



# Estudio de los determinantes de la conectividad y despliegue de redes móviles en México



La Coordinación General de Planeación Estratégica (CGPE) elaboró este documento con base en la información estadística disponible y la aplicación de técnicas de ciencia de datos, que van desde el análisis exploratorio de datos y el análisis de componentes principales hasta las técnicas econométricas aplicadas para estimar modelos sobre los determinantes de la conectividad móvil en México.

El presente documento es un análisis realizado por la CGPE a partir de fuentes de información públicas y no prejuzga sobre la opinión del Pleno del Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT o Instituto), de las áreas sustantivas adscritas al Instituto o de cualquier otra autoridad sobre el particular. El documento pretende colaborar con el estudio de los determinantes de la conectividad y los motivos del despliegue de redes móviles en el país, con base en las metodologías más robustas y confiables disponibles en ciencia de datos y econometría.

## Contenido

Introducción .....	4
Determinantes de la conectividad y las redes móviles en México .....	5
Revisión de bibliografía .....	5
Selección de variables y análisis exploratorio de datos .....	9
Planteamiento del modelo econométrico .....	14
Estimación de los determinantes de la conectividad móvil.....	16
Índice de conectividad regional .....	28
Marco teórico.....	29
Construcción.....	30
Resultados .....	31
Resultados a nivel municipal.....	31
Resultados a nivel regional.....	33
Desarrollo y estado de las redes 5G en México .....	34
Estadísticas de 5G en México.....	35
Acciones favorables a la conectividad móvil.....	39
Comentarios finales.....	42
Anexo I Estimación de los modelos econométricos.....	43
Análisis de componentes principales (ACP) .....	43
Planteamiento de un modelo de elección binaria .....	46
Anexo II Metodología para la construcción del índice de conectividad regional .....	48
1. Marco teórico .....	48
2. Selección de los datos .....	49
3. Imputación de datos faltantes y datos atípicos .....	49
4. Análisis de componentes principales (ACP) .....	52
5. Normalización.....	53
6. Ponderación y agregación .....	54
Ponderación .....	54
Agregación.....	56

## Introducción

El presente estudio identifica, a través de un análisis exploratorio de datos, los factores de oferta y demanda que determinan las variaciones de cobertura de las redes comerciales móviles de tercera generación (3G) y de cuarta generación (4G) en México. Asimismo, presenta un índice de conectividad por región geográfica para determinar la probabilidad de que cada región del país sea atendida con estos tipos de tecnologías<sup>1</sup>.

La revisión bibliográfica realizada, que se presenta más adelante en este documento, muestran que entre los factores que contribuyen a explicar la conectividad de las redes móviles se encuentran la cobertura de la tecnología, las características geográficas, el nivel socioeconómico de los habitantes, las características poblacionales y el número de suscriptores, así como características de ingresos como el producto interno bruto (PIB). Por su parte, las técnicas econométricas aplicadas a este tipo de análisis consisten, por ejemplo, en estimaciones basadas en modelos de panel, modelos de elección binaria, modelos de crecimiento o en el método general de momentos (GMM, por sus siglas en inglés).

Para analizar los determinantes de la conectividad y redes móviles en México, el presente estudio utiliza información sobre las características socioeconómicas de la población, de los municipios y de las viviendas, además de considerar variables relacionadas a la cobertura y el desarrollo del sector de telecomunicaciones con desagregación regional. Con la información disponible de las categorías previamente señaladas, se construyó una base de datos a la cual se le aplicaron distintas técnicas de ciencia de datos a fin de elegir las variables más relevantes.

En este sentido, el estudio presenta estimaciones econométricas sobre los determinantes de la conectividad y las redes móviles en México en cada una de las regiones del país. La variable dependiente es una variable dicotómica que distingue cuáles municipios tienen una cobertura mayor a la nacional, la cual fue especificada en función de otras variables que tendrían mayor relevancia para explicar que los municipios que no tienen esta cobertura puedan alcanzarla. Los resultados muestran que, con datos a nivel municipal, el total de hogares, la población en el rango de edad de cero a nueve años, la proporción de población masculina, la proporción de hogares con energía eléctrica y la proporción de hogares con refrigerador inciden favorablemente en una mayor conectividad móvil tanto 4G como 3G. Por otra parte, otras variables entre las que destacan la mayor proporción en un municipio con hogares con teléfono celular, radio y televisor obtuvieron coeficientes negativos, lo que sugiere que municipios que ya cuentan con un cierto nivel de cobertura al aumentar el porcentaje de viviendas con dicho equipamiento no se genere un incremento en la conectividad móvil 4G y 3G.

El estudio también presenta un índice de conectividad elaborado con información disponible a nivel municipal. Los resultados muestran que las regiones Noroeste, Noreste y Centro tienen una mayor conectividad que el resto del país; por su parte, las regiones con menor conectividad son Norte, Golfo y Sur. También destaca que los municipios pertenecientes a Ciudad de México, Nuevo León y Colima presentan los mayores índices de conectividad.

---

<sup>1</sup> IFT (2024), *Programa Anual de Trabajo 2024*. Página 43. Disponible en: [https://www.ift.org.mx/sites/default/files/pat\\_2024.pdf](https://www.ift.org.mx/sites/default/files/pat_2024.pdf).

Adicionalmente, este documento contiene una breve descripción del desarrollo y estado de las redes 5G en el país, ya que esta tecnología es una pieza clave en la transformación digital. En específico, la información presentada muestra el despliegue del 5G en las entidades federativas, las velocidades de carga y descarga en las principales ciudades, y la percepción en el servicio.

Los resultados obtenidos en este estudio plantean la necesidad de proponer e implementar acciones en las regiones con menor conectividad. Para ello, el estudio presenta una revisión de algunas iniciativas implementadas internacionalmente para fomentar la conectividad, como elementos necesarios para desplegar infraestructura, redes de fibra óptica de media milla, así como programas dirigidos al ámbito rural.

## Determinantes de la conectividad y las redes móviles en México

### Revisión de bibliografía

Existe una amplia y variada bibliografía sobre los determinantes de la conectividad y las redes móviles. Por ejemplo, en el estudio *Economic Geography: An analysis of the determinants of 3G and 4G coverage in the UK*<sup>2</sup>, publicado en 2015, la Oficina de Comunicaciones del Reino Unido (Ofcom) realizó análisis econométricos de los factores que inciden en el nivel de cobertura móvil para las redes 3G y 4G disponibles en las diferentes áreas geográficas del Reino Unido. En dicha investigación<sup>3</sup>, Ofcom estimó un modelo econométrico tipo *probit* de los determinantes de la cobertura móvil en el Reino Unido,<sup>4</sup> utilizando como variables independientes o explicativas la población en el área de cobertura, el porcentaje de la población dentro del área de cobertura clasificado por nivel socioeconómico, el porcentaje de la población menor de 25 años y el porcentaje de la población mayor de 60 años<sup>5</sup>.

Los resultados de dicho estudio mostraron que la densidad de población tuvo un efecto positivo y significativo en la cobertura de redes 3G y 4G. Por su parte, los resultados mostraron que una mayor población en edad de trabajar tuvo un efecto positivo en la probabilidad de tener una buena cobertura 3G, mientras que el resultado fue ambiguo en el caso de 4G.<sup>6</sup> Los resultados también mostraron que un mayor nivel socioeconómico genera un mayor impacto positivo en la cobertura 3G y 4G, que a mayor altura sobre el nivel del mar se tiene un efecto negativo en la cobertura de las redes 3G y 4G y que encontrarse en un entorno urbano tiene mayor impacto que estar en un entorno rural<sup>7</sup>.

---

<sup>2</sup> Disponibles en: <https://www.ofcom.org.uk/research-and-data/multi-sector-research/availability-of-communication-services>.

<sup>3</sup> Ofcom (2015), *Economic Geography: An analysis of the determinants of 3G and 4G coverage in the UK*. Disponible en: <https://www.ofcom.org.uk/research-and-data/multi-sector-research/availability-of-communication-services/economic-geography-15>

<sup>4</sup> Definido como un área de 200 metros por 200 metros con una señal de -100 dBm para 3G y -113 dBm para 4G.

<sup>5</sup> Ofcom (2015), *Economic Geography: An analysis of the determinants of 3G and 4G coverage in the UK*. Página 5. Disponible en: <https://www.ofcom.org.uk/research-and-data/multi-sector-research/availability-of-communication-services/economic-geography-15>

<sup>6</sup> En específico, Ofcom obtuvo en el modelo de 3G que los coeficientes del porcentaje de la población menor de 25 años y del porcentaje de la población mayor de 60 años fueron negativos y significativos al 1 %, lo que llevó a la conclusión de que a mayor porcentaje de población en edades intermedias que pertenecería a la población económicamente activa, tiene un impacto en la probabilidad de cobertura 3G. Por su parte, para la tecnología 4G, ambos coeficientes también fueron negativos, pero solo el de la población menor de 25 años fue significativo al 10 %, por lo que los resultados fueron menos claros.

<sup>7</sup> Ofcom (2015), *Economic Geography: An analysis of the determinants of 3G and 4G coverage in the UK*. Página 10. Disponible en: <https://www.ofcom.org.uk/research-and-data/multi-sector-research/availability-of-communication-services/economic-geography-15>

En otro estudio para Reino Unido, llamado *Rural mobile coverage in the UK: Not-spots and partial notspots*<sup>8</sup>, publicado por la Cámara de los Comunes en 2022, se analizó la cobertura móvil con un enfoque en la cobertura móvil 4G rural. En específico, este estudio abarcó los compromisos del Gobierno en cobertura móvil y las medidas principales para mejorar la cobertura móvil rural.

Según los resultados del estudio, en septiembre de 2021 el 92 % del territorio del Reino Unido tenía cobertura 4G de al menos un operador, mientras que el 4 % de la masa terrestre (*landmass*) del Reino Unido no tenía buena señal móvil. Asimismo, la cobertura variaba en las diferentes partes del país, siendo las áreas urbanas las que cuentan con mayor cobertura en comparación a las rurales.

Asimismo, un estudio publicado en 2019 analizó diversos aspectos de la difusión de servicios de banda ancha móvil de 3G y 4G en la India, a fin de pronosticar la adopción futura de estos servicios y determinar el tiempo de saturación y el potencial del mercado final de estos servicios<sup>9</sup>. Los autores del estudio utilizaron tres modelos diferentes de crecimiento (Bass, Gompertz y logístico), así como modelos de difusión multigeneracional (Norton y Bass) para analizar la dinámica intergeneracional de difusión de los servicios 2G, 3G y 4G. Para estimar los modelos, establecieron una función de adopción acumulada (número de suscriptores de 3G y 4G) en relación con el potencial de mercado (número de adoptantes en equilibrio o nivel de saturación), la probabilidad de adopción, un coeficiente de innovación, un coeficiente de imitación, la velocidad de difusión (tasa de crecimiento) y una variable de tiempo para indicar el momento en que una nueva generación de tecnología entró en el mercado.

En cuanto a los resultados, el modelo de Bass se ajustó mejor a la curva de adopción real en el caso de 3G, aunque para el caso de 4G ninguno de los modelos pudo estimar la curva de adopción real. A pesar de ello, los autores observaron que los ciclos de vida de los servicios 3G y 4G tenían patrones similares, cuya única diferencia fue que 4G se retrasó entre cuatro y cinco años en comparación con 3G. En cuanto a los resultados de las tasas de difusión de los servicios, los autores estimaron que los servicios 3G deberían alcanzar la saturación en 2020, 11 años después de su lanzamiento en la India, y que los servicios 4G la alcanzarían en 2025, 13 años después de su lanzamiento en este país.

Un estudio en Camerún analizó los determinantes de la difusión de las comunicaciones móviles de 1996 a 2010<sup>10</sup>. Para ello, el autor estimó una curva de crecimiento en forma de “S” con base en un modelo logístico. Para hacer la estimación, utilizó información referente al acceso móvil, una variable de la competencia del mercado, el acceso de la red fija, el PIB per cápita, una variable binaria para indicar el inicio del servicio de SMS y otra variable binaria para el inicio del servicio de pago móvil.

Los resultados del estudio mostraron que la variable más significativa en la estimación fue el PIB per cápita, lo que es indicio del efecto determinante de los ingresos para adoptar el servicio de telefonía móvil y para el acceso a la red fija; esto, a su vez, indicaría la existencia de un vínculo complementario entre la red fija y la red móvil. Asimismo, las variables de competencia y el inicio

---

<sup>8</sup> House of Commons (2022), *Rural mobile coverage in the UK: Not-spots and partial notspots*. Disponible en: <https://researchbriefings.files.parliament.uk/documents/SN07069/SN07069.pdf>

<sup>9</sup> Jha, A. y Saha, D. (2020), *Forecasting and analysing the characteristics of 3G and 4G mobile broadband diffusion in India: A comparative evaluation of Bass, Norton-Bass, Gompertz, and logistic growth models*. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0040162517305383>

<sup>10</sup> Honoré, B. (2019), *Diffusion of mobile telephony: Analysis of determinants in Cameroon*. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308596118302453>

del servicio de SMS mostraron un efecto positivo en la difusión de la tecnología móvil. En cambio, los pagos móviles no fueron significativos en la difusión de la tecnología móvil, lo que podría deberse a que este servicio inició en Camerún en 2010, a diferencia de otros países como Zambia o Kenia en donde inició en 2001.

De igual forma, un estudio realizado para América Latina y el Caribe desarrolló una visión general de la infraestructura en la región y destacó las áreas clave en las que podía mejorar la infraestructura de transporte, energía y telecomunicaciones<sup>11</sup>. En el caso de la infraestructura de telecomunicaciones, el estudio mostró la fuerte influencia del progreso tecnológico en el sector. Si bien entre 1990 y 2013 la región avanzó en la cobertura de servicios de telefonía móvil y banda ancha, solo el 45 % de la población de la región tenía un teléfono fijo en 2013, mientras que la cobertura de telefonía móvil superó el 98 % de la población.

Los autores del estudio estimaron los determinantes de las infraestructuras en América Latina y el Caribe con base en modelos de mínimos cuadrados con variables dicotómicas, de mínimos cuadrados con variables dicotómicas para corrección de sesgos, así como el método general de momentos (GMM, por sus siglas en inglés) diferenciado y dinámico. Para ello, consideraron variables como el PIB per cápita en términos constantes, la infraestructura medida por líneas telefónicas fijas por cada 100 habitantes y el presupuesto gubernamental como porcentaje del PIB, además de variables de control como el crédito del sector privado, la inflación, la apertura comercial, la tasa de fertilidad, la tasa de urbanización, la densidad de población, el estado de derecho y la inversión del sector privado.

En términos generales, los resultados para el sector de telecomunicaciones arrojaron que la consolidación fiscal, en forma de un mayor superávit fiscal primario, tiende a reducir el indicador de líneas telefónicas, aunque las estimaciones no fueron estadísticamente significativas. En parte, este resultado podría ser reflejo de la creciente obsolescencia de las líneas telefónicas fijas. Asimismo, la participación del sector privado tuvo una asociación negativa con las líneas telefónicas fijas que igualmente pudo ser reflejo de la obsolescencia de las líneas fijas y el papel de las empresas privadas que desarrollan la telefonía móvil.

Por otra parte, los autores de una investigación sobre el comportamiento del consumidor y la adquisición de servicios de nueva generación inalámbricos en Corea del Sur estimaron un modelo mixto *logit* con información de 528 personas encuestadas sobre género, edad e ingreso familiar mensual (wones) para septiembre de 2018<sup>12</sup>. La información la obtuvo la empresa Gallup Korea.

Los resultados mostraron que los consumidores prefirieron significativamente una velocidad más rápida, una gran oferta de datos y tarifas más bajas de servicio 5G. En cuanto a vehículos conectados, los consumidores prefirieron recibir información básica en lugar de contar con un asistente de conducción y un alto nivel de conducción autónoma. Los autores también encontraron que los consumidores prefirieron servicios más rápidos y estables, aunque sus preferencias podrían cambiar

---

<sup>11</sup> Cerra, V. et al (2016), *Highways to Heaven: Infrastructure Determinants and Trends in Latin America and the Caribbean*. IMF Working Paper. Disponible en: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2016/wp16185.pdf>

<sup>12</sup> Maeng, K., Kim, J. y Shin, J. (2020), *Demand forecasting for the 5G service market considering consumer preference and purchase delay behavior*. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736585319308196>

si aumentaban los costos. Este compactamiento obstaculizaría la aceptación inicial de 5G por parte de los consumidores.

Por último, en el documento *Cerrando la brecha digital en México: Una visión inside-out y outside-in de competencia y regulación*<sup>13</sup>, sus autores identificaron los rasgos socioeconómicos y geográficos de las zonas con rezago digital, con base en la siguiente clasificación: i) zona A: con múltiples redes de telecomunicaciones y una cobertura del 83 % de la población en 2018; ii) zona B: con una sola red de cobertura, y iii) zona C: sin red, sin apoyo de subsidios y con costos más altos para instalar redes. Dos dimensiones de la brecha digital fueron tomadas en cuenta: la primera relacionada con factores de oferta (localidades sin cobertura de red) y la segunda relacionada con factores de demanda (porcentaje de la población con cobertura, pero que no utiliza Internet de banda ancha). A partir de esta clasificación, los autores propusieron políticas públicas como subsidiar la construcción de redes que sería complementada con medidas como fijar requerimientos de cobertura en las licencias de uso del espectro y establecer una red compartida mayorista (Red Compartida).

Relativo a México, los autores del estudio sugirieron que la mejor opción para reducir la brecha digital sería aplicar la estrategia *inside-out* (desde adentro hacia afuera), que consiste en ampliar la cobertura hacia las localidades más cercanas a las áreas ya cubiertas, y así proveer los incentivos necesarios para que los operadores existentes o potenciales ampliaran sus redes de cobertura hacia estas localidades. Esta estrategia implica comenzar por las zonas con mayor cobertura para avanzar hacia las zonas con menor cobertura. Los autores también plantearon la estrategia *outside-in* (desde afuera hacia adentro) como una estrategia auxiliar para reducir la brecha digital, la cual se concentraría en atender las comunidades más aisladas y remotas, donde es poco probable que algún operador ofrezca sus servicios. Lo anterior significa partir de las zonas con menos cobertura –donde se requiere un papel más activo del Estado– y avanzar hacia las zonas con más cobertura<sup>14</sup>.

Otros aspectos destacables del estudio fueron las acciones sugeridas por zonas. En la zona B una acción que podría ayudar a cerrar la brecha que persiste sería la reducción o exención, a modo de incentivo, del pago de impuestos, tarifas o pagos de derechos que puedan suponer un límite a la inversión; por ejemplo, mediante reducciones al impuesto especial sobre producción y servicios<sup>15</sup> y a los pagos requeridos para obtener derechos de uso del espectro bajo la condición de hacer crecer la cobertura de red. En la zona C (que contiene áreas que no pueden ser cubiertas de manera rentable) sería necesario simplificar los procesos y reglamentos para la obtención de concesiones, así como otorgar subsidios para expandir las redes. Los costos de expansión de la red en áreas de esta zona podrían reducirse mediante participación local en el manejo de una red relativamente sencilla o explorar el uso de una gama de tecnologías<sup>16</sup>.

---

<sup>13</sup> CEEG (2018), *Cerrando la brecha digital en México: Una visión inside-out y outside-in de competencia y regulación*. Centro Ejecutivo de Empresas Globales. Disponible en:

[http://ceeg.mx/publicaciones/ESTUDIO\\_2\\_2018-Cerrando\\_la\\_brecha\\_digital\\_en\\_Mexico-V\\_Final\\_2019\\_02\\_06.pdf](http://ceeg.mx/publicaciones/ESTUDIO_2_2018-Cerrando_la_brecha_digital_en_Mexico-V_Final_2019_02_06.pdf)

<sup>14</sup> CEEG (2018), *Cerrando la brecha digital en México: Una visión inside-out y outside-in de competencia y regulación*. Centro Ejecutivo de Empresas Globales. Página 56. Disponible en:

[http://ceeg.mx/publicaciones/ESTUDIO\\_2\\_2018-Cerrando\\_la\\_brecha\\_digital\\_en\\_Mexico-V\\_Final\\_2019\\_02\\_06.pdf](http://ceeg.mx/publicaciones/ESTUDIO_2_2018-Cerrando_la_brecha_digital_en_Mexico-V_Final_2019_02_06.pdf)

<sup>15</sup> En México, el impuesto especial sobre producción y servicios, o IEPS, es un impuesto indirecto que se impone por enajenación e importación de ciertos bienes y servicios, entre los que se encuentran combustibles, bebidas alcohólicas, refrescos, tabacos labrados, comida con alto contenido calórico chatarra, juegos con apuestas y sorteos entre otros. Al ser indirectos, no los pagan las personas contribuyentes, bienes, sino que las personas físicas o morales (empresas) que los producen lo trasladan o cobran a sus clientes.

<sup>16</sup> CEEG (2018), *Cerrando la brecha digital en México: Una visión inside-out y outside-in de competencia y regulación*. Centro Ejecutivo de Empresas Globales. Página 60. Disponible en:

[http://ceeg.mx/publicaciones/ESTUDIO\\_2\\_2018-Cerrando\\_la\\_brecha\\_digital\\_en\\_Mexico-V\\_Final\\_2019\\_02\\_06.pdf](http://ceeg.mx/publicaciones/ESTUDIO_2_2018-Cerrando_la_brecha_digital_en_Mexico-V_Final_2019_02_06.pdf)



## Selección de variables y análisis exploratorio de datos

El análisis de los determinantes de la conectividad móvil en México, presentado en este estudio, toma en consideración la información disponible de variables detectadas en la revisión de la bibliografía previa. En este sentido, la base de datos contiene información a nivel municipal, con variables agrupadas por características de la población, de los municipios, de las viviendas y de las condiciones socioeconómicas, además de variables del sector de las telecomunicaciones (ver Cuadro 1). Cabe destacar que estas variables se utilizaron y evaluaron en la estimación de modelos econométricos con distintas especificaciones y metodologías<sup>17</sup>, sin embargo, no todas ellas aparecen en los modelos econométricos finales que se presentan en las secciones siguientes. En específico, como se explica más adelante, las variables fueron seleccionadas al resultar estadísticamente significativas para el modelo.

Cuadro 1. Agrupación de las posibles variables identificadas para el análisis de los determinantes de la conectividad móvil

Grupo	Variable	Fuente
<b>Características de la población</b>	Población total del municipio	Censo de Población y Vivienda 2020, Instituto Nacional de Estadística y Geografía ( <a href="#">Inegi</a> )
	Total de hogares	
	Porcentaje de población femenina	
	Porcentaje de población masculina	
	Porcentaje de población con edad de 0 a 9 años	
	Porcentaje de población con edad de 10 a 29 años	
	Porcentaje de población con edad de 30 a 54 años	
	Porcentaje de población con edad de 55 en adelante	
<b>Características de los municipios</b>	Promedio de la altitud de las localidades del municipio	
	Porcentaje de población en ámbito rural	
	Porcentaje de población en ámbito urbano	
	Indicador de ámbito urbano del municipio <sup>17</sup>	
<b>Características de las viviendas</b>	Total de viviendas	
	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de teléfono celular	
	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de refrigerador	
	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de radio	
	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de televisor	
	Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin línea telefónica fija ni teléfono celular	
	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que tienen energía eléctrica	
	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que tienen energía eléctrica, agua entubada y drenaje (fosa, tubería, etcétera)	
	Porcentaje de población en situación de pobreza	

<sup>17</sup> Las metodologías para estimar los determinantes de la conectividad de las redes móviles se encuentran los modelos *logit* y *probit*, asimismo, Se hicieron varias especificaciones de estos modelos y se eligió el de mayor significancia estadística.

Grupo	Variable	Fuente
Características socioeconómicas	Porcentaje de población con carencias en los servicios de su vivienda	Pobreza a Nivel Municipio 2010-2020, Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social ( <a href="#">Coneval</a> )
	Porcentaje de población que tiene ingresos por debajo de la línea de pobreza	
	Índice de marginación, 2020	Índices de marginación 2020, Consejo Nacional de Población ( <a href="#">Conapo</a> )
	Indicador del grado de marginación <sup>2/</sup>	
	Índice de marginación normalizado, 2020	
	Total de unidades económicas (UE) del municipio	Censos Económicos 2019, Instituto Nacional de Estadística y Geografía ( <a href="#">Inegi</a> )
	Total de gastos por servicios de comunicación (millones de pesos)	
Telecomunicaciones	Porcentaje de población con cobertura 4G de todos los operadores	<a href="#">Comportamiento de los Indicadores de Mercado y la Economía Digital</a> , Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT)
	Porcentaje de población con cobertura 3G de todos los operadores	
	Número de accesos del servicio fijo de Internet con tecnología de fibra	

<sup>1/</sup> Es una variable dicotómica que toma el valor de uno cuando las localidades son urbanas y de cero cuando son rurales de acuerdo con la clasificación del Inegi.

<sup>2/</sup> Es una variable discreta que clasifica el índice de marginación en cuatro valores: 1 ("muy bajo"), 2 ("bajo"), 3 ("medio") y 4 ("alto").

Fuente: Elaboración propia, IFT.

El análisis de componentes principales (ACP) fue la base para seleccionar las variables explicativas a considerar en el modelo, la cual es una técnica comúnmente utilizado en la fase de preprocesamiento de datos necesario para construir modelos predictivos basados en aprendizaje automático o *machine learning*<sup>18</sup>.

El ACP se utiliza para reducir la dimensionalidad (número de variables) del análisis, lo que permite disminuir la información (varianza) posible y, a su vez, disminuir las variables cuantitativas posiblemente correlacionadas. Además, permite encontrar un número de variables y transformarlas en componentes principales que expliquen gran parte de la variabilidad en los datos<sup>19</sup>; es decir, reduce la dimensión de un conjunto amplio de datos o variables para transformarlo en un conjunto de datos más pequeño con la capacidad predictiva del conjunto de datos original.

El ACP incluye un análisis factorial para identificar las variables que comparten algo en común, lo que ayuda a conocer el número de factores necesarios que facilitan el análisis en la investigación, que es un análisis de tipo exploratorio<sup>20</sup>. Esta técnica pertenece a la ciencia de datos y es parte de las técnicas llamadas *unsupervised learning*, donde la variable respuesta  $Y_i$  no se tiene en cuenta ya que el objetivo es extraer información empleando los predictores disponibles y "condensar" la información aportada por múltiples variables en unos pocos componentes<sup>21</sup>.

<sup>18</sup> Afsana, Mimi (2020), *Principal Component Analysis for Predicting the Party of the Legislators*, New York City College of Technology. Disponible en: [https://academicworks.cuny.edu/ny\\_pubs/670/](https://academicworks.cuny.edu/ny_pubs/670/)

<sup>19</sup> Gil, C. (2018), *Análisis de Componentes Principales (PCA)*. Disponible en: [https://rpubs.com/Cristina\\_Gil/PCA](https://rpubs.com/Cristina_Gil/PCA)

<sup>20</sup> Tapia, G. y García, O. (2001), *Análisis Factorial y Componentes Principales: su uso para Modelos Macroeconómicos de la Economía Mexicana*. Economía y Sociedad, Vol. 6, Nº 10. Pág. (183). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5900511>

<sup>21</sup> Cienciadedatos.net (2017), *Análisis de Componentes Principales (Principal Component Analysis, PCA) y t-SNE*. Disponible en: [https://cienciadedatos.net/documentos/35\\_principal\\_component\\_analysis](https://cienciadedatos.net/documentos/35_principal_component_analysis)

Como se muestra en el [Anexo I](#) de este estudio, la aplicación del ACP resultó en la categorización de 32 variables en seis factores, que se asignaron conforme al autovalor más grande. El Cuadro 2 muestra la matriz de variables resultante.

Cuadro 2. Factores para los determinantes de la conectividad móvil en México

Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
Índice de marginación por municipio	Total de hogares	Porcentaje de población en ámbito urbano	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que tiene energía eléctrica, agua entubada y drenaje (fosa, tubería, etcétera)	Porcentaje de población con edad de 10 a 29 años	Promedio de la altitud de las localidades del municipio
Índice de marginación normalizado	Total de viviendas	Indicador de ámbito urbano del municipio	Porcentaje de viviendas particulares habitadas con teléfono celular	Porcentaje de población con cobertura 4G de todos los operadores	Porcentaje de población femenina
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que tiene refrigerador	Población total	-	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que tiene televisor	Porcentaje de población con edad de 0 a 9 años	Porcentaje de población en ámbito rural
Porcentaje de población que tiene ingresos por debajo de la línea de pobreza	Total de unidades económicas (UE) del municipio	-	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que tiene radio	Porcentaje de población con cobertura 3G de todos los operadores	Porcentaje de población en situación de pobreza
Porcentaje de población con edad de 30 a 54 años	Número de accesos del servicio fijo de Internet con tecnología de fibra óptica	-	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que tiene energía eléctrica	Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin línea telefónica fija ni teléfono celular	Porcentaje de población en situación de pobreza
Porcentaje de población masculina	Total de gastos por servicios de comunicación (millones de pesos)	-	-	Indicador del grado de marginación	Porcentaje de población con carencias en los servicios de su vivienda
Porcentaje de población con edad de 55 en adelante	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia, IFT.

En cuanto a las estimaciones econométricas, para obtener los determinantes de la conectividad móvil se consideró cada una de las variables contenidas dentro de los seis factores, en combinaciones diferente, ajustándose conforme su significancia estadística.

Las variables utilizadas en el análisis econométrico estaban disponibles para 2469 municipios. Para los fines de esta investigación, estos datos se agruparon a nivel de región económica con base en la regionalización de Ángel Bassols, la cual agrupa a las entidades del país de acuerdo con distintas

características (clima, topografía, disponibilidad de recursos naturales, población e infraestructura) que influyen en las actividades económicas de cada región (ver Mapa 1)<sup>22</sup>.

Mapa 1. Regionalización de Bassols



Región	Entidad
Noroeste	Baja California, Baja California Sur, Nayarit, Sonora, Sinaloa
Norte	Chihuahua, Coahuila, Durango, San Luis Potosí, Zacatecas
Noreste	Nuevo León, Tamaulipas
Centro-occidente	Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, Michoacán
Centro	Ciudad de México, Estado de México, Hidalgo, Morelos, Puebla, Querétaro, Tlaxcala
Sur	Chiapas, Guerrero, Oaxaca
Golfo	Tabasco, Veracruz de Ignacio de la Llave
Península de Yucatán	Campeche, Quintana Roo, Yucatán

Fuente: IFT con base en Bassols, A. (1993), *Geografía económica de México: teoría, fenómenos generales, análisis regional*.

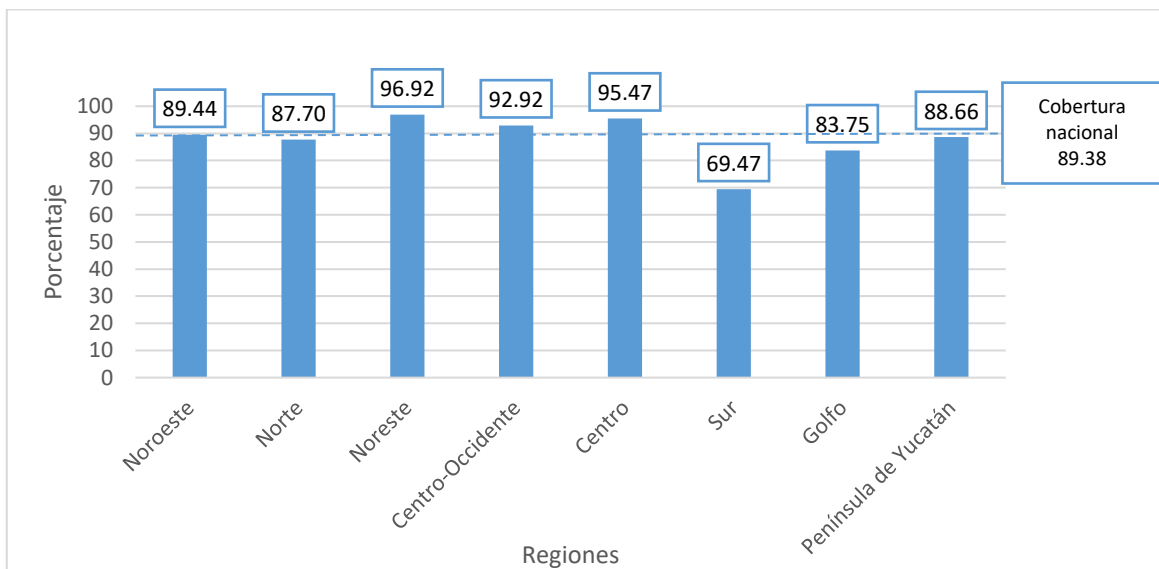
La variable dependiente es una variable dicotómica que se le da el valor de uno para los municipios que tienen una cobertura mayor a la nacional, por lo que se busca conocer los determinantes de la conectividad que se requieren y tienen mayor impacto, para que los municipios que tienen una cobertura menor a la nacional puedan alcanzarla en relación a las redes móviles 3G y 4G. Esta elección tiene el propósito de conocer:

<sup>22</sup> Bassols, A. (1993), *Geografía económica de México: teoría, fenómenos generales, análisis regional*. Esta división regional sirvió para estimar económicamente los determinantes de la conectividad móvil en cada región y para elaborar un índice de conectividad regional, el cual se presentará más adelante en este documento.

1. Cuáles son los determinantes que existen para que las regiones con cobertura de redes 3G y 4G menores al nivel nacional puedan alcanzar una cobertura superior a esta métrica.
2. Las regiones de atención prioritaria, esto último con base en los resultados del índice de conectividad regional obtenido en este estudio.

En este sentido, las Gráficas 1 y 2 presentan los datos de la cobertura de las redes 3G y 4G por región. La Gráfica 1 muestra que, para la red 4G, las regiones Noreste, Centro, Centro-occidente y Noroeste tienen coberturas poblacionales superiores a la cobertura nacional, mientras que las regiones de la Península de Yucatán, Norte, Golfo y Sur presentan coberturas inferiores a la cobertura nacional.

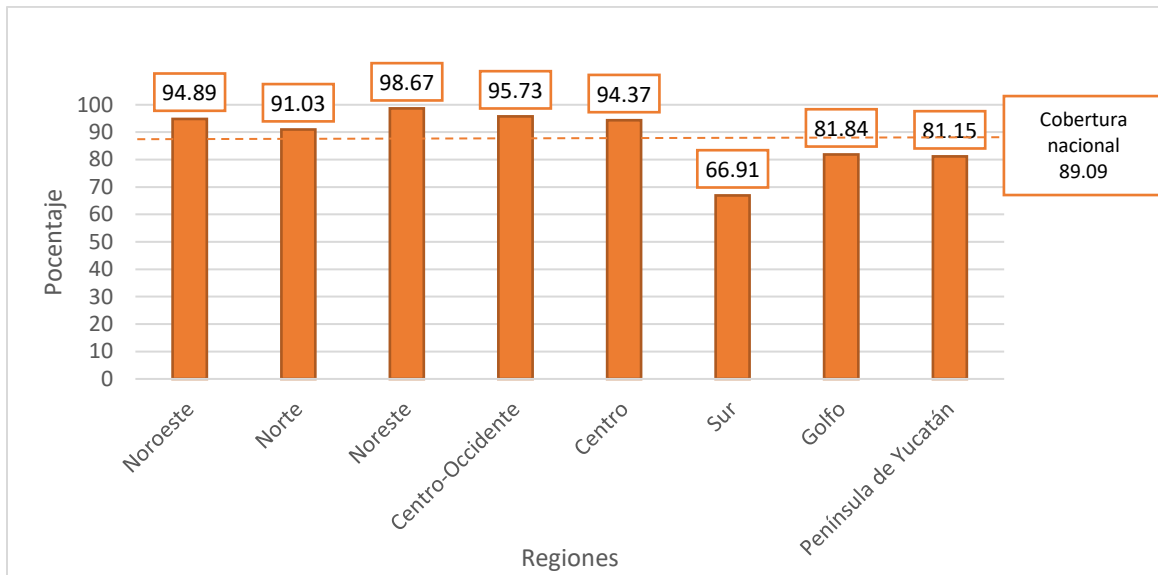
Gráfica 1. Cobertura de las redes móviles 4G por región, 2022



Fuente: IFT con datos de la Unidad de Política Regulatoria (UPR).

Por su parte, en cuanto a la red 3G, la Gráfica 2 muestra que las regiones Noreste, Centro-occidente, Noroeste, Centro y Norte tienen coberturas poblacionales superiores a la cobertura nacional, mientras que las regiones Golfo, Península de Yucatán y Sur presentan coberturas inferiores a la cobertura nacional.

Gráfica 2. Cobertura de las redes móviles 3G por región, 2022



Fuente: IFT con datos de la Unidad de Política Regulatoria (UPR).

Continuando con la búsqueda de los determinantes de la conectividad de las redes móviles en México, a continuación se presenta el planteamiento del modelo que muestra el tratamiento dado a la variable dependiente en la estimación de los modelos *logit*. El modelo de tipo *logit* fue seleccionado debido a su idoneidad para analizar procesos de decisión dicotómicos, como la presencia o ausencia de conectividad de las redes móviles en México, descrita anteriormente.

En la estimación econométrica, este modelo se basa en la función logística, que transforma una variable lineal en una probabilidad entre cero y uno. En el contexto de este estudio, el planteamiento del modelo *logit* implica el tratamiento de la variable dependiente para encontrar los factores que influyen en la conectividad móvil en México. Cabe resaltar que la importancia de los modelos de elección discreta, como los modelos *logit*, radica en que permiten estimar variables cualitativas, característica que exige la codificación de la variable como paso previo a la estimación<sup>23</sup>.

### Planteamiento del modelo econométrico

En este estudio, las estimaciones de los determinantes de la conectividad para México a través de las redes 3G y 4G consistieron en modelos de variables discretas o de respuesta cualitativa. Los modelos de elección binaria son los más simples al tener dos categorías de elección, es decir, utilizan variables dicotómicas que tienen únicamente dos valores. Estos modelos se caracterizan por ser estimados mediante máxima verosimilitud debido a que la distribución de la probabilidad se comporta como una curva Bernoulli (tipo "S")<sup>24</sup>.

<sup>23</sup> Martínez, E. (2008), *Logit Model como modelo de elección discreta: origen y evolución*. Pág. 479. Disponible en: <https://documat.unirioja.es/descarga/articulo/2652092.pdf>

<sup>24</sup> Cameron, C. y Trivedi, P. (2005), *Microeconometrics. Methods and Applications*. Página 463

Estas estimaciones buscan parametrizar la probabilidad ( $p$ ) para que esté en relación del vector de los regresores o variables explicativas ( $x$ ) con un vector de parámetros ( $\beta$ ). Comúnmente, estos modelos tienen una probabilidad condicional dada por:

$$p_i = \Pr[y_i = 1|x] = F(x_i'\beta)$$

donde  $F(\cdot)$  es una función acumulativa de distribución que asegura que la probabilidad se encuentre entre cero y uno. En los modelos *logit*, la función  $F(\cdot)$  tiene una distribución logística y los regresores son consistentes y asintóticamente se comportan como una distribución normal<sup>25</sup>. El interés de este tipo de estimaciones recae en los efectos marginales o el cambio en una regresión sobre la probabilidad condicional.

La variable dependiente, que representa la cobertura de las redes 3G y 4G, es una variable dicotómica que toma los siguientes valores:

$$Cobertura_{4G,3G} \begin{cases} 1 = \text{municipios con cobertura superior a la cobertura nacional} \\ 0 = \text{municipios con cobertura inferior a la cobertura nacional} \end{cases}$$

En cuanto a los regresores o las variables explicativas, el Cuadro 3 muestra los signos esperados de sus parámetros o coeficientes. Cabe destacar que estas fueron las variables que se evaluaron para la estimación de modelos econométricos, pero no todas ellas fueron incluidas en el modelo final.

Cuadro 3. Signos esperados de las variables consideradas

Variable	Signo esperado
Población total del municipio	<b>Positivo:</b> Un incremento en la población y en el número de hogares podría incidir en una mayor cobertura de redes móviles.
Total de hogares	
Porcentaje de población femenina	<b>Negativo:</b> En la población femenina, por la brecha de género, podría incidir en tener una menor cobertura de redes móviles. <sup>17</sup>
Porcentaje de población masculina	<b>Positivo:</b> En la población masculina podría incidir en tener una mayor cobertura de redes móviles.
Porcentaje de población con edad de 0 a 9 años	<b>Negativo:</b> A mayor edad de la población podría haber en una menor cobertura de redes móviles.
Porcentaje de población con edad de 10 a 29 años	
Porcentaje de población con edad de 30 a 54 años	
Porcentaje de población con edad de 55 en adelante	
Promedio de la altitud de las localidades del municipio	<b>Negativo:</b> Una mayor altura de la localidad, podría incidir en una menor cobertura de redes móviles.
Porcentaje de población en ámbito rural	<b>Positivo:</b> Un aumento en la población en cualquier ámbito podría incidir en una mayor cobertura de redes móviles.
Porcentaje de población en ámbito urbano	
Indicador (variable dicotómica) de ámbito urbano del municipio <sup>2/</sup>	<b>Positivo:</b> De pertenecer al ámbito urbano, podría incidir en una mayor cobertura de redes móviles.
Total de viviendas	<b>Positivo:</b> Un incremento en el número de viviendas podría incidir en una mayor cobertura de redes móviles.
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que dispone de teléfono celular	

<sup>25</sup> Wooldridge, J. (2002), *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. Página 460.

Variable	Signo esperado
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que dispone de refrigerador	<b>Positivo:</b> Un incremento en el número de viviendas con algún tipo de equipamiento y servicios podría incidir en una mayor cobertura de redes móviles.
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que dispone de radio	
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que dispone de televisor	
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que tiene energía eléctrica	
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que tiene energía eléctrica, agua entubada y drenaje (fosa, tubería, etcétera)	
Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin línea telefónica fija ni teléfono celular	<b>Negativo:</b> Un incremento en el número de viviendas sin servicios podría incidir en una menor cobertura de redes móviles.
Porcentaje de población en situación de pobreza	<b>Negativo:</b> Un incremento en el porcentaje de población en alguna situación de pobreza podría incidir en una menor cobertura de redes móviles.
Porcentaje de población con carencias en los servicios de su vivienda	
Porcentaje de población que tiene ingresos por debajo de la línea de pobreza	
Índice de marginación, 2020	<b>Negativo:</b> Un incremento en la marginación del municipio podría incidir en una menor cobertura de redes móviles.
Índice de marginación normalizado, 2020	
Indicador del grado de marginación <sup>3/</sup>	
Total de unidades económicas (UE) del municipio	<b>Positivo:</b> Un incremento en el número de unidades económicas en determinado municipio podría incidir en una mayor cobertura de redes móviles.
Total de gastos por servicios de comunicación (millones de pesos)	<b>Positivo:</b> Un incremento en el gasto en los servicios de comunicaciones podría incidir en una mayor cobertura de redes móviles.
Número de accesos del servicio fijo de Internet con tecnología de fibra	<b>Positivo:</b> Un incremento en el gasto en los servicios de comunicaciones podría incidir en una mayor cobertura de redes móviles.

<sup>1/</sup> Para más detalle consulte GSMA (2023), *La brecha de género móvil 2023 Conclusiones principales*. Disponible en: [https://www.gsma.com/r/wp-content/uploads/2023/07/La-brecha-de-genero-movil-2023\\_Conclusiones-principales.pdf](https://www.gsma.com/r/wp-content/uploads/2023/07/La-brecha-de-genero-movil-2023_Conclusiones-principales.pdf).

<sup>2/</sup> Es una variable dicotómica que toma el valor de uno cuando las localidades son urbanas y de cero cuando son rurales de acuerdo con la clasificación del Inegi.

<sup>3/</sup> Es una variable discreta que clasifica el índice de marginación en cuatro valores: 1 ("muy bajo"), 2 ("bajo"), 3 ("medio") y 4 ("alto").

Fuente: Elaboración propia, IFT.

Adicionalmente, aunque el Cuadro 3 no las incluye, también se definieron variables dicotómicas para indicar las ocho regiones de Bassols en la estimación. Son ocho variables dicotómicas porque, como se verá más adelante, se estimaron modelos para cada una de las regiones.

A continuación, se muestran los resultados de las estimaciones de los modelos econométricos tipo *logit*.

## Estimación de los determinantes de la conectividad móvil

Para la estimación de los determinantes de la conectividad móvil de las redes 3G y 4G, fue programado un algoritmo en el *software* STATA15 para realizar el modelado a nivel nacional y para cada una de las regiones, así como ejecutar las pruebas de correcta clasificación, la pseudo  $R^2$  de McFadden y la bondad de ajuste de cada uno de los modelos.



Las variables explicativas fueron elegidas con base en el criterio de que resultaran estadísticamente significativas al 90 % de confianza en la estimación del modelo *logit* con datos nacionales para la cobertura móvil 4G (ver columna “Nacional” en el Cuadro 4). Por un lado, ello implicó que no todas las variables explicativas utilizadas en las estimaciones de los otros modelos para las coberturas 4G y 3G fueran estadísticamente significativas al 90 % de confianza (ver Cuadros 4 y 5). En este sentido, el modelo a nivel nacional para 4G se tomó como el modelo con la especificación con base en la cual se compararían los resultados del resto de modelos. Por el otro lado, adoptar este criterio implicó que variables como altitud, distintas líneas de pobreza y total de unidades económicas que, si bien tuvieron relevancia en la revisión bibliográfica, al no resultar significativas al 90 % de confianza en el modelo de conectividad móvil 4G” fueron descartadas en los demás modelos, tanto para las redes 3G como 4G.

El Cuadro 4 muestra los resultados para los determinantes de la conectividad móvil en las redes 4G. Destaca que:

- El **total de hogares** mostró que los municipios con una cobertura mayor a la nacional podrían aumentar su cobertura a medida que se incremente el número de hogares. Los coeficientes de esta variables fueron positivos y significativos al 90 % de confianza en todos los modelos (es decir, tanto en el modelo a nivel nacional como en los modelos de todas las regiones).
- Los municipios con cobertura superior a la nacional podrían tener un aumento de la cobertura a medida que aumente la **población masculina** respecto de la población femenina. Este aspecto sería indicativo de una disparidad en el acceso a la cobertura entre la población femenina y masculina. De acuerdo con un reporte de GSMA, en los países de ingresos bajos y medios, sigue siendo menos probable que las mujeres tengan conocimiento sobre internet móvil en comparación con los hombres, donde las principales barreras para la adopción siguen siendo los precios poco asequibles (en particular de los dispositivos), el analfabetismo y la falta de habilidades digitales<sup>26</sup>. Los coeficientes fueron positivos y significativos en todos los modelos.
- El **porcentaje de población en el rango de edad de cero a nueve años** obtuvo signos positivos y estadísticamente significativos en todos los modelos, lo que indicaría que los municipios con cobertura mayor a la nacional podrían incrementar la cobertura ante un aumento en el porcentaje de este rango de población, en comparación con la población de más de 30 años.
- En tanto, el **porcentaje de población en el rango de edad de 10 a 29 años** obtuvo signos negativos en todos los modelos, excepto en la región Centro-occidente. Un signo negativo indicaría que los municipios con cobertura mayor a la nacional presentan un cambio en su cobertura en comparación con la población de más de 30 años. En todos los modelos los coeficientes fueron estadísticamente significativos.
- El porcentaje de viviendas con algún tipo de equipamiento obtuvieron distintos signos. Las estimaciones mostraron que los coeficientes de las variables del **porcentaje de viviendas que disponen de teléfono celular, radio y televisor** obtuvieron signos negativos en la mayoría de las regiones, excepto en las regiones Centro-occidente y Península de Yucatan. Un signo negativo indicaría que los municipios con una cobertura mayor a la nacional podrían presentar una disminución en su cobertura a medida que aumenta el porcentaje de viviendas con este tipo de

---

<sup>26</sup> GSMA (2023), *La brecha de género móvil 2023 Conclusiones principales*. Disponible en: [https://www.gsma.com/r/wp-content/uploads/2023/07/La-brecha-de-genero-movil-2023\\_Conclusiones-principales.pdf](https://www.gsma.com/r/wp-content/uploads/2023/07/La-brecha-de-genero-movil-2023_Conclusiones-principales.pdf)

equipamiento, en comparación a las viviendas que disponen de otros servicios<sup>27</sup>. En todos los modelos los coeficientes fueron estadísticamente significativos.

- En cambio, los coeficientes de las variables del **porcentaje de viviendas que disponen de refrigerador y energía eléctrica** obtuvieron signos positivos en todas las regiones, además de que fueron estadísticamente significativos. Ello indicaría que los municipios que tienen una cobertura mayor a la nacional tendrían un aumento en la cobertura a medida que aumente el porcentaje de viviendas con este tipo de equipamiento, en comparación a las viviendas que disponen de otros servicios.
- En cuanto al **indicador de ámbito urbano**<sup>28</sup>, los modelos arrojaron signos negativos en la mayoría de las regiones (excepto las regiones de Centro-occidente y Península de Yucatán). Los signos negativos indicarían que los municipios con una cobertura mayor a la nacional podrían presentar una disminución en su cobertura a medida que la población en los municipios del ámbito urbano aumenta. En todos los modelos los coeficientes fueron estadísticamente significativos.
- El **número de accesos del servicio fijo de Internet de fibra óptica** obtuvo signos negativos y estadísticamente significativos en todas las regiones. Esto probablemente indica que en los municipios con cobertura mayor a la nacional podrían tener una menor cobertura por un número mayor de accesos a Internet de fibra óptica<sup>29</sup>.
- El **indicador regional** (variable dicotómica) presentó signos positivos en la mayoría de las regiones, excepto las regiones Noreste y Centro, aunque en las regiones Centro-occidente, Sur y Golfo los coeficientes no fueron significativos al 90 % de confianza<sup>30</sup>.

---

<sup>27</sup> Posiblemente este comportamiento se deba a que existe un equipamiento mayor a la capacidad de la cobertura disponible en ese municipio.

<sup>28</sup> La variable es dicotómica y asigna el valor de uno a las localidades urbanas y cero a las localidades rurales de acuerdo con la clasificación otorgada por Inegi.

<sup>29</sup> Probablemente esto un indicativo de un mayor uso de otros servicios sustitutos o complementarios, como lo serían los servicios fijos en vez de servicios móviles o por la adopción tecnológica de los servicios.

<sup>30</sup> En el modelo a nivel nacional, el coeficiente del indicador regional es la constante (ver Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados de la estimación de los determinantes de la conectividad 4G

Variable	Nacional	Noroeste	Norte	Noreste	Centro-occidente	Centro	Sur	Golfo	Península de Yucatán
Porcentaje de población masculina	22.28529 ***	3.510149 **	4.62663 ***	5.482496 ***	4.754669 ***	4.44169 ***	4.904692 ***	4.883848 ***	5.38375 ***
Porcentaje de población con edad de 0 a 9 años	18.65803 ***	20.53198 ***	16.44729 ***	18.32084 ***	19.22645 ***	17.62392 ***	18.38954 ***	18.85933 ***	16.41533 ***
Porcentaje de población con edad de 10 a 29 años	-8.639872 ***	-10.85429 ***	-10.37293 ***	-11.70078 ***	11.25131 ***	-9.873177 ***	-11.30957 ***	-10.89592 ***	-10.7383 ***
Total de hogares	0.0000131 **	0.0000112 *	0.0000134 **	0.0000142 **	0.0000138 **	0.0000115 *	0.0000135 **	0.000013 **	0.0000124 *
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de teléfono celular	-15.45018 ***	-15.95418 ***	-14.36819 ***	-14.20304 ***	14.66132 ***	-14.25185 ***	-14.48096 ***	-14.36669 ***	14.47604 ***
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de refrigerador	5.497035 ***	5.197723 ***	4.606239 ***	4.912661 ***	5.208629 ***	4.302829 ***	4.940707 ***	5.032304 ***	4.39707 ***
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de radio	-1.912218 **	-1.99828 ***	-3.168869 ***	-3.158354 ***	2.914263 ***	-2.691673 ***	-3.013735 ***	-2.934952 ***	3.722052 ***
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de televisor	-5.370452 ***	-4.072048 ***	-3.999409 ***	-3.755293 ***	3.692405 ***	-3.12272 **	-3.690269 **	-3.801146 ***	3.004233 **
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que tienen energía eléctrica	12.23302 ***	11.91603 ***	11.80173 ***	10.87745 ***	10.89055 ***	10.76161 ***	11.10036 ***	10.65743 ***	11.31856 ***
Indicador de ámbito urbano	-0.6212821 ***	-0.5966305 ***	-0.6203034 ***	-0.6255764 ***	0.6174081 ***	-0.6612017 ***	-0.625728 ***	-0.6139408 ***	0.5555606 ***
Número de accesos del servicio fijo de Internet con tecnología de fibra	-0.0000631 **	-0.0000631 **	-0.0000647 **	-0.0000659 **	-0.000067 **	-0.0000581 **	-0.0000652 **	-0.0000638 **	-0.000064 **
Indicador regional	-9.422991 ***	1.473555 ***	0.5525599 ***	-0.5333798 *	0.1925893	-0.4346883 ***	0.0357226	0.2402746	0.7651677 ***
					Pruebas				
Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden)	35.60%	36.53%	35.57%	35.54%	35.32%	35.55%	35.25%	35.28%	35.59%
Correcta Clasificación	79.47%	79.02%	79.26%	79.26%	79.14%	78.94%	79.02%	79.10%	79.67%
Bondad de ajuste (Pearson chi <sup>2</sup> )	4131.60 ***	4066.52 ***	4009.97 ***	3635.98 ***	3769.34 ***	3642.73 ***	3727.78 ***	3610.74 ***	3927.76 ***

Nivel de significancia: 0.01\*\*\*, 0.05\*\*, 0.1\*

Fuente: IFT con estimaciones mediante el *software* STATA15.

El Cuadro 5 presenta el resultado de los modelos los determinantes de la conectividad móvil para las redes 3G, entre los que destacan<sup>31</sup>:

- Los municipios con una cobertura 3G mayor a la nacional aumentan su cobertura a medida que aumente el **total de hogares**, al igual de lo observado con la cobertura 4G.
- Los municipios con cobertura superior a la nacional podría tener un aumento de la cobertura a medida que aumente la **poblacion masculina** respecto a la población femenina. Este aspecto sería indicativo de la existencia de brechas de adopción por género. Como se indicó anteriormente, de acuerdo con un reporte de GSMA, en los países de ingresos bajos y medios, sigue siendo menos probable que las mujeres tengan conocimiento sobre internet móvil en comparación con los hombres<sup>32</sup>.

<sup>31</sup> Los resultados para las redes 3G fueron distintos a los de las redes 4G, derivado de la decisión de tomar como la especificación básica la obtenida para el modelo de conectividad móvil de las redes 4G, como se indicó anteriormente,

<sup>32</sup> GSMA (2023), *La brecha de género móvil 2023 Conclusiones principales*. Disponible en:

<https://www.gsma.com/r/wp-content/uploads/2023/07/La-brecha-de-genero-movil-2023-Conclusiones-principales.pdf>

- El **porcentaje de la población del rango de edad de cero a nueve años** obtuvo signos positivos en todos los modelos, lo que indicaría que los municipios con cobertura 3G mayor a la nacional incrementarían la cobertura ante un aumento en el porcentaje de este rango de población en comparación con población de más de 30 años. No obstante, los coeficientes no fueron significativos al 90 % de confianza en las regiones Norte y Centro.
- En tanto, el coeficiente del **rango de edad de 10 a 29 años** tuvo un signo negativo en todas las estimaciones, aunque resultó no significativo en todos los modelos salvo el de la región Noroeste. El signo negativo podría indicar que los municipios con cobertura 3G mayor a la nacional disminuyen la cobertura ante un aumento en el porcentaje de rango de edad en comparación con población de más de 30 años.
- El porcentaje de viviendas con algún tipo de equipamiento tuvo distintos signos, como ocurrió en las estimaciones para las redes 4G. Los coeficientes de las variables de **porcentaje de viviendas que disponen de teléfono celular, radio y televisor** obtuvieron signos negativos en todos los modelos, con excepción del modelo de la región de la Península de Yucatán. Un signo negativo indicaría que los municipios con una cobertura mayor a la nacional podrían presentar una disminución en su cobertura a medida que aumente el porcentaje de viviendas con este tipo de equipamiento. Los coeficientes fueron estadísticamente significativos en todos los modelos.
- En cambio, los coeficientes de las variables del **porcentaje de viviendas que disponen de refrigerador y energía eléctrica** obtuvo signos positivos y fueron estadísticamente significativos en todos los modelos. Un signo positivo podría indicar que los municipios con una cobertura mayor a la nacional podrían tener un aumento en la cobertura a medida que aumente el porcentaje de viviendas con este tipo de equipamiento.
- El **indicador de ámbito urbano** obtuvo signos negativos en todos los modelos, a excepción de la Península de Yucatán. El signo negativo probablemente indica que los municipios con una cobertura mayor a la nacional podrían presentar una disminución en su cobertura a medida que aumenta el porcentaje de municipio de ámbito urbano en comparación a los municipios que pertenecen al ámbito rural. Los coeficientes fueron estadísticamente significativos en todos los modelos.
- El **número de accesos del servicio fijo de Internet de fibra óptica** obtuvo signo negativos y fueron estadísticamente significativos en todos los modelos. El signo negativo sería probable indicativo de que los municipios con cobertura mayor a la nacional podrían tener una menor cobertura por un número mayor acceso a Internet de fibra óptica<sup>33</sup>.
- En cuanto al **indicador regional**, la pertenencia de los municipios a ciertas regiones podría incidir en incrementar la cobertura, como serían los casos de los municipios de las regiones Norte, Sur, Golfo y Península de Yucatán. En cambio, la pertenencia a las regiones Noreste, Centro-occidente y Centro podrían tener un efecto contrario en la cobertura 3G. El coeficiente de la región Noroeste resultó ser no significativo<sup>34</sup>.

---

<sup>33</sup> Probablemente esto es un indicativo de un mayor uso de otros servicios sustitutos o complementarios o por la adopción tecnológica de los servicios.

<sup>34</sup> En el modelo a nivel nacional, el coeficiente del indicador regional es la constante (ver Cuadro 4).

Cuadro 5. Resultados de la estimación de los determinantes de la conectividad 3G

Variable	Nacional	Noroeste	Norte	Noreste	Centro-occidente	Centro	Sur	Golfo	Península de Yucatán
Porcentaje de población masculina	17.40948 ***	1.916759	2.123415 *	3.599249 ***	1.665589	1.670637	2.105694 *	2.21555 *	1.900006
Porcentaje de población con edad de 0 a 9 años	6.223134 *	6.857374 **	5.107018	6.168347 *	10.03218 ***	5.138881	6.691791 **	7.482489 ***	8.565672 ***
Porcentaje de población con edad de 10 a 29 años	-0.1973115	-2.833523 **	-2.473908	-4.001167	-3.059346	-0.9476356	-3.658389	-2.1638	3.761573
Total de hogares	0.0000124 **	0.0000121 **	0.0000127 **	0.000014 ***	0.0000129 **	0.0000111 **	0.000013 **	0.000012 **	0.0000133 ***
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de teléfono celular	-18.97701 ***	-18.32271 ***	-17.89801 ***	-17.26412 ***	-18.68598 ***	-17.73418 ***	-17.61352 ***	-17.66464 ***	18.06139 ***
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de refrigerador	4.858276 ***	4.429398 ***	4.123414 ***	4.216094 ***	5.360226 ***	3.412944 ***	3.610196 ***	4.437989 ***	4.926952 ***
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de radio	-2.517745 ***	-3.254538 ***	-3.586445 ***	-3.918374 ***	-3.256543 ***	-3.106938 ***	-4.314135 ***	-3.415974 ***	2.836459 ***
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de televisor	-8.091623 ***	-6.698549 ***	-6.799974 ***	-6.356323 ***	-5.942875 ***	-5.690064 ***	-3.032986 **	-6.415635 ***	7.347613 ***
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que tienen energía eléctrica	18.96239 ***	18.02928 ***	18.31834 ***	17.08798 ***	16.59812 ***	17.38276 ***	15.67978 ***	16.59843 ***	17.73063 ***
Indicador de ámbito urbano	-0.4449536 ***	-0.4457035 ***	-0.4503648 ***	-0.4642342 ***	-0.4350997 ***	-0.501108 ***	-0.4922532 ***	-0.4358619 ***	0.5213878 ***
Número de accesos del servicio fijo de Internet con tecnología de fibra	-0.0000221 *	-0.0000221 *	-0.0000233 **	-0.0000254 *	-0.0000237 *	-0.0000195 *	-0.0000236 *	-0.0000213 *	-0.000024 *
Indicador regional	-8.301303 ***	0.2915605	0.3201025 **	-1.390959 ***	-0.7935836 ***	-0.5851797 ***	0.8324124 ***	0.550713 ***	0.7070328 ***
					Pruebas				
Pseudo R <sup>2</sup> (McFadden)	36.81%	36.40%	36.45%	37.02%	37.12%	36.84%	37.14%	36.59%	36.62%
Correcta Clasificación	79.26%	78.82%	79.10%	79.59%	78.94%	79.18%	79.75%	79.38%	79.51%
Bondad de ajuste (Pearson chi <sup>2</sup> )	3390.40 ***	3256.92 ***	3205.16 ***	3077.21 ***	3199.51 ***	3354.16 ***	3350.07 ***	3095.32 ***	3113.64 ***

Nivel de significancia: 0.01\*\*\*, 0.05\*\*, 0.1\*

Fuente: IFT con el software STATA15.

Los coeficientes de modelos tipo *logit* presentados en los Cuadros 4 y 5 muestran el sentido de las relaciones entre las variables explicativas y la variable dependiente<sup>35</sup>. Los coeficientes también ayudan a calcular la probabilidad de incidencia de las variables explicativas sobre la variable dependiente cuando se estiman los efectos marginales. Aunque existen diferentes métodos, este estudio presenta resultados de los efectos marginales promedio.

El cuadro 6 presenta los resultados de los efectos marginales de los modelos de conectividad móvil 4G, los cuales hacen referencia a la magnitud existente de que una variable pueda aumentar o disminuir la probabilidad para posicionarse como un municipio que tenga una cobertura mayor a la

<sup>35</sup> Por ejemplo, si un coeficiente tiene signo positivo habría una relación positiva entre la variable explicativa asociada a ese coeficiente y la variable dependiente.

media nacional. A continuación, se presenta una breve descripción de algunos de los resultados y su interpretación<sup>36</sup>:

- El total de hogares mostró que **los municipios con una cobertura mayor a la nacional podrían aumentar su cobertura 4G a medida que se incremente el número de hogares.**

Si el total de hogares aumenta en una unidad porcentual, la probabilidad de que un municipio tenga una cobertura mayor a la nacional sería 0.000177 % mayor. En la región Noreste esta probabilidad se incrementa a 0.000206 % en promedio.

- En **los municipios con cobertura 4G superior a la nacional se podrían presentar aumentos en su probabilidad a medida que la población masculina aumenta en comparación a la población femenina.** Este efecto podría presentarse por la existencia de brechas de adopción por género. De acuerdo con un reporte de GSMA, en los países de ingresos bajos y medios, sigue siendo menos probable que las mujeres tengan conocimiento sobre internet móvil en comparación con los hombres, identificando que las principales barreras para la adopción siguen siendo los precios poco asequibles (en particular de los dispositivos), el analfabetismo y la falta de habilidades digitales<sup>37</sup>.

Si aumentara en 1 % la población masculina, la probabilidad de que un municipio tuviera una cobertura superior a la nacional sería de 76.78 %; en la región Noreste este porcentaje aumentaría en 79.57 % en promedio, en comparación a la población femenina.

- Al contemplar los rangos de edad, se puede identificar que los municipios con cobertura mayor a la nacional podrían aumentar su cobertura ante un aumento **en el porcentaje de la población con edad de 0 a 9 años** en comparación con población de más de 30 años. En tanto, **para el rango de población de 10 a 29 años podría incidir en los municipios con cobertura mayor a la nacional en una disminución en su cobertura 4G respecto a la media nacional**, en comparación con población de más de 30 años.

Es decir, ante un aumento del 1 % en el porcentaje de población con edad de 0 a 9 años, la probabilidad de que un municipio tenga una cobertura superior a la nacional aumentaría en 234.10 % y en la región Centro-occidente este porcentaje aumentaría en 278.52 % en promedio. En tanto, un cambio de 1 % para el rango de población con edad 10 a 29 años podría disminuir la probabilidad de que un municipio tenga una cobertura superior a la nacional en 153.14 %; para la región Noreste esta caída llegaría al 169.81 % en promedio, en comparación con población de más de 30 años para ambos rangos de edad.

- En cuanto a las viviendas con algún tipo de equipamiento, se identificó que si se incrementa el porcentaje de viviendas que disponen de teléfono celular, radio y televisor se podría tener una menor probabilidad de que el municipio cuente con una cobertura 4G mayor a la nacional, en comparación a las viviendas que disponen de otros servicios. Esto probablemente se deba a que exista una mayor cantidad de equipamiento que requerirá una mayor cantidad de servicios tecnológicos, entre ellos, la cobertura. En cambio, si se incrementa el porcentaje de viviendas

<sup>36</sup> El análisis y la interpretación de los resultados se llevó a cabo con base en la aplicación de distintas metodologías econométricas, análisis estadístico y de técnicas de la ciencia de datos. Por lo que está dirigido a personas con conocimientos previos en la materia, dado el nivel de especialización y lenguaje utilizados. Si bien, este podría ser un acercamiento a las personas interesadas en estos campos de conocimiento, se recomienda consultar la bibliografía citada para una mayor comprensión. Para las personas con conocimientos en esta materia, este estudio es un recurso de consulta con información precisa y relevante en la búsqueda de los determinantes de la conectividad de las redes móviles en México.

<sup>37</sup> GSMA (2023), *La brecha de género móvil 2023 Conclusiones principales*. Disponible en: <https://www.gsma.com/r/wp-content/uploads/2023/07/La-brecha-de-genero-movil-2023-Conclusiones-principales.pdf>

que disponen de refrigerador y energía eléctrica, podrían tener una mayor probabilidad de pertenecer a los municipios con una cobertura 4G mayor a la nacional en comparación a las viviendas que disponen otros servicios.

Los efectos marginales mostraron distintos resultados:

- Si se incrementan aquellas viviendas que disponen de celular en una unidad porcentual, disminuiría la probabilidad de que un municipio tenga una cobertura superior a la nacional en 206.45 % y en la región Centro-occidente esta disminución llegaría a 212.39 % en promedio, en comparación a las viviendas que disponen de otros servicios.
- Para las viviendas que disponen de radio, la probabilidad disminuiría en 53.08 % para que un municipio tenga una cobertura mayor a la nacional y en la Península de Yucatán esta probabilidad disminuiría en 53.80 % en promedio, en comparación a las viviendas que disponen de otros servicios.
- En el caso de las viviendas que disponen de televisor, la probabilidad de que un municipio tenga cobertura mayor a la nacional disminuiría en 42.84 %, mientras que para la región Norte esta disminución alcanzaría el 54.51 % en promedio, en comparación a las viviendas que disponen de otros servicios.
- Si aumentan las viviendas que disponen de refrigerador, aumentaría la probabilidad en 62.71 % de que el municipio tenga una cobertura mayor a la nacional y en la región Centro-occidente este aumento llegaría al 75.45 % en promedio, en comparación a las viviendas que disponen de otros servicios.
- El porcentaje de viviendas que disponen de energía eléctrica podría aumentar la probabilidad en 161.41 % de que el municipio tenga una cobertura mayor a la nacional y en la Península de Yucatán este incremento podría representar 163.61 % en promedio, en comparación a las viviendas que disponen de otros servicios.

- **Si los municipios pertenecen al ámbito urbano, podría existir una menor probabilidad de pertenecer a estos municipios con una cobertura 4G mayor a la nacional** en comparación a los municipios que pertenecen al ámbito rural, esto considerando que estos municipios ya cuentan con un cierto grado de adopción tecnología y podrían tener diferencias en sus niveles de cobertura.

Así, si aumenta la cantidad de municipios que pertenecen al ámbito urbano, la probabilidad para que un municipio tenga una cobertura 4G superior a la nacional disminuiría en 7.92 % y en la región Centro esta disminución llegaría al 9.74 % en promedio, en comparación a las viviendas que disponen de otros servicios.

- Para el número de accesos del servicio fijo de Internet de fibra óptica, los resultados indican que **si se da un incremento en estos accesos podría incidir en una menor probabilidad de pertenecer a los municipios con una cobertura 4G mayor a la nacional**, probablemente esto es un indicativo de un mayor uso de otros servicios sustitutos o complementarios, como lo serían los servicios fijos en vez de servicios móviles<sup>38</sup>.

<sup>38</sup> Frank, L.D. (2004), *An analysis of the effect of the economic situation on modelling and forecasting the diffusion of wireless communications in Finland*. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004016250200392X>

Un aumento de una unidad en el número de acceso del servicio fijo de Internet de fibra óptica muestra que la probabilidad de que un municipio tenga una cobertura mayor a la nacional disminuiría en 0.00091 % y en la región Centro-occidente esta disminución sería de 0.00097 % en promedio.

- **En cuanto al indicador regional, este podría denotar diferencias respecto a la pertenencia de un municipio con una cobertura 4G mayor a la nacional.** En las regiones Noreste, Centro-occidente y centro se observa que podrían presentar una menor probabilidad de estar por arriba de la cobertura media nacional debido a aspectos tanto socioeconómicos como orográficos. Por su parte, para las regiones Noroeste y Norte la probabilidad de que un municipio tenga una mayor cobertura a la nacional podría ser influenciado las condiciones socioeconómicas que existe en la cobertura en estas regiones. Por su parte, para las regiones Sur y Golfo esta categoría resultó ser no significativa.

El indicador regional denota que si el municipio pertenece a la región noreste aumentaría la probabilidad de tener una cobertura superior a la nacional en 15.95 % en promedio. En el extremo opuesto, si el municipio pertenece a la Península de Yucatán, la probabilidad de tener una cobertura superior a la nacional disminuiría en 11.06 % en promedio.



Cuadro 6. Efectos marginales de los determinantes de la conectividad 4G (%)

Variable	Nacional	Noroeste	Norte	Noreste	Centro-occidente	Centro	Sur	Golfo	Península de Yucatán
Porcentaje de población masculina	76.78036 ***	37.99317 **	63.06427 ***	79.56816 ***	68.87847 ***	65.44218 ***	70.34753 ***	68.77389 ***	77.82446 ***
Porcentaje de población con edad de 0 a 9 años	234.1073 ***	222.2341 ***	224.1884 ***	265.8926 ***	278.5239 ***	259.6642 ***	263.7594 ***	265.5754 ***	237.2908 ***
Porcentaje de población con edad de 10 a 29 años	-153.1443 ***	-117.4847 ***	-141.3905 ***	-169.8149 ***	-162.9919 ***	-145.4677 ***	-162.212 ***	-153.4353 ***	-155.2269 ***
Total de hogares	0.000177 *	0.000122	0.000183 **	0.000206 ***	0.0002 **	0.000169 *	0.000193 **	0.000182 **	0.00018 *
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de teléfono celular	-206.45 ***	-172.685 ***	-195.8488 ***	-206.1306 ***	-212.3911 ***	-209.9814 ***	-207.699 ***	-202.3104 ***	-209.2574 ***
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de refrigerador	62.70881 ***	56.25915 ***	62.78634 ***	71.29807 ***	75.45476 ***	63.39626 ***	70.86409 ***	70.86445 ***	63.56156 ***
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de radio	-53.08204 ***	-21.62899 **	-43.19396 ***	-45.8376 ***	-42.21744 ***	-39.65809 ***	-43.22571 ***	-41.32972 ***	-53.80388 ***
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de televisor	-42.84488 **	-44.07506 ***	-54.51481 ***	-54.50104 ***	-53.49 ***	-46.00898 **	-52.92918 **	-53.52739 ***	-43.4275 **
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que tienen energía eléctrica	161.4196 ***	128.9768 ***	160.866 ***	157.8658 ***	157.7659 ***	158.5574 ***	159.2115 ***	150.077 ***	163.6147 ***
Indicador de ámbito urbano	-7.92313 ***	-6.45781 ***	-8.45518 ***	-9.07907 ***	-8.94408 ***	-9.7419 ***	-8.97476 ***	-8.64546 ***	-8.03087 ***
Número de accesos del servicio fijo de Internet con tecnología de fibra	-0.000913 **	-0.000683 **	-0.000882 **	-0.000957 **	-0.00097 **	-0.000856 **	-0.000935 **	-0.000899 **	-0.000925 **
Indicador regional	-	15.94947 ***	7.53179 ***	-7.74101 *	-2.78994	-6.40453 ***	0.51237	3.38353	-11.06083 ***

Nivel de significancia: 0.01\*\*\*, 0.05\*\*, 0.1\*

Fuente: IFT con STATA15.

Al igual que los efectos marginales de 4G expuestos previamente, a continuación, se destacan los efectos marginales de los determinantes de la conectividad 3G a nivel nacional y los más significativos a nivel regional (ver Cuadro 1.7):

- Para el total de hogares se identifica que **los municipios con una cobertura mayor a la nacional podrían aumentar su cobertura 3G a medida que se incrementa el número de hogares.**

Si el total de hogares aumenta en una unidad porcentual, la probabilidad de que un municipio tenga una cobertura mayor a la nacional sería 0.000175 % mayor, de igual forma en la Península de Yucatán esta probabilidad se incrementa a 0.000186 % en promedio.

- Al igual que los resultados de los determinantes de las redes 4G, se observa que **de aumentar la población masculina se esperaría una probabilidad mayor de tener una cobertura 3G mayor a la nacional en comparación a la población femenina**, este efecto podría presentarse por la existencia de brechas de adopción por género<sup>39</sup>.

Si aumenta en 1 % el porcentaje de población masculina, la probabilidad de que un municipio tenga cobertura superior a la nacional sería de 246.72 % y en la región Golfo este indicador resulta en 31.44 % en promedio, en comparación a la población femenina.

- Relativo a los rangos de edad, se identifica que **si aumenta la población con edad de cero a nueve años, la probabilidad de que aumente la cobertura 3G de un municipio por arriba de la media, aumenta** respecto a la población de más de 30 años. Por su parte, si el rango de población de 10 a 29 se incrementa, la probabilidad de que aumente la cobertura 3G de un municipio por arriba de la media, disminuye respecto a la población de más de 30 años.

Si aumenta en un 1 % el porcentaje de población masculina con edad de 0 a 9 años aumentaría la probabilidad de que un municipio tenga una cobertura superior a la nacional en 88.19 % y en Centro-occidente este porcentaje aumentaría a 136.35 % en promedio, respecto a la población de más de 30 años. Para el rango de población con edad de 10 a 29 años, el indicador resultó no significativo como determinante de la conectividad 3G.

- **El equipamiento con que dispone las viviendas** podría tener efectos en la cobertura 3G en un municipio, por ejemplo, **cuando se dispone del servicio de energía eléctrica existe una mayor disponibilidad para que tenga una cobertura 3G superior a la nacional** en comparación a las viviendas que disponen de otros servicios, debido a que este servicio favorece tanto a la calidad de vida como a la conectividad.

Los efectos marginales mostraron que:

- Si aumentara la disponibilidad de hogares con refrigerador, la probabilidad de que un municipio tenga cobertura superior a la nacional aumentaría un 68.85 %, y en la región Centro-occidente este aumento sería de 72.85 % en promedio, en comparación a las viviendas que disponen de otros servicios.
- Si aumentara la disponibilidad de radio en las viviendas, la probabilidad de que un municipio tenga cobertura superior a la nacional disminuiría en 35.68 % y en la región Sur esta disminución llegaría a 61.47 % en promedio, en comparación a las viviendas que disponen de otros servicios.
- Si disminuye la disponibilidad de televisor en las viviendas un 1 %, la probabilidad de que en un municipio tenga cobertura superior a la nacional aumentaría en 114.67 % en promedio, en comparación a las viviendas que disponen de otros servicios.
- Si el porcentaje de viviendas que dispone de energía eléctrica aumentara una unidad porcentual, la probabilidad de que un municipio tenga una cobertura superior a la nacional sería de 268.73 %, en promedio en comparación a las viviendas que disponen de otros servicios.
- Si el porcentaje de viviendas que disponen de teléfono celular aumentara 1 %, la probabilidad de que un municipio tenga una cobertura superior a la nacional

<sup>39</sup> GSMA (2023), *La brecha de género móvil 2023 Conclusiones principales*. Disponible en: [https://www.gsma.com/r/wp-content/uploads/2023/07/La-brecha-de-genero-movil-2023\\_Conclusiones-principales.pdf](https://www.gsma.com/r/wp-content/uploads/2023/07/La-brecha-de-genero-movil-2023_Conclusiones-principales.pdf)

disminuiría en 268.94 %, en promedio en comparación a las viviendas que disponen de otros servicios.

- Cuando aumenta la cantidad de municipios que pertenecen al **ámbito urbano, la probabilidad de que un municipio tenga una cobertura superior a la nacional 3G disminuye** en comparación con los municipios que pertenecen al ámbito rural. Esto podría ser influenciado por condiciones en las cuales las poblaciones ya cuentan con un cierto grado de adopción tecnología y podrían tener diferencias en sus niveles de cobertura.

Por lo cual, si disminuyera la cantidad de municipios que pertenecen al ámbito urbano en un 1 %, la probabilidad de que un municipio tenga una cobertura 3G superior a la nacional disminuiría en 6.31 % y en la región Sur esta disminución llegaría a 7.27 % en promedio, en comparación a los municipios que pertenecen al ámbito rural.

- Para el servicio fijo de Internet de fibra óptica, **si se da un decrecimiento en los accesos existe una menor probabilidad de pertenecer a los municipios con cobertura 3G mayor a la nacional.** Al igual que en 4G, esto podría ser un indicativo de un mayor uso de otros servicios sustitutos o complementarios.

Por lo tanto, de aumentar una unidad porcentual el número de accesos del servicio fijo de Internet de fibra óptica, la probabilidad de que un municipio tenga una cobertura mayor a la nacional disminuiría en 0.00031 % y en la región Sur esta disminución sería de 0.00034 % en promedio.

- En cuanto al **indicador regional, si el municipio pertenece a la región Sur, incrementaría probabilidad de tener una cobertura 3G superior a la nacional. En contraste, si el municipio pertenece a la región Noreste, la probabilidad de tener una cobertura superior a la nacional disminuiría.**

Por consiguiente, si el municipio pertenece a la región Sur la probabilidad de tener una cobertura 3G superior a la nacional aumentaría en 11.86 % en promedio. En contraste, si el municipio pertenece a la región Noreste, la probabilidad de tener una cobertura superior a la nacional disminuiría en 16.83 % en promedio.

Cuadro 7. Efectos marginales de los determinantes de la conectividad 3G (%)

Variable	Nacional	Noroeste	Norte	Noreste	Centro-occidente	Centro	Sur	Golfo	Península de Yucatán
Porcentaje de población masculina	246.7216 ***	27.39519	30.3728 *	43.55412 ***	22.6374	23.34034	30.00259 *	31.43604 *	26.50262
Porcentaje de población con edad de 0 a 9 años	88.19226 *	98.00871 **	73.04953	74.6425 *	136.3496 ***	71.79493	95.34675 **	106.1677 **	119.4801 ***
Porcentaje de población con edad de 10 a 29 años	-2.79623	-40.49799	-35.38617	-48.41769	-41.58025	-13.23935	-52.12589	-30.70177	-52.46908
Total de hogares	0.000175 **	0.000173 **	0.000182 ***	0.00017 ***	0.000175 ***	0.000155 **	0.000185 ***	0.000171 **	0.000186 ***
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de teléfono celular	-268.9361 ***	-261.8765 ***	-256.0087 ***	-208.9113 ***	-253.9653 ***	-247.7629 ***	-250.9631 ***	-250.6404 ***	-251.933 ***
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de refrigerador	68.84994 ***	63.30697 ***	58.9803 ***	51.0185 ***	72.85203 ***	47.68199 ***	51.43921 ***	62.96982 ***	68.72462 ***
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de radio	-35.68068 ***	-46.51534 ***	-51.29962 ***	-47.41583 ***	-44.26039 ***	-43.4068 ***	-61.46915 ***	-48.46864 ***	-39.56494 ***
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de televisor	-114.6719 ***	-95.73871 ***	-97.26515 ***	-76.91719 ***	-80.77093 ***	-79.49546 ***	-43.21494 *	-91.03027 ***	-102.4897 ***
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que tienen energía eléctrica	268.7289 ***	257.6827 ***	262.0211 ***	206.7799 ***	225.5887 ***	242.8532 ***	223.4105 ***	235.5121 ***	247.3194 ***
Indicador de ámbito urbano	-6.30574 ***	-6.3702 ***	-6.44191 ***	-5.61765 ***	-5.91354 ***	-7.00094 ***	-7.01378 ***	-6.18437 ***	-7.27269 ***
Número de accesos del servicio fijo de Internet con tecnología de fibra	-0.000313 *	-0.000315 *	-0.000334 *	-0.000307 *	-0.000323 *	-0.000273 *	-0.000337 *	-0.000302 *	-0.000335 *
Indicador regional	-	4.16712	4.57867 **	-16.83185 ***	-10.78577 ***	-8.1755 ***	11.86047 ***	7.81397 ***	9.86219 **

Nivel de significancia: 0.01\*\*\*, 0.05\*\*, 0.1\*

Fuente: IFT con STATA15.

## Índice de conectividad regional

El índice de conectividad regional (IC), que se presenta a continuación, es una propuesta para medir la conectividad por región geográfica en el país con base en las mejores prácticas internacionales y la metodología de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD, por sus siglas en inglés) y el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea (JRC, por sus siglas en inglés) sobre la construcción de indicadores compuestos<sup>40</sup>.

El IC ordena el grado de conectividad sobre las telecomunicaciones móviles de los municipios de México, al tomar en cuenta los múltiples habilitadores o factores que inciden en la adopción y promoción de la conectividad móvil en el país.

La construcción del IC tomó como referencia documentos que formaron un marco teórico a partir del cual se seleccionó información que tuvo un tratamiento para imputar datos faltantes y así conformar una base de datos. Posteriormente, la elaboración del IC implicó realizar un análisis multivariado de los datos, normalizar estos datos, ponderar y agregar los pesos de los indicadores individuales y, por último, presentar los datos resultantes del índice para cada una de las regiones.

<sup>40</sup> OECD (2008), *Handbook on Constructing Composite Indicators*. Disponible en: <https://www.oecd.org/els/soc/handbookonconstructingcompositeindicatorsmethodologyanduserguide.htm>

## Marco teórico

La elaboración del IC inició con la construcción de un índice compuesto o de entrada, que integró una serie de indicadores individuales que permiten analizar de manera desagregada el fenómeno multidimensional que se pretende medir, en este caso: los factores que inciden para que las personas accedan o utilicen los servicios de telecomunicaciones móviles.

La revisión de la literatura presentada previamente puso de manifiesto que existen diversos habilitadores, así como barreras, que inciden en la capacidad de las personas para usar o acceder a los servicios de telecomunicaciones móviles.

A partir de esta premisa, en diversas partes del mundo se han construido índices para medir la conectividad o el acceso a Internet. Por ejemplo, la Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), la agencia reguladora de las telecomunicaciones en Brasil, para medir la conectividad utiliza información del número de líneas o accesos de los servicios de telecomunicaciones móviles y banda ancha fija, cobertura móvil, ubicación de la red de retorno o *backhaul* de fibra óptica y el grado de competencia de los servicios móviles y de banda ancha fija<sup>41</sup>.

Por otro lado, la asociación Global System for Mobile Communications (GSMA, por sus siglas en inglés) construyó su índice de conectividad móvil para 170 países con información sobre disponibilidad de infraestructura móvil, asequibilidad de los servicios y dispositivos móviles (teléfonos celulares), nivel de preparación de la población para usar los servicios móviles, disponibilidad de contenidos y servicios seguros en línea accesibles y relevantes para la población local<sup>42</sup>.

Por su parte, el CAF - Banco de Desarrollo de América Latina elaboró el llamado “índice de desarrollo del ecosistema digital”. Para elaborarlo, se concibió al ecosistema digital como la interrelación sistémica de los pilares que integran el índice, el cual está dividido en ocho pilares compuestos por múltiples componentes y variables: infraestructura de servicios digitales; conectividad de servicios digitales; intensidad de competencia digital; desarrollo de sectores digitales; factores digitales de producción; digitalización de producción; digitalización del hogar, y marco regulatorio y políticas públicas. Entre las variables de los pilares y componentes, por mencionar algunas, están: la expectativa de años de educación; el gasto público y privado en innovación y desarrollo; el porcentaje de usuarios de Internet; el ingreso promedio por usuario (ARPU) de datos móviles como porcentaje del ARPU total; el porcentaje de conexiones de fibra óptica; el ancho de banda internacional por usuario de Internet, y la cobertura de población de redes 3G y 4G<sup>43</sup>.

Con base en estos antecedentes de índices existentes, la propuesta del IC incluye en su construcción variables *proxy* que miden los habilitadores de la conectividad a nivel municipal y por región, agrupadas en cuatro pilares:

1. **Infraestructura:** disponibilidad de cobertura de la red móvil de los operadores.

---

<sup>41</sup> Anatel (2023), *Conselho Diretor aprova metodologia de cálculo do Índice Brasileiro de Conectividade*. Disponible en: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/conselho-diretor-aprova-metodologia-de-calculo-do-indice-brasileiro-de-conectividade>

<sup>42</sup> GSMA (2023), *Mobile Connectivity Index Methodology*. Disponible en: <https://www.gsma.com/mobilefordevelopment/wp-content/uploads/2023/06/Mobile-Connectivity-Index-Methodology-2023.pdf>

<sup>43</sup> CAF (2021), *Índice de Desarrollo del Ecosistema Digital (IDED) 2021*. Disponible en: <https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1052/METODOLOGIA%20DE%20IDED.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

2. **Economía de la población:** características económicas de la población.
3. **Preparación de la población:** conocimientos y habilidades necesarias para valorar y utilizar los servicios móviles.
4. **Equipamiento de los hogares:** disponibilidad de energía eléctrica, teléfono celular y conexión a Internet en los hogares.

## Construcción

Al igual que la estimación de los determinantes de la conectividad móvil, la construcción del IC consideró información a nivel municipal, aunque a este nivel de desagregación la disponibilidad de la información fue limitada.

Para construir los habilitadores se conformó una base de datos con información del Censo de Población y Vivienda 2020 del Inegi, información de cobertura de los operadores móviles proporcionada por la Unidad de Política Regulatoria (UPR) del IFT e información disponible en el Banco de Información de Telecomunicaciones (BIT) del IFT a nivel municipal, como se muestra a continuación.

Los habilitadores fueron medidos con base en lo siguiente:

- **Infraestructura:** los operadores móviles tradicionales que tienen cobertura 3G o 4G en los municipios, incluyendo la Red Compartida (Altán Redes).
- **Economía de la población:** el porcentaje de la población económicamente activa como variable *proxy*.
- **Preparación de la población:** el porcentaje de población analfabeta de 15 años o más y el promedio de años de estudio o escolares de la población.
- **Equipamiento de los hogares:** los porcentajes de hogares con teléfono celular; energía eléctrica; conexión a Internet, y conexión a Internet mediante fibra óptica.

La base de datos contiene datos de 11 habilitadores con 2 469 registros, de los cuales, debido a que provienen de todos los municipios del país, no hubo faltantes. Una vez construida la base de datos del IC, se utilizó la metodología publicada por la OECD y el JRC para la construcción de indicadores compuestos (véase el [Anexo II](#)).

La construcción del IC implicó, en primer lugar, un análisis de datos atípicos que para detectarlos incluyó tanto un análisis univariado como un análisis multivariado. En este análisis se mostraron las correlaciones entre los indicadores en el análisis multivariado, así como datos atípicos en todos los indicadores, los cuales fueron eliminados tras siete iteraciones. Lo anterior resultó en la eliminación del 25.7 % de los datos.

Al igual que en el cálculo de los determinantes de la conectividad, el propósito fue utilizar toda la información disponible, por lo que, para no eliminar información, se eligió el método del cuadrado de la distancia de Mahalanobis<sup>44</sup>, que considera que los valores atípicos son aleatorios y se pueden conservar en el conjunto de datos.

---

<sup>44</sup> La distancia de Mahalanobis sirve para determinar la similitud entre dos variables aleatorias multidimensionales y difiere de la distancia Euclidiana en el sentido de que esta sí considera la correlación entre los atributos. Entonces, la distancia Mahalanobis considera la

La construcción del IC continuó con un ACP. Tras analizar las correlaciones entre las variables y la estructura de las observaciones, se obtuvieron los valores propios o eigenvalores de la matriz de correlaciones de las cinco variables finales que componen el IC. El primer componente principal explicó la varianza máxima en todas las variables individuales en un 70 %; el segundo componente principal explicó el monto máximo de la varianza en un 11 %, y los tres componentes restantes explicaron la varianza restante de 19 %.

Posteriormente, los indicadores fueron normalizados para que fueran comparables. Después, se empleó el método de análisis factorial de componentes principales (AFCP), en el que, a partir de los componentes o factores, se calcularon los pesos o ponderaciones de los indicadores individuales en el IC. Para este fin, los resultados del ACP se ponderaron para dar como resultado una matriz que seleccionó el valor máximo de cada fila; cada valor máximo fue dividido entre la suma de los valores máximos obtenidos, y el resultado de cada fila arrojó el ponderador que tuvo el indicador de la fila correspondiente (ver Cuadro 8).

Cuadro 8. Ponderaciones para los indicadores en el IC basadas en el método de AFCP

Variable	Peso en el IC
Porcentaje de hogares que cuentan con teléfono celular (PORC_VPH_CEL)	0.12
Promedio de años de estudio o escolares de la población (GRAPROES)	0.23
Porcentaje de la población económicamente activa (PORC_PEA)	0.16
Porcentaje de hogares que tienen conexión a Internet (PORC_VPH_INTER)	0.25
Número de operadores móviles tradicionales que tienen cobertura 3G o 4G en los municipios (Total_OP_TRA_Y_ALTAN)	0.24

Fuente: IFT con información del Inegi y la UPR.

Una vez determinados los factores de ponderación (pesos), todos los indicadores se agregaron en un indicador sintético o compuesto; es decir, en el IC y cuya fórmula es:

$$IC = PORC\_VPH\_CEL^{0.12} * GRAPROES^{0.23} * PORC_{PEA}^{0.16} * PORC_{VPH\_INTER}^{0.25} * Total\_OP\_TRA\_Y\_ALTAN^{0.24}$$

Cabe señalar que, con la agregación geométrica, si algún indicador tiene el valor de cero, el valor del IC también será cero, aunque el valor de los otros indicadores sea diferente de cero. Para solucionar este problema, los valores igual a cero de los indicadores se reemplazaron por  $10^{-6}$ , que es un valor cercano a cero.

Los resultados del IC para los municipios y su respectiva agregación a nivel regional se presentan a continuación.

## Resultados

### Resultados a nivel municipal

Los 20 municipios con el mayor valor del IC están en Ciudad de México, Nuevo León, Colima, Estado de México, Jalisco, Morelos, Hidalgo, Veracruz, Yucatán y Querétaro. Con base en la regionalización

---

dispersión de las variables y su dependencia, medida por el coeficiente de correlación. Disponible en: Universidad Antioquia (2013). *Evaluación de Tecnología utilizando TOPSIS en Presencia de Multi-colinealidad en Atributos: ¿Por qué usar distancia de Mahalanobis?* P. (35). Disponible en: <https://eds-s-ebsohost-com.pbidi.unam.mx:2443/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=7&sid=7e52d511-9343-4c77-a574-4208ea2f4bc7%40redis>

de Bassols, estas entidades pertenecen en su mayoría a la región Centro, aunque también a las regiones de Centro-occidente, Noreste, Golfo y Península de Yucatán (ver Cuadro 9).

Cuadro 9. Clasificación de los 20 municipios con mayor valor del IC

ID	Entidad	Municipio	PORC_VPH_CEL	GRAPROES	PORC_PEA	PORC_VPH_INTER	Total_OP_TRA_Y_ALTAN	IC	Clasificación
09014	Ciudad de México	Benito Juárez	0.97	1.00	1.00	0.92	1.00	0.98	1
09015	Ciudad de México	Cuauhtémoc	0.93	0.81	0.96	0.80	1.00	0.89	2
09003	Ciudad de México	Coyoacán	0.94	0.82	0.84	0.82	1.00	0.88	3
09016	Ciudad de México	Miguel Hidalgo	0.93	0.87	0.91	0.85	0.75	0.85	4
19046	Nuevo León	San Nicolás de los Garza	0.92	0.76	0.73	0.83	1.00	0.85	5
19006	Nuevo León	Apodaca	0.96	0.71	0.77	0.81	1.00	0.84	6
09004	Ciudad de México	Cuajimalpa de Morelos	0.94	0.72	0.83	0.77	1.00	0.84	7
06010	Colima	Villa de Álvarez	0.95	0.73	0.83	0.75	1.00	0.84	8
09010	Ciudad de México	Álvaro Obregón	0.93	0.71	0.85	0.77	1.00	0.83	9
15054	Estado de México	Metepiec	0.93	0.80	0.76	0.73	1.00	0.83	10
14120	Jalisco	Zapopan	0.93	0.72	0.79	0.75	1.00	0.83	11
19019	Nuevo León	San Pedro Garza García	0.92	0.88	0.74	0.87	0.75	0.83	12
15020	Estado de México	Coacalco de Berriozábal	0.93	0.73	0.77	0.76	1.00	0.82	13
17007	Morelos	Cuernavaca	0.92	0.72	0.81	0.73	1.00	0.82	14
15121	Estado de México	Cuautitlán Izcalli	0.93	0.72	0.77	0.74	1.00	0.82	15
15024	Estado de México	Cuautitlán	0.94	0.71	0.81	0.73	1.00	0.82	16
13051	Hidalgo	Mineral de la Reforma	0.96	0.74	0.81	0.68	1.00	0.82	17
30028	Veracruz de Ignacio de la Llave	Boca del Río	0.94	0.72	0.78	0.73	1.00	0.82	18
31050	Yucatán	Mérida	0.95	0.72	0.79	0.71	1.00	0.82	19
22006	Querétaro	Corregidora	0.95	0.79	0.82	0.83	0.75	0.81	20

Fuente: IFT con información del Inegi y la UPR.

Por su parte, los 20 municipios con menor valor del IC están en Oaxaca, Tamaulipas y Puebla, que pertenecen a las regiones Sur, Noreste y Centro (ver Cuadro 10).



Cuadro 10. Clasificación de los 20 municipios con menor valor del IC

ID	Entidad	Municipio	PORC_VP H_CEL	GRAPROES	PORC_PEA	PORC_VPH _INTER	Total_OP_TR A_Y_ALTAN	IC	Clasificación
20512	Oaxaca	Santo Domingo Ozolotepec	0.33	0.19	0.29	0.02	0.00	0.01	2450
20361	Oaxaca	Santa Catalina Quierí	0.22	0.21	0.41	0.02	0.00	0.01	2451
20450	Oaxaca	Santiago Amoltepec	0.16	0.21	0.05	0.06	0.00	0.01	2452
20211	Oaxaca	San Juan Ozolotepec	0.30	0.21	0.35	0.01	0.00	0.01	2453
28036	Tamaulipas	San Nicolás	0.22	0.36	0.08	0.02	0.00	0.01	2454
20395	Oaxaca	Santa María Apazco	0.23	0.13	0.60	0.01	0.00	0.01	2455
20251	Oaxaca	San Mateo Nejápam	0.32	0.15	0.34	0.01	0.00	0.01	2456
20524	Oaxaca	Santo Domingo Yodohino	0.09	0.26	0.43	0.01	0.00	0.01	2457
20195	Oaxaca	San Juan Diuxi	0.30	0.07	0.29	0.03	0.00	0.01	2458
21135	Puebla	San Miguel Ixitlán	0.23	0.29	0.58	0.01	0.00	0.01	2459
20276	Oaxaca	San Miguel Santa Flor	0.19	0.02	0.52	0.07	0.00	0.01	2460
20373	Oaxaca	Santa Catarina Zapoquila	0.02	0.30	0.43	0.02	0.00	0.01	2461
20304	Oaxaca	San Pedro Coxcaltepec Cántaros	0.30	0.27	0.51	0.00	0.00	0.01	2462
20270	Oaxaca	San Miguel Huautla	0.21	0.24	0.54	0.01	0.00	0.01	2463
20451	Oaxaca	Santiago Apoala	0.12	0.15	0.42	0.01	0.00	0.00	2464
20209	Oaxaca	San Juan Mixtepec	0.11	0.15	0.11	0.01	0.00	0.00	2465
20352	Oaxaca	San Simón Zahuatlán	0.57	0.06	0.11	0.00	0.00	0.00	2466
20001	Oaxaca	Abejones	0.43	0.32	0.00	0.08	0.00	0.00	2467
20518	Oaxaca	Santo Domingo Tlatayápam	0.79	0.36	0.58	0.00	0.00	0.00	2468
20464	Oaxaca	Santiago Ihuitlán Plumas	0.32	0.29	0.55	0.00	0.00	0.00	2469

Fuente: IFT con información del Inegi y la UPR.

Cabe observar que, si bien en las regiones Centro y Noreste se encontraron municipios entre los 20 municipios con menores valores del IC, también se ubicaron en estas regiones algunos de los 20 municipios con mayores valores. Esto evidencia que hay disparidades al interior de las regiones, al tener zonas tanto con alta como con baja conectividad.

#### Resultados a nivel regional

Los resultados a nivel regional de los indicadores normalizados y los resultados del IC muestran que la región Noreste obtuvo el primer lugar en la clasificación, mientras que la región Sur ocupó el último lugar (ver Cuadro 11).

Cuadro 11. Clasificación de las regiones de México en el IC

Región	PORC_VPH_CEL	GRAPROES	PORC_PEA	PORC_VPH_INTE	Total_OP_TRA_Y_ALTAN	IC	Clasificación
Noroeste	0.93	0.90	0.88	0.60	1.00	0.83	1
Noreste	0.93	1.00	0.67	0.64	1.00	0.83	2
Centro	0.89	0.84	0.94	0.57	1.00	0.81	3
Península de Yucatán	0.89	0.74	1.00	0.52	1.00	0.78	4
Centro-occidente	0.90	0.64	0.71	0.54	1.00	0.72	5
Norte	0.89	0.74	0.35	0.51	1.00	0.66	6
Golfo	0.83	0.49	0.45	0.39	1.00	0.58	7
Sur	0.72	0.00	0.00	0.27	1.00	0.00	8

Fuente: IFT con información del Inegi y la UPR.

Los resultados del IC contribuyen a incrementar la información disponible para la toma de decisiones encaminadas a reducir la brecha de conectividad en México. Antes de pasar a las acciones y recomendaciones, la siguiente sección mostrará el desarrollo y el estado de las redes 5G que son parte de las redes de nueva generación y que podrían contribuir a la búsqueda de los determinantes de la conectividad móvil en México en un futuro.

## Desarrollo y estado de las redes 5G en México

La red 5G se caracteriza por atributos intrínsecos como diferenciadores a otras tecnologías móviles (2G, 3G y 4G) tales como la alta capacidad de ancho de banda, baja latencia, alta estabilidad y alta velocidad de transmisión de datos. En este sentido, su impacto en el desarrollo de la economía, de la red y la innovación es una pieza clave en la transformación digital; ello debido a que abre un abanico de posibilidades a una industria y objetos conectados, así como una adopción de su uso a múltiples sectores económicos y a tecnologías emergentes como puede ser el IoT, IA, realidad virtual (VR), realidad aumentada (RA), *big data*, *edge computing*, entre otras.

De acuerdo con datos de la UIT, se estima que para el cierre del año 2023, cerca del 40 % de la población mundial estaba cubierta por la red 5G; sin embargo, dicha distribución es desigual entre los países y continentes. Por ejemplo, el 89 % de la población de los países de alto ingreso está cubierta por una red 5G, Europa cuenta con una población cubierta del 68 %; la región de las Américas con un 59 %, la región de Asia y el Pacífico con el 42 %, mientras que la región de África solo cuenta con el 6 %<sup>45</sup>.

Los avances regionales en referencia a esta tecnología están marcando la pauta a los nuevos modelos industriales y usos. Por ejemplo, Europa desde el año 2013 estableció una asociación público-privada con la finalidad de acelerar la investigación e innovación de la tecnología 5G<sup>46</sup>, para lo que se creó el Programa Horizonte 2020 para apoyar este desarrollo; seguido de inversiones en

<sup>45</sup> ITU (2023), *Measuring digital development Facts and Figures 2023*. Disponible en: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/facts/default.aspx>

<sup>46</sup> La integración de esta asociación es entre la Comisión Europea y la Industria Europea de las TICs (fabricantes de TIC, operadores de telecomunicaciones, proveedores de servicios, pymes e instituciones de investigación).

investigaciones y normas 5G, el plan de acción 5G<sup>47</sup>, la Brújula Digital y el Observatorio Europeo de la 5G<sup>48</sup>. En este sentido, la coordinación entre las múltiples partes, el financiamiento para el despliegue en zonas rurales, el impulso en materia de ciberseguridad, las investigaciones realizadas por la academia, y el desarrollo de acuerdos entre operadores y academia para llevar educación y capacitación respecto al uso y beneficios de esta tecnología pueden favorecer su despliegue.

En Brasil también se ha priorizado el desarrollo de la tecnología 5G, donde las subastas realizadas<sup>49</sup> se han desarrollado considerando una visión de innovación y desarrollo integral, Así, la política industrial tiene como eje el 5G.

Adicional al uso comercial, las redes 5G están siendo utilizadas para el desarrollo e implementación de redes privadas, a nivel mundial. Al cierre del 2023 se estima que existen un total de 2900 redes privadas LTE/5G y que experimentarían una tasa de crecimiento anual compuesta del 33 % para el cierre del 2028, lo que se traduce en un total de 11 900 redes privadas. El uso de 5G impacta directamente en el desarrollo e innovación de otras tecnologías como el IoT, IA, ciberseguridad, servicios de nube y realidad aumentada. El número de equipos utilizando redes privadas 5G dentro del mercado de IoT ha crecido de 1.4 millones de equipos conectados en 2023 con una proyección a 2028 de 7.1 millones<sup>50</sup>.

### Estadísticas de 5G en México

De acuerdo con GSMA, la tasa de adopción actual de 5G en América Latina es de 2 % de las conexiones y se espera que para el 2025 se incremente a un 11 %, y para 2030 la tecnología representará más del 50 % del total de conexiones en América Latina.

En el caso de México se espera que el porcentaje de adopción sea del 62 %, con un total de 87 millones de conexiones móviles, lo que equivale a 13 millones de dólares; es decir, 0.8 % del PIB de 2023. Por otro lado, se espera que para el año 2025 las conexiones serán de 16.9 millones, representando una adopción del 13 % y teniendo una contribución económica de 3 millones de dólares con una cobertura poblacional del 54 %<sup>51</sup>.

Como se ha mencionado con anterioridad, las redes 5G son una tecnología habilitadora de servicios, industria y sectores. De acuerdo con datos de Ericsson, se espera una inversión de 15 mil millones de dólares para su adopción, de los cuales 11 mil millones podrían destinarse a la industria inteligente que incluye tecnologías como el 5G<sup>52</sup>. Además, el uso de estas redes junto con la

---

<sup>47</sup> Plan que tuvo como propósito el despliegue de infraestructuras y servicios 5G, donde se propone alinear las hojas de ruta y las prioridades en el despliegue de 5G, promoción del despliegue en zonas urbanas y rurales.

<sup>48</sup> Comisión Europea (2023), 5G. Disponible en: <https://digital-strategy.ec.europa.eu/es/policies/5g>

<sup>49</sup> Estas subastas se orientaron en resultados de equipo entre reguladores, operadores, academia, cadenas de radiodifusión, etc. Asignaciones que buscan maximizar la inclusión digital y la innovación no la recaudación, forman parte de un plan integral, disponible en: GSMA (2023), *Subastas 5G: 3 aciertos de Brasil para tener en cuenta en la región*. Disponible en: <https://www.gsma.com/latinamerica/es/subastas-5g-3-aciertos-de-brasil-para-tener-en-cuenta-en-la-region/>

<sup>50</sup> Research and markets (2024), *Private LTE/5G Networks for IoT Application*. Disponible: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5575697/private-lte5g-networks-for-iot-application-2nd>

<sup>51</sup> GSMA (2023), *5G en América Latina Liberando el potencial*. Disponible en: <https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2023/06/290623-5G-in-Latam-ESP.pdf>

<sup>52</sup> Forbes (2023), *El nearshoring catapultará al 5G en México; generaría inversiones por 15,000 mdd*. Disponible: <https://www.forbes.com.mx/el-nearshoring-catapultara-el-5g-en-mexico-generaria-inversiones-por-15000-mdd/#:~:text=3%3A30%20am->

tendencia del *nearshoring*<sup>53</sup> en México puede ser aprovechada como un catalizador para aprovechar los múltiples beneficios económicos y sociales, este impacto se estima en 800 000 millones de dólares en términos de exportaciones<sup>54</sup>.

En nuestro país, el desarrollo de las redes 5G inició en el año 2021 con pruebas en la Ciudad de México por parte del operador AT&T<sup>55</sup>, mientras que las operaciones comerciales<sup>56</sup> iniciaron en febrero 2022 con Telcel<sup>57</sup>, por su parte AT&T inicio su oferta comercial en el mes de mayo del mismo año y ha incrementado en diferentes ciudades del país<sup>58</sup>. Por su parte, Telefónica al cierre de 2022 ha ofertado el servicio 5G bajo un modelo prepago, empresariales y pospago<sup>59</sup>.

Al cierre de 2022 la cobertura garantizada de 5G reportada por los operadores a nivel nacional fue de 6.2 por cada 100 habitantes con cobertura en Yucatán, Ciudad de México, Jalisco, Chihuahua, Durango, Querétaro, Puebla, Coahuila, San Luis Potosí, Sinaloa, Guanajuato, Tamaulipas, Sonora, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Nuevo León y Aguascalientes<sup>60</sup>, mientras que los datos reportados por los operadores a corte de septiembre de 2023 suman 9 108 411 accesos a dicha tecnología<sup>61</sup>.

En términos de infraestructura, de acuerdo con datos del Centro México Digital, en promedio se tienen 18 antenas 5G por millón de habitantes en las entidades donde ha iniciado el despliegue de redes 5G, los estados que se encuentran por encima de la media respecto al despliegue de sitios 5G (18.6) son Querétaro (72.6), Durango (69.3), San Luis Potosí (48.5), Guanajuato (47.8), Sinaloa (45.3), Baja California (38.2), Coahuila (35.6), Nuevo León (30.1), Estado de México (28.7), Ciudad de México (25), Puebla (19.3) y Aguascalientes (18.9). Estos estados se caracterizan por fomentar actividades manufactureras, automotriz, comercio, fabricación de maquinaria y equipos, servicios, construcción, comunicaciones, logístico; los cuales pueden ser beneficiados con la implementación del 5G<sup>62</sup> (ver Mapa 2).

---

[El%20nearshoring%20catapultar%C3%A1%20al%205G%20en%20M%C3%A9xico%3B%20generar%C3%ADa%20inversiones%20por.Foto%3A%20Freepik](#)

<sup>53</sup> Se consideran tres variables que se deben tener en cuenta para el desarrollo del *nearshoring*: el sector de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), el desarrollo de capital humano, y el despliegue y desarrollo de infraestructura digital.

<sup>54</sup> Forbes (2024), *Nearshoring impulsaría a 80,000 mdd las exportaciones de México*. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/nearshoring-impulsaria-a-80000-mdd-las-exportaciones-de-mexico-estiman-expertos/>

<sup>55</sup> AT&T (2021), *AT&T México inicia el despliegue de 5G en el país*. Disponible en: <https://www.att.com.mx/noticias/att-mexico-despliegue-5g.html>

<sup>56</sup> Para acceder a este servicio es necesario conectarse a una red 5G, así como un equipo terminal o dispositivo electrónico y un SIM compatible.

<sup>57</sup> El operador Telcel inició su servicio con cobertura 5G en 28 ciudades las cuales abarcaron Ciudad de México, Monterrey, Guadalajara, Tijuana, Hermosillo, Ciudad Juárez, Torreón, Saltillo y Puebla.

<sup>58</sup> AT&T (2022), *Nueva red AT&T 5G llega a AT&T Ármalo*. Disponible en: <https://www.att.com.mx/noticias/att-red-5g-armalo.html>

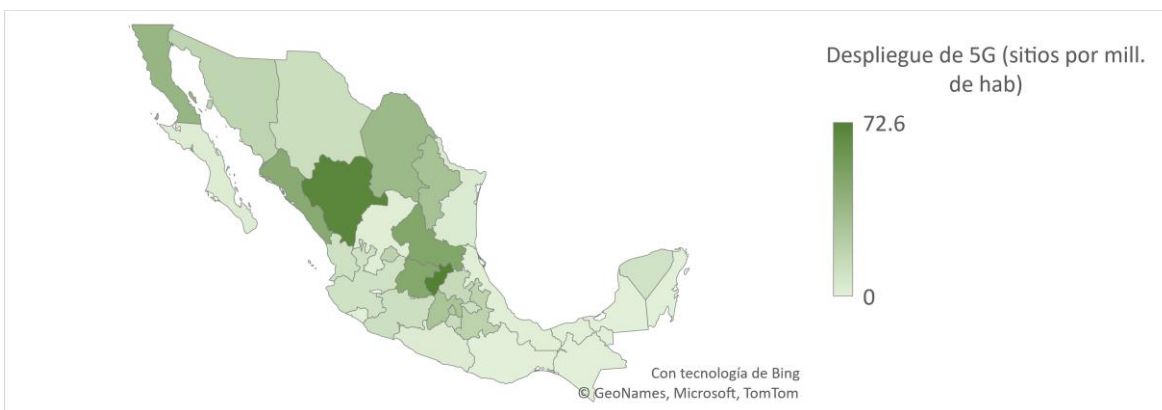
<sup>59</sup> Telefónica (2022), *Movistar, primer operador en México en lanzar 5G para todos sus usuarios, tanto de Prepago, Planes o Empresariales*. Disponible en: <https://www.telefonica.com.mx/movistar-primer-operador-en-mexico-en-lanzar-5g-para-todos-sus-usuarios-tanto-de-prepago-planes-o-empresariales/>

<sup>60</sup> IFT (2023), *Comportamiento de Mercados Regulados y la economía digital*. Disponible en: <https://www.ift.org.mx/transparencia/indicadores-de-mercados-regulados-2023>

<sup>61</sup> IFT con datos de los operadores a diciembre de 2022

<sup>62</sup> Centro México Digital (2023), *Índice de desarrollo digital estatal*. Disponible en: <https://centromexico.digital/idde/2023/#Reporte>

Mapa 2. Despliegue de 5G, sitios por millón de habitantes, 2023



Fuente: IFT con datos del Centro México Digital.

De acuerdo con datos de *crowdsourcing* recolectados por la herramienta Speedtest de Ookla<sup>63</sup>, en México la velocidad promedio de descarga de la red 5G es de 192.20 Mbps al cierre de 2023, mientras que la velocidad promedio de subida es de 28.24 Mbps. Conforme a los datos de Ookla, la disponibilidad de red 5G (considerando únicamente dispositivos 5G) es de 5.53% a nivel nacional, con más de 1 567 232 870 de escaneos realizados (ver Cuadro 12).

Cuadro 12. Despliegue de 5G, sitios por millón de habitantes, 2023

	Velocidad de descarga (Mbps)	Velocidad de subida (Mbps)	Disponibilidad de la Red 5G para dispositivos con capacidad 5G
Nacional	192.20	28.24	5.53 %
Ciudad de México	156.96	25.87	11.03 %
Monterrey	208.84	26.61	21.87 %
Guadalajara	199.10	28.20	14.42 %

Fuente: IFT con base a datos de Ookla

Por último, de acuerdo con un análisis de sentimientos realizado por Ookla<sup>64</sup> para el año 2023, la satisfacción de los usuarios respecto a la red 5G a nivel nacional, en una escala de uno a cinco, fue de 3.8, mientras que para el año 2022 se reporta una calificación de 4.3. Los estados obtuvieron el puntaje más alto sobre la opinión de los usuarios respecto a la satisfacción de su servicio fueron Durango, Oaxaca, Tabasco, Nayarit, Sonora y Yucatán (ver Gráfica 3).

<sup>63</sup> Ookla (2023), *Speedtest Intelligence – Mobile Coverage*. Disponible en: <https://intelligence.speedtest.net/>.

<sup>64</sup> Ookla (2023), *Speedtest Intelligence - Consumer Sentiment*. Disponible en: <https://intelligence.speedtest.net/>. Esta metodología consiste en medir la satisfacción del cliente y combinación con los datos de rendimiento.

Ookla (2020), *New Consumer Sentiment Data Reveals Relationship Between Network Performance and Customer Satisfaction*. Disponible en: <https://www.ookla.com/articles/consumer-sentiment>

Gráfica 3 Análisis de sentimientos de la red 5G, respecto a la percepción del servicio, 2022

Sentimiento del consumidor, 2023	Sentimiento del consumidor, 2022	Diferencias	Estado	Sentimiento del consumidor, 2023	Sentimiento del consumidor, 2022	Diferencias	Estado
5.0	4.0	1.0	Durango	4.1	4.3	-0.2	Puebla
4.8	4.3	0.5	Oaxaca	4.1	3.9	0.2	Sinaloa
4.8	4.6	0.2	Tabasco	4.0	4.8	-0.8	Baja California Sur
4.5	4.5	0.0	Nayarit	4.0	4.2	-0.2	Coahuila
4.5	4.1	0.4	Sonora	4.0	4.0	0.0	Guanajuato
4.5	4.7	-0.2	Yucatán	4.0	4.0	0.0	Querétaro
4.4	4.0	0.4	Aguascalientes	4.0	5.0	-1.0	Zacatecas
4.4	4.4	0.0	Colima	3.9	4.1	-0.2	CDMX
4.4	3.9	0.5	Michoacán	3.9	3.6	0.3	Chiapas
4.3	4.3	0.0	Campeche	3.9	3.4	0.5	Morelos
4.3	4.1	0.2	Tamaulipas	3.8	4.2	-0.4	Veracruz
4.3	4.3	0.0	Tlaxcala	3.7	4.0	-0.3	Baja California
4.2	4.2	0.0	Estado de México	3.7	4.3	-0.6	Chihuahua
4.2	3.9	0.3	Quintana Roo	3.6	4.1	-0.5	Guerrero
4.1	4.5	-0.4	Jalisco	3.4	4.2	-0.8	San Luis Potosí
4.1	4.1	0.0	Nuevo León	3.2	4.0	-0.8	Hidalgo

CDMX: Ciudad de México.

Fuente: IFT con base a datos de Ookla

Respecto al despliegue y uso de las redes 5G se requiere de acciones concretas que puedan aportar al cierre de la brecha digital, el desarrollo y fomento a la innovación y para la difusión de los beneficios sobre su uso y despliegue. A nivel internacional destacan las siguientes acciones que se han implementado para el desarrollo de las redes 5G:

- Disminución de barreras regulatorias<sup>65</sup>;
- Asignación eficiente del espectro radioeléctrico para favorecer la innovación;
- Involucramiento de las múltiples partes y colaboración de los actores involucrados<sup>66</sup>;
- Creación y desarrollo de políticas industriales<sup>67</sup>;
- Fomento de la asequibilidad a los dispositivos para tecnología 5G (dado que acceder a esta tecnología solo se puede con smartphone de gama media alta a alta)<sup>68</sup>;
- Fomento de la educación y formación de capital humano altamente calificado<sup>69</sup>;
- Fomento de la sostenibilidad y tecnologías verdes<sup>70</sup>;
- Fomento de la inclusión digital y zonas rurales;
- Fomento de la inversión de la red de infraestructura de telecomunicaciones<sup>71</sup>;

<sup>65</sup> ITU (2023), *Measuring digital development Facts and Figures 2023*. Disponible en:

<https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/facts/default.aspx>

<sup>66</sup> GSMA (2023), *Subastas 5G: 3 aciertos de Brasil para tener en cuenta en la región*. Disponible en:

<https://www.gsma.com/latinamerica/es/subastas-5g-3-aciertos-de-brasil-para-tener-en-cuenta-en-la-region/>

<sup>67</sup> CAF (2022), *El 5G: Oportunidades y Líneas de Acción para su desarrollo*. Disponible:

[https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1983/EI%205G\\_Oportunidades%20y%20%C3%ADneas%20de%20acci%C3%B3n%20para%20su%20desarrollo.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1983/EI%205G_Oportunidades%20y%20%C3%ADneas%20de%20acci%C3%B3n%20para%20su%20desarrollo.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

<sup>68</sup> GSMA (2023), *5G en América Latina: liberando el potencial*. Disponible en:

<https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2023/06/290623-5G-in-Latam-ESP.pdf>

<sup>69</sup> GSMA (2022), *Construir un Brasil 4.0, la gran oportunidad del próximo gobierno*. Disponible en:

<https://www.gsma.com/latinamerica/es/construir-un-brasil-4-0-la-gran-oportunidad-del-proximo-gobierno/>

<sup>70</sup> 5G Americas (2023), *Energy Efficiency and Sustainability in Mobile Communications Networks*. Disponible:

<https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2023/12/Energy-Efficiency-and-Sustainability-in-Mobile-Communications-Networks-WP.pdf>

<sup>71</sup> CAF (2022), *Red 5G: Inversión por un mejor futuro*. Disponible:

<https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2022/03/red-5g-inversion-por-un-mejor-futuro/>

- Creación de hojas de ruta 5G y planes estratégicos<sup>72</sup>, que son vitales para el desarrollo tecnológico de los países, y
- Fomento del desarrollo de la Industria 4.0 y el *nearshoring*, procurando la neutralidad tecnológica.

Adicionalmente, su desarrollo requiere considerar un espectro más amplio que abarque temas como seguridad digital, ciberseguridad<sup>73</sup>, mecanismos de protección de datos para crear un entorno seguro, así como la generación de confianza en un marco regulatorio convergente<sup>74</sup>.

## Acciones favorables a la conectividad móvil<sup>75</sup>

Diferentes instancias internacionales están llevando a cabo iniciativas para fomentar el crecimiento de la conectividad, que podrían replicarse a fin de complementar acciones para aumentar la conectividad de las redes en México.

En Brasil, la Anatel incluyó en su *Plan Estratégico 2023-2027* iniciativas para dar conectividad en el largo plazo desde las perspectivas de la oferta y la demanda. En el caso de la oferta, la Anatel indicó que es necesario realizar grandes volúmenes permanente de inversión en la infraestructura física, a fin de que la red obtenga los niveles de velocidad, capacidad, cobertura y latencia acordes con el pleno desarrollo de nuevos usos de la conectividad y de los ecosistemas asociados a ellos. En este sentido, la Anatel estableció que para continuar con el ritmo de digitalización de la conectividad se requieren los siguientes elementos<sup>76</sup>:

- Flexibilidad para compartir infraestructura a través del mercado secundario de espectro y tecnologías como OpenRAN;
- Evolución de la política fiscal y la reacción de los principales agentes ante las nuevas normas;
- Invertir en infraestructura de telecomunicaciones y cumplir los compromisos asumidos en avisos y planes de universalización;
- Inversión y desarrollo (I+D) en nuevas tecnologías que optimicen el uso potencial del 5G y permitan mayores velocidades fijas y menores costos de inversión, y
- Recuperación económica del país, con el subsecuente impacto en los ingresos y las inversiones.

En este sentido, las iniciativas relacionadas con la compartición de infraestructura, el mayor uso del mercado secundario de espectro y el fomento para adoptar nuevas tecnologías, como OpenRAN y 5G, podrían utilizarse para colaborar e incrementar la conectividad de redes móviles en México.

<sup>72</sup> GSMA (2020), *5G y el Rango 3,3-3,8 GHz en América Latina*. Disponible en:

<https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2020/11/5G-and-3.5-GHz-Range-in-Latam-Spanish.pdf>

<sup>73</sup> CAF (2022), *Red 5G: Inversión por un mejor futuro*. Disponible:

<https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2022/03/red-5g-inversion-por-un-mejor-futuro/>

<sup>74</sup> Aepd (2020), *Introducción a las tecnologías 5G y sus riesgos para la privacidad*. Disponible en:

<https://www.aepd.es/documento/nota-tecnica-privacidad-5g.pdf>

<sup>75</sup> Esta sección fue elaborada con base en la revisión de documentos públicos y no prejuzga sobre la opinión del Pleno del IFT, de las áreas sustantivas adscritas al Instituto o de cualquier otra autoridad sobre el particular. La información presentada pretende colaborar con el análisis de las políticas públicas que favorecen la conectividad.

<sup>76</sup> Anatel (2022), *Plan Estratégico 2023-2027*. Páginas (30, 35, 36). Disponible en:

<https://sistemas.anatel.gov.br/anexar-api/publico/anexos/download/e3241ae37bc6426b6042e1baef5b6259>



En cuanto a iniciativas para el despliegue de infraestructura, en 2022 el Gobierno de Malasia publicó un plan nacional de cinco años de fiberización y conectividad que tiene el objetivo de mejorar la calidad y cobertura de la banda ancha, reducir los precios de la banda ancha y brindar acceso a Internet a la sociedad. El Gobierno gestiona el financiamiento de este plan nacional para optimizar el desarrollo y despliegue de infraestructura digital a nivel nacional –aprovechando, para ello, políticas e instrumentos regulatorios relevantes cuando sea necesario–, así como mejorar la conectividad en sectores de alto impacto como la educación, la agricultura y la atención médica, el apoyo a pequeñas y medianas empresas y las áreas no atendidas, y el uso de redes nacionales para conectar redes regionales e internacionales<sup>77</sup>.

Por su parte, la Unión Europea elaboró un programa de conectividad segura para el período 2023-2027, que entre sus objetivos se encuentra el despliegue de una constelación de satélites llamada IRIS2 (infraestructura para la resiliencia, la interconectividad y la seguridad por satélite). Para 2027, estos satélites proporcionarán servicios de comunicación ultrarrápidos (baja latencia) y altamente seguros. La seguridad de estas comunicaciones se basará en tecnologías de cifrado avanzadas, incluida la criptografía cuántica<sup>78</sup>.

En este sentido, la conectividad vía satélite sería una opción tecnológica en zonas sin cobertura, como zonas aisladas y de difícil acceso con una orografía complicada.

Estados Unidos cuenta con varias iniciativas sobre conectividad. La National Telecommunications and Information Administration (NTIA) cuenta con el programa BroadbandUSA, que presta servicios a gobiernos estatales, locales y tribales, industrias y organizaciones sin fines de lucro que buscan expandir la conectividad de banda ancha y promover la inclusión digital.<sup>79</sup> Otra iniciativa de la NTIA es el mapa nacional de disponibilidad de banda ancha (NBAM, por sus siglas en inglés) que, con fondos del Congreso de los Estados Unidos y en coordinación con la Federal Communications Commission, es una plataforma para mejorar la disponibilidad, adopción y uso de la banda ancha.<sup>80</sup> La NTIA cuenta con otros programas, como el [Programa de Habilitación de Infraestructura de Banda Ancha de Media Milla](#), que tiene un financiamiento de 1 000 millones de dólares para construir, mejorar o adquirir infraestructura de media milla. El propósito del programa es expandir y extender la infraestructura de media milla para reducir el costo de conectar áreas desatendidas y subatendidas por la red troncal de Internet. Los solicitantes elegibles pueden ser, entre otros, estados, empresas de tecnología, cooperativas de servicios públicos, empresas de telecomunicaciones, cooperativas de telecomunicaciones, fundaciones sin fines de lucro, corporaciones sin fines de lucro, y entidades o autoridades de desarrollo económico<sup>81</sup>.

Al considerar estas iniciativas, cobra relevancia el mapeo de la disponibilidad de banda ancha en México, así como las iniciativas relacionadas con la infraestructura de media milla que incluye

---

<sup>77</sup> The Malaysian Administrative Modernisation and Management Planning Unit (2021), *The National Fiberisation and Connectivity Plan (NFCP) 2019-2023*. Disponible en: <https://www.malaysia.gov.my/portal/content/30736>

<sup>78</sup> EUR-Lex (2023), *EU secure connectivity programme (2023–2027)*. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/EN/legal-content/summary/eu-secure-connectivity-programme-2023-2027.html>

<sup>79</sup> BroadbandUSA (s/f), *About BroadbandUSA*. Disponible en: <https://broadbandusa.ntia.gov/about>. Consultado en enero de 2023.

<sup>80</sup> BroadbandUSA (s/f), *National Broadband Availability Map*. Disponible en: <https://www.ntia.gov/category/national-broadband-availability-map>. Consultado en enero de 2023.

<sup>81</sup> BroadbandUSA (s/f), *About BroadbandUSA*. Disponible en: <https://broadbandusa.ntia.gov/about>. Consultado en enero de 2023.



puntos de intercambio de Internet (IXP), centros de datos y computación en la nube<sup>82</sup>. Adicionalmente, con esta información, distintos actores podrían realizar estudios o colaborar con otras instancias públicas o privadas para abordar estas iniciativas.

En cuanto a la experiencia internacional sobre programas enfocados en el ámbito rural, en Canadá se presentó la *High-Speed Access for All: Canada's Connectivity Strategy*, que es un plan del Gobierno para coordinar inversiones para conectar todas las comunidades rurales y remotas. Los objetivos que estableció el gobierno para esta estrategia fueron brindar conectividad al 90 % de los canadienses en 2021, al 95 % de los canadienses en 2026 y al resto en 2030. Para lograrlos, el Gobierno de Canadá está invirtiendo en ofrecer conectividad universal, con acciones que reduzcan los costos y eliminen las barreras a la inversión, y espera invertir 1700 millones de dólares canadienses en nuevos fondos para infraestructura de banda ancha. También contempla financiar proyectos de banda ancha con 2000 millones de dólares canadienses del Programa de Inversión en Infraestructura de Canadá.<sup>83</sup>

También dirigido al ámbito rural, el Gobierno de Nueva Zelanda desarrolló el programa *Ultra-Fast Broadband* (UFB), por el que alrededor del 87 % de los neozelandeses, en más de 390 pueblos y ciudades, pudieran acceder a la fibra óptica a finales de 2022, a través de una inversión de casi 1 800 millones de dólares neozelandeses en infraestructura. Adicionalmente, el país tiene la iniciativa *Rural Broadband Initiative* (RBI) que proporciona Internet a hogares y empresas rurales fuera de las áreas de la UFB, en zonas rurales y remotas donde los operadores de red no han invertido previamente en cobertura, y el cual se ha financiado mediante subvenciones procedentes del impuesto para el desarrollo de las telecomunicaciones. En total, el Gobierno ha asignado al RBI más de 430 millones de dólares neozelandeses en subvenciones de este impuesto. Este programa se diseñó en dos fases: la primera completada en junio de 2016 que proporcionó banda ancha a más de 300 000 hogares y empresas rurales, y la segunda que está en proceso para ampliar la banda ancha de alta velocidad en más de 84 000 hogares y empresas en zonas rurales y remotas<sup>84</sup>.

Por su parte, la empresa Ookla hizo las siguientes recomendaciones para que los organismos reguladores utilicen *big data* para dar soporte a políticas y mejorar la conectividad local<sup>85</sup>:

1. Identificar áreas con poca o ninguna cobertura, así como velocidades de datos lentas para mejorar las redes y aumentar la disponibilidad.
2. Monitorear nuevas implementaciones de redes y tecnologías a medida que los operadores desarrollan nuevos servicios y redes 5G.
3. Realizar un seguimiento del uso del espectro y los puntos de acceso para el uso de datos para 5G, además de monitorear cómo los operadores usan el espectro.

---

<sup>82</sup> ITU (2022), *The critical role of middle-mile connectivity*. Disponible en: <https://www.itu.int/itu-d/reports/statistics/2022/05/30/gcr-chapter-4/>

<sup>83</sup> Government of Canada (2022), *High-Speed Access for All: Canada's Connectivity Strategy*. Disponible en: <https://ised-isde.canada.ca/site/high-speed-internet-canada/en/canadas-connectivity-strategy/high-speed-access-all-canadas-connectivity-strategy>

<sup>84</sup> Ministry of Business, Innovation & Employment (2022), *Broadband and mobile programmes*. Disponible en: <https://www.mbie.govt.nz/science-and-technology/it-communications-and-broadband/digital-connectivity-programmes/broadband-and-mobile-programmes/>

<sup>85</sup> Ookla (2022), *Four Ways Regulators Can Leverage Mobile Network Data to Improve Connectivity [Webinar]*. Disponible en: <https://www.ookla.com/articles/four-ways-regulators-can-leverage-mobile-network-data-to-improve-connectivity-webinar>

4. Identificar las señales que cubren más allá de las fronteras nacionales debido a que la filtración de servicios desde otro país no solo resta ingresos a los operadores locales, sino que también interfiere con el desempeño de las redes locales.

## Comentarios finales

El presente estudio encontró evidencia sobre las variables que inciden en la conectividad o, en otras palabras, sobre los determinantes de la conectividad. En específico el aumento en el total de hogares, el porcentaje de viviendas con refrigerador y energía eléctrica, y el porcentaje de población con ingresos por debajo de la línea de pobreza están asociados con una mayor probabilidad de que los municipios con una cobertura mayor a la nacional aumenten su cobertura.

Otra contribución de este estudio es la presentación de un índice de conectividad regional con información disponible a nivel municipal. Los hallazgos indican que las tres regiones con mayor conectividad fueron las de Noroeste, Noreste y Centro, mientras que las regiones con menor conectividad fueron las de Norte, Golfo y Sur.

Para finalizar, y de manera exploratoria, el estudio presenta una descripción sucinta del desarrollo y estado de las redes 5G en el país, con información sobre el despliegue del 5G en el territorio nacional, las velocidades de descarga y de subida en ciudades principales y la percepción en el servicio.

## Anexo I Estimación de los modelos econométricos

### Análisis de componentes principales (ACP)

Uno de los primeros pasos para determinar una relación entre variables es utilizar un cuadro de correlaciones. Para el caso de ACP se incluyó el *p-value* con el fin de elegir las variables. Para este análisis inicialmente se eligieron 32 variables con información a nivel municipal para estimar los modelos econométricos provenientes de diversas fuentes, las cuales están enlistadas a continuación:

Inegi - Censo de Población y Vivienda 2020 <sup>86</sup>	Inegi - Censos Económicos 2019 <sup>87</sup>
Promedio de la altitud de las localidades del municipio	Total de unidades económicas (UE) del municipio
Población total	Total de gastos por servicios de comunicación (millones de pesos)
Total de hogares	<b>Conapo - Índices de marginación 2020<sup>88</sup></b>
Total de viviendas	Índice de marginación por municipio
Porcentaje de población femenina	Indicador del grado de marginación <sup>89</sup>
Porcentaje de población masculina	Índice de marginación normalizado <sup>90</sup>
Porcentaje de población con edad de 0 a 9 años	<b>IFT</b>
Porcentaje de población con edad de 10 a 29 años	Porcentaje de población cubierta bajo la cobertura 4G de todos los operadores (Unidad de Política Regulatoria, UPR)
Porcentaje de población con edad de 30 a 54 años	Porcentaje de población cubierta bajo la cobertura 3G de todos los operadores (Unidad de Política Regulatoria, UPR)
Porcentaje de población con edad de 55 en adelante	Número de accesos del servicio fijo de Internet con tecnología de fibra óptica a diciembre de 2022 (Coordinación General de Planeación Estratégica, CGPE)
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de teléfono celular	<b>Coneval - Pobreza a nivel municipio 2010-2020<sup>91</sup></b>
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de refrigerador	Porcentaje de población en situación de pobreza
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de radio	Porcentaje de población en situación de pobreza
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de televisor	Porcentaje de población con carencias de servicios en su vivienda
Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin línea telefónica fija ni teléfono celular	Porcentaje de población que tiene ingresos por debajo de la línea de pobreza
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que tienen energía eléctrica	
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que tienen energía eléctrica, agua entubada y drenaje (fosa, tubería, etcétera)	
Porcentaje de población en el ámbito rural	
Porcentaje de población en ámbito urbano	
Indicador del ámbito urbano del municipio <sup>92</sup>	

<sup>86</sup> Para más información visite: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>

<sup>87</sup> Para más información visite: <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/>

<sup>88</sup> Para más información visite: <https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372>

<sup>89</sup> Este indicador se construyó a partir del índice de marginación de municipio con los siguientes valores: 1 es un índice de marginación “muy bajo”; 2 se refiere al índice de marginación “bajo”; 3 al índice de marginación “medio”, y 4 al índice de marginación “alto”.

<sup>90</sup> Este indicador aplicó el proceso de normalización de datos, que consiste en reducir la redundancia de datos y simplificar las dependencias. Para obtener más información sobre este proceso de normalización de datos visite: [https://programas.cuaed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/872/mod\\_resource/content/7/Contenido/index.html](https://programas.cuaed.unam.mx/repositorio/moodle/pluginfile.php/872/mod_resource/content/7/Contenido/index.html)

<sup>91</sup> Para más información visite: <https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/Pobreza-municipio-2010-2020.aspx>

<sup>92</sup> Este indicador se construyó a partir de la clasificación del Inegi respecto a la cantidad de habitantes en una población, considerándose rural cuando tiene menos de 2500 habitantes y urbana donde viven más de dicha cantidad. Para más información visite: [https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur\\_urb.aspx?tema=P](https://cuentame.inegi.org.mx/poblacion/rur_urb.aspx?tema=P)

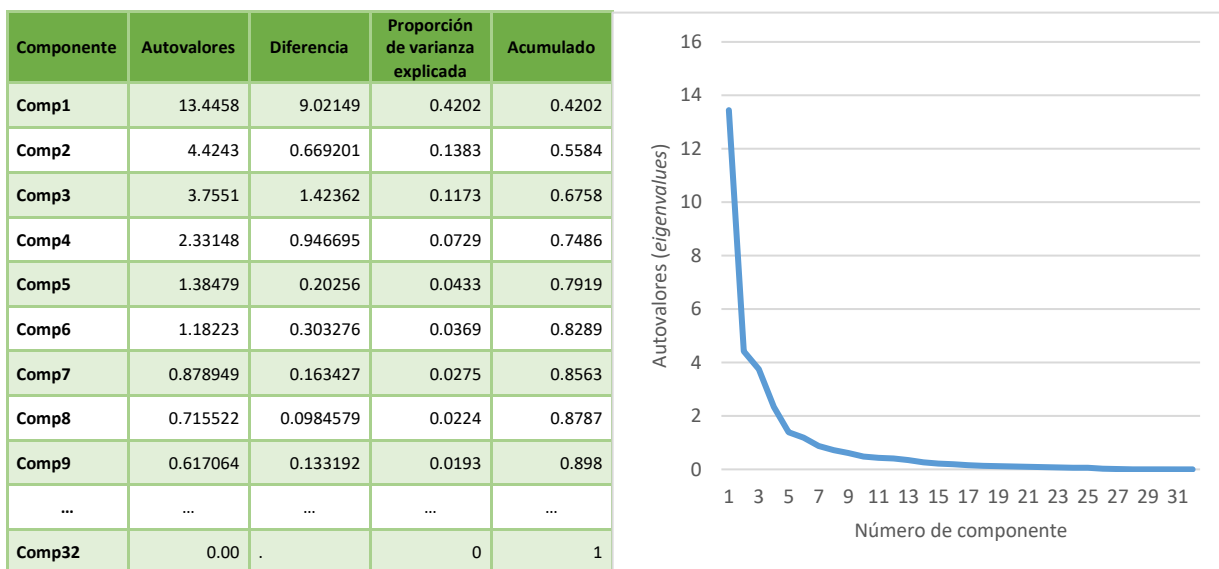
Al calcular la matriz de correlación, se observó que las variables elegidas cumplían con significancia estadística, por lo que se tomaron en consideración las 32 variables propuestas para continuar con el proceso del ACP.

Se buscó que las variables estuvieran intercorrelacionadas, para lo que se utilizó la matriz de correlación con el contraste de esfericidad de Bartlett, que proporcionó la probabilidad estadística de que la matriz de correlación de las variables sea una matriz identidad. En caso contrario, podría resultar una matriz singular con la cual no podría continuar el cálculo de los autovalores; en este caso, la prueba de esfericidad de Bartlett (cuya hipótesis nula es que las variables no están correlacionadas) fue rechazada por el valor de la prueba en su *p-value* (0.00).

Además, la prueba Kaiser-Meyer-Olkin fue realizada para medir la suficiencia de la muestra. Esta prueba cuantifica el grado de interrelaciones entre variables y la conveniencia del análisis factorial. El resultado aplicado a las 32 variables consideradas fue de 0.846 y, dado que este valor fue mayor a 0.05, fue adecuado realizar el análisis factorial.

Con estos resultados, se estimaron los factores y su valoración general. Dos criterios fueron utilizados para calcular el número de factores a ser extraídos: i) el criterio de raíz latente en el cual cualquier factor individual debe justificar la varianza de por lo menos una única variable, por lo que inicialmente fueron considerados autovalores (*eigenvalues*) mayores a uno, y ii) el criterio de porcentaje de varianza, que es el porcentaje acumulado específico de la varianza total extraída (Gráfico I.1).

Gráfica I.1. Autovalores y valor acumulado para los componentes



Fuente: IFT.

La Gráfica I.1 anterior ayuda a visualizar cuántos componentes utilizará el ACP. En este caso se van a utilizar los componentes cuyos autovalores sean mayores a 1, por lo que serán seis componentes, que en el acumulado explican el 82.89 % de la varianza acumulada.

Después se realizó la matriz inicial de factores no rotados para obtener un número preliminar de factores a extraer. Esta matriz de factores tuvo las cargas factoriales de cada variable sobre cada factor, es decir, las correlaciones entre cada variable y el factor.

La matriz de factores calculó una rotación de factores mediante una rotación ortogonal, es decir, si los factores matemáticamente eran independientes o formaban un ángulo de 90°. En caso contrario, formarían una rotación oblicua que implica que los factores no son ortogonales. Este proceso fue realizado para simplificar las filas y columnas de la matriz de factores, facilitar la interpretación y asignar cada variable a un factor. En este paso a cada variable se le asignó el autovalor más grande. El Cuadro I.1 muestra la matriz de variables resultante.

Cuadro I.1. Matriz de variables

Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6
Índice de marginación por municipio	Total de hogares	Porcentaje de población en el ámbito urbano	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que tienen energía eléctrica, agua entubada y drenaje (fosa, tubería, etcétera)	Porcentaje de población con edad de 10 a 29 años	Promedio de la altitud de las localidades del municipio
Índice de marginación normalizado	Total de viviendas	Indicador del ámbito rural o urbano del municipio	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que dispone de teléfono celular	Porcentaje de población con cobertura 4G de todos los operadores	Porcentaje de población femenina
Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de refrigerador	Población total	-	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de televisor	Porcentaje de población con edad de 0 a 9 años	Porcentaje de población en ámbito rural
Porcentaje de población que tiene ingresos por debajo de la línea de pobreza	Total de unidades económicas (UE) del municipio	-	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de radio	Porcentaje de población con cobertura 3G de todos los operadores	Porcentaje de población en situación de pobreza
Porcentaje de población con edad de 30 a 54 años	Número de accesos del servicio fijo de Internet con tecnología de fibra óptica	-	Porcentaje de viviendas particulares habitadas que tienen energía eléctrica	Porcentaje de viviendas particulares habitadas sin línea telefónica fija ni teléfono celular	Porcentaje de población en situación de pobreza
Porcentaje de población masculina	Total de gastos por servicios de comunicación (millones de pesos)	-	-	Indicador del grado de marginación	Porcentaje de población con carencias en los servicios de su vivienda
Porcentaje de población con edad de 55 en adelante	-	-	-	-	-

En las estimaciones de los modelos, cada una de las variables que se encontraban en el factor fueron consideradas; sin embargo, fueron ajustándose conforme las variables resultaban estadísticamente

significativas. Se realizaron diversas especificaciones de los modelos utilizando las variables que resultaron de los factores calculados en el proceso de ACP, lo que dio como resultado la estimación del modelo que se presenta a continuación.

### Planteamiento de un modelo de elección binaria

Los modelos de variables discretas o de respuesta cualitativa son modelos donde la variable dependiente indica una categoría exclusiva y de interés para el investigador. Los casos más simples de estos modelos son los de elección binaria, que tienen dos categorías de elección<sup>93</sup>.

Los modelos de elección binaria son estimados mediante máxima verosimilitud debido a que la distribución de la información se comporta como una curva Bernoulli (tipo "S"), en donde la probabilidad de que ocurra un evento varía dependiendo de los individuos y de los regresores<sup>94</sup>.

De manera general, los modelos de elección binaria se caracterizan porque su variable dependiente ( $y$ ) tiene dos valores:

$$y = \begin{cases} 1 & \text{con una probabilidad } p \\ 0 & \text{con una probabilidad } 1 - p \end{cases}$$

En la estimación del modelo, la probabilidad ( $p$ ) se parametriza para que esté en relación del vector de los regresores ( $x$ ) con un vector de parámetros ( $\beta$ ) de extensión  $K \times 1$ . Comúnmente, estos modelos tienen una probabilidad condicional dada por:

$$p_i = \Pr[y_i = 1|x] = F(x_i'\beta)$$

Donde  $F(\cdot)$  es una función acumulativa de distribución que asegura que la probabilidad se encuentre entre cero y uno. Para los modelos *logit* la función  $F(\cdot)$  tiene una distribución logística y para los modelos *probit*  $F(\cdot)$  tiene una distribución estándar normal<sup>95</sup>.

La estimación de estos modelos se realiza mediante el método de máxima verosimilitud, cuyos regresores  $\beta$  son consistentes y asintóticamente se comportan como una distribución normal<sup>96</sup>.

El interés de este tipo de estimaciones cae en los efectos marginales o el cambio en una regresión sobre la probabilidad condicional dado que  $y = 1$ . En general, en los modelos de probabilidad el cambio en el regresor  $j$ -ésimo se asume como continuo<sup>97</sup>:

$$\frac{\delta \Pr[y_i = 1|x_i]}{\delta x_{ij}} = F'(x_i'\beta)\beta_j$$

### Modelo *logit*

La especificación del modelo *logit* o modelo logístico es la siguiente<sup>98</sup>:

<sup>93</sup> Cameron, C. y Trivedi, P. (2005), *Microeconometrics. Methods and Applications*. Página 463.

<sup>94</sup> Cameron, C. y Trivedi, P. (2005), *Microeconometrics. Methods and Applications*. Página 463.

<sup>95</sup> Cameron, C. y Trivedi, P. (2005), *Microeconometrics. Methods and Applications*. Página 466.

<sup>96</sup> Wooldridge, J. (2002), *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. Página 460.

<sup>97</sup> Cameron, C. y Trivedi, P. (2005), *Microeconometrics. Methods and Applications*. Página 467.

<sup>98</sup> Cameron, C. y Trivedi, P. (2005), *Microeconometrics. Methods and Applications*. Página 469.

$$p = \Lambda(x'\beta) = \frac{e^{x'\beta}}{1 + e^{x'\beta}}$$

Donde  $\Lambda(\cdot)$  es una función logística acumulativa de distribución, con  $\Lambda(z) = e^z / (1 + e^z) = 1 / (1 + e^{-z})$ . Las condiciones de primer orden del modelo *logit* estimado con máxima verosimilitud son<sup>99</sup>:

$$\sum_{i=1}^N (y_i - \Lambda(x_i'\beta))x_i = 0$$

Cuando  $\Lambda'(z) = \Lambda(z)[1 - \Lambda(z)]$ , los residuales  $(y_i - \Lambda(x_i'\beta))x_i = 0$  y son ortogonales a los regresores, similar a las regresiones de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Si los regresores  $x_i$  incluyen al intercepto, los residuales del modelo *logit* suman cero, esto implica que la probabilidad promedio de la muestra sea necesariamente igual al promedio de la muestra.

En cuanto a los efectos marginales del modelo *logit*, comúnmente, la interpretación de estos coeficientes en términos de los efectos marginales sobre los *odds ratio* o riesgo relativo son<sup>100</sup>:

$$\ln \frac{p}{1-p} = x'\beta$$

Donde  $p/(1-p)$  mide la probabilidad relativa de  $y = 1$  a la probabilidad de  $y = 0$ <sup>101</sup>. Donde el interés de obtener los efectos marginales es el cambio en un regresor por la probabilidad condicional donde  $y = 1$ <sup>102</sup>. Es decir, establece un valor, que comúnmente es el valor promedio de la variable de interés, para obtener los efectos marginales.

---

<sup>99</sup> Cameron, C. y Trivedi, P. (2005), *Microeconometrics. Methods and Applications*. Página 469.

<sup>100</sup> Cameron, C. y Trivedi, P. (2005), *Microeconometrics. Methods and Applications*. Página 470.

<sup>101</sup> Cameron, C. y Trivedi, P. (2005), *Microeconometrics. Methods and Applications*. Página 470.

<sup>102</sup> Cameron, C. y Trivedi, P. (2005), *Microeconometrics. Methods and Applications*. Página 467.

## Anexo II Metodología para la construcción del índice de conectividad regional

En esta sección se presentará la construcción del índice de conectividad por región geográfica con base en las mejores prácticas internacionales y la metodología publicada por la OECD y el JRC sobre la construcción de indicadores compuestos<sup>103</sup>.

El indicador o índice de conectividad tiene el objetivo de mostrar el grado de conectividad de los municipios en cuanto las telecomunicaciones móviles, tomando en cuenta los múltiples habilitadores o factores que inciden en adoptar y promover la conectividad móvil. Con los resultados del índice, el IFT en conjunto con los tres niveles de gobierno podría generar medidas regulatorias y de política pública para mejorar el grado de conectividad de los municipios y entidades de México, acompañado de los resultados de los determinantes de la conectividad móvil.

La construcción del índice siguió los siguientes pasos:

- Desarrollo de un marco teórico.
- Selección de datos.
- Imputación de datos faltantes.
- Análisis multivariado de los datos.
- Normalización de los datos.
- Ponderación y agregación de los pesos de los indicadores individuales.

Estos pasos constituyen una metodología replicable y generan una métrica calculada con la información disponible del Censo de Población y Vivienda 2020 realizado por el Inegi e información de cobertura del IFT.

### 1. Marco teórico

El índice de conectividad (IC) es un índice compuesto, o de entrada, que se compone de una serie de indicadores individuales para analizar de una manera desagregada el fenómeno multidimensional que pretende medir. En este caso, los factores que inciden para que las personas accedan o utilicen los servicios de telecomunicaciones móviles.

No existe una sola barrera o habilitador que limite o permita a las personas acceder a los servicios de telecomunicaciones móviles. Con base en esta premisa se han construido diferentes índices para medir la conectividad o acceso a Internet, como son los casos de la Anatel para Brasil<sup>104</sup>, la asociación GSMA para 170 países<sup>105</sup> y el “índice de desarrollo del ecosistema digital” de CAF - Banco de Desarrollo de América Latina<sup>106</sup>. Estos casos son expuestos con detalle en el documento.

---

<sup>103</sup> OECD (2008), *Handbook on Constructing Composite Indicators*. Disponible en: <https://www.oecd.org/els/soc/handbookonconstructingcompositeindicatorsmethodologyanduserguide.htm>

<sup>104</sup> Anatel (2023), *Conselho Diretor aprova metodologia de cálculo do Índice Brasileiro de Conectividade*. Disponible en: <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/conselho-diretor-aprova-metodologia-de-calculo-do-indice-brasileiro-de-conectividade>

<sup>105</sup> GSMA (2023), *Mobile Connectivity Index Methodology*. Disponible en: <https://www.gsma.com/mobilefordevelopment/wp-content/uploads/2023/06/Mobile-Connectivity-Index-Methodology-2023.pdf>

<sup>106</sup> CAF (2021), *Índice de Desarrollo del Ecosistema Digital (IDED) 2021*. Disponible en: <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/2031>



Al tomar como referencia dichos ejemplos, la construcción del IC incluyó variables *proxy* para medir los habilitadores de la conectividad en los municipios y regiones. Estos habilitadores o factores se definieron de la siguiente manera:

1. Infraestructura: La disponibilidad de cobertura de la red móvil de los operadores.
2. Economía de la población: Las características económicas de la población.
3. Preparación de la población: Conocimientos y habilidades necesarias para valorar y utilizar los servicios móviles.
4. Equipamiento de los hogares: La disponibilidad de energía eléctrica, teléfono celular y conexión a Internet.

## 2. Selección de los datos

Debido a que el IC fue construido a nivel municipal, la información disponible fue limitada. Se utilizó la información del Censo de Población y Vivienda 2020 del Inegi, de la cobertura de los operadores móviles proporcionada por la UPR del IFT y la información disponible en el BIT del IFT a nivel municipal.

Para medir los habilitadores de infraestructura, se empleó al número de operadores móviles tradicionales con cobertura 3G o 4G en los municipios, incluyendo a la Red Compartida (Altán Redes). En cuanto al tema de la economía de la población, se tomó el porcentaje de la población económicamente activa como variable *proxy*. Para la preparación de la población se tomó el porcentaje de población analfabeta de 15 años o más y el promedio de años de estudio o escolaridad de la población. Para medir el equipamiento de los hogares se tomaron los porcentajes de hogares con:

- Teléfono celular.
- Energía eléctrica.
- Conexión a Internet.
- Conexión a Internet mediante fibra óptica.

Estos indicadores o variables permitieron crear una base de datos con 2469 registros y 11 atributos.

## 3. Imputación de datos faltantes y datos atípicos

Para construir la base de datos para el IC, se contempló la información de todos los municipios del país, por esta razón, no hubo datos faltantes en la base de datos (*missing values*). Sin embargo, se analizaron los datos para verificar si en la base de datos había algún dato atípico con base en un análisis univariado y un análisis multivariado.

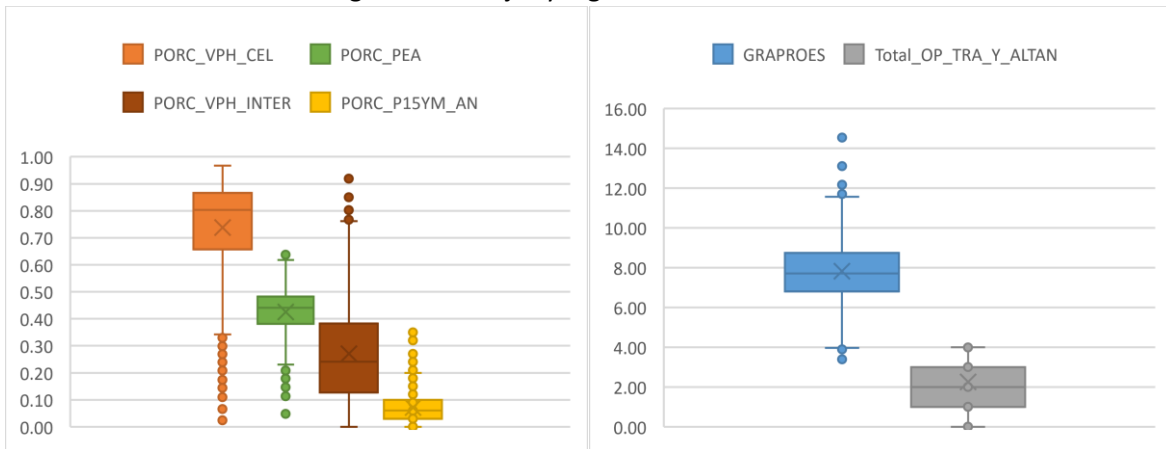
Para iniciar, se calcularon las correlaciones entre los indicadores y se obtuvieron seis de los ocho indicadores de la base de datos:

- Porcentaje de hogares que cuentan con teléfono celular (PORC\_VPH\_CEL).
- Porcentaje de la población económicamente activa (PORC\_PEA).
- Porcentaje de hogares que cuentan con conexión a Internet (PORC\_VPH\_INTER).
- Promedio de años de estudio de la población (GRAPROES).
- Porcentaje de población analfabeta de 15 años o más (PORC\_P15YM\_AN).

- Número de operadores móviles tradicionales con cobertura 3G o 4G (Total\_OP\_TRA\_Y\_ALTAN).

El análisis univariado encontró datos atípicos en todos los indicadores (ver Gráfica II.1), por lo que fueron eliminados.

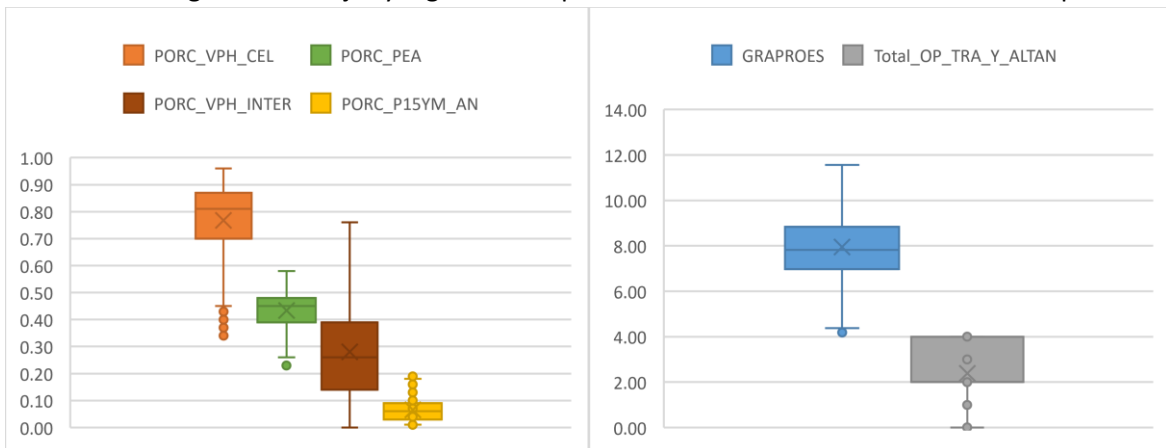
Gráfica II.1. Diagramas de cajas y bigotes de los indicadores individuales



Fuente: IFT con información del Inegi y la UPR.

Se realizaron diagramas de cajas y bigotes y, sin embargo, se encontraron nuevos datos atípicos (ver Gráfica II.2).

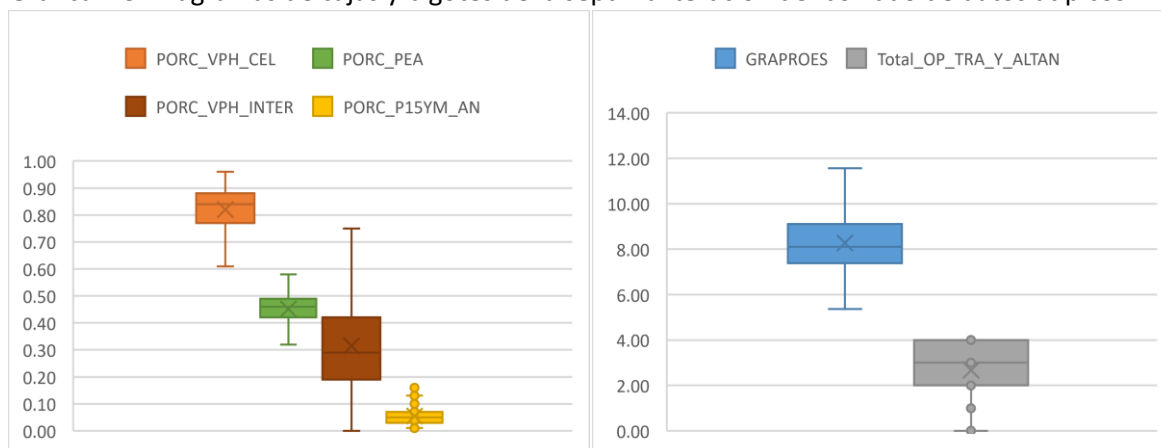
Gráfica II.2. Diagramas de cajas y bigotes de la primera iteración del borrado de datos atípicos



Fuente: IFT con información del Inegi y la UPR.

Este proceso fue realizado siete veces y en la última iteración se eliminaron el 25.7 % de los datos, lo que resultó en los siguientes diagramas de cajas y bigotes (ver Gráfica II.3).

Gráfica II.3. Diagramas de cajas y bigotes de la séptima iteración del borrado de datos atípicos



Fuente: IFT con información del Inegi y la UPR.

Debido a estos resultados y a la pérdida de datos, eliminar los datos identificados como atípicos no fue una alternativa válida, debiéndose recurrir a otro criterio. En específico, se calculó el cuadrado de la distancia de Mahalanobis ( $D^2$ ) para detectar valores atípicos multivariados. Este método evalúa la posición de cada observación comparándola con el centro de todas las observaciones del conjunto de indicadores:

$$d^2_i = (X_i - \mu)' \Sigma^{-1} (X_i - \mu)$$

Donde  $X$  es una matriz de dimensión  $n * p$ , con  $p$  variables aleatorias y  $n$  observaciones, las  $p$  variables proceden de una distribución con media  $\mu$  y matriz de covarianzas  $\Sigma$ . El subíndice  $i$  hace referencia al  $i$ -ésimo vector de la fila de la matriz  $X$ <sup>107</sup>.

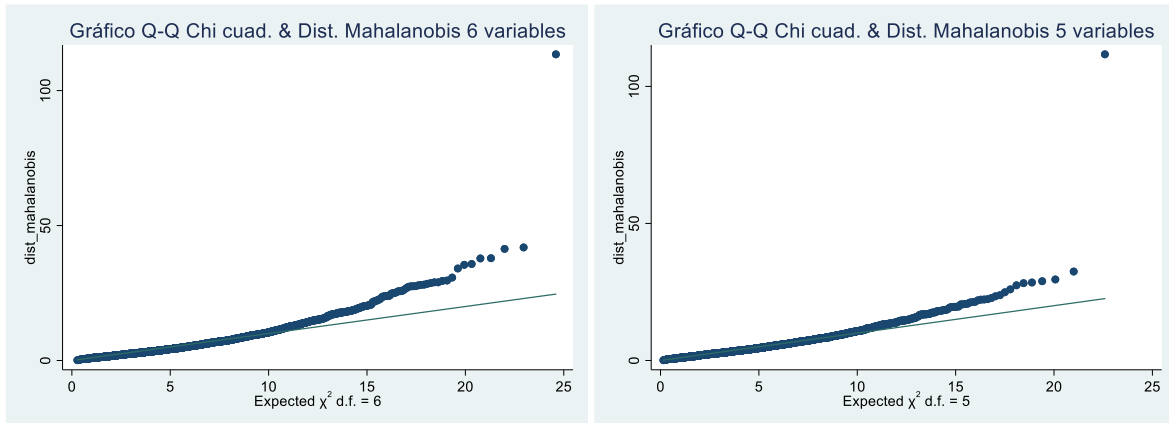
El cuadrado de la distancia de Mahalanobis ( $D^2$ ) se distribuye como una variable aleatoria chi cuadrada con grados de libertad igual al número de variables a utilizar, por lo que el umbral para designar un dato como atípico se define como aquellos valores con una prueba, o *test*, de significación estadística o una probabilidad menor a 0.001<sup>108</sup>.

Este método identificó 40 posibles valores atípicos con una  $D^2$  mayor a 22.4575. Sin embargo, al eliminar la variable PORC\_P15YM\_AN se parametriza y mejoró la distribución de las  $D^2$ , además redujo en un 53 % el número de casos atípicos identificados. Los resultados se muestran en la Gráfica II.4, en donde se evalúan las similitudes de la distribución de las  $D^2$  y la distribución Chi cuadrada. El panel de la izquierda en la Gráfica II.4 muestra los resultados tomando en cuenta a la variable PORC\_P15YM\_AN y el panel de la derecha muestra los resultados sin esa variable.

<sup>107</sup> Rerardi, V. & Dehon, C. (2010). *Multivariate outlier detection in Stata*. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1536867X1001000206>

<sup>108</sup> Kline, R. B. (2016). *Principles and practice of structural equation modeling*. Página 73.

Gráfica II.4. Diagramas cuantil-cuantil de las  $D^2$  y la distribución chi cuadrada



Fuente: IFT con información del Inegi y la UPR.

Para reforzar el análisis, se creó una variable *dummy* con valor igual a 1 para casos con una  $D^2$  alta (casos atípicos) y se realizó una regresión lineal en todas las otras variables. Esta regresión no fue significativa ( $R^2$  de 0.036), por lo que se puede considerar que los valores atípicos son aleatorios y no había peligro por conservarlos en el conjunto de datos.

Una solución sencilla sería eliminar los valores atípicos identificados, simplemente porque son diferentes y con esto “mejorar” el análisis. No obstante, esto traería el problema de no generar un indicador que pudiera capturar completamente la realidad que se pretende medir<sup>109</sup>.

Derivado de los resultados de los análisis de detección de valores atípicos y analizando cada caso detectado de manera particular, no se encontró evidencia suficiente para eliminar todos los valores atípicos, por lo que solamente fue eliminada una observación que tenía una  $D^2$  igual a 111.7.

#### 4. Análisis de componentes principales (ACP)

El análisis de los datos incluyó un ACP que obtuvo las correlaciones entre las variables y la estructura de las observaciones. La matriz de correlaciones muestra que la mayoría de los indicadores tenía un coeficiente de correlación de Pearson mayor a 0.5, es decir, los indicadores se encontraban correlacionados. Por su parte, la prueba de esfericidad de Bartlett obtuvo un nivel de significancia de 0.000. Todos estos resultados mostraron que existe la factibilidad de aplicar el ACP y el análisis factorial a la base de datos para obtener las ponderaciones de cada indicador en el IC.

La matriz de correlaciones muestra que los indicadores de porcentaje de hogares con electricidad (PORC\_VPH\_C\_ELEC) y el porcentaje de hogares con una conexión a Internet de fibra óptica (ACCESOS\_BAF\_FTTH) tenían correlaciones débiles con la mayoría de las variables, por lo que se optó por eliminarlos del análisis.

Las variables sobre la preparación de la población, es decir, el porcentaje de población analfabeta de 15 años o más y el promedio de años de estudio de la población (PORC\_P15YM\_AN y GRAPROES) conservaron solo a GRAPROES, debido a los resultados del análisis de identificación de datos

<sup>109</sup> Hair, J., Anderson, R. y Tatham, R. (1999). *Analisis Multivariante*. Página 59.

atípicos, en donde la primera variable (PORC\_P15YM\_AN) afectaba a la distribución de las D<sup>2</sup> y generaba más casos de datos atípicos.

La supresión de estos indicadores dio lugar a una mayor parsimonia en el modelo de construcción del IC, además de reducir los posibles problemas de colinealidad, debido a que son variables *proxy* del mismo tema (ambas variables refieren a la educación de la población), lo que habría arrojado resultados tautológicos (redundantes). Esto se redujo por la alta correlación que había entre ambos indicadores (coeficiente de correlación de Pearson = -0.82) (ver Cuadro II.1).

Cuadro II.1. Matriz de correlación entre las variables

	PORC_VPH_CEL	PORC_VPH_C_ELEC	GRAPROES	PORC_P15YM_AN	PORC_PEA	PORC_VPH_INTER	Total_OP_TRA_Y_ALTAN	ACCESOS_BAF_FTTH
PORC_VPH_CEL	1.00							
PORC_VPH_C_ELEC	0.38	1.00						
GRAPROES	0.69	0.33	1.00					
PORC_P15YM_AN	-0.69	-0.34	-0.82	1.00				
PORC_PEA	0.61	0.32	0.62	-0.52	1.00			
PORC_VPH_INTER	0.66	0.33	0.79	-0.65	0.55	1.00		
Total_OP_TRA_Y_ALTAN	0.64	0.26	0.55	-0.45	0.57	0.53	1.00	
ACCESOS_BAF_FTTH	0.34	0.17	0.56	-0.35	0.38	0.55	0.37	1.00

Fuente: IFT con información del Inegi y la UPR.

A partir de estas pruebas, se calcularon los autovalores (valores propios o *eigenvalores*) de la matriz de correlaciones de las cinco variables finales del IC. El primer componente principal explica el 70 % de la varianza en todas las variables individuales, el segundo componente principal el 11 % de la varianza y los tres componentes restantes el 19 % de la varianza restante (ver Cuadro II.2).

Cuadro II.2. Autovalores de las variables individuales

Componente	Eigenvalor	Diferencia	Proporcion de la varianza	Varianza acumulada
Comp1	3.49	2.93	0.70	0.70
Comp2	0.56	0.13	0.11	0.81
Comp3	0.43	0.12	0.09	0.90
Comp4	0.31	0.11	0.06	0.96
Comp5	0.20		0.04	1.00

Fuente: IFT con información del Inegi y la UPR.

## 5. Normalización

Los indicadores deben normalizarse para que sean comparables entre sí, además de que es un requisito previo al cálculo de las ponderaciones de los indicadores. El proceso de normalización no cambia el resultado del método o el fin que se persigue, siempre y cuando no cambie la información ordinal de la base de datos.

El proceso de normalización consistió solamente en cambiar la escala de los indicadores GRAPROES, PORC\_PEA y Total\_OP\_TRA\_Y\_ALTAN, ya que los demás indicadores eran porcentajes<sup>110</sup>. El método específico para normalizar fue el método de Min-Max, que puede utilizarse con cualquier método de ponderación y agregación. Este método consiste en restar a cada indicador su valor mínimo y dividir el resultado entre la diferencia del valor máximo y mínimo del indicador (rango). Esta

<sup>110</sup> Además, el manual de la OECD menciona que no es necesario normalizar los porcentajes debido a que ya se encuentran en una escala entre cero y uno.

normalización obtiene nuevos valores de los indicadores que caen en el rango de cero a uno. Los indicadores normalizados se obtuvieron con base en la siguiente fórmula:

$$I_{q,c} = \frac{x_{q,c} - \min(x_{q,c})}{\max(x_{q,c}) - \min(x_{q,c})}$$

Donde  $I_{q,c}$  es el indicador normalizado y  $x_{q,c}$  es el valor bruto del indicador individual  $x_q$  en el municipio  $c$ . El Cuadro II.3 muestra los resultados de la normalización de los datos.

Cuadro II.3. Estadísticos básicos de las variables individuales después de la normalización

	PORC_VPH_CEL	GRAPROES	PORC_PEA	PORC_VPH_INTER	Total_OP_TR
Mínimo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
máximo	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0
Promedio	0.7	0.4	0.6	0.3	0.6
Desv. Std.	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3

Fuente: IFT con información del Inegi y la UPR.

## 6. Ponderación y agregación

El método de análisis factorial de componentes principales (AFCP) fue empleado, a partir de los componentes o factores, para calcular los pesos o ponderaciones que tienen los indicadores individuales en el IC.

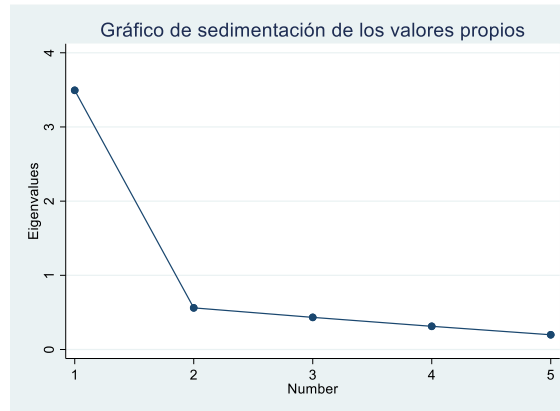
### Ponderación

A partir de los resultados del ACP, se seleccionó el número de factores para trabajar. La decisión sobre cuántos factores seleccionar o retener depende de la cantidad de varianza explicada por la selección, pero que puede considerarse como un proceso de decisión arbitrario. Sin embargo, hay varios criterios o métodos para la retención de factores:

- Criterio de Kaiser. Este método elimina todos los factores con valores propios menores a 1.
- Gráfico de sedimentación. Este método traza los valores propios en orden descendente que caen bruscamente y luego se estabilizan. Este método selecciona la cantidad de factores en el punto de inflexión en la curva, es decir, retiene factores hasta el punto en que la curva se aplanan o se estabiliza.
- Porcentaje de varianza explicada. Algunos investigadores simplemente utilizan la regla de retener suficientes factores para explicar el 90 % (a veces el 80 %) de la varianza.
- Criterio de Joliffe. Elimina todos los factores con valores propios inferiores a 0.70. Esta regla puede dar como resultado el doble de factores que el criterio de Kaiser y se utiliza con menos frecuencia.

El método de Kaiser, al trabajar solo con un factor, podría perder mucha información (por la poca varianza explicada). Puesto que no es factible trabajar con un solo factor, en este estudio se realizó el gráfico de sedimentación que muestra que se puede trabajar con los dos primeros factores (ver Gráfica II.5).

Gráfica II.5. Diagrama de sedimentación de los valores propios



Fuente: IFT con información del Inegi y la UPR.

Estos dos factores explicaron el 81 % de la varianza (ver Cuadro II.4), por lo que también cumplieron con el criterio de “porcentaje de varianza explicada”.

Cuadro II.4. Autovalores de las variables individuales

Factor	Eigenvalor	Proporción de la varianza	Varianza acumulada
Factor1	3.49	0.70	0.70
Factor2	0.56	0.11	0.81
Factor3	0.43	0.09	0.90
Factor4	0.31	0.06	0.96
Factor5	0.20	0.04	1.00

Fuente: IFT con información del Inegi y la UPR.

El siguiente paso consistió en realizar la rotación de factores (usando la rotación varimax) para minimizar el número de indicadores individuales con una alta carga (peso) en el mismo factor (ver Cuadro II.5). La idea detrás de la transformación de los ejes factoriales es obtener una “estructura más simple” de los factores (idealmente una estructura en la que cada indicador se carga exclusivamente en uno de los factores retenidos). La rotación cambió las cargas factoriales y la interpretación de los factores, pero dejó de la misma manera las soluciones analíticas obtenidas antes y después de la rotación.

Cuadro II.5. Cargas factoriales del IC basadas en AFCP

Variable	Cargas factoriales		Cargas factoriales al cuadrado (escaladas a suma unitaria)	
	Factor 1	Factor 2	Factor 1	Factor 2
PORC_VPH_CEL	0.59	0.63	0.17	<b>0.21</b>
GRAPROES	0.86	0.37	<b>0.35</b>	0.07
PORC_PEA	0.40	0.73	0.08	<b>0.28</b>
PORC_VPH_INTER	0.90	0.29	<b>0.38</b>	0.04
Total_OP_TRA_Y_ALT	0.24	0.88	0.03	<b>0.40</b>
Var. Exp. Por factor	2.11	1.94		
% Var. Exp.	52%	48%		

Fuente: IFT con información del Inegi y la UPR.

El siguiente paso consistió en construir los ponderadores a partir de la matriz de cargas factoriales después de la rotación. El cuadrado de las cargas factoriales escaladas a suma unitaria representa

la proporción de la varianza unitaria total de cada indicador que es explicada por el factor en el que se encuentra, esto debido a que se divide el cuadrado de las cargas factoriales entre la varianza explicada del factor que le corresponde.

Para ello, se utilizó el enfoque de agrupar los indicadores individuales con los cuadrados de las cargas factoriales escaladas a la suma unitaria más altas en indicadores compuestos intermedios; es decir, en los dos factores. El primer compuesto intermedio (factor 1) incluyó a GRAPROES (con un peso de 0.35) y a PORC\_VPH\_INTER (con un peso de 0.38). Asimismo, en el segundo compuesto intermedio (factor 2) lo formaron los indicadores PORC\_VPH\_CEL, PORC\_PEA y Total\_OP\_TRA\_Y\_ALTAN (con ponderaciones de 0.21, 0.28 y 0.4 respectivamente) (ver Cuadro II.5).

Los dos compuestos intermedios se multiplicaron asignando a cada uno de los indicadores que los conforman un peso igual a la proporción de la varianza explicada por cada factor (varianza explicada dividida por la varianza total de los dos factores), lo que dio como resultado 0.52 para el primero [0.52 = 2.11/(2.11 + 1.94)] y 0.48 para el segundo; es decir, se multiplicaron los pesos únicamente con los indicadores que conformaban cada compuesto intermedio o factor(ver Cuadro II.6).

Finalmente, de la matriz resultante se seleccionó el valor máximo de cada fila y cada valor máximo se dividió entre la suma de los valores máximos obtenidos. El resultado de cada fila fue el ponderador del indicador de la fila correspondiente (ver Cuadro II.6).

Cuadro II.6. Ponderaciones para los indicadores en el IC basadas en el método de AFCP

Variable	Peso en el IC
PORC_VPH_CEL	0.12
GRAPROES	0.23
PORC_PEA	0.16
PORC_VPH_INTER	0.25
Total_OP_TRA_Y_ALTAN	0.24

Fuente: IFT con información del Inegi y la UPR.

### Agregación

Una vez determinados los factores de ponderación (pesos), se agregaron todos los indicadores en un indicador sintético o compuesto, es decir, en el IC.

#### Métodos de agregación lineal y geométrica

A continuación, se presentan los métodos de media aritmética ponderada (agregación lineal o aditiva) y de media geométrica ponderada (agregación geométrica):

Media aritmética ponderada

$$IC_c = \sum_{q=1}^Q I_{qc} w_q$$

Sea  $IC_c$  el valor del índice para el municipio  $c$ , donde:  $c = 1, \dots$ , total de municipios,  $q = 1, \dots, Q$  (total de variables o indicadores),  $I_{qc}$  es el valor del indicador  $q$  en el municipio  $c$  y  $w_q$  es el ponderador del indicador  $q$ .



Este es uno de los métodos más utilizados, pero tiene la característica indeseable de la compensabilidad total implícita (al igual que todos los métodos de agregaciones lineales o aditivas), por lo que, en cambio, se recurrió al método de agregación geométrica:

Media geométrica ponderada

$$IC_c = \prod_{q=1}^Q I_{qc}^{w_q}$$

Sea  $IC_c$  el valor del índice para el municipio  $c$ , donde:  $c = 1, \dots$ , total de municipios,  $q = 1, \dots, Q$  (total de variables o indicadores),  $I_{qc}$  es el valor del indicador  $q$  en el municipio  $c$  y  $w_q$  es el ponderador del indicador  $q$ .

La compensabilidad total implícita se refiere al hecho de que, si hay desempeño deficiente en algunos indicadores, tienen un puntaje o valor bajo que puede compensarse con valores suficientemente altos en otros indicadores.

El siguiente ejemplo sirve para comprender las diferencias entre la agregación lineal y geométrica<sup>111</sup>. Sea un contexto en el que se desean agregar los indicadores con igual ponderación en las cuatro variables, supóngase dos municipios A y B registran los siguientes valores de los indicadores:

	Media aritmética ponderada $I_a = \sum_{i=1}^4 w_i x_i$	Media geométrica ponderada $I_g = \prod_{i=1}^4 I_i^{w_i}$
Municipio A: $x_i = 30, 2, 2, 2$ (pesos de ponderación, $x_i = \frac{1}{4}$ )	9	3.93
Municipio B: $x_i = 9, 9, 9, 9$ (pesos de ponderación, $x_i = \frac{1}{4}$ )	9	9

Al observar ambos resultados es evidente que el método de agregación geométrica establece una clara diferencia entre ambos municipios, mientras que la agregación lineal obtiene el mismo valor del indicador, a pesar de tratarse de dos municipios con contextos totalmente distintos.

Desde esta perspectiva, las comparaciones entre un municipio con valores bajos en algunos indicadores, pero con valores muy altos en otros se realizarán sobre la base de los mecanismos de la agregación lineal.

En contraste, al considerar cualquier cambio marginal en la segunda, tercera o cuarta variable del municipio analizado habría un mayor efecto sobre el valor del indicador si se agregara geoméricamente, por lo que esta agregación podría tener un mayor incentivo al analizar a los municipios con valores bajos y realizar acciones para mejorar su situación, en lugar de la agregación lineal, ya que esto le daría más posibilidades de mejorar su posición en el índice o clasificación. Por lo anterior, en este estudio se utilizó el método de agregación geométrica para obtener el IC.

<sup>111</sup> Cepal (2009), *Guía metodológica: diseño de indicadores compuestos de desarrollo sostenible*. Página 73. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/3661-guia-metodologica-diseno-indicadores-compuestos-desarrollo-sostenible>