

Estimación del número de estaciones base celular para atender la demanda de servicios móviles en el Perú al año 2025

Javier More y Manuel Gavilano*

*Dirección de Políticas Regulatorias y Competencia
Subgerencia de Análisis Regulatorio || OSIPTEL*

Resumen

Las Estaciones Base Celulares (EBC) contienen la infraestructura necesaria para la prestación de servicios como la telefonía móvil y el Internet móvil. Cada EBC, en función al equipamiento instalado, cuenta con una capacidad (medida en GB/Mes) finita; asimismo, atiende a una determinada zona geográfica. En función a la estrategia de despliegue de cada operador y al espectro que tengan, las EBC pueden albergar equipamiento de tecnologías 2G, 3G, 4G o 5G.

Considerado que cada año, se incrementa el consumo de datos por usuario (más GB/Mes), se requiere estimar la infraestructura requerida para soportar los incrementos de tráfico. Así, en base a la proyección de diversas variables, se estimó que para el año 2025, se requiere que el Perú cuente con 60 771 EBC distribuidas en todo el territorio nacional.

© 2020 OSIPTEL. Derechos reservados.

Palabras Claves: Antenas, Internet Móvil, 4G y 5G.

www.osiptel.gob.pe

*Se agradece los comentarios y sugerencias de Daniel Argandoña. El contenido y las opiniones vertidas en este trabajo son responsabilidad exclusiva de los autores, las cuales no reflejan necesariamente la posición del OSIPTEL hasta la emisión de la respectiva posición oficial, de ser el caso. Documento elaborado por las Coordinaciones de Investigaciones Tecnológicas y Económicas de la Sub Dirección de Análisis Regulatorio. Sub Director de Análisis Regulatorio (e): Daniel Argandoña Martínez. Remitir comentarios y sugerencias a: investigación@osiptel.gob.pe

Índice

1. Objetivos	3
2. Antecedentes	3
3. Infraestructura para la provisión de servicios móviles	4
4. Aspectos técnicos de las tecnologías móviles	8
5. Evolución del despliegue de EBC en Perú (2011-2020)	10
6. Estimación de EBC requeridas (2020-2025)	12
6.1. Estimación de la población	12
6.2. Estimación del consumo de datos por usuario (GB/Mes)	13
6.3. Estimación del tráfico de datos por tecnología	18
6.4. Estimación de la penetración del servicio de Internet móvil	19
6.5. Estimación de participación de mercado por empresa	23
6.6. Estimación de la capacidad (GB/Mes) ofrecida por cada EBC	25
6.7. Estimación de EBC requeridas al 2025	27
7. Brecha de infraestructura al 2025 desagregada por región	29
8. Despliegue de antenas: Comparación Internacional	30
9. Conclusiones	31
Bibliografía	32
10. ANEXOS	33
10.1. Anexo N° 1: Mapas de EBC desagregados por tecnología y operador	33
10.2. Anexo N° 2: Incidencia de pobreza monetaria total en cada grupo robusto de distritos	36
10.3. Anexo N° 3: Selección de modelo de crecimiento no lineal óptimo para estimación de consumo de datos en cada grupo (según AIC)	37
10.4. Anexo N° 4: Selección de modelo no lineal óptimo para estimación de la participación del tráfico de datos por tecnología (según AIC)	38
10.5. Anexo N° 5: Comportamiento de residuales en predicción Holt-Winters, Arima, Suav. Exponencial y Redes Neuronales Autoregresivas	39
10.6. Anexo N° 6: Medidas de error para evaluar la metodología óptima para predicción de penetración del servicio de Internet móvil (3 últimos trimestres de 2020)	40
10.7. Anexo N° 7: Selección de modelo de crecimiento no lineal óptimo para estimación de penetración de Internet móvil por departamento (según AIC)	40
10.8. Anexo N° 8: Selección de modelo de crecimiento no lineal óptimo para estimación de participación de mercado (según AIC)	41

Estimación del número de estaciones base celular para atender la demanda de servicios móviles en el Perú al año 2025

1. Objetivos

- Estimar el número de Estaciones Base Celular (EBC) con tecnologías 3G, 4G y 5G que se requieren para atender la demanda de servicios móviles al año 2025.
- Estimar la brecha de infraestructura de EBC al año 2025.
- Realizar estimaciones de población, consumo (GB/Mes), penetración (conexiones de Internet Móvil/población) al año 2025.
- Describir desde el punto de vista de ingeniería, todos los elementos que conforman las EBC.
- Realizar el mapeo de las EBC existentes en el Perú desagregado por tecnología y por operador.
- Comparar el número de antenas implementadas en el Perú frente al despliegue realizado en otros países.

2. Antecedentes

- En el año 2014, el OSIPTEL publicó el documento de trabajo N° 25 “*Estimación de torres en las redes móviles para el año 2025 en el Perú*”, mediante el cual se estimó que para el 2025 se requerirían un total de 22 329 torres a nivel nacional¹.
- Posteriormente, en el año 2017, producto de la masificación de las redes 4G, el OSIPTEL actualizó el anterior estudio con el Documento de Trabajo N° 36 “*Estimación del número de Estaciones Base Celular (EBC) requeridas al año 2021*”. En el estudio se estimó que para el año 2021 se requeriría contar con 36 513 EBC².
- Debido al dinamismo del sector telecomunicaciones, la pronta llegada de la tecnología 5G, y considerando que para el estudio del año 2017 se realizaron proyecciones basadas en información del año 2016, corresponde actualizar las estimaciones de la infraestructura de acceso que se requiere instalar para atender la demanda de servicios móviles al año 2025.

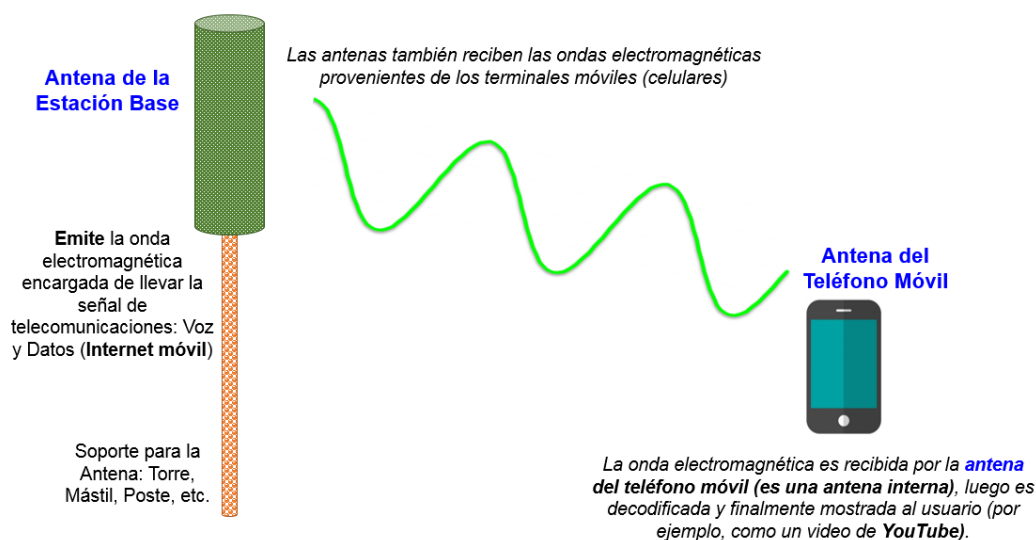
¹Documento disponible en: shorturl.at/hiN69

²Documento disponible en: shorturl.at/hnsQT

3. Infraestructura para la provisión de servicios móviles

En primer lugar, tenemos a las antenas, que son elementos que permiten enviar (transmisión) y recibir (recepción) ondas electromagnéticas que oscilan a una determinada frecuencia (medida en Hertz: Hz). Su uso en las redes inalámbricas es muy amplio, siendo que en las redes móviles estos elementos irradian y reciben las ondas electromagnéticas que hacen posible la prestación de servicios de voz e Internet móvil. En la medida que en las redes móviles se requiere atender una determinada zona geográfica, también conocida como zona de cobertura, estos elementos por lo general se instalan sobre estructuras elevadas, tales como torres, mástiles, postes, azoteas u otra similar.

Figura N° 1: Antenas de una red móvil

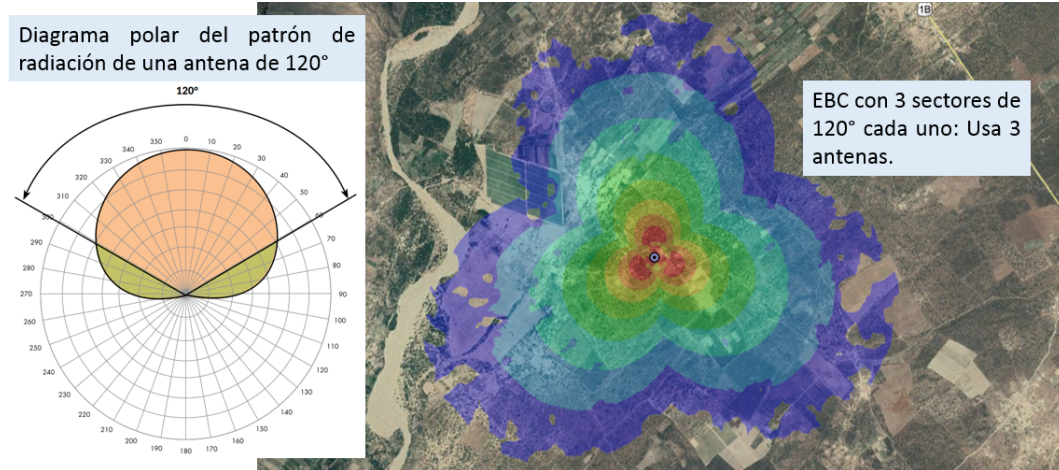


Elaboración: DPRC - OSIPTEL.

En función al patrón de radiación de la antena, este dispositivo cubre una determinada área, expresada en grados (por ejemplo: 90°, 120° o 360°). Así, por ejemplo, podrían darse los siguientes escenarios:

- Si se usan antenas de 90°: Para cubrir el área alrededor de un punto, se requiere de 4 antenas, lo que se conoce como 4 sectores ($90^\circ \times 4 = 360^\circ$).
- Si se usan antenas de 120°: Para cubrir el área alrededor de un punto, se requiere de 3 antenas, es decir, de 3 sectores ($120^\circ \times 3 = 360^\circ$).
- Si se usan antenas de 360°: Es suficiente con una sola antena (conocidas como antenas omnidireccionales) para cubrir toda el área alrededor del punto.

Figura N° 2: Ejemplo - Patrón de radiación de antena de telefonía móvil

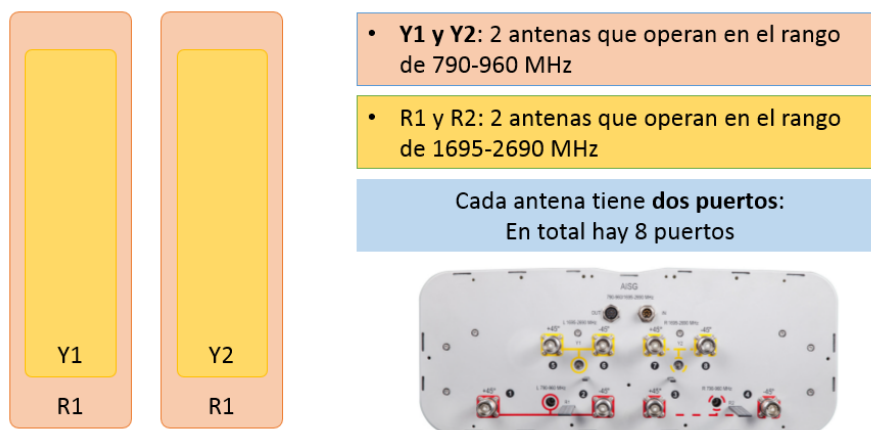


Elaboración: DPRC - OSIPTEL. El diagrama polar se obtuvo de COMMSCOPE³

Cabe señalar que los fabricantes de equipamiento pueden poner bajo una sola estructura más de una sola antena, pese a que visualmente podría parecer que se trata de una antena, por ejemplo:

- Más de un sector por estructura (conocidas como antenas multisectorial): Por ejemplo, una estructura de 3 antenas, una para cada sector de 120° y así poder cubrir los 360°.
- Más de una banda por sector (conocidas como antenas multibandas): Por ejemplo, en la Figura N° 3 se muestra una estructura que contiene a 4 antenas para un único sector de 120°: 2 antenas operan en el rango de 790 - 960 MHz y 2 en el rango de 1 695 - 2 690 MHz.

Figura N° 3: Ejemplo de Antena Multibanda⁴



Elaboración: DPRC - OSIPTEL. Usando información de COMMSCOPE

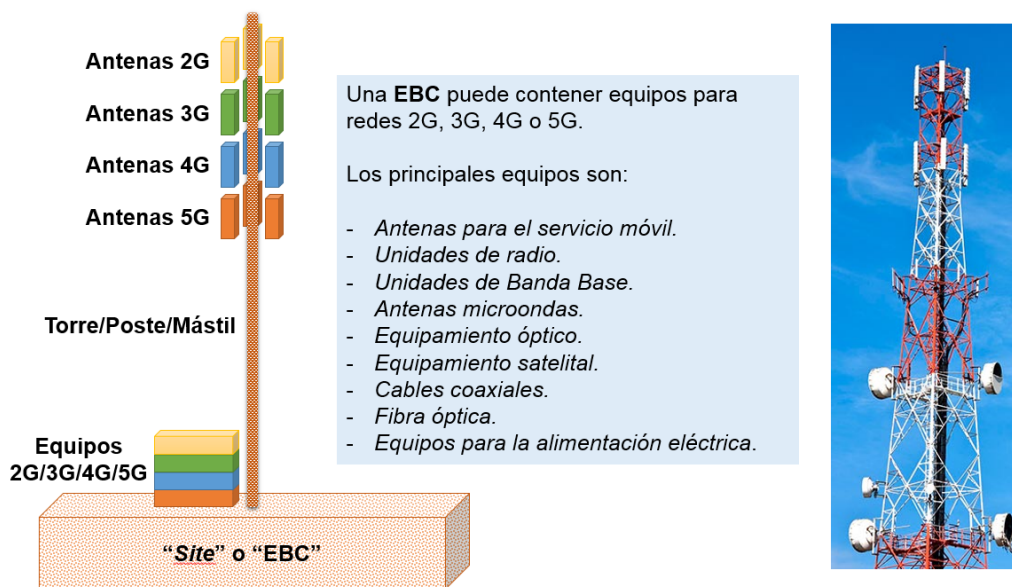
³Para mayor detalle, revisar: shorturl.at/abF34

⁴Para mayor detalle, revisar: shorturl.at/gloI4.

Las marcas mostradas en el presente informe se usan con fines referenciales.

Además de las antenas, en la parte de infraestructura de acceso, se requiere contar con equipamiento adicional, por ejemplo: Unidades de Radio (RRU), Unidades de Banda Base (BBU), equipos de transmisión (radioenlaces microondas, fibra óptica o enlaces satelitales), aire acondicionado, energía, sistemas de videovigilancia, entre otros. Todo este conjunto de elementos ubicados en un punto determinado, recibe el nombre de “sitio”, “site”, “radiobase” o “Estación Base Celular (EBC)”⁵. Así, cada EBC puede contar con equipamiento 2G, 3G, 4G o 5G⁶, ya sea todos implementados a la vez o solo un conjunto de ellos.

Figura N° 4: Diagrama simplificado de un Site o EBC



Elaboración: DPRC - OSIPTEL.

*La foto de la torre auto soportada (derecha) se obtuvo de Google Imágenes.

Para la existencia de la onda electromagnética que oscila a una determinada frecuencia (por ejemplo, 700 MHz), se requiere de un equipo que genere dicha onda. En redes móviles dicho equipo recibe el nombre de Unidad de Radio (conocidas como RRU o RRH). Estas unidades de radio se conectan a las antenas por medio de un cable coaxial, o en el caso de los modelos de última generación ya vienen integradas en la antena, de acuerdo al siguiente detalle:

- **Antenas pasivas**⁷: Se requiere agregar el RRU para que genere la onda electromagnética, y luego este se conecta a la antena por medio de un cable coaxial

⁵En el presente informe, los términos EBC, Site, Sitio, Radio Base y Estación Base, expresan lo mismo.

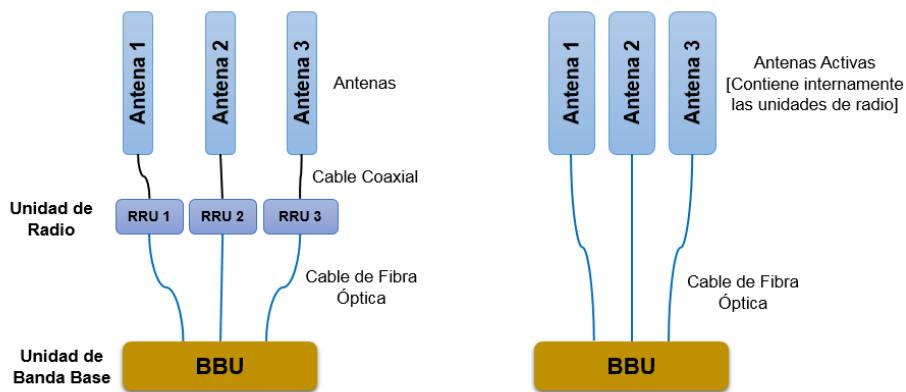
⁶Para efectos del presente documento de trabajo los términos 2G, 3G, 4G y 5G se usan solo de manera referencial.

⁷No se debe confundir el término de antena pasiva con infraestructura pasiva. Cabe señalar que, para efectos del uso compartido de infraestructura, todas las antenas se consideran como elementos activos: shorturl.at/izIRS

(feeder). Este tipo de antenas se usa en todas las generaciones móviles (de 2G a 5G).

- **Antenas activas:** No se requiere contar con un RRU externo para que genere la onda electromagnética. La antena internamente tiene los RRU incorporados. Este tipo de antenas se usa en las tecnologías 5G.

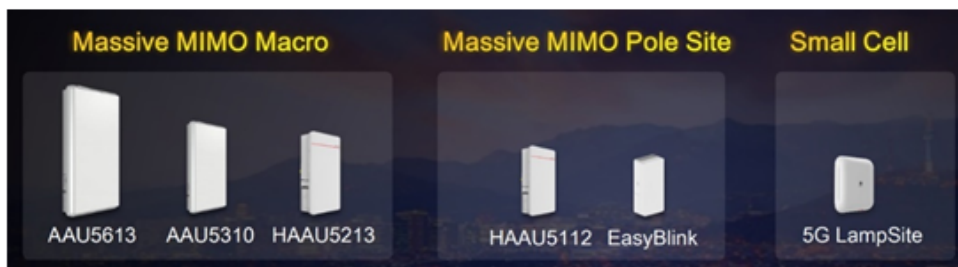
Figura N° 5: Uso de antenas activas y pasivas



Elaboración: DPRC - OSIPTEL.

Con la evolución de las redes móviles, se contempla el uso de la tecnología de antenas MIMO (Múltiple Entrada Múltiple Salida). MIMO ha evolucionado desde 2×2 (2 antenas para transmisión y 2 para recepción) usado ampliamente en las redes 4G, hasta llegar como máximo a 64×64 (64 antenas para transmisión y 64 para recepción, conocido como Massive MIMO o mMIMO) usado en escenarios de 5G. El uso de MIMO permite incrementar la capacidad (en GB/hora) que ofrece cada EBC.

Figura N° 6: Modelos de Antenas 5G provistas por Huawei



Fuente: Imagen extraída de Huawei⁸.

⁸Información disponible en: shorturl.at/ruvNO

Por otro lado, si bien por lo general las antenas se instalan en entornos exteriores (conocidos como *outdoor*), también es posible instalarlos en entornos de interiores (conocidos como *indoor*), siendo estos últimos los que permiten que se tenga una cobertura adecuada en centros comerciales, oficinas, sótanos, túneles y similares. Asimismo, también es posible contar con sistemas de cables radiantes para dar cobertura en entornos largos y cerrados como túneles o metros. En la Figura N° 7 se muestran algunos modelos de antenas *indoor*.

Figura N° 7: Ejemplo de modelos de antenas *indoor* provistas por Commscope⁹



Elaboración: DPRC - OSIPTEL
Utilizando información de COMMSCOPE.

4. Aspectos técnicos de las tecnologías móviles

Las tecnologías móviles se encuentran en constante evolución, la cual se expresa en generaciones. Así, en el Perú desde principios de la década pasada se empezó a implementar la tecnología 2G, y se encuentra muy próximo la introducción de la tecnología 5G. Cada una de estas generaciones presenta ciertas particularidades, sobre todo en las bandas de espectro que usa y la eficiencia espectral¹⁰ que la tecnología presenta. En la Figura N° 8 se muestran las bandas de espectro usadas para implementar las diversas tecnologías móviles en el Perú.

A medida que las generaciones evolucionan, se tienen mejoras sustanciales en las velocidades de acceso a Internet, debido a que se mejora la eficiencia espectral producto de:

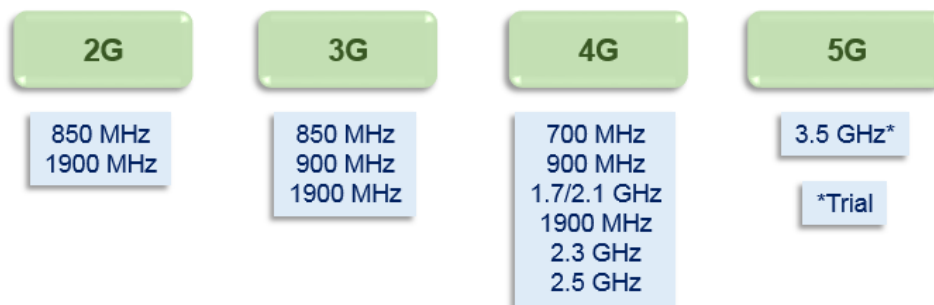
- Uso de mayor ancho de banda (medido en Hz): Por ejemplo, 4G como máximo trabaja con 20 MHz, mientras que 5G como máximo trabaja con 400 MHz, siendo 100 MHz un valor usual. A mayor espectro, se puede ofrecer una mayor velocidad.

⁹Para mayor detalle revisar: shorturl.at/ahyMN

¹⁰La eficiencia espectral hace referencia a la cantidad de bits por cada Hertz. Se mide en bits/Hz. Mientras más reciente es la generación, mayor es la eficiencia espectral.

- Uso de modulaciones más avanzadas: Por ejemplo, las versiones iniciales de 4G soportaban como máximo modulación 64 QAM, mientras que 5G soporta hasta 256 QAM. A mayor modulación se tiene un mayor número de bits por unidad de tiempo, por tanto, una mayor velocidad.
- Uso de nuevas tecnologías de antenas: Por ejemplo, las versiones iniciales de 4G soportaban MIMO 2×2 mientras que 5G soporta MIMO 64×64. A mayor MIMO, mayor velocidad.

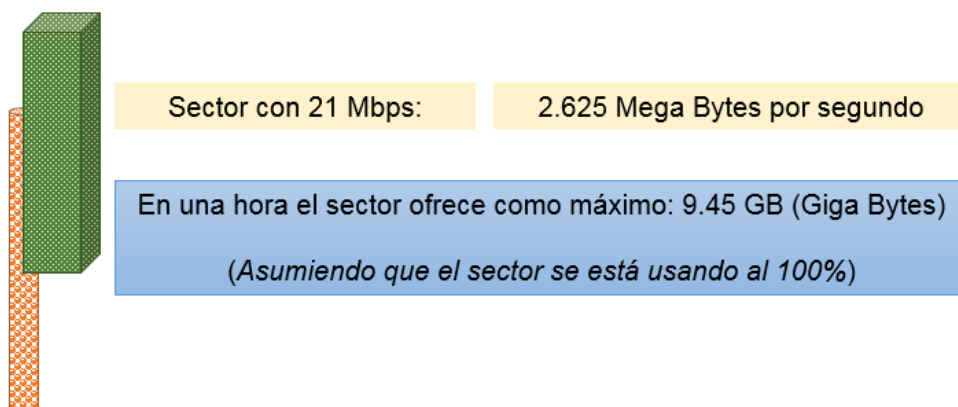
Figura N° 8: Generaciones y bandas de espectro usadas en el Perú¹¹



Elaboración: DPRC - OSIPTEL.

Aun así, la capacidad (medida en GB/Hora) ofrecida por cada EBC es finita. Por ejemplo, asumiendo que se tiene un sector 3G, que bajo un escenario ideal puede ofrecer una velocidad de 21 Mbps, se tiene que, si se usa el 100 % de los recursos, en una hora puede ofrecer como máximo 9,45 GB. Así, ante un incremento de demanda, por encima de 9,45 GB/hora/sector, dicho sector, no podrá soportar el tráfico y los usuarios experimentarán una degradación del servicio.

Figura N° 9: Ejemplo de capacidad ofrecida por un sector 3G (escenario ideal)



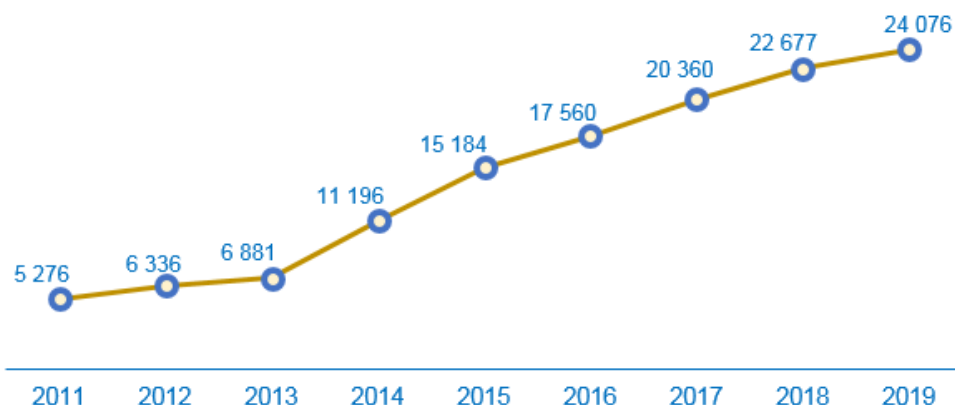
Elaboración: DPRC - OSIPTEL.

¹¹Para mayor información sobre las bandas de espectro, revisar: shorturl.at/blvxL

5. Evolución del despliegue de EBC en Perú (2011-2020)

Con el fin de soportar el continuo incremento del consumo de tráfico por usuario, en los últimos años, las empresas operadoras han realizado despliegues importantes de EBC, siendo que, al cierre del año 2019, las empresas reportaron un total de 24 076 EBC.

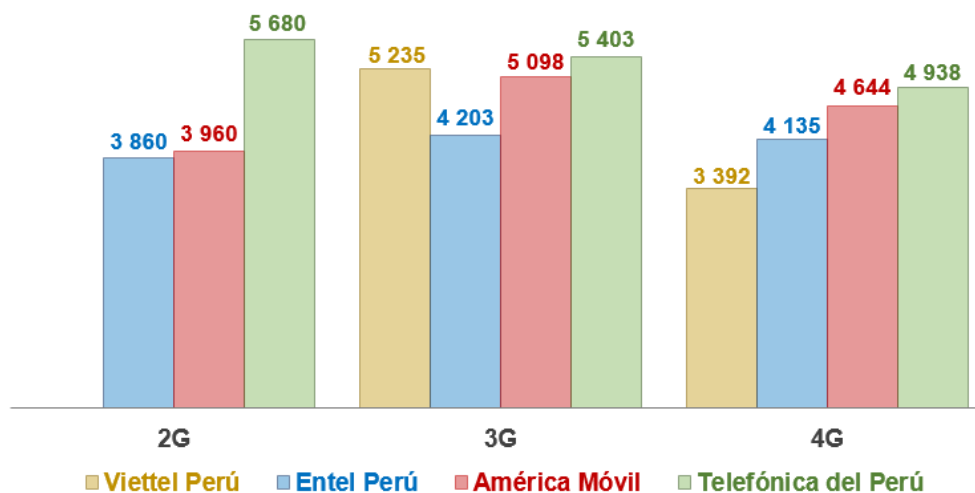
Figura N° 10: Evolución del despliegue de EBC en el Perú (2011-2019)



Elaboración: DPRC - OSIPTEL.
En base a los reportes de las empresas operadoras.

En la Figura N° 11 se muestra las EBC desagregada por tecnología y por operador, al cierre del año 2019. Asimismo, en el Anexo N° 1 se muestra, con mapas, el detalle de las EBC desagregados por tecnología y por operador.

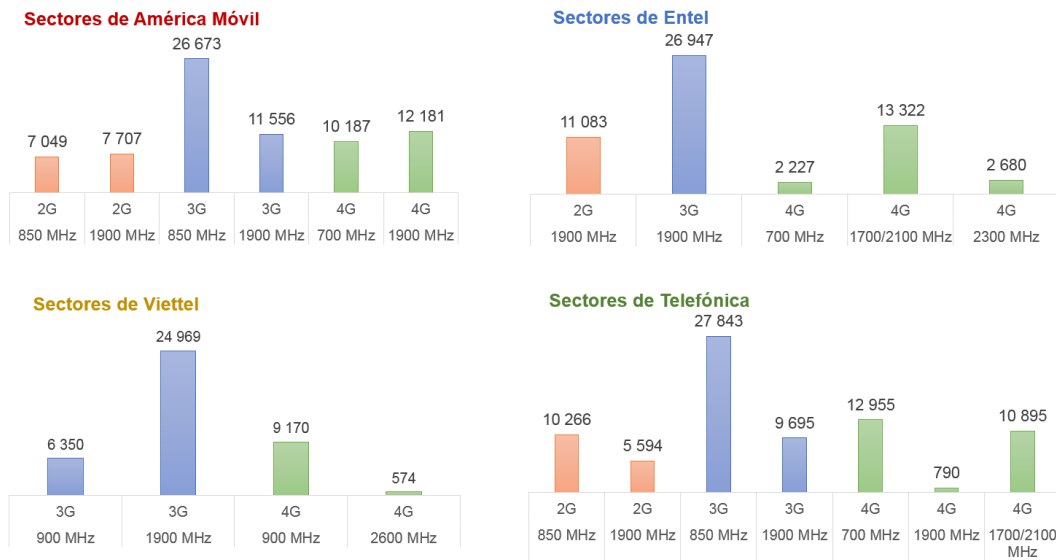
Figura N° 11: EBC por tecnología y operador (diciembre de 2019)



Elaboración: DPRC - OSIPTEL.
En base a los reportes de las empresas operadoras (Reglamento de Cobertura).

Cabe indicar que el número de EBC muestra un primer nivel de información y que, para conocer el estado actual de despliegue de infraestructura con más precisión, es necesario analizar a nivel de sectores. En efecto, podría darse el caso que una EBC solo tenga una sola tecnología (por ejemplo, 2G) con 1 solo sector (antena omnidireccional), mientras que también podría darse el caso de una EBC que tiene 4 tecnologías (por ejemplo, 2G, 3G, 4G y 5G) implementadas con 12 sectores (3 sectores por cada tecnología) e inclusive una tecnología podría tener más de 3 sectores debido al uso de varias portadoras (por ejemplo, 3 sectores 4G en 700 MHz y 3 sectores 4G en 1.7/2.1 GHz). En la Figura N° 12 se muestra el detalle de sectores que tiene cada operador desagregado por tecnología y por banda de espectro, apreciándose que, a junio de 2020, el mayor número de sectores instalados, contaba con la tecnología 3G seguida de 4G.

Figura N° 12: Sectores por tecnología y por banda (junio de 2020)



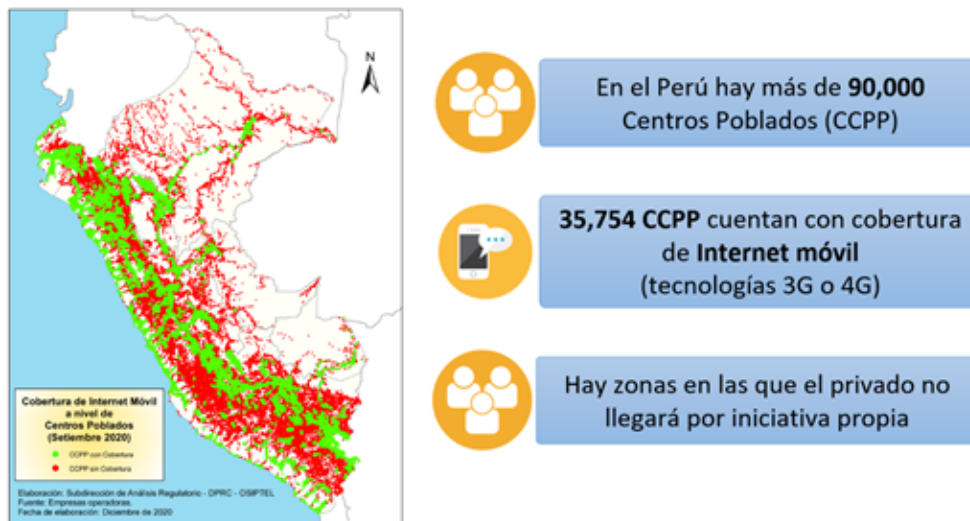
Elaboración: DPRC - OSIPTEL.

En base a los reportes de las empresas operadoras (Resolución 096-2015-CD/OSIPTEL).

Tal como se presentó en la Figura N° 2, cada sector contiene una antena y por tanto puede ofrecer cobertura en una determinada zona geográfica. Así, el área de cobertura de un sector dependerá de diversas variables: frecuencia de operación, potencia de transmisión, patrón de radiación, ganancia de antena, *tilt* o inclinación, altura de la torre, entre otras.

Asimismo, de acuerdo a reportes de las empresas operadoras, a setiembre de 2020, 35 754 Centros Poblados (CCPP) contaban con cobertura de internet móvil ofrecido mediante tecnologías 3G o 4G. Al ubicar los CCPP de forma georreferenciada, se evidencia que pese al importante despliegue de EBC, hay una brecha importante por cubrir ya sea en zonas que ya cuentan con cobertura (se requiere incrementar oferta para soportar los incrementos de demanda) como en zonas en las que no se cuenta con cobertura.

Figura N° 13: Cobertura de Internet móvil (setiembre de 2020)



Elaboración: DPRC - OSIPTEL.
En base a los reportes de las empresas operadoras.

6. Estimación de EBC requeridas (2020-2025)

Con el propósito de estimar la cantidad de Estaciones Base Celular (EBC) que se requieren para satisfacer la demanda de los servicios móviles al año 2025, se requiere estimar previamente un conjunto de variables que sirven como insumo para la implementación del presente modelo. Para ello, de ser el caso, también se requiere realizar supuestos razonables en base a lo que se espera que ocurrirá en los próximos años.

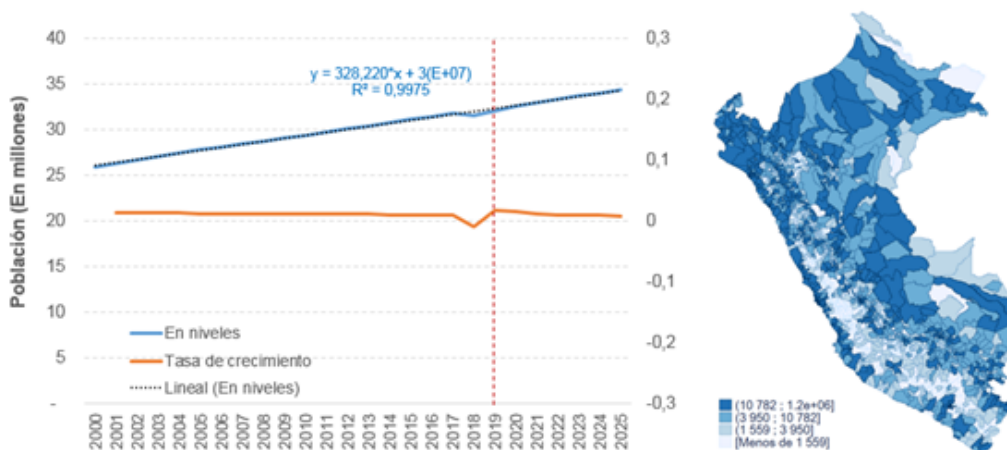
6.1. Estimación de la población

El análisis requiere contar con proyecciones de población a nivel distrital. Así, sobre la base de las proyecciones a nivel nacional realizadas por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) a nivel nacional¹², se estimaron los niveles de población requeridos considerando un total de 1 874 distritos. Así, para el 2020 se estima una población de 32 625 948 habitantes, y para el año 2025 se estima una población de 34 350 244 habitantes a nivel nacional.

¹²Para esto se consideraron las siguientes publicaciones:

- “Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población Departamental, por años calendario y Edades Simples: 1995–2025”. Disponible en: shorturl.at/eqwzB
- “PERÚ: Estimaciones y Proyecciones de Población por Departamento, Sexo y Grupos Quinquenales de Edad 1995 – 2025”. Disponible en: shorturl.at/fgoMS
- “Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población Total, por Años Calendario y Edades Simples, 1950 – 2050”. Disponible en: shorturl.at/krxF1

Figura N° 14: Estimaciones de los niveles de población a nivel nacional y distrital



Población a nivel nacional (En millones)

2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
31,6	32,1	32,6	33,0	33,4	33,7	34,0	34,4

Fuente: INEI. Elaboración: DPRC - OSIPTEL.

La Figura N° 14 muestra la evolución de la población agregada (y su correspondiente tasa de crecimiento) para los años 2000 – 2025, así como un mapa que identifica la distribución actual de la población por distrito¹³. Si bien se observa que una aproximación lineal ajusta de manera aceptable las proyecciones de población a nivel nacional, esto no implica que la evolución de la población desagregada a nivel regional (o más aún, a nivel distrital) guarde la misma tendencia.

6.2. Estimación del consumo de datos por usuario (GB/Mes)

Existen distintas consultoras relacionadas al sector de telecomunicaciones que periódicamente realizan estimaciones respecto de indicadores del servicio de Internet móvil (tráfico cursado de datos, penetración del servicio, adopción de Smartphone, crecimiento de las redes 5G, entre otros)¹⁴.

Todas estas estimaciones se llevan a cabo empleando distintas metodologías y supuestos. A saber, en cuanto al consumo de datos de Internet móvil por usuario (GB/mes), Ericsson en el documento *“Ericsson Mobility Report”*¹⁵ publicado en noviembre de 2020 señala que, se espera que para el año 2026 el 54% del tráfico total

¹³Es necesario señalar que las estimaciones desagregadas a nivel regional (y distrital) no consideran las migraciones de personas producto del contexto de la pandemia (por ejemplo, el regreso de personas hacia sus ciudades de origen). Aunque en términos relativos estas migraciones no impactarían de manera importante en los resultados.

¹⁴Así, por ejemplo, se pueden mencionar los indicadores publicados en los reportes realizados por las consultoras Analysis Mason, Ericsson, Cisco, GSMA, entre otras.

¹⁵Disponible en: shorturl.at/jlsPV

de datos móviles se maneje mediante redes 5G¹⁶. Cabe señalar que el informe de junio indicaba 45 % al 2025.

Por su parte, el OSIPTEL en el marco de la Norma de Requerimientos de Información Periódica¹⁷ (en adelante, NRIP) dispone de información trimestral de la cantidad total de usuarios que accedieron al servicio de Internet móvil y del tráfico cursado agregado por empresa operadora. Es importante considerar esta información, toda vez que permite conocer el nivel de tráfico que efectivamente se cursó y que fue soportado por las redes de telecomunicaciones móviles actualmente instaladas en el Perú. Sobre la base de esta información por operador, se observa que existe una gran diferencia entre el tráfico que cursan los usuarios de algunos operadores respecto de otros, lo que evidencia que el consumo de tráfico estaría fuertemente sujeto a las condiciones y/o restricciones comerciales que cada operador ofrece a sus usuarios.

La Tabla N° 1 muestra el número de líneas y nivel de tráfico cursado contenido en la NRIP, a partir de los cuales se infiere que el tráfico de datos mensual por usuario (ponderado por líneas) alcanzó un nivel de 8,27 GB/mes en el trimestre 2020-III¹⁸.

Tabla 1: Tráfico de datos cursado en Internet móvil (setiembre de 2020)(*)

Empresa	Tráfico 2020-3 (GB)	Tráfico Mes	Usuarios de IM	Tráfico mes usuario(**)	(%) Mercado
TDP	241 072 070	80 357 357	8 203 242	9,80	32,8 %
AM	219 099 347	73 033 116	8 408 986	8,69	33,6 %
EN	129 617 643	43 205 881	4 389 277	9,84	17,6 %
VT	30 353 038	10 117 679	3 995 461	2,53	16,0 %

TDP=Telefónica del Perú; AM=América Móvil; EN=Entel; VT=Viettel.

(*) Información en proceso de validación. Solo se consideró Internet desde teléfonos móviles.

(**) Se asume que el tráfico trimestral se distribuye igualmente cada mes.

Fuente: NRIP – OSIPTEL. Elaboración: DPRC – OSIPTEL.

Sin embargo, considerando que la información remitida al OSIPTEL por parte de algunas empresas aún se encontraría en proceso de validación, se sugiere que no sea incluida como una entrada para el modelo.

Con el objetivo de que el análisis en este estudio sea lo más detallado posible, se clasificó a los 1 874 distritos desde un enfoque de incidencia de pobreza monetaria¹⁹, con el fin de contar con grupos de población con distintos niveles de gasto

¹⁶Ericsson sostiene que el crecimiento en tráfico de datos móviles por Smartphone puede atribuirse a tres principales impulsores: (i) mejores capacidades de dispositivos, (ii) un incremento en contenido intensivo en datos y (iii) planes de datos más accesibles.

¹⁷Norma aprobada mediante Resolución N°096-2015-CD/OSIPTEL.

¹⁸Un promedio simple de los niveles de tráfico mensual por usuario en cada empresa arrojaría un nivel de 7.71 GB/mes.

¹⁹La incidencia de pobreza indica la proporción de la población que reside en hogares cuyo gasto per cápita mensual se encuentra por debajo del valor de la Canasta Básica de Consumo, conformada por alimentos y no alimentos. Cabe señalar que, entre otras maneras para clasificar la población

(heterogeneidad entre grupos y homogeneidad dentro de cada grupo). Para ello, se consideró los 28 grupos robustos de distritos con diferencia significativa en su incidencia de pobreza monetaria con un nivel de significancia del 95 %, información que ya ha sido publicada por el INEI en el mapa de pobreza del 2018 (ver Anexo N° 2)²⁰.

En cuanto a la clasificación ordenada de los grupos, el Grupo 1 está formado por los tres distritos con mayor incidencia de pobreza monetaria en el Perú²¹, mientras que el Grupo 28 contiene a los dos distritos con menor incidencia²². Esta clasificación de los distritos ha sido adicionalmente fundamentada mediante un análisis de clúster.

Luego, bajo la clasificación de los 28 grupos robustos de distritos a nivel nacional, se procedió a estimar el consumo de datos de Internet móvil (GB/mes por usuario) de cada grupo para el periodo del 2020 al 2025. Para la estimación se consideraron distintos modelos no lineales de crecimiento, con el objetivo de seleccionar el modelo (o distribución) que más se ajuste en cada uno de los grupos. Entre los modelos considerados para la predicción se encuentran *Gompertz*, *Exponencial*, *Logístico*, *LogLogístico*, *Weibull* y *Brain-Cousens*²³. La tabla siguiente presenta las formas funcionales empleadas en cada modelo mencionado.

Tabla 2: Modelos no lineales de crecimiento implementados en el estudio

Modelo no lineal de Crecimiento	Forma funcional empleada	Número de Parámetros
Modelo de Gompertz	$G(t) = c + (d - c) \cdot e^{-e^{b \cdot (t-a)}}$	4 parámetros
Modelo de Weibull	$W(t) = c + (d - c) \cdot \left(1 - e^{-e^{b \cdot (\ln t - \ln a)}}\right)$	4 parámetros
Modelo Exponencial	$E(t) = a \cdot (1 - be^{-kt})$	3 parámetros
Modelo Logístico	$L(t) = \frac{1}{1 + e^{\left(\frac{2b_1 \cdot b_2}{ 2b_1 + b_2 } \cdot (\ln t - \ln a)\right)}}$	4 parámetros
Modelo Log-Logístico	$LL(t) = c + \frac{d-c}{(1 + e^{b \cdot (\ln t - \ln a)})^h}$	4 parámetros
Modelo Brain-Cousens	$BC(t) = c + \frac{d-c}{1 + e^{b \cdot (\ln t - \ln a)}}$	5 parámetros

Elaboración: DPRC – OSIPTEL.

en grupos se encuentran indicadores de quintiles de ingreso o simplemente por departamentos. No obstante, estas dos últimas formas de clasificación no recogerían la alta dispersión que existe dentro de cada grupo.

²⁰Ver “*Mapa de pobreza monetaria distrital y provincial 2018*”. Disponible en: shorturl.at/jlsPV

²¹Distrito de Uchuraccay en Ayacucho y los distritos de Oxamarca y Anguía en Cajamarca.

²²Distritos de Miraflores y San Isidro en Lima.

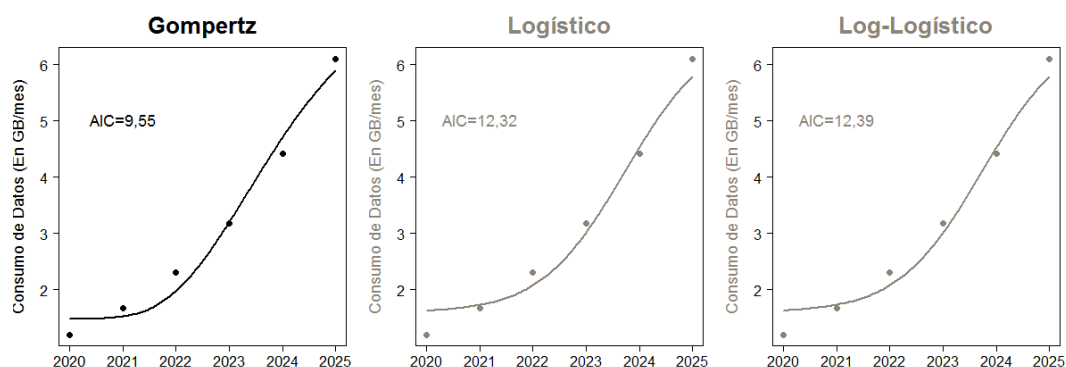
²³Entre otros modelos menos comunes están Gompertz-Baranyi, Von Bertalanffy, Stannard y el de Chapman-Richards.

La selección del modelo no lineal óptimo para cada grupo se basó en el menor *Criterio de Información de Akaike (AIC)*²⁴. A saber, el Anexo N° 3 presenta los modelos seleccionados para cada uno de los 28 grupos según el AIC²⁵.

A manera de ejemplo, la Figura N° 15 muestra la aproximación realizada del consumo de datos de Internet móvil para el Grupo 1, cuyo consumo promedio se encuentra entre 1,5 GB/mes (año 2020) y 5,9 GB/mes (año 2025). Según el AIC, este grupo tiene un mejor ajuste con el *modelo Gompertz*. Por su parte, el Grupo 28 presenta un consumo promedio situado entre 13,1 GB/mes (año 2020) y 48,4 GB/mes (año 2025). De acuerdo al AIC, para este grupo el mejor ajuste está dado por el *modelo Weibull*. De manera similar, se realizó el análisis para cada uno de los 26 grupos restantes.

Figura N° 15: Aproximación de Consumo - modelos no lineales de crecimiento

Grupo 1: Distritos con mayor incidencia de pobreza



²⁴De acuerdo a Motulsky y Christopoulos (2013), el Criterio de información de Akaike (AIC) combina máxima verosimilitud, información teórica y entropía de información, lo cual lo hace un indicador de ajuste adecuado. El AIC viene dado por:

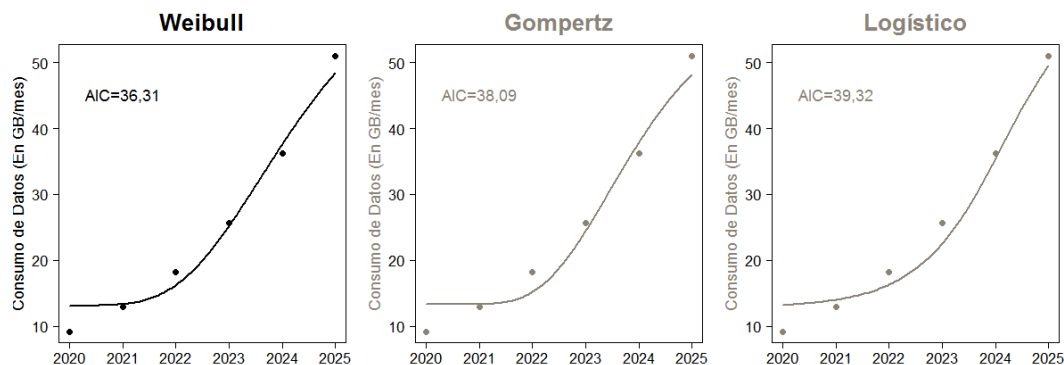
$$AIC = N \times \ln \left(\frac{SCE}{N} \right) + (2k + 1)$$

Donde para cada modelo evaluado: N : Número de observaciones; SCE : Suma de cuadrados de los residuales; k : Número de parámetros del modelo.

²⁵Cabe precisar que el ajuste de los modelos implementados recaen sobre una primera estimación de la senda de consumo bajo la tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR), la cual está dada:

$$CAGR = \left(\frac{\text{Valor presente } (t_n)}{\text{Valor inicial } (t_o)} \right)^{\left(\frac{1}{n}\right)} - 1$$

Grupo 28: Distritos con menor incidencia de pobreza



Elaboración: DPRC - OSIPTEL.

La tabla N° 3 presenta la dispersión de los niveles de tráfico de datos consumido para los 28 grupos en los años 2020-2025. De acuerdo a los resultados sobre consumo de datos de Internet móvil para el año 2020, el promedio ponderado de consumo en los 28 grupos considerados es de 7,7 GB/mes, con una desviación típica de 2,05. En cuanto al 2025, se espera que el consumo promedio de los grupos alcance la cifra de 27,1 GB/mes y un valor máximo alrededor de 48,4 GB/mes.

Tabla 3: Aproximación del consumo mensual de datos de Internet móvil por grupo de distritos (En GB/mes).

Grupo de Incidencia	Criterio de Información de Akaike (AIC)					
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Grupo 1	1,48	1,52	1,98	3,21	4,7	5,90
Grupo 2	1,90	2,05	2,54	3,80	5,82	7,45
Grupo 3	2,26	2,50	3,08	4,42	6,84	9,57
Grupo 4	2,80	3,05	3,76	5,43	8,15	10,67
Grupo 5	2,98	3,29	4,17	6,22	9,37	12,12
Grupo 6	2,94	3,47	5,01	7,54	10,40	12,96
Grupo 7	4,31	4,4	5,46	8,34	11,78	14,44
Grupo 8	4,49	5,00	6,29	9,05	13,14	16,52
Grupo 9	4,89	5,10	6,59	10,06	14,3	17,88
Grupo 10	5,32	5,84	7,19	10,28	15,54	20,54
Grupo 11	5,92	5,94	6,92	11,11	16,99	21,63
Grupo 12	5,46	5,56	7,09	11,9	18,32	23,68
Grupo 13	6,41	6,56	8,25	13,16	19,54	24,89
Grupo 14	6,68	7,54	9,58	13,73	20,04	26,4
Grupo 15	7,08	7,75	9,83	14,63	21,80	27,5
Grupo 16	7,49	8,13	10,08	14,93	22,72	29,47
Grupo 17	8,12	8,26	10,40	16,76	24,43	30,22
Grupo 18	8,37	8,83	11,12	16,86	25,28	32,57

Grupo de Incidencia	Criterio de Información de Akaike (AIC)					
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Grupo 19	8,63	9,46	11,69	16,95	25,85	34,41
Grupo 20	9,62	10,59	12,02	18,86	27,91	35,76
Grupo 21	10,65	10,72	12,34	19,03	29,12	37,93
Grupo 22	10,62	10,67	12,40	19,81	30,22	38,46
Grupo 23	11,03	11,12	12,99	20,30	31,5	41,68
Grupo 24	11,58	11,65	13,68	21,97	33,58	42,85
Grupo 25	11,32	11,79	15,53	24,26	34,38	42,35
Grupo 26	11,40	11,49	14,00	23,34	35,4	44,44
Grupo 27	12,19	13,11	15,87	23,18	36,51	48,23
Grupo 28	13,10	13,34	16,29	25,27	37,59	48,37

Elaboración: DPRC - OSIPTEL.

6.3. Estimación del tráfico de datos por tecnología

Para estimar la participación del tráfico total de datos móviles que se cursará sobre cada tecnología, se consideró como base la información proporcionada por las empresas operadoras al OSIPTEL, las estimaciones realizadas por GSMA en el reporte “*The Mobile Economy 2020*”²⁶ y sobre todo el reporte de Ericsson que estima que para el 2025 el 45 % del tráfico de Internet móvil se cursará sobre redes 5G.

Usando información remitida por los operadores móviles al OSIPTEL durante el año 2020, el porcentaje promedio de tráfico de datos móviles cursado sobre la red 4G ascendió a 83,5 %²⁷; mientras que, en la red 3G alcanzó el 16,5 % restante. En particular, las empresas con mayor participación de tráfico en red 4G fueron Telefónica del Perú (88,6 %) y Entel (87,9 %), seguido de América Móvil y Viettel con 83,3 % y 67,5 %, respectivamente²⁸.

A pesar de las notorias reducciones en los niveles de tráfico cursado sobre la red 3G, es necesario considerar dicha tecnología dado que aún muestra una participación relativamente aceptable del tráfico total de datos sobre las redes móviles. Por su parte, la tecnología 4G en los últimos años ha venido ganando relevancia al presentar incrementos sustanciales del tráfico de datos cursado, ubicándola como la tecnología móvil más relevante en la actualidad; esto, principalmente debido a la mayor eficiencia espectral (bits/Hz) y al mayor ancho de banda (en MHz).

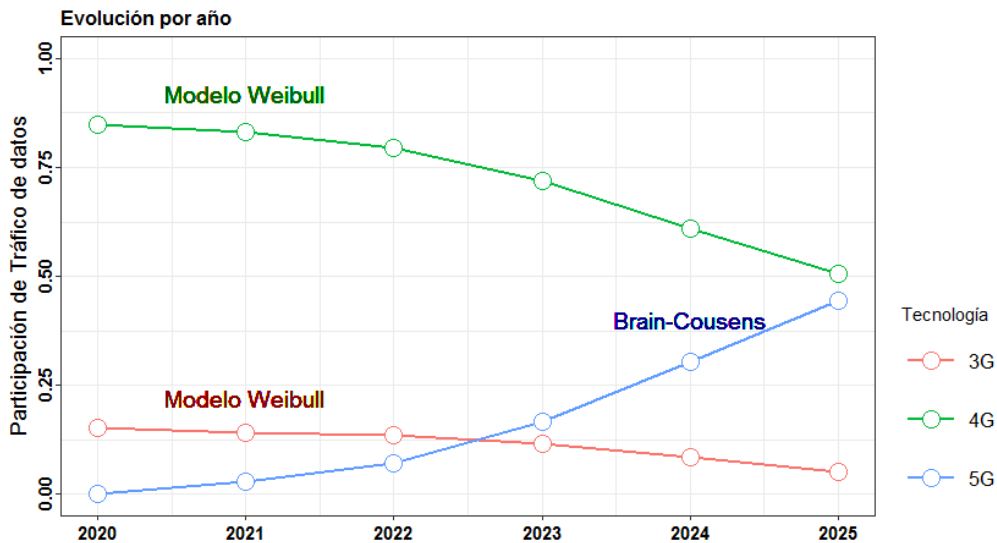
²⁶ Disponible en: shorturl.at/mKO12

²⁷ Promedio ponderado entre la participación del tráfico por tecnología y el número de usuarios que accedieron al servicio en cada empresa operadora. Información proporcionada por las empresas operadoras a la Dirección de Fiscalización e Instrucción del OSIPTEL.

²⁸ No se consideró la información proveniente de la NRIP, toda vez que los criterios establecidos en los formatos clasifican a las líneas tomando en cuenta la tecnología más avanzada a la que accedieron, independientemente de si el usuario hizo uso de dicha tecnología de manera continua. Por tanto, dicha información sería un indicador de acceso por tecnología más que un indicador de uso.

Adicionalmente, dado que el periodo del presente estudio se basa en las proyecciones para los siguientes cinco años, es necesario tomar en cuenta el despliegue y uso de la tecnología 5G, la cual permitiría transportar datos a mayores niveles de velocidad, convirtiéndola en la tecnología más atractiva para el público usuario y un factor clave de competencia entre las empresas operadoras.

Figura N° 16: - Evolución de la participación del tráfico cursado de datos de Internet móvil por tipo de tecnología (2020-2025)



Elaboración: DPRC - OSIPTEL.

De forma similar a lo desarrollado para el consumo de datos de GB/mes, en base a la información remitida al OSIPTEL se estimaron las sendas de crecimiento (o decrecimiento) del porcentaje de tráfico de datos cursado por las distintas tecnologías. En tal sentido, las estimaciones se realizaron empleando nuevamente los modelos no lineales de crecimiento descritos en la sección anterior (*Gompertz*, *Exponencial*, *Logístico*, *Log-Logístico*, *Weibull* y *Brain-Cousens*), seleccionando el mejor modelo para cada tecnología sobre la base del AIC.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el modelo no lineal óptimo (con mejor ajuste) para estimar las participaciones de tráfico cursado sobre las tecnologías 3G y 4G es el de Weibull, mientras que para la tecnología 5G es el modelo de Brain-Cousens. (Ver Anexo N° 4). A continuación, se muestran las sendas de crecimiento (y decrecimiento) estimadas a partir de los modelos seleccionados.

6.4. Estimación de la penetración del servicio de Internet móvil

La tasa de densidad o penetración de un servicio móvil se mide como el ratio entre los usuarios que utilizaron dicho servicio respecto del total de la población, en un instante del tiempo y para una determinada área geográfica. En particular, de

acuerdo a las estadísticas proporcionadas por las empresas operadoras al OSIPTEL en el marco de la NRIP, se observa que la penetración del servicio de Internet móvil a nivel nacional se incrementó en 41,4 pp. entre los trimestres 2014-I y 2020-I, pasando de 38,6 % a 80 %²⁹.

No obstante, es preciso señalar y resaltar que la tasa de penetración del servicio de Internet móvil es variable dependiendo de la zona geográfica que se analice, pues existen lugares en donde la tasa de penetración es muy alta, en comparación a otros en donde presentan una tasa de penetración baja. Es por esta razón que, a fin de reducir sesgos y dispersión en la estimación, se calcula la tasa de penetración para cada una de las 25 regiones a nivel nacional³⁰.

Luego, el análisis requiere contar con información de la penetración del servicio de Internet móvil al cierre del 2020, por lo que resulta necesario contar con los valores de este indicador para los últimos tres trimestres del año. Para estimar dichos valores se recurrió a diversas metodologías de predicción con el propósito de identificar aquella que cuente con los menores errores de estimación, según la raíz del error cuadrático medio (RMSE)³¹

Para cumplir con este objetivo se emplearon las siguientes metodologías de predicción univariada: (i) *Redes Neuronales Autoregresivas (NNAR)*³², (ii) *ARIMA*³³, (iii) *Suavizamiento Exponencial*³⁴ y (iv) *Holt-Winters*. El Anexo N° 5 presenta el comportamiento de los residuales de cada una de estas metodologías.

Según los resultados hallados, la predicción con la menor RMSE viene dada por la metodología de Redes Neuronales Autoregresivas; estimando un nivel de penetración del servicio de 80 % al trimestre 2020-IV, siendo el escenario más conservador en comparación al resto de metodologías (ver Figura N° 17)³⁵.

²⁹Para más detalle de los indicadores del servicio en cuestión, ver: shorturl.at/afA02

³⁰Esto es, para los 24 departamentos del país y la provincia del Callao.

³¹El estadístico de la raíz del error cuadrático medio se estima como $RMSE = \sqrt{\sum_{t=1}^n \frac{(Y_t - \hat{Y}_t)^2}{n}}$. Menores niveles de este indicador implica que las predicciones realizadas se ajustan mejor a los datos históricos.

³²Las Redes Neuronales Autoregresivas (NNAR) se obtienen de fusionar un modelo autoregresivo y perceptrones multicapas. En un modelo NNAR la variable dependiente se estima como una función no lineal de sus valores pasados Y_{t-p} para $p = 1, \dots, P$.

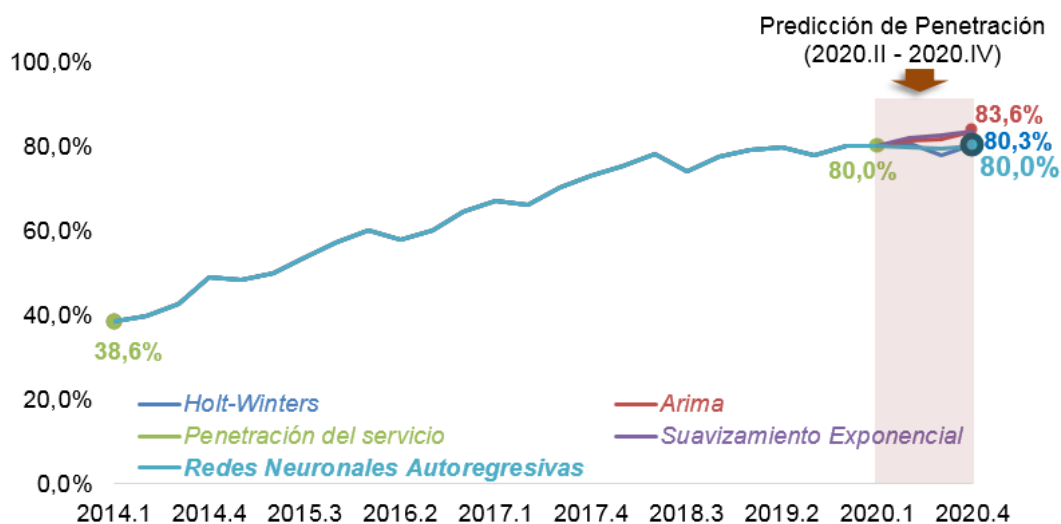
$$Y_t^* = \eta + \sum_{p=1}^P \varphi_p Y_{t-p} + \sum_{h=1}^H \beta_h G \left(\omega_h + \sum_{p=1}^P \alpha_{p,h} Y_{t,p} \right)$$

³³ARIMA por sus siglas en inglés, Autoregressive integrated moving average. En un modelo ARIMA las estimaciones futuras de una variable vienen explicadas por sus propios valores pasados y no por variables independientes.

³⁴Metodología conocida también como Alisamiento exponencial o por su nombre en inglés, Exponential Smoothing.

³⁵En el Anexo N° 06 se presenta adicionalmente los valores obtenidos para otros indicadores alternativos al RMSE, tales como el MAE, MPE, MAPE, y MASE para cada una de las metodologías

Figura N° 17: - Predicción de la penetración del servicio de Internet móvil (2020.II - 2020.IV)



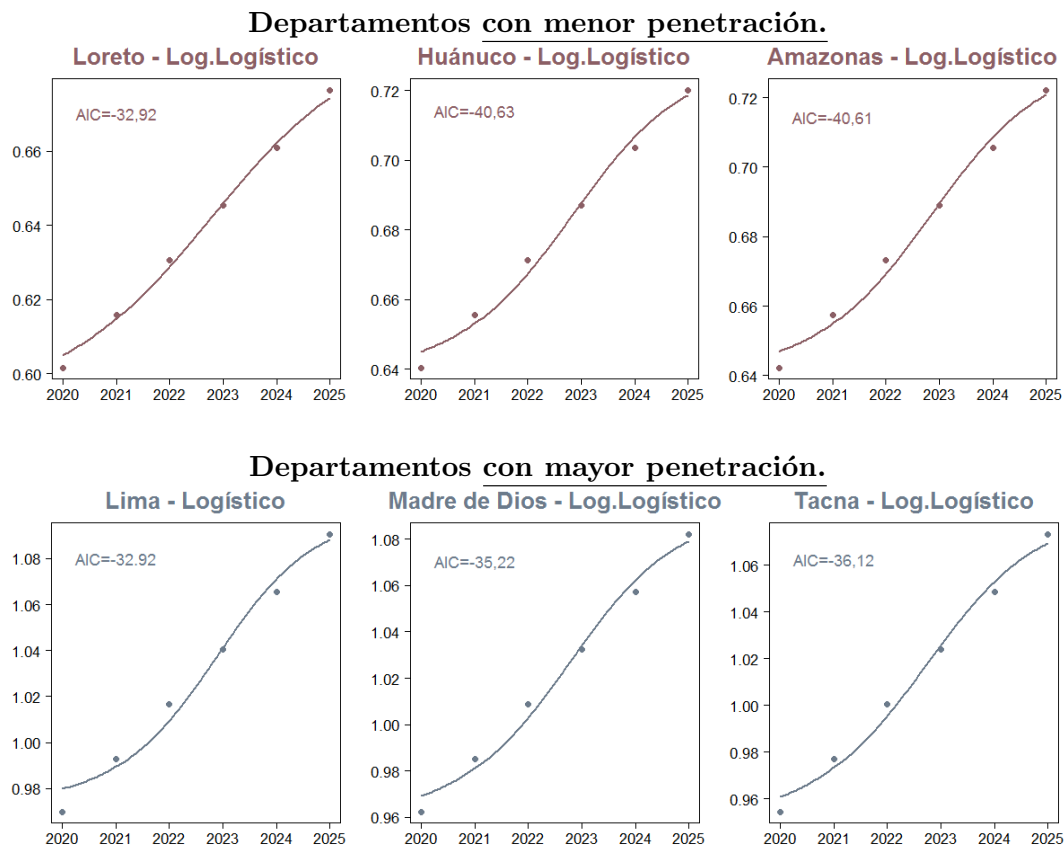
Elaboración: DPRC - OSIPTEL.

Una vez estimada la penetración del servicio de Internet móvil a nivel nacional para el cierre del 2020, la distribución de los niveles de penetración a nivel regional se realizó mediante un ajuste entre la penetración del servicio de telefonía móvil y la penetración de Smartphone a nivel regional. Esta última información obtenida a partir de la ERESTEL 2019, muestra que la penetración de Smartphone a nivel nacional asciende a 81,9% con una desviación típica de 14,26%, cifra muy cercana a la penetración de Internet móvil obtenida mediante la NRIP.

Similar a lo realizado en las secciones previas, las sendas de penetración del servicio para cada una de las regiones se estiman a partir de los modelos no lineales de crecimiento aplicados anteriormente. De este modo, el Anexo N° 7 presenta los niveles de ajuste de cada modelo para cada región según el AIC. A manera de ejemplo, la siguiente figura muestra las distribuciones óptimas para los tres departamentos con menor y mayor penetración del servicio.

planteadas. No obstante, cabe precisar que el indicador de mayor relevancia es el RMSE.

Figura N° 18: - Evolución de la penetración del servicio de Internet móvil a nivel regional



Elaboración: Subdirección de Análisis Regulatorio - DPRC - OSIPTEL.

En la siguiente tabla se presenta los niveles obtenidos de penetración del servicio de Internet móvil para cada región en los años 2020 – 2025.

Tabla 4: Aproximación del consumo mensual de datos de Internet móvil por grupo de distritos (En GB/mes)

Región	Penetración del Internet móvil por departamento					
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Amazonas	64,69 %	65,49 %	66,94 %	68,96 %	70,86 %	72,07 %
Ancash	76,11 %	77,30 %	79,16 %	81,44 %	83,54 %	85,00 %
Apurímac	76,48 %	77,73 %	79,56 %	81,76 %	83,86 %	85,42 %
Arequipa	94,02 %	95,58 %	97,79 %	100,43 %	102,95 %	104,90 %
Ayacucho	77,69 %	78,93 %	80,81 %	83,10 %	85,24 %	86,79 %
Cajamarca	70,21 %	71,40 %	73,13 %	75,19 %	77,09 %	78,46 %
Callao	83,07 %	84,54 %	86,60 %	89,01 %	91,24 %	92,90 %
Cusco	77,65 %	78,89 %	80,77 %	83,06 %	85,20 %	86,74 %

Región	Penetración del Internet móvil por departamento					
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Huancavelica	67,33 %	68,09 %	69,51 %	71,58 %	73,62 %	74,95 %
Huánuco	64,51 %	65,31 %	66,76 %	68,78 %	70,67 %	71,87 %
Ica	92,03 %	93,43 %	95,55 %	98,16 %	100,63 %	102,41 %
Junín	79,69 %	81,01 %	82,90 %	85,16 %	87,29 %	88,89 %
La Libertad	93,89 %	95,38 %	97,56 %	100,22 %	102,79 %	104,76 %
Lambayeque	85,04 %	86,61 %	88,72 %	91,13 %	93,41 %	95,18 %
Lima	97,98 %	98,94 %	100,97 %	104,13 %	107,11 %	108,80 %
Loreto	60,50 %	61,48 %	62,90 %	64,60 %	66,22 %	67,43 %
Madre de Dios	96,92 %	98,10 %	100,32 %	103,42 %	106,23 %	107,90 %
Moquegua	95,34 %	96,79 %	99,06 %	101,88 %	104,49 %	106,30 %
Pasco	79,34 %	80,66 %	82,53 %	84,77 %	86,95 %	88,68 %
Piura	74,09 %	75,22 %	77,01 %	79,26 %	81,33 %	82,77 %
Puno	79,30 %	80,62 %	82,49 %	84,73 %	86,91 %	88,63 %
San Martín	66,10 %	66,99 %	68,48 %	70,50 %	72,51 %	73,96 %
Tacna	96,09 %	97,33 %	99,57 %	102,58 %	105,29 %	106,93 %
Tumbes	93,05 %	94,49 %	96,64 %	99,31 %	101,98 %	104,10 %
Ucayali	70,88 %	71,72 %	73,35 %	75,65 %	77,70 %	78,88 %

Elaboración: Subdirección de Análisis Regulatorio - DPRC - OSIPTEL.

6.5. Estimación de participación de mercado por empresa

Con base en el número de líneas móviles en servicio al 2019 y la migración de usuarios entre empresas operadoras en los años 2019 y 2020, esta última obtenida a partir de la cantidad de líneas perdidas y ganadas por cada una de las empresas operadoras en el marco de la Portabilidad Numérica Móvil (posición cedente – receptor), se estiman las participaciones de mercado al cierre del 2025 en base a la implementación de Cadenas de Markov³⁶. Las cadenas de Markov resultan relevantes toda vez que considera tanto información presente como las interrelaciones que pueda existir con otras series. De este modo, las Cadenas de Markov son sistemáticas (debido a que abordan todos los flujos posibles entre estados a través de las matrices de transición) y no se limita en las estructuras causales del sistema, por lo que no es necesario recurrir a métodos econométricos tradicionales. En particular, este estudio

³⁶Una Cadena de Markov se compone del vector de condiciones iniciales y de la matriz de transición, donde se define el movimiento de usuarios dentro de un conjunto finito de estados S_i

$$s \in S; S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_{M-1}, s_M\}, M < \infty$$

En este caso S tiene 4 componentes, representando a las cuatro empresas operadoras móviles. Los movimientos de las personas se dan a través de puntos discretos en el tiempo, donde la probabilidad de estar en el tiempo t solo va a depender del tiempo inmediato anterior; esto es,

$$P \{X_{t+1} = j | X_t = i, X_{t-1}, \dots, X_1 = i_1\} = P \{X_{t+1} = j | X_t = i\}$$

empleará Cadenas de Markov del tipo homogénea³⁷

Siguiendo esta metodología, la cantidad de líneas al cierre del 2019 representarían las condiciones iniciales del modelo (variables de estado), mientras que las líneas perdidas y ganadas por los operadores permiten estimar las matrices de probabilidad de transición. El supuesto detrás del análisis de las Cadenas de Markov Homogénea es que se considera a la participación de mercado del 2025 como la que existiría en el largo plazo³⁸.

La primera matriz de transición corresponde al movimiento existente de usuarios de una empresa operadora hacia otra durante el periodo enero-setiembre 2019, mientras que la segunda matriz consideró dicho movimiento en el periodo de enero-noviembre 2020³⁹.

Luego de estimar las participaciones de mercado que obtendrían las empresas operadoras al 2025, se recurre a la implementación de los modelos no lineales de crecimiento empleados anteriormente con el propósito de aproximar los valores intermedios. El modelo óptimo para estimar las participaciones de mercado de cada empresa operadora (según niveles del AIC) se presenta en el Anexo N° 8. A continuación se muestra un proxy de las participaciones de mercado para los años 2020-2025.

Asimismo, es preciso aclarar que no se está considerando a los OMV (Operador Móvil Virtual), toda vez que dichos operadores hacen uso de la infraestructura de los Operadores Móviles, y por tanto dicha infraestructura soportará tanto el tráfico del OMR (Operador Móvil con Red) como del OMV. La tabla que sigue muestra los niveles de participación de mercado obtenidos.

Tabla 5: Aproximación de participación de mercado por empresa

Empresa	2020	2021	2022	2023	2024	2025
AM	29,7 %	29,9 %	30,2 %	30,5 %	30,7 %	30,9 %
TDP	29,9 %	29,8 %	29,5 %	29,3 %	29,1 %	29,1 %
EN	22,5 %	22,4 %	22,3 %	22,0 %	21,9 %	21,8 %
VT	17,9 %	17,9 %	18,1 %	18,2 %	18,3 %	18,3 %

TDP=Telefónica del Perú; AM=América Móvil; EN=Entel; VT=Viettel.
Elaboración: DPRC – OSIPTEL.

³⁷Una Cadena de Markov es homogénea cuando las probabilidades de transición son invariantes en el tiempo $P\{X_{t+1} = j | X_t = i\} = p_{ij}$. Así, la probabilidad p_{ij} representa la posibilidad de que un usuario de una determinada empresa operadora i migre a j en el siguiente periodo.

³⁸El término largo plazo hace referencia a aquella situación en la que las participaciones de mercado oscilan en muy pequeñas variaciones o cuando las matrices de transición son invariantes en el tiempo.

³⁹Si bien se cuenta con información más actualizada de las líneas portadas, se debe precisar que no es considerada dada las medidas de confinamiento durante la pandemia de COVID-19, lo que llevó a una reducción importante de los niveles de portabilidad.

6.6. Estimación de la capacidad (GB/Mes) ofrecida por cada EBC

Como punto de partida se tienen los siguientes supuestos:

- Todas las EBC tienen instaladas las siguientes tecnologías: 3G, 4G y 5G.
- No se considerará el tráfico de Internet móvil que hace uso de las redes 2G, toda vez que el tráfico de datos es despreciable frente al que se puede cursar a través de nuevas tecnologías (por ejemplo, la velocidad teórica de EDGE es menor a 0,5 Mbps, mientras que la velocidad teórica de LTE es de 150 Mbps). Además, la tecnología 2G se encuentra en proceso de migración hacia tecnologías con mayor eficiencia espectral, y uno de los 4 operadores (Viettel) no cuenta con dicha tecnología.
- No se considera el tráfico de datos generado por las llamadas de voz, en la medida que dicho tráfico es despreciable en relación al tráfico que se usa para el servicio de Internet móvil⁴⁰.
- Se usa la metodología de diseño en función a la capacidad.

Asimismo, el diseño se realiza en función a la hora pico, que es justamente la hora de mayor carga de la red. Así se tiene que, si una EBC soporta la demanda en la hora pico, es capaz de soportar la demanda de cualquier otra hora no pico. La Figura N° 19 muestra una curva de tráfico de un día (24 horas), en la que se aprecia que solo en una hora, es cuando la red soporta la mayor carga. En caso el tráfico demandado sea mayor o igual al ofrecido, se tiene una saturación del sector por falta de capacidad.

Figura N° 19: - Ejemplo de hora pico



Elaboración: DPRC - OSIPTEL.

⁴⁰Ver Figura N° 11 del reporte de Ericsson: shorturl.at/lryS4

De esta manera, para el cálculo de la capacidad en GB que puede ofrecer cada site, se hará uso de la metodología contenida en el libro “*LTE for UMTS - OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*” de Antti Toskala y Harri Holma, la cual corresponde a la metodología basada en capacidad. Para tal efecto, en base a lo señalado en el citado libro, se asumen los siguientes parámetros de entrada:

- **Eficiencia espectral (bps/Hz)**⁴¹: Para 3G se usará 1,1 bps/Hz. Para 4G se usará 1,6 bps/Hz (corresponde al promedio de usar MIMO 2×2 y 4×2). Para 5G, los primeros estudios indican un valor de 4,2 bps/Hz, el cual se espera que incremente. Cabe señalar que los valores de eficiencia espectral consideran a todos los anillos de modulación.
- **Ancho de Banda (MHz)**⁴²: En función al espectro que tiene cada operador, para cada tecnología se asumen diversos anchos de banda. Por ejemplo, para 4G se consideran anchos de banda de 10+10 MHz, 15+15 MHz y 20+20 MHz. Para el caso de 5G, se asume que para el 2025, todos los operadores tendrán al menos 100 MHz TDD continuos. En todos los casos, se asume que los operadores implementan el 100 % de su espectro en cada EBC.
- **5G**: Las redes 5G se implementarán en la banda de 3.5 GHz. Debido a la alta frecuencia, y su limitada propagación, aun no se consideran despliegue de 5G en banda milimétrica.
- **Número de sectores**: Se considera que cada EBC tiene 3 sectores.
- **Promedio de Carga en la Hora Pico (BHAL)**: De acuerdo a lo indicado en el libro citado, se considera un valor de diseño de 50 %.
- **Tráfico en hora pico**: Se considera que el 15 % del tráfico del día se cursa en la hora pico.
- **Distribución del tráfico**: 89 % Downlink y 11 % Uplink (de acuerdo a información de los operadores móviles en los meses de marzo y abril de 2020).

En relación al uso del espectro, es preciso mencionar los siguientes supuestos:

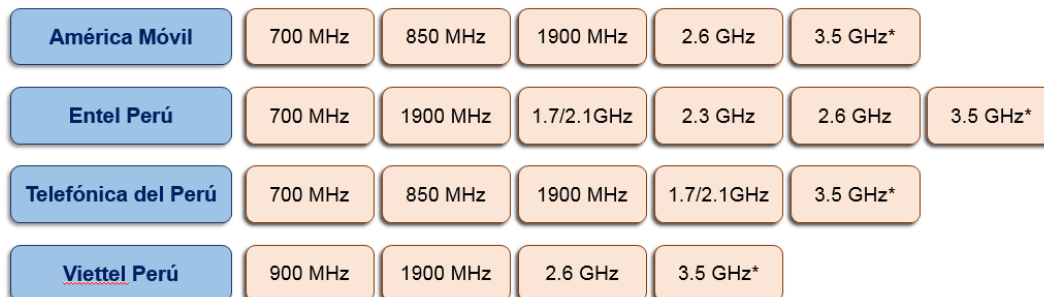
- **Año 2021**: América Móvil, Entel y Telefónica usan 25 MHz para 5G. Viettel aún no tiene espectro para 5G.
- **Año 2022 al 2025**: América Móvil, Entel, Telefónica y Viettel usan 100 MHz de espectro de la banda de 3.5 GHz para 5G.
- **Año 2025**: Los operadores usan como máximo 10+10 MHz para 3G. Se espera procesos de *refarming* a favor de tecnologías que presentan mayor eficiencia espectral que 3G, como es el caso de 4G.

La siguiente figura resume las bandas de espectro que usa cada operador:

⁴¹Mayor detalle ver las páginas 101-108 del informe publicado por 5G Americas: shorturl.at/fjsJ6

⁴²Para mayor información, revisar: shorturl.at/vLJN6

Figura N° 20: - Bandas de espectro por operador usadas en el modelo



Elaboración: DPRC - OSIPTEL. *La banda de 3.5 GHz se usará para 5G.

Cabe señalar que en el modelo también se considera el hecho de que algunas bandas solo se pueden usar en algunas provincias, o poseen anchos de banda diferentes en función a la provincia.

De esta manera, usando todos los supuestos señalados, y usando la metodología de *Antti Toskala y Harri Holma*, se calcula la capacidad (en GB/mes) que puede ofrecer cada EBC por tecnología y por operador, por ejemplo:

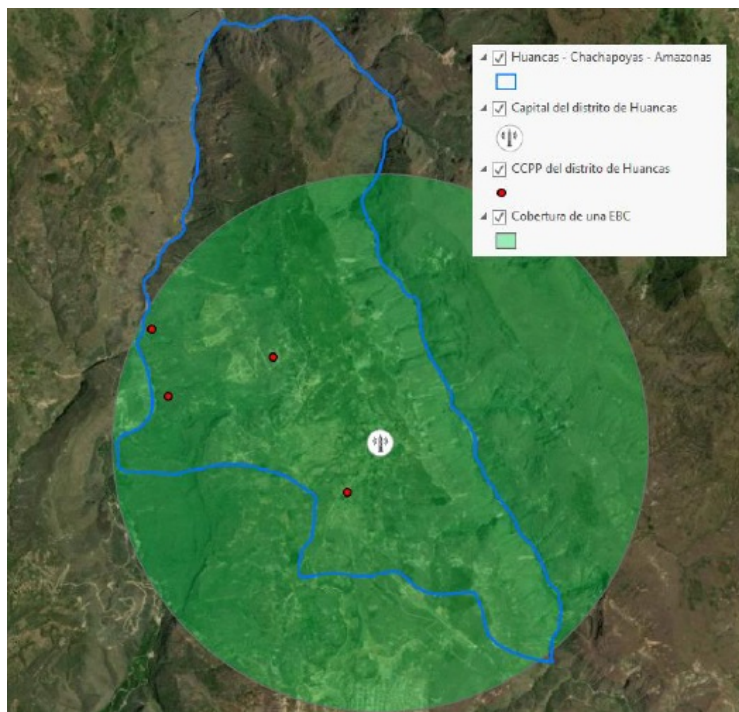
- EBC 3G (5+5 MHz): 725 GB/Mes.
- EBC 4G (20+20 MHz): 4,087 GB/Mes.
- EBC 5G (100 MHz): 55,371 GB/Mes.

Como se observa, a medida que se usan nuevas tecnologías, con mayores anchos de banda, se tiene como resultado un incremento de la capacidad (GB/Mes) ofrecida por cada EBC.

6.7. Estimación de EBC requeridas al 2025

Finalmente, todas las estimaciones realizadas en las secciones precedentes (6.1 a 6.6) se ingresan a un modelo, el cual permite calcular las EBC requeridas al 2025. El cálculo del número de estaciones requeridas se realiza a nivel distrital, de tal forma que, en aquellos distritos con muy baja demanda, se estima al menos la instalación de 4 EBC, una por cada operador, la cual se instala en la capital de distrito. En el caso de distritos con alta demanda, el número de EBC calculado se distribuye en toda el área geográfica del distrito.

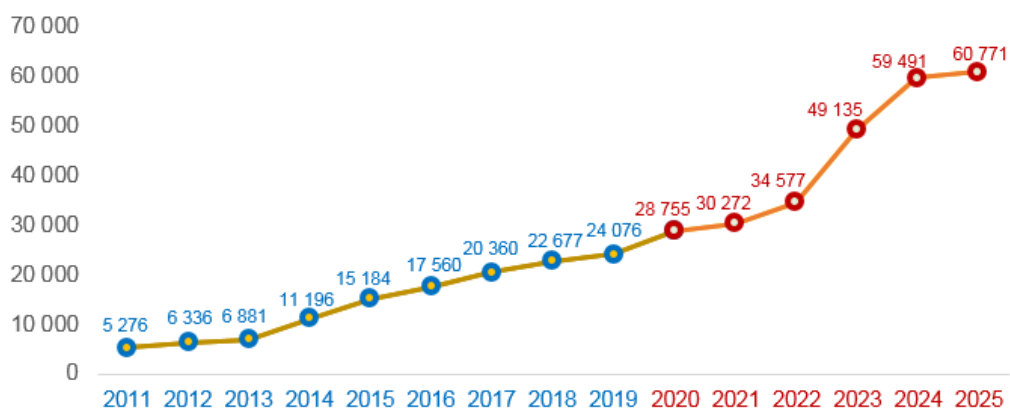
Figura N° 21: - Ejemplo de cobertura en un distrito pequeño



Elaboración: DPRC - OSIPTEL.

Así, se estima que para el año 2025 el Perú debe contar con 60 771 EBC distribuidas entre los 4 operadores, de tal forma que la red pueda soportar el incremento de tráfico del servicio de Internet móvil y del servicio de Internet fijo inalámbrico⁴³.

Figura N° 22: - Estimación de las EBC en el periodo 2011 - 2025



Elaboración: DPRC - OSIPTEL.

⁴³Cabe precisar que los resultados obtenidos se encuentran alineados a una estimación realizada por la consultora TAS (Telecom Advisory Service), la cual estimó 56,000 estaciones base para el año 2025 en el Perú. Si bien se desconoce la metodología usada por TAS, se observa la correlación en los resultados obtenidos.

La Figura N° 22 muestra la evolución de EBC desde el 2011 hasta el año 2025, lo cual evidencia que se requiere hacer un despliegue importante de infraestructura que permita soportar la alta demanda de datos que se espera tenga lugar en los próximos años.

Así, toda vez que al cierre del 2019 las empresas operadoras reportaron 24 076 EBC instaladas a nivel nacional, se requiere instalar un total de 36 695 EBC al año 2025. Cabe señalar que, debido a que el modelo es sensible a diversas variables, se realizará un análisis de sensibilidad que permita conocer la variación en el número de estaciones base frente a cambios en el consumo (GB/Mes) al 2025.

Tabla 6: Sensibilidad del modelo

Variable	Cambio	Estaciones Base al 2025	(Δ %) Estaciones Base
Consumo (GB/mes)	Incremento de 15 %	69 162	+ 13.8 %
	Caída de 15 %	52 409	-13.8 %

Elaboración: DPRC - OSIPTEL.

7. Brecha de infraestructura al 2025 desagregada por región

Si bien la brecha a nivel nacional es de 36 695 EBC al 2025, considerando las particularidades de la demanda de cada región, es necesario estimar la brecha a nivel regional. Así, la siguiente tabla muestra la brecha por región al año 2025.

Tabla 7: Aproximación de la participación de mercado por empresa operadora

Región	EBC existentes (2019-IV)	EBC estimadas al 2025	% de Incremento requerido	Brecha al 2025
Amazonas	350	575	64 %	225
Áncash	949	2 136	125 %	1 187
Apurímac	442	623	41 %	181
Arequipa	1 347	4 367	224 %	3 020
Ayacucho	656	981	50 %	325
Cajamarca	975	1313	35 %	338
Cusco	1 073	2 313	116 %	1 240
Huancavelica	378	531	40 %	153
Huánuco	600	886	48 %	286
Ica	643	2 810	337 %	2 167
Junín	946	2 076	119 %	1 130

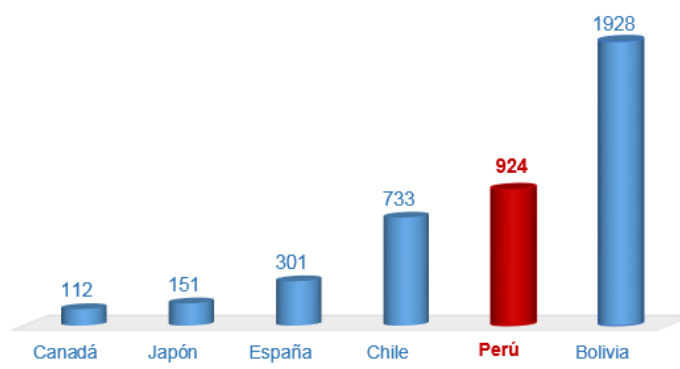
Región	EBC existentes (2019-IV)	EBC estimadas al 2025	% de Incremento requerido	Brecha al 2025
La Libertad	1 241	3 955	219 %	2 714
Lambayeque	696	2 574	270 %	1 878
Lima	9 196	25 671	179 %	16 475
Loreto	477	975	104 %	498
Madre de Dios	169	455	169 %	286
Moquegua	208	534	157 %	326
Pasco	231	314	36 %	83
Piura	1 095	2 775	153 %	1 680
Puno	867	1 609	86 %	742
San Martín	722	1 120	55 %	398
Tacna	355	739	108 %	384
Tumbes	191	520	172 %	329
Ucayali	269	919	242 %	650
Total	24 076	60 771	152 %	36 695

Elaboración: DPRC – OSIPTEL.

8. Despliegue de antenas: Comparación Internacional

Con el fin de comparar cómo se encuentra el despliegue de antenas en el Perú frente al despliegue realizado por otros países, se usará la información proporcionada por el portal *Open Cell ID*⁴⁴, el cual, mediante técnicas de *crowdsourcing*, recoge los identificadores (*Cell ID*) de todas las antenas instaladas en el mundo, y por tanto la información corresponde a un *proxy* de la infraestructura de antenas desplegadas por cada país.

Figura N° 23: - Población atendida por cada antena 4G



Elaboración: DPRC – OSIPTEL.

⁴⁴Para descargar la información fuente, revisar: shorturl.at/jrEX4

La información usada para el reporte se descargó la segunda semana de diciembre de 2020.

La figura N° 23 muestra la población atendida por cada antena 4G en 6 países⁴⁵. Se destaca lo siguiente:

- En **Bolivia**: Una antena 4G atiende a 1 928 personas.
- En **Perú**: Una antena 4G atiende a 924 personas.
- En **Canadá**: Una antena 4G atiende a 112 personas.

Tal como se señala en la sección 4 del presente documento, la capacidad (en GB) que ofrece cada antena, y sobre todo su equipamiento asociado, es finita, por tanto, mientras menos personas accedan a una antena, la experiencia de usuario será mejor. Así se evidencia que en el Perú, respecto a otros países, hay una brecha de infraestructura por cubrir.

9. Conclusiones

- Se estima que al año 2025, para soportar la creciente demanda en el consumo de datos móviles, el Perú debe contar con 60 771 EBC distribuidas a nivel nacional.
- El número estimado de EBC al 2025, podría ser menor en caso se implementen acuerdos de uso compartido pasivo o activo entre los operadores.
- Entre el 2020 al 2025 se estima que los operadores móviles deben desplegar en total 36 695 EBC a nivel nacional.
- Del análisis de sensibilidad, en función al tráfico que se cursará (en GB/Mes), se obtuvo que ante una variación de 15 % del tráfico de datos móviles se tendrá una variación de 13,8 % en el número de EBC.
- Se estima que el consumo de datos móviles en el Perú al 2025 será de 971 PB (Peta Bytes) mensual.
- Actualmente el Perú tiene una antena 4G por cada 924 habitantes, mientras que, en países como Canadá, se tiene una antena 4G por cada 112 habitantes.
- Considerando que el sector telecomunicaciones es muy dinámico y se encuentra en constante evolución, se recomienda revisar las estimaciones del presente informe, al menos cada dos o tres años.

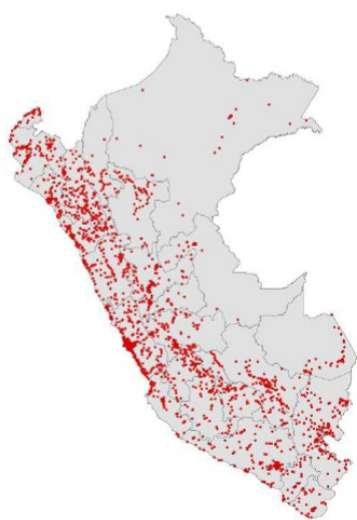
⁴⁵La información de población atendida se obtuvo del Banco Mundial: shorturl.at/ftHN8

Bibliografía

- [1] AMUE , J., UMOH, I., NGAAGE, K. (2012). “*Dynamic Behavior in Customers’ Switching and Market Share Analysis: The Markov Model Perspectives*”. Global Journal of Management and Business Research, Vol. 12.
- [2] CHING CHAN, K. (2015). “*Market share modelling and forecasting using markov chains and alternative models*”. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol. 11, num.3.
- [3] ERICSSON (2020). “*Ericsson Mobility Report*”. Disponible en: shorturl.at/huMZ9.
- [4] GAVILANO, M. (2018). “*Identificando técnicas de predicción univariadas para el sector de las telecomunicaciones: Un acercamiento al Test de Diebold-Mariano y la combinación de metodologías de predicción*”. Documento de trabajo - GPRC. Disponible en: shorturl.at/amTRY
- [5] GAVILANO, M., TOVAR, N. (2019). “*Estimando las participaciones de mercado de largo plazo en el servicio móvil peruano: Una aplicación de las Cadenas de Markov*”. PESQUIMAT, Vol.22, 51–60. Disponible en: shorturl.at/ruwzV.
- [6] HOLMA, H. TOSKALA, A. (2009). “*LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*”. Wiley Publishers.
- [7] HOLMA, H. TOSKALA, A. (2020). “*5G Technology 3GPP New Radio*”. Wiley Publishers.
- [8] OPEN CELL ID (2019). “*Open Data*”. Disponible en: shorturl.at/muJX2.
- [9] SOKELE, M., MOUTINHO, L., HUDEK, V. (2009). “*Advanced Market Share Modelling Based on Markov Chains*”.
- [10] SHUCHUM, W. (2006). “*Exponential Smoothing for Forecasting and Bayesian Validation of Computer Models. Georgia Institute Technology*”.
- [11] TIMMERMANN, A. (2005). “*Forecast Combinations*”. University of California San Diego.
- [12] TOLVER, A. (2019). “*An introduction to Markov Chains*”. Recuperado el 15 de octubre del 2018 de: shorturl.at/gqI68.

10. ANEXOS

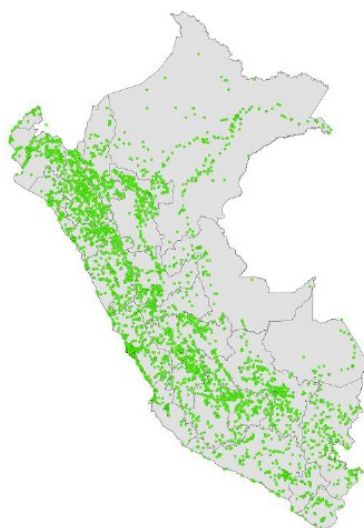
10.1. Anexo N° 1: Mapas de EBC desagregados por tecnología y operador



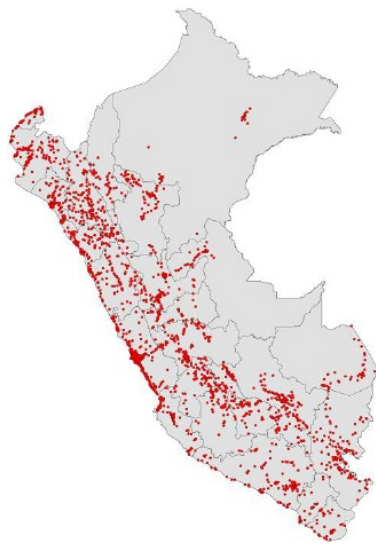
EBC 2G de América Móvil



EBC 2G de Entel



EBC 2G de Telefónica del Perú



EBC 3G de América Movil



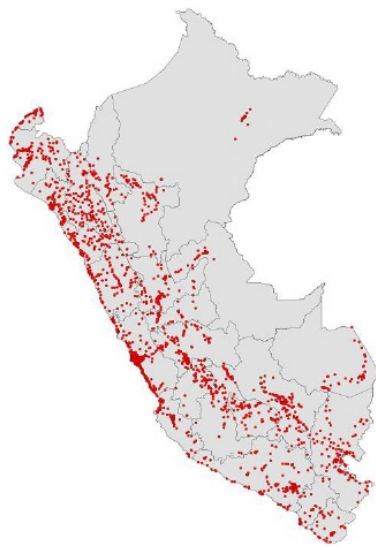
EBC 3G de Entel



EBC 3G de Telefónica del Perú



EBC 3G de Viettel



EBC 4G de América Movil



EBC 4G de Entel



EBC 4G de Telefónica del Perú



EBC 4G de Viettel

10.2. Anexo N° 2: Incidencia de pobreza monetaria total en cada grupo robusto de distritos

INCIDENCIA DE POBREZA MONETARIA TOTAL DE LOS GRUPOS ROBUSTOS DE DISTRITOS							
Grupos Robustos	Número de distritos	Valor	I.C. al 95 %		C.V	Incidencia de pobreza monetaria total	
			Inferior	Superior		Mínimo	Máximo
1	3	80,5	76,3	84,6	2,6	78,7	81,3
2	15	75,8	73,0	78,6	1,9	72,7	78,2
3	23	70,3	67,9	72,7	1,8	68,6	72,3
4	54	65,2	63,1	67,4	1,7	62,5	68,2
5	47	60,3	58,0	62,5	1,9	58,3	62,5
6	130	54,9	53,3	56,5	1,5	52,7	58,2
7	129	50,8	49,1	52,5	1,7	48,7	52,7
8	197	46,0	44,7	47,3	1,4	43,3	48,6
9	138	41,5	39,8	43,1	2,0	39,5	43,2
10	180	37,1	35,3	38,8	2,4	34,8	39,5
11	115	33,0	31,1	34,8	2,8	31,7	34,8
12	158	29,6	28,0	31,1	2,7	26,7	31,6
13	24	26,2	23,9	28,5	4,5	26,1	26,7
14	185	23,4	22,1	24,7	2,8	21,2	26,0
15	116	19,5	18,3	20,7	3,1	17,8	21,1
16	106	16,5	15,5	17,5	3,2	14,2	17,7
17	33	13,8	12,6	15,0	4,3	13,1	14,2
18	43	12,1	11,0	13,3	4,9	11,5	13,1
19	54	10,3	9,5	11,0	3,9	8,8	11,4
20	26	7,9	7,2	8,6	4,7	7,0	8,7
21	13	6,6	5,7	7,5	6,8	6,3	7,0
22	32	5,3	4,8	5,8	4,9	4,3	6,2
23	31	3,2	2,7	3,8	8,8	2,2	4,0
24	9	1,7	1,3	2,2	13,1	1,4	2,2
25	4	1,2	0,9	1,5	12,2	1,0	1,4
26	6	0,6	0,5	0,8	13,0	0,5	0,8
27	1	0,3	0,1	0,6	41,0	0,3	0,3
28	2	0,1	0,0	0,1	34,4	0,1	0,1

Fuente: Mapa de Incidencia de Pobreza Monetaria 2018, INEL.

Elaboración: Subdirección de Análisis Regulatorio - DPRC - OSIPTEL.

10.3. Anexo N° 3: Selección de modelo de crecimiento no lineal óptimo para estimación de consumo de datos en cada grupo (según AIC)

Grupos de Incidencia	Criterio de Información de Akaike (AIC)					
	Gompertz	Exponencial	Logístico	Log-Logístico	Weibull	Brain-Cousens
Grupo 1	9,55	31,27	12,32	12,39	13,26	26,98
Grupo 2	15,78	25,51	13,97	16,53	14,61	15,51
Grupo 3	16,81	27,79	15,07	15,17	17,70	17,53
Grupo 4	26,91	29,38	17,70	17,95	17,89	19,97
Grupo 5	31,26	31,00	19,45	19,15	20,17	34,54
Grupo 6	21,43	32,54	21,77	21,80	24,24	38,76
Grupo 7	24,26	33,83	27,98	27,97	25,68	40,06
Grupo 8	26,76	34,82	25,64	25,69	26,27	41,22
Grupo 9	25,96	36,02	27,16	27,26	25,35	42,28
Grupo 10	26,20	36,95	25,23	28,64	27,02	43,26
Grupo 11	28,42	37,67	29,63	29,73	27,75	44,16
Grupo 12	39,42	38,56	27,96	29,04	27,09	45,00
Grupo 13	40,19	39,85	28,04	29,86	27,44	45,79
Grupo 14	40,70	40,36	27,83	30,97	28,19	46,52
Grupo 15	30,98	40,93	30,27	31,19	31,57	47,22
Grupo 16	34,35	40,03	30,81	31,74	31,38	47,87
Grupo 17	33,81	42,18	32,36	33,01	32,20	48,50
Grupo 18	29,85	42,74	31,66	31,71	34,42	49,09
Grupo 19	39,93	43,04	37,61	32,25	36,36	49,65
Grupo 20	34,23	43,56	41,91	34,09	34,45	50,19
Grupo 21	35,67	43,69	32,39	36,20	34,30	50,70
Grupo 22	34,64	42,80	37,16	35,73	35,37	51,20
Grupo 23	34,49	54,72	36,77	36,32	34,34	51,67
Grupo 24	36,55	45,24	35,75	38,42	35,47	52,13
Grupo 25	35,83	46,22	38,29	40,35	36,13	52,57
Grupo 26	36,86	45,11	39,93	39,54	36,99	52,99
Grupo 27	38,05	46,81	36,44	39,36	37,91	53,40
Grupo 28	38,09	46,72	39,32	41,30	36,31	53,80

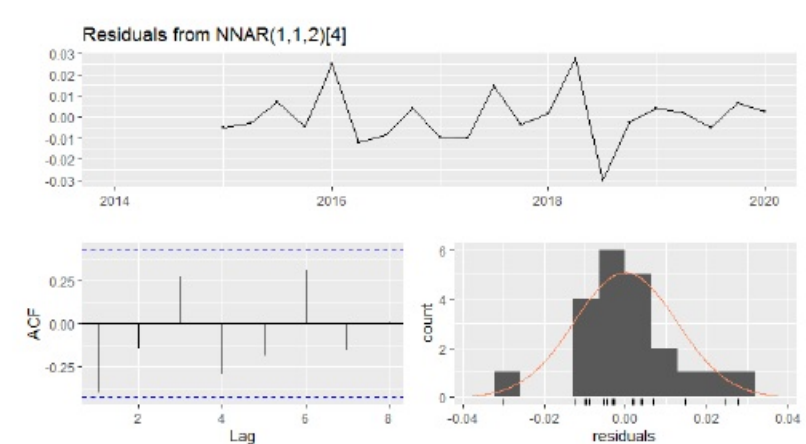
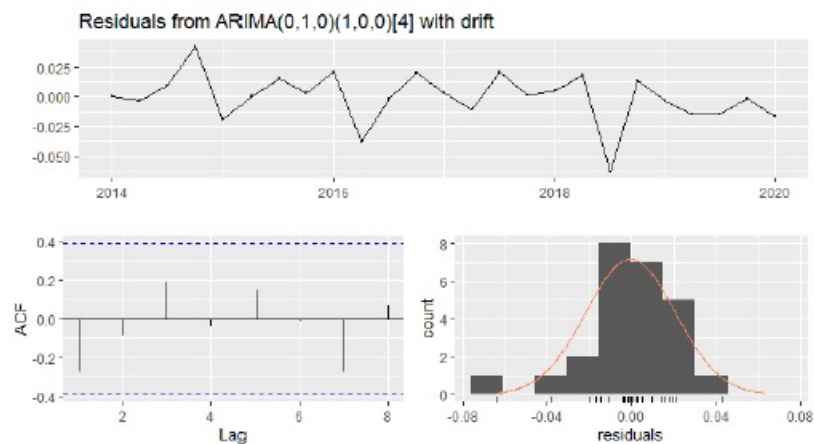
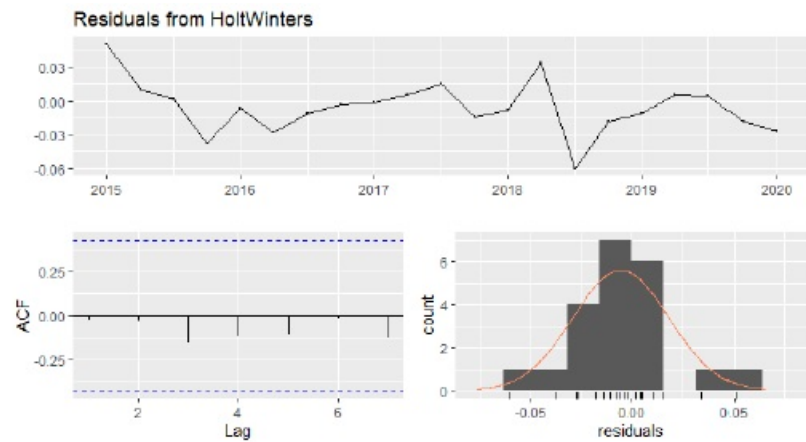
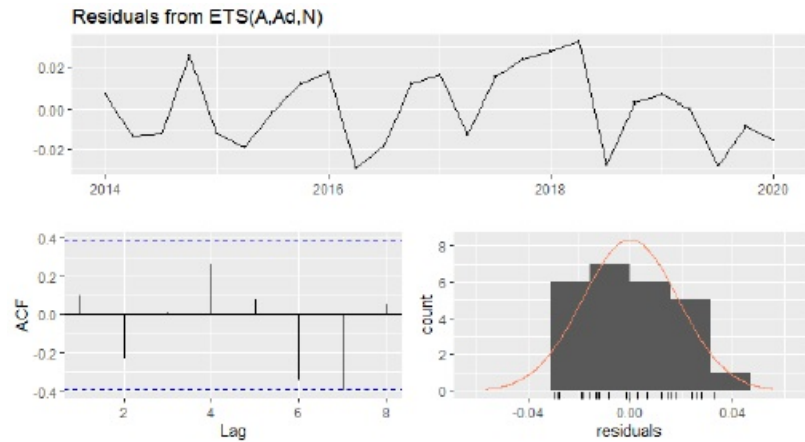
Elaboración: Subdirección de Análisis Regulatorio - DPRC – OSIPTEL.

10.4. Anexo N° 4: Selección de modelo no lineal óptimo para estimación de la participación del tráfico de datos por tecnología (según AIC)

Tecnología	Criterio de Información de Akaike (AIC)					
	Gompertz	Exponencial	Logístico	Log-Logístico	Weibull	Brain-Cousens
3G	-34,00	-15,09	-32,10	-35,61	-39,64	-17,31
4G	-10,82	-2,99	-19,82	-13,50	-30,65	0,53
5G	-19,05	3,03	-19,68	-31,02	-13,85	-34,2

Elaboración: Subdirección de Análisis Regulatorio - DPRC – OSIPTEL.

10.5. Anexo N° 5: Comportamiento de residuales en predicción Holt-Winters, Arima, Suav. Exponencial y Redes Neuronales Autoregresivas



Elaboración: DPRC – OSIPTEL.

10.6. Anexo N° 6: Medidas de error para evaluar la metodología óptima para predicción de penetración del servicio de Internet móvil (3 últimos trimestres de 2020)

Estadístico	Redes Neuronales	ARIMA	Suavizamiento Exponencial	Holt-Winters
RMSE	0,012	0,021	0,018	0,025
MAE	15,78	25,51	13,97	16,53
MPE	-0,036	0,049	-0,10	-0,670
MAPE	1,34	2,32	2,56	2,71
MASE	0,128	0,207	0,227	0,252

Elaboración: DPRC – OSIPTEL.

10.7. Anexo N° 7: Selección de modelo de crecimiento no lineal óptimo para estimación de penetración de Internet móvil por departamento (según AIC)

Región	Penetración del Servicio de Internet móvil por departamento					
	Gompertz	Exponencial	Logístico	Log-Logístico	Weibull	Brain-Cousens
Amazonas	-16,19	-21,83	-37,67	-40,61	-32,15	-16,43
Áncash	-19,50	-22,99	-36,18	-42,33	-33,31	-17,64
Apurímac	-19,38	-23,49	-37,40	-43,88	-33,31	-17,55
Arequipa	-27,85	-20,27	-34,71	-41,89	-33,27	-13,69
Ayacucho	-18,98	-21,00	-39,54	-42,97	-33,02	-17,19
Cajamarca	-20,93	-20,63	-44,95	-39,63	-31,11	-20,39
Callao	-17,42	-20,28	-35,93	-43,97	-38,70	-16,87
Cusco	-19,00	-19,03	-42,23	-42,97	-33,02	-17,20
Huancavelica	-15,73	-21,16	-36,25	-38,92	-31,69	-19,15
Huánuco	-16,22	-21,72	-37,65	-40,63	-32,18	-16,54
Ica	-18,03	-20,73	-25,51	-39,54	-27,91	-13,87
Junín	-18,35	-18,86	-39,07	-43,32	-32,91	-16,53
La Libertad	-27,88	-20,21	-34,65	-41,00	-32,73	-13,80
Lambayeque	-17,04	-20,67	-36,40	-45,23	-28,80	-16,28
Lima	-27,52	-14,46	-32,92	-32,87	-27,20	-11,67
Loreto	-16,97	-22,96	-34,51	-46,22	-32,93	-17,16
Madre de Dios	-27,59	-17,57	-34,10	-35,22	-29,78	-11,56
Moquegua	-27,77	-19,81	-36,72	-39,22	-37,43	-12,02
Pasco	-18,45	-23,69	-38,42	-44,44	-33,02	-16,64
Piura	-20,08	-22,58	-39,38	-42,10	-30,46	-21,05
Puno	-18,46	-21,40	-42,16	-44,50	-33,02	-16,65
San Martín	-15,91	-21,37	-36,65	-41,11	-31,87	-20,43
Tacna	-32,99	-19,78	-35,58	-36,12	-29,96	-11,85
Tumbes	-28,02	-20,55	-32,08	-40,69	-31,10	-14,07
Ucayali	-20,85	-20,59	-30,93	-38,58	-31,04	-16,40

Elaboración: Subdirección de Análisis Regulatorio - DPRC – OSIPTEL.

10.8. Anexo N° 8: Selección de modelo de crecimiento no lineal óptimo para estimación de participación de mercado (según AIC)

Empresa	Gompertz	Exponencial	Logístico	Log-Logístico	Weibull	Brain-Cousens
AM	-40,22	-41,66	-51,57	-66,59	-54,03	-39,00
TDP	-43,55	-44,72	-55,57	-60,47	-58,05	-42,54
EN	-45,59	-46,95	-57,45	-68,75	-59,94	-106,99
VT	-52,82	-55,63	-64,96	-74,75	-67,48	-54,24

TDP=Telefónica del Perú; AM=América Móvil; EN=Entel; VT=Viettel.

Elaboración: Subdirección de Análisis Regulatorio - DPRC – OSIPTEL.