en el ámbito familiar e institucional, entre otros. Lo anterior 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. Así, el II-T permite evaluar su valor de clasificación específico y contrasta con otras propuestas en el ámbito internacional.

En apego a la teoría económica, el II-T sugiere que existe a nivel local una relación negativa y significativa respecto a la marginación poblacional, así también, en la medida que aumenta el equipamiento sectorial se reduce la población económicamente activa con muy bajos ingresos. Futuros estudios podrán enriquecerse en la medida que se cuente con una mayor disponibilidad de estadística desagregada a nivel local. Particular relevancia tendrá en la investigación, contar con indicadores directos de infraestructura de telecomunicaciones.

## Bibliografía

1. Al-Mutawkkil, Adnan; Heshmati, Almas y Hwang, Junseok. (2009). Development of telecommunication and broadcasting infrastructure indices at the global level. *Telecommunications Policy*. Vol 33 Issue 3-4; April-May. pp 176-199.
2. Bagchi, K. (2005). Factors contributing to Global Digital Divide: Some empirical results. *Journal of Global Information Technology Management*, pp. 47–65.
3. Banco Mundial. (2005). Monitoring & evaluation tool kit for E-strategies results.
4. Billon, Margarita; Lera-Lopez, Fernando y Marco, Rocio. (2009). Disparities in ICT adoption: a multidimensional approach to study the cross-country divide. *Telecommunications Policy*. 33 pp. 596-610.
5. Boston Consulting Group, BCG. (2015). Digital intensity and GDP per capita. disponible en: <http://www.rialtoconsultancy.com/pdfs/appendices/BCG%20report%20-%20The%20Connected%20Kingdom.pdf>
6. Chambers, Raymond y Clark Robert (2012). An introduction to model-based survey sampling with applications. Oxford Statistical Science Series, Oxford University Press.
7. Cieřlik A. y Kaniewska M. (2004). Telecommunications infrastructure and regional economic development: the case of Poland. *Regional Studies* 38, pp. 713-725.
8. Consejo Nacional de Población (2015), *Índice de Marginación*. Disponible en: <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indice-de-marginacion-por-entidad-federativa-y-municipio-2015>
9. Comisión Nacional de Salarios Mínicos (2015), *Salarios mínicos*. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/104992/Tabla de salarios minimos vigentes a partir de 01 enero 2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/104992/Tabla_de_salarios_minimos_vigentes_a_partir_de_01_enero_2015.pdf)
10. Corrocher, N. y A. Ordanini. (2002). Measuring the Digital Divide: A Framework for the Analysis of Cross-Country Differences. *Journal of Information Technology*, 17, pp. 9-19.
11. Cronin, F.J.; Parker, E.B.; Colleran, E.K. y Gold, M. A. (1993). Telecommunications and growth: the contribution of telecommunications infrastructure investment to aggregate and sectoral productivity. *Telecommunications Policy*, Vol. 17, pp. 677-690.
12. Dalenius, T. y Hodges, J. L., JR. (1959). Minimum variance stratification. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 54, No. 285, pp. 88-101
13. Dutta, Amitava. (2001). Telecommunications and economic activity: an analysis of granger causality. *Journal of Management Information System*, Vol. 17, Issue 4.
14. Federica Maiorano y Jon Ster. (2007). Institutions and telecommunications infrastructure in low and middle-income countries: The case of mobile telephony. *Utilities Policy*, Vol. 15, Issue 3, pp. 165-181
15. Gerpott Torsten J. y NimaAhmadi. (2015). Advancement of indices assessing a nation's telecommunications development status: APLS structural equation analysis of over 100 countries. *Telecommunications Policy* 39, pp. 93–111
16. Hanafizadeh, Mohammad Reza; Saghaei; Abbas y Payam Hanafizadeh. (2009). An index for cross-country analysis of ICT infrastructure and Access Telecommunications Policy, Vol. 33, Issue 7, pp. 385–405.

17. Hanafizadeh, Payam; Hanafizadeh, Reza & Khodabakhshi, Malahat. (2009). Extracting Core ICT Indicators Using Entropy Method, The Information Society, pp. 230-247.
18. Härdle Wolfgang y Leopoldo Simar. (2015). Applied Multivariate Statistical Analysis. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
19. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010). Nota técnica. Estratificación univariada. Censo de población y vivienda 2010. disponible en: [http://gaia.inegi.org.mx/scince2/documentos/scince/metodo\\_notaNecnica.pdf](http://gaia.inegi.org.mx/scince2/documentos/scince/metodo_notaNecnica.pdf).
20. \_\_\_\_ (2015), *Encuesta Intercensal 2015*. Disponible en: <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/especiales/intercensal/>
21. Katz, R.L y Callorda, F. (2015) Impacto de arreglos institucionales en la digitalización y el desarrollo económico de América Latina. 9th CPR LATAM Conference, Cancun, July 14-15st.
22. Katz, R.L. y Koutroumpis, P. (2013). Measuring digitization: A growth and welf are multiplier. *Technovation*, 33, pp. 314–319.
23. Katz (2017). En “Una Perspectiva Externa de la Reforma de Telecomunicaciones”. Las Reformas en México. Fondo de Cultura Económico. México.
24. Nicoletti, G., Scarpetta, S., y Boylaud, O. (2000). Summary indicator of product market regulation with an extensión to employment protection legislation. OECD Economics Departmen tworking papers no.226. Paris
25. OCDE. (2009). Handbook of Constructing Composite Indicators.
26. Organización de las Naciones Unidas. (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>
27. Pradhan, R.P.; Arvin, M.B.; Norman, N.R. y Bele, S.K. (2014). Economic growth and the development of telecommunications infrastructure in the G-20 countries: A panel-VAR approach. *Telecommunications Policy*, 38, pp. 634–649
28. Sabagh, K.; Freidrich R.; El-Darwiche, B. y Sing, M. (2012). Maximizing the Impact of Digitalization. Booz and Co. Inc Disponible en: [https://www.strategyand.pwc.com/media/file/Strategyand\\_Maximizing-the-Impact-of-Digitization.pdf](https://www.strategyand.pwc.com/media/file/Strategyand_Maximizing-the-Impact-of-Digitization.pdf)
29. Shahiduzzaman Md. y Alam, Khorshed (2014). The long-run impact of Information and communication technology on economic output: The case of Australia. *Telecommunications Policy*. Vol. 38, Issue 7, pp. 623-633.
30. Waverman, L.; Dasgupta, K. y Rajala, J. (2011) Connectivity Scorecard 2011. Berkley.
31. Waverman, Leonard y Koutroumpis, Pantelis. Benchmarking telecoms regulation. (2011). The Telecommunications Regulatory Governance Index (TRGI). *Telecommunications Policy*. Vol. 35, Issue 5, pp. 480-468.
32. Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2003). ITU Digital Access Index: World’s First Global ICT Ranking. Geneva: ITU.
33. \_\_\_\_ (2009). Measuring the information society: The ICT development index. Geneva: ITU. Disponible en: [https://www.itu.int/ITU-D/ict/publications/idi/material/2009/MIS2009\\_w5.pdf](https://www.itu.int/ITU-D/ict/publications/idi/material/2009/MIS2009_w5.pdf)