

Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT)

Documentación del Modelo de Costos para la determinación de tarifas de los Servicios de ITX, Enlaces Dedicados, Usuario Visitante, así como el Servicio de Concentración y Distribución 2024-2026.

# Índice

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introducción</b>                        | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>Arquitectura general del modelo</b>     | <b>2</b>  |
| <b>3</b> | <b>Insumos clave del modelo</b>            | <b>9</b>  |
| 3.1      | Demanda                                    | 9         |
| 3.2      | Caracterización geográfica                 | 21        |
| 3.3      | Parametrización de elementos de red        | 30        |
| 3.4      | Otros insumos relevantes                   | 36        |
| <b>4</b> | <b>Dimensionado de las redes modeladas</b> | <b>40</b> |
| 4.1      | Dimensionado de la red fija                | 40        |
| 4.2      | Diseño de la red móvil                     | 43        |
| <b>5</b> | <b>Cálculos de los costos de red</b>       | <b>47</b> |
| 5.1      | Cálculos de costos de red fija y móvil     | 47        |
| <b>6</b> | <b>Costos de los servicios</b>             | <b>48</b> |
| 6.1      | Servicios de red móvil                     | 48        |
| 6.2      | Servicios de red fija                      | 49        |

# 1 Introducción

El Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT) ha llevado a cabo el proceso para el desarrollo del modelo de costos integral cuyo objetivo es dar soporte en la fijación de las tarifas para diversos servicios mayoristas provistos por los operadores de telecomunicaciones en México para el periodo 2024–26:

- Terminación de voz, SMS y tránsito en redes fijas y móviles
- Servicios de usuario visitante
- Servicio de concentración y distribución (SCyD) asociado al servicio de acceso indirecto al bucle (SAIB)
- Servicios de enlaces dedicados

Para ello, se ha desarrollado un modelo integral de cálculo ascendente (*bottom-up*) de costos incrementales de largo plazo (CILP) para redes fijas y móviles, así como los módulos adicionales para el estudio de servicios específicos.

El objetivo de este documento es describir los principales insumos y cálculos que componen el modelo de costos. Con este fin, el presente informe está estructurado como sigue:

- Sección 1. Introducción
- Sección 2. Arquitectura general del modelo
- Sección 3. Insumos clave del modelo
- Sección 4. Dimensionado
- Sección 5. Cálculos de los costos de red
- Sección 6. Costos de los servicios

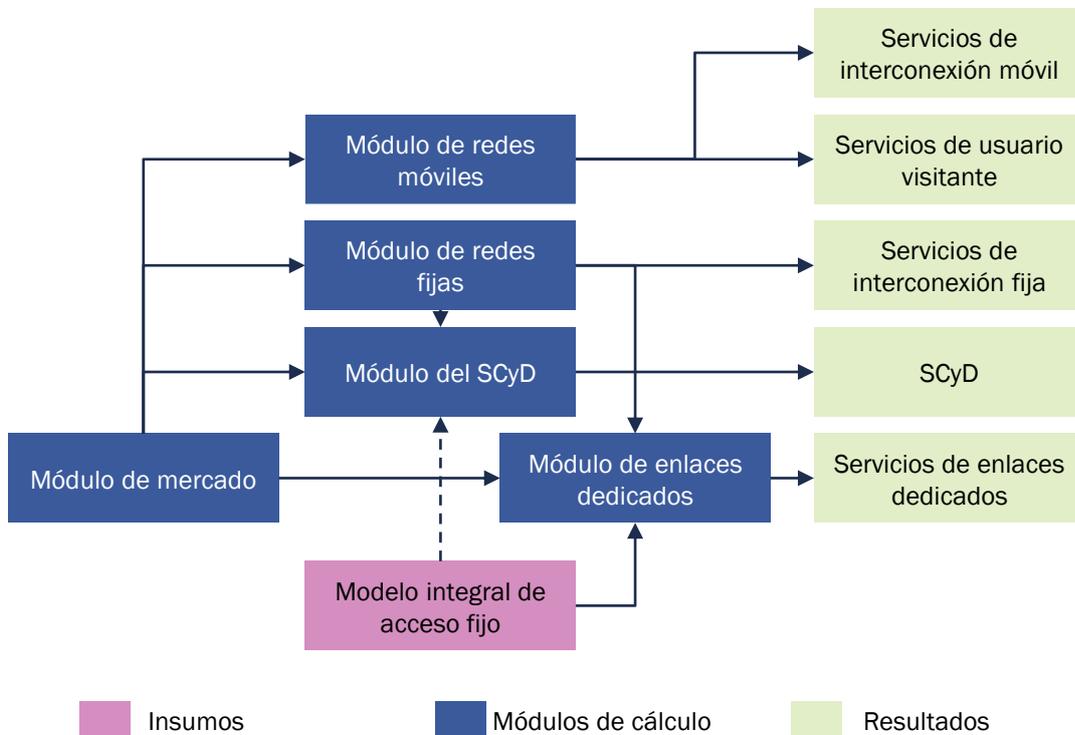
## 2 Arquitectura general del modelo

El objetivo del modelo de costos es el de estimar los costos asociados a la provisión de diversos servicios mayoristas regulados, a saber:

- Servicios de interconexión móvil
- Servicios de usuario visitante
- Servicios de interconexión fija
- Servicio de concentración y distribución asociado al SAIB
- Servicios de enlaces dedicados

Cada uno de esos servicios, tiene una serie de consideraciones y particularidades que dificulta la estimación de los costos mediante un único módulo de cálculo. Por ejemplo, los servicios de usuario visitante hacen uso de una red móvil, con las particularidades del operador modelado para redes móviles expuestas en el documento de metodología de costos, mientras que los servicios de enlaces dedicados hacen uso de una red fija, modelados para un operador hipotético basado en el AEP de redes fijas. Por este motivo, se hace necesario un modelo integral que sea capaz de desagregar cada uno de los cálculos relevantes para asegurar su precisión y consistencia metodológica. Con este fin, se ha desarrollado un modelo que incorpora diferentes módulos diferenciados:

Figura 2.1: Esquema conceptual de los modelos y módulos regulatorios [Fuente: Analysys Mason, 2023]

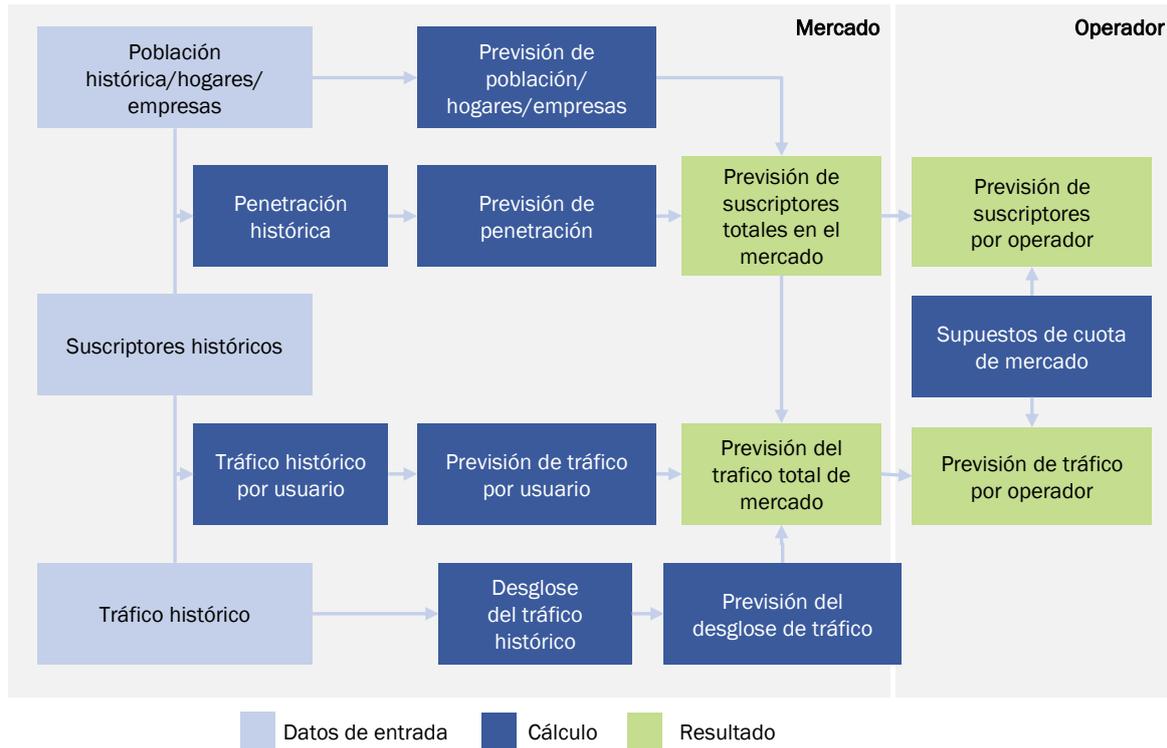


A continuación, se describe la arquitectura seguida para la construcción de cada uno de los módulos de cálculo que componen el modelo.

### 2.1.1 Módulo de mercado

El módulo de mercado tiene la función de arrojar proyecciones sobre la evolución del tráfico de los diferentes servicios ofrecidos por los operadores fijos y móviles. Estas proyecciones son utilizadas para alimentar los distintos módulos de cálculo, con el fin de poder estimar el despliegue de red necesario por parte de los operadores modelados. La aproximación seguida en el modelo de mercado para la estimación de la demanda de los operadores modelados se presenta a continuación:

Figura 2.2: Estructura de módulo de mercado [Fuente: Analysys Mason, 2023]



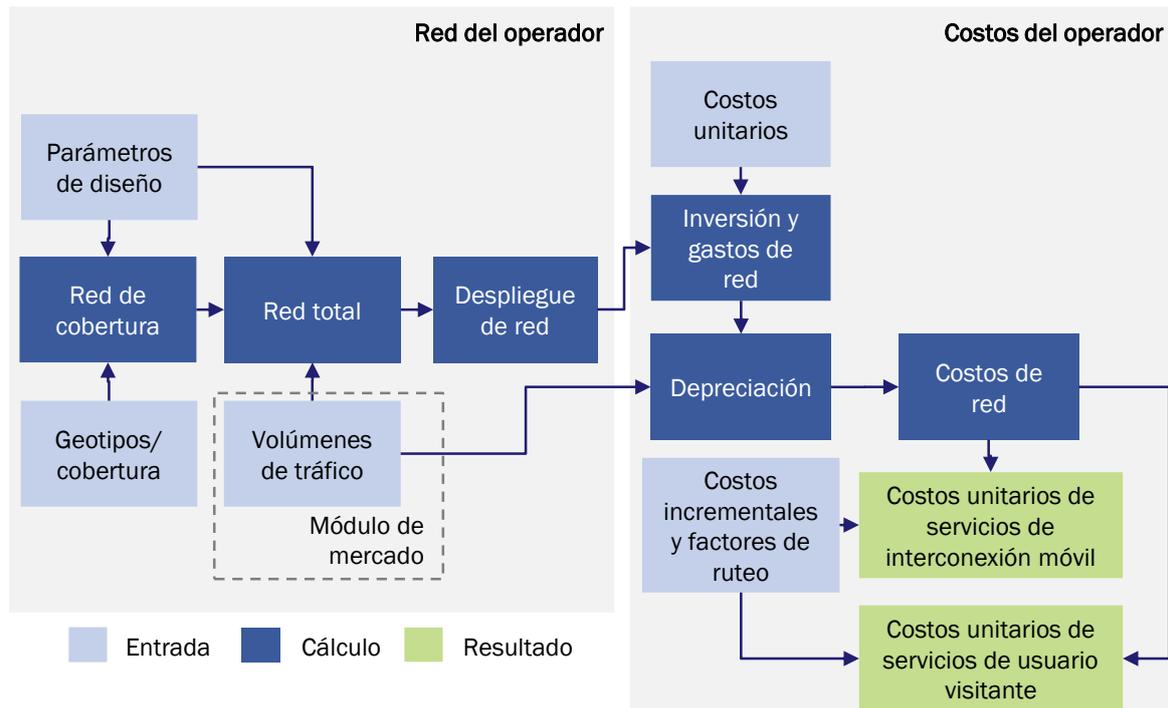
### 2.1.2 Módulo de red móvil

El módulo de red móvil se estructura en distintos bloques (en este caso, 12 bloques), implementados en hojas de cálculo separadas. Los distintos módulos cubren, principalmente, el dimensionado de la red del operador modelado y el costeo de dicha red.

Si bien, algunos insumos provienen de otros módulos (el módulo de mercado proporciona los volúmenes de tráfico), el resto de insumos son estimaciones basadas en información recibida de los operadores u otros modelos de interconexión.

El resultado final del módulo son los costos unitarios de los distintos servicios móviles (interconexión móvil, usuario visitante móvil).

Figura 2.3: Estructura del módulo de red móvil [Fuente: Analysys Mason, 2023]



### 2.1.3 Módulo de red fija

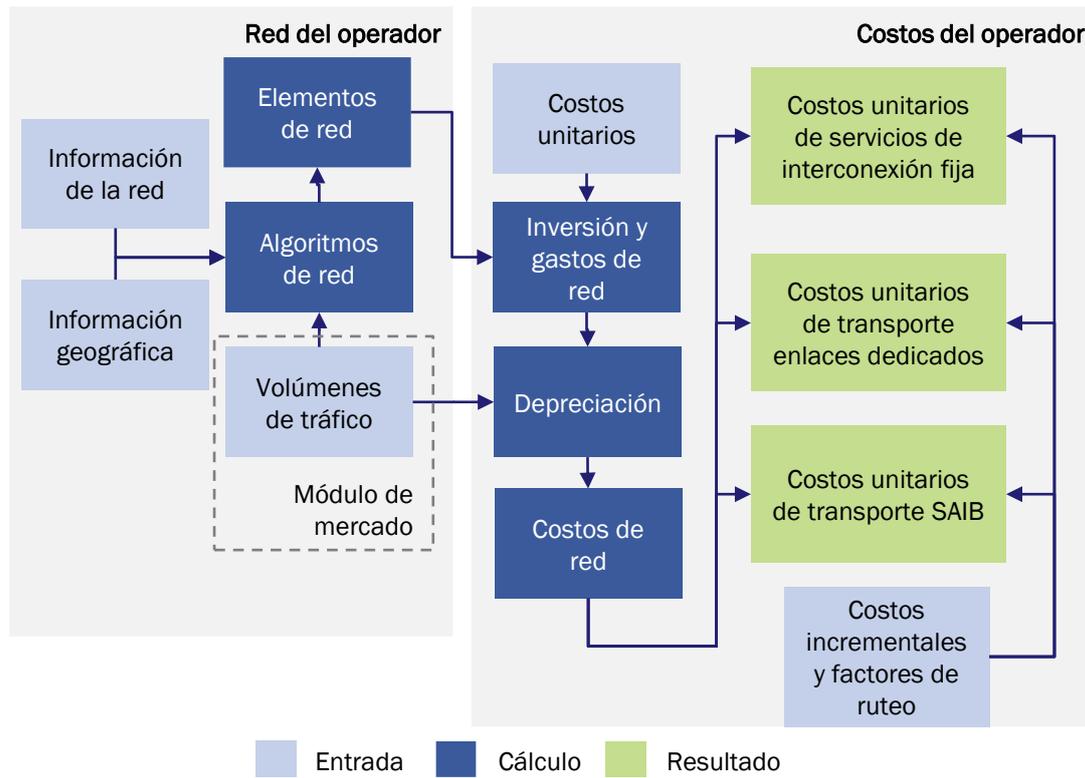
El módulo de red fija se estructura en distintos bloques, implementados en hojas de cálculo separadas que cubren tres aspectos principales:

- Dimensionado de los requerimientos y diseño de red
- Costeo de la red
- Cálculo de los costos por servicio

El módulo se alimenta de diferentes insumos que ayudan a dimensionar la red del operador y costear los servicios. Como se ve en la siguiente imagen, el módulo de mercado proporciona los volúmenes de tráfico del operador hipotético modelado.

El resultado final del módulo son los costos unitarios de los distintos servicios fijos (interconexión fija, transporte de enlaces dedicados y servicio de concentración y distribución asociado al SAIB).

Figura 2.4: Estructura del modelo fijo [Fuente: Analysys Mason, 2023]



#### 2.1.4 Arquitectura del módulo de enlaces dedicados

El módulo de enlaces dedicados tiene la función de calcular el costo total del servicio de enlaces dedicados desglosado para las distintas velocidades disponibles. Para esto, el módulo considera el costo del transporte proveniente del módulo de redes fijas además de otros costos que pudieran existir, como por ejemplo, costos del cableado de acceso. El módulo se estructura en dos bloques principales, con el objetivo de costear los principales grupos de servicios involucrados: enlaces dedicados entre localidades y enlaces locales. Estos bloques tienen una estructura similar, aunque tienen ciertas diferencias en términos de sus insumos:

Figura 2.5: Estructura del módulo de enlaces dedicados – enlaces locales [Fuente: Analysys Mason, 2023]

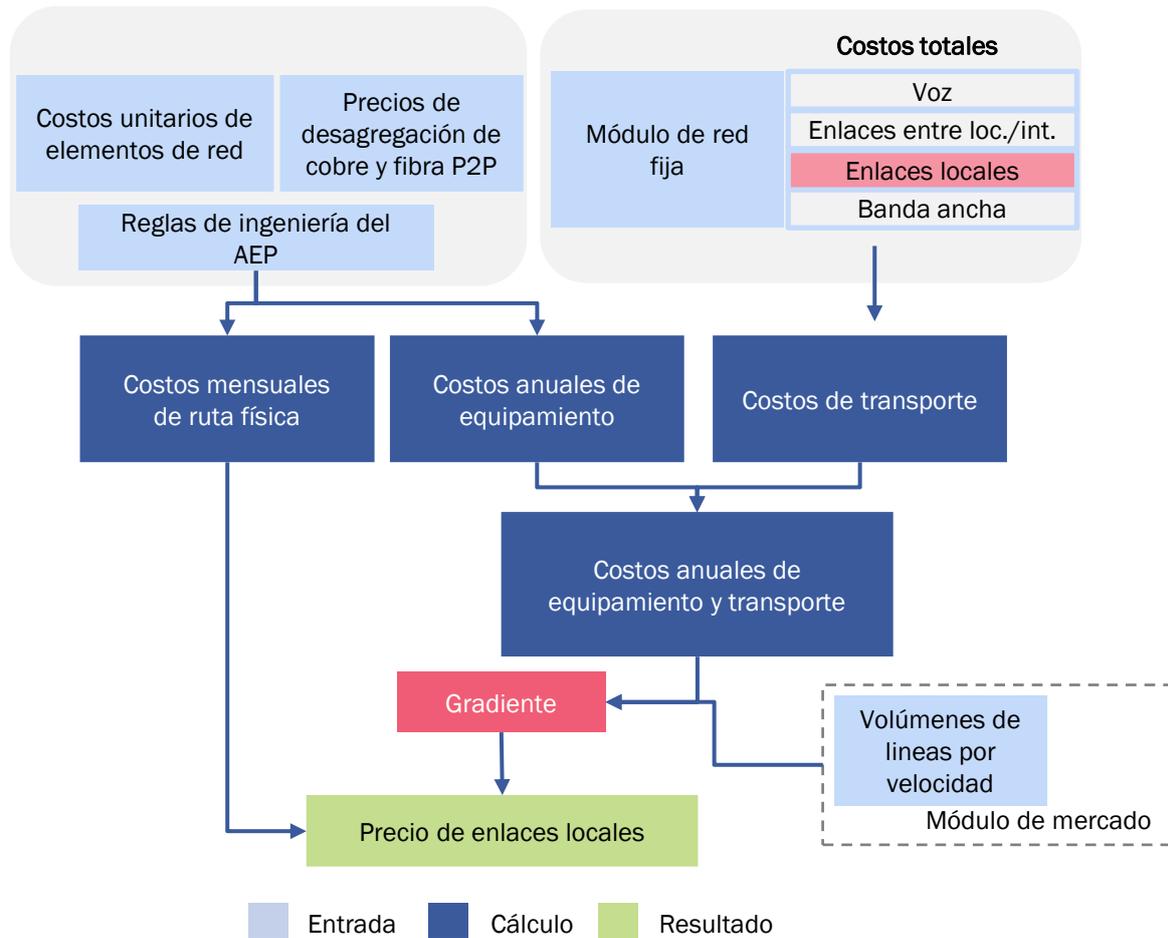
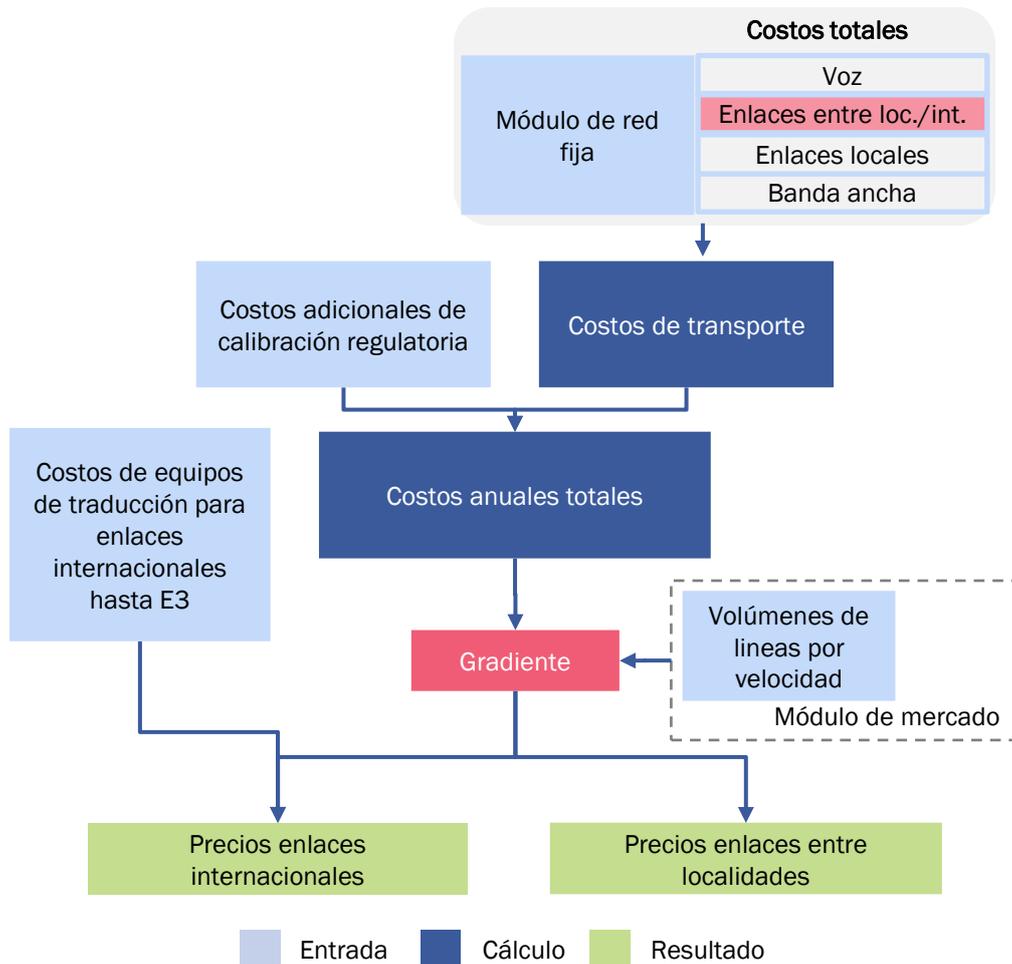


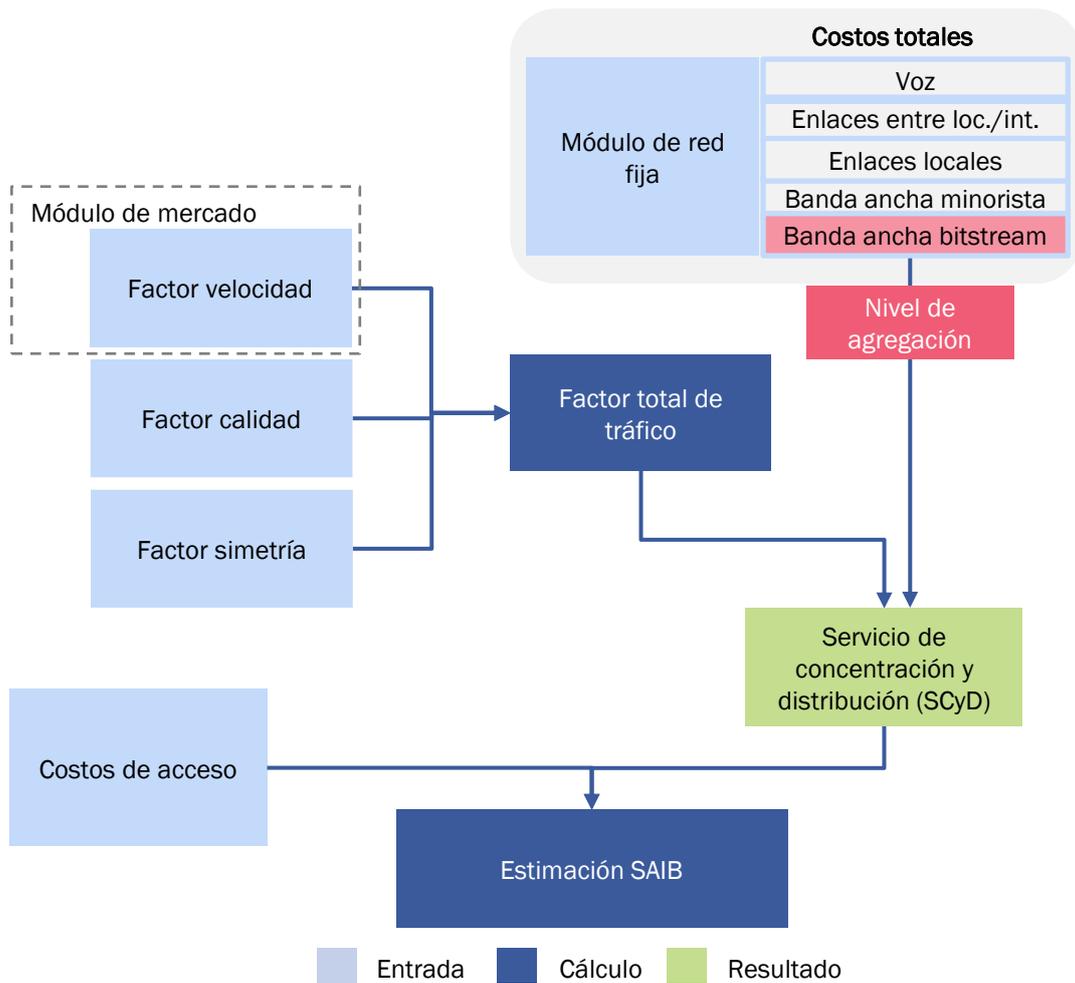
Figura 2.6: Estructura del módulo de enlaces dedicados – enlaces dedicados entre localidades e internacionales [Fuente: Analysys Mason, 2023]



### 2.1.5 Arquitectura del módulo del servicio de concentración y distribución

De manera similar al módulo de enlaces dedicados, el módulo para el cálculo de los costos asociados al servicio de concentración y distribución asociado al SAIB, tiene la función de calcular el costo de este servicio desglosado para las distintas velocidades y modalidades de calidad y nivel de agregación disponibles. Para esto, el módulo considera el costo del transporte proveniente del módulo de redes fijas, así como una serie de parámetros de red para el cálculo. De manera adicional, el módulo incorpora los costos del acceso asociado a la línea SAIB a modo meramente informativo.

Figura 2.7: Estructura del módulo del SAIB [Fuente: Analysys Mason, 2023]



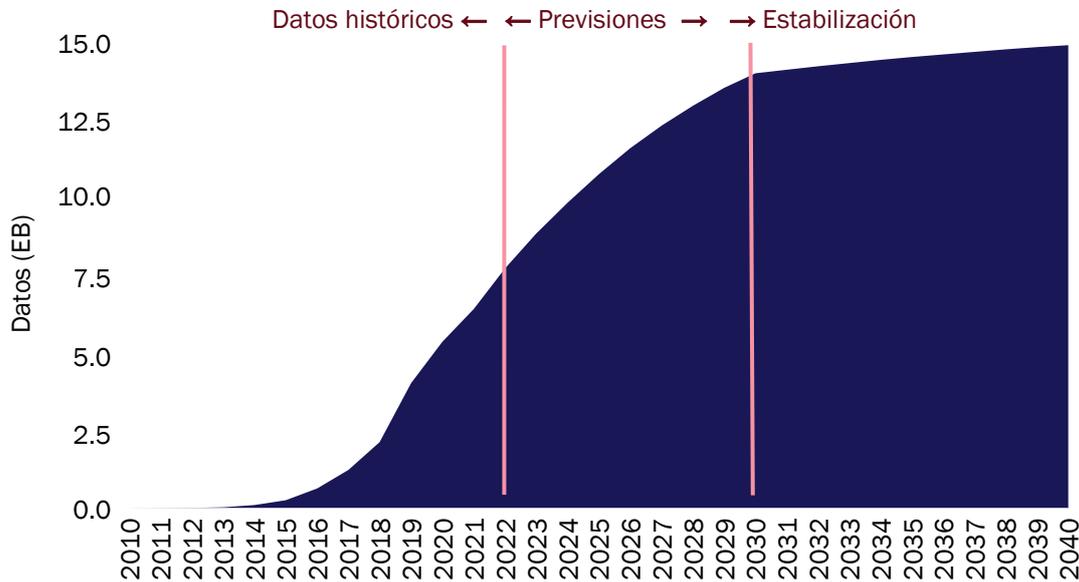
## 3 Insumos clave del modelo

### 3.1 Demanda

La estimación de los niveles de demanda de los volúmenes de los servicios se lleva a cabo en el módulo de mercado. Como hemos mostrado en la Figura 2.2, para calcular la evolución de la demanda en el módulo de mercado, se utilizan proyecciones de suscriptores y tráfico por suscriptor. En la medida de lo posible, el módulo de mercado se basa en la evolución histórica del mercado proporcionada por los operadores o en datos del IFT (BIT).

La demanda de los servicios debe estimarse para todos los años incluidos en el modelo de costos, esto es, desde 2010 al año 2060. Dado que realizar una previsión detallada y precisa para el periodo completo del modelo (aproximadamente 40 años) no es realista, el modelo se centra en realizar una previsión para un periodo razonable de ocho años. Después de este periodo, el modelo prevé una estabilización del mercado, lo que implica que tanto el tráfico por suscriptor como la penetración de suscriptores se mantengan constantes en el tiempo. A modo de ejemplo, la Figura 3.1 muestra la evolución de datos de los servicios móviles.

Figura 3.1: Ejemplo de evolución del mercado para los servicios de datos móvil [Fuente: Analysys Mason, 2023]



Es importante destacar que el módulo de mercado no incorpora en sus proyecciones tecnologías futuras más allá del 5G que no estén actualmente presentes en México. El módulo se enfoca en analizar la demanda actual y predecir su evolución en función de las tendencias y datos históricos disponibles.

Las secciones a continuación detallan las estimaciones de demanda realizadas para alimentar el modelo de costos.

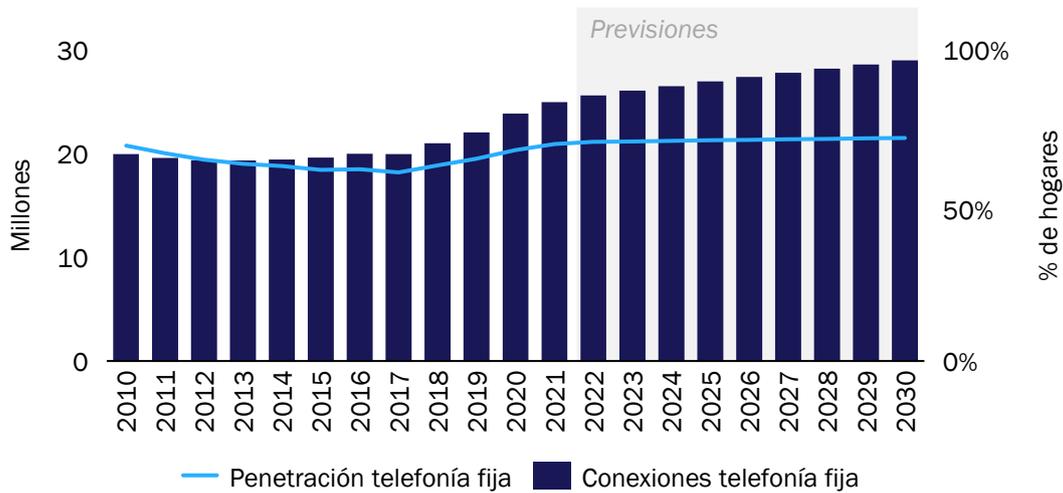
### 3.1.1 Servicios de red fija

#### Telefonía fija

Para estimar la demanda de los servicios de telefonía fija a futuro, el módulo de mercado parte del histórico del número de líneas de telefonía fija en México, con base en datos del BIT. A partir de este dato y del número de hogares en México extraído del INEGI, podemos estimar la penetración actual e histórica del servicio. Esta penetración se proyecta a futuro utilizando una curva sigmoide.

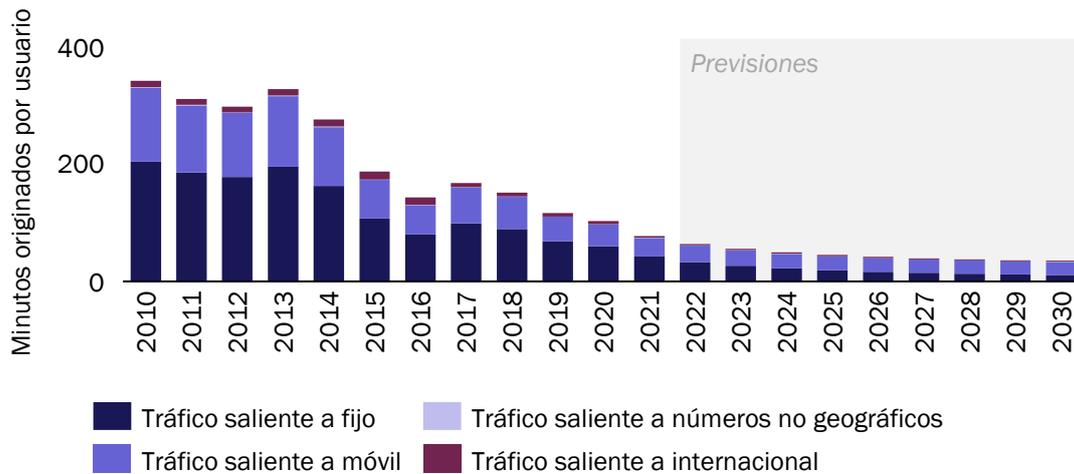
Para este servicio, se estima que la penetración alcance un valor cercano al 72% en 2030, manteniéndose constante desde ese momento. La Figura 3.2 muestra la evolución de líneas y penetración incluidas en el modelo de costos.

Figura 3.2 Previsiones de líneas y penetración fija [Fuente: Analysys Mason, 2023]



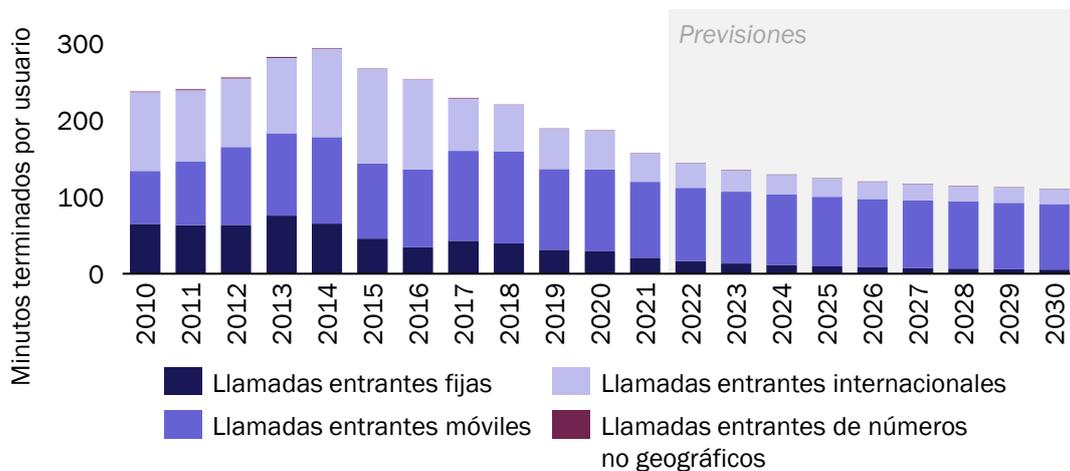
Una vez estimadas las líneas de telefonía fija para el periodo del modelo, se obtiene el tráfico saliente generado por usuario. En 2021, según los datos del BIT, el tráfico saliente fijo total fue de 22 300 millones de minutos anuales, lo cual equivale a 76 minutos por suscriptor y mes. Se estima que el tráfico por usuario decrecerá hasta llegar a 34 minutos por suscriptor y mes, alineado con la fuerte tendencia descendente que se observa en los últimos años.

Figura 3.3: Previsiones del tráfico saliente por usuario al mes [Fuente: Analysys Mason, 2023]



El tráfico entrante se estima empleando la misma metodología y se asume que este decrecerá de 46 000 millones de minutos (157 minutos por usuario y mes) en 2021 a 38 000 de minutos en 2030 (110 minutos por usuario y mes), principalmente debido a una mayor tendencia de uso de servicios móviles como sustituto.

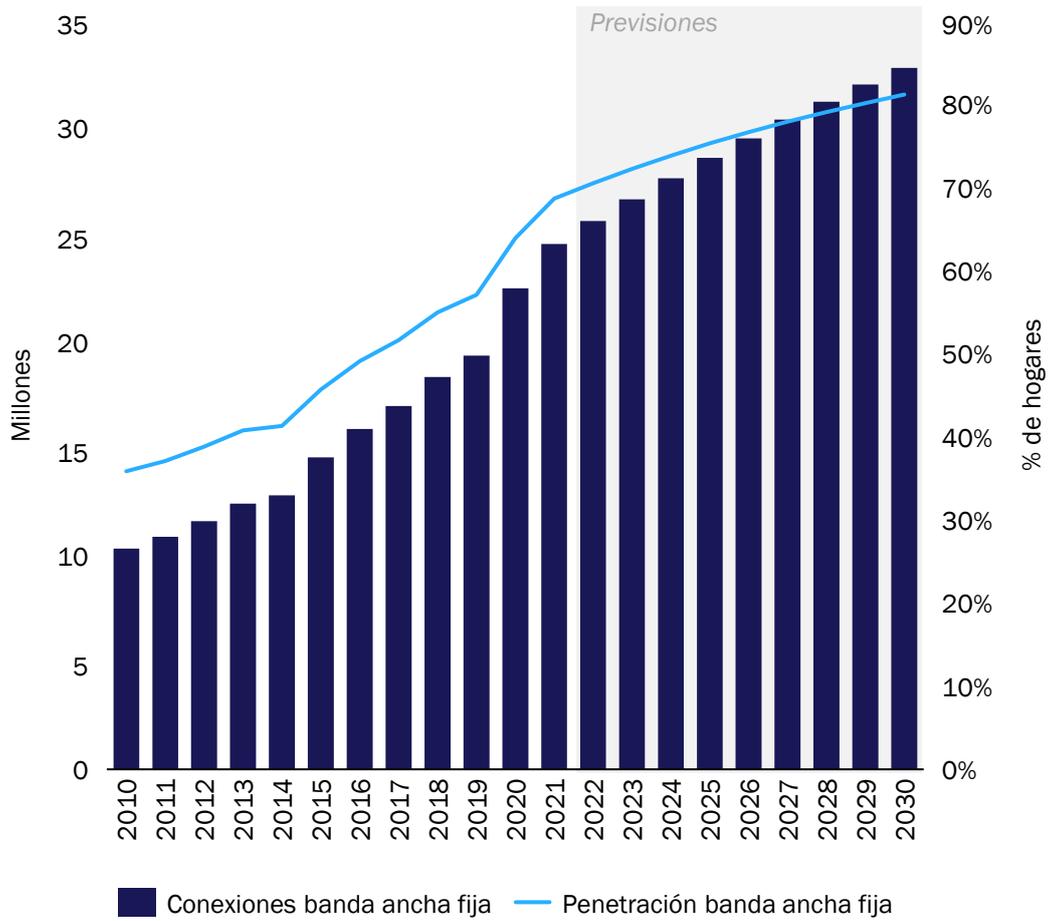
Figura 3.4: Previsiones del tráfico terminado por usuario al mes [Fuente: Analysys Mason, 2023]



### Banda ancha fija

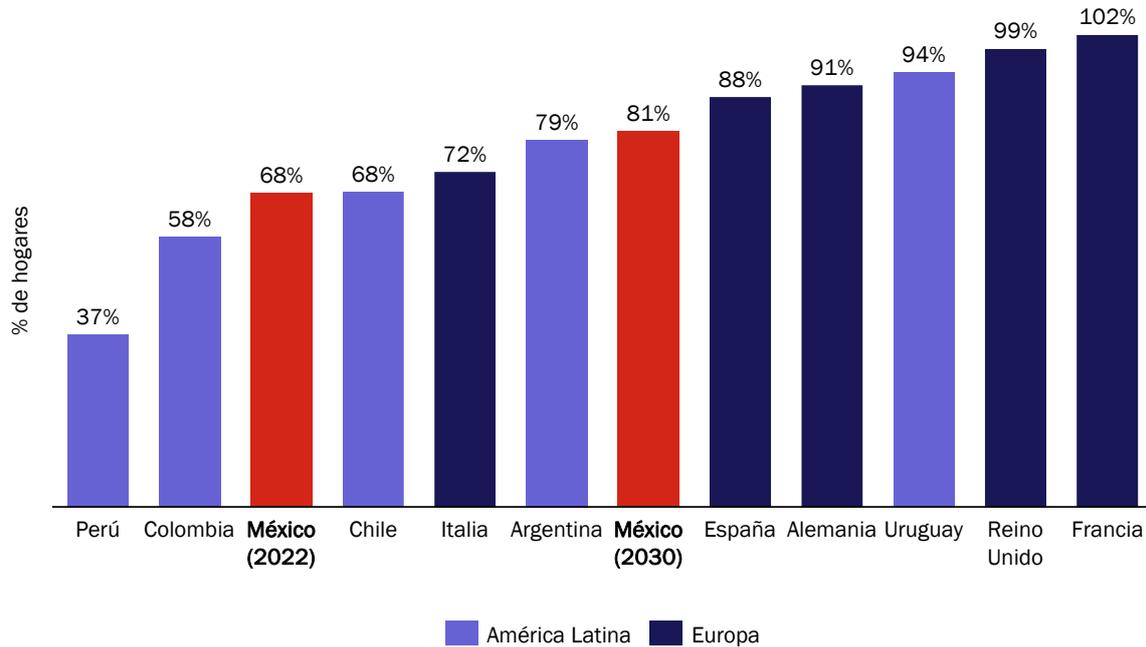
Al igual que en el caso de la telefonía fija, el modelo estima la demanda futura de los servicios de banda ancha fija partiendo de la penetración histórica sobre hogares y proyectándola a futuro para llegar a un nivel de saturación razonable a largo plazo. En este caso, la penetración de banda ancha actualmente se encuentra en torno al 69% en México, y prevemos que pueda llegar al 81% en 2030 (ligeramente superior a la penetración de telefonía fija, ya que creemos que la telefonía fija tenderá a una menor relevancia, tal y como está ocurriendo en otros países):

Figura 3.5: Evolución de la demanda de banda ancha fija [Fuente: Analysys Mason, 2023]



Esta previsión de penetración se aproxima a niveles cercanos a los registrados actualmente en otros países de Europa y Latinoamérica, que cuentan con una mayor adopción de los servicios de banda ancha.

Figura 3.6: Comparativa internacional de la penetración de banda ancha fija en 2022 por hogar [Fuente: Analysys Mason, 2023]

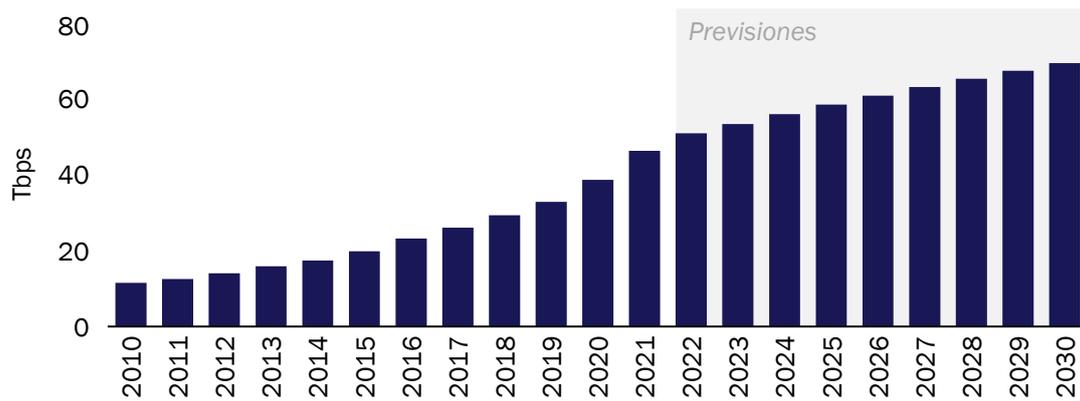


Para determinar de tráfico de datos de líneas de banda ancha, se ha estimado la velocidad nominal promedio por línea. Para este cálculo, se han tomado los datos históricos de los operadores, extraídos a partir de información provista en el proceso de recopilación de datos. Se ha asumido un perfil de velocidad creciente en el tiempo, en línea con la tendencia histórica. Cabe destacar que la velocidad media contratada no corresponde a la capacidad real de red ocupada por cada línea, si no que esta última suele ser considerablemente inferior. El tráfico real consumido en la red para cada velocidad nominal contratada ha sido estimado a partir de datos proporcionados por los operadores.

Además del tráfico por línea, la estimación del tráfico efectivo también ha tenido en cuenta un ajuste en función de las características de calidad ofertadas por los operadores.

Como resultado, el tráfico estimado de servicios de banda ancha que resulta del módulo de mercado es la siguiente:

Figura 3.7: Tráfico de banda ancha minorista [Fuente: Analysys Mason, 2023]



El módulo de mercado desagrega la demanda total de servicios de banda ancha en función de si se originan en clientes minoristas o mayoristas (SAIB) en el caso del operador hipotético basado en el AEP. En el caso del SAIB, no se incluye el tráfico y líneas de banda ancha comercializadas en favor de otras empresas del AEP (esto es, líneas vendidas por Red Nacional Última Milla a Telmex). Estas líneas se consideran equivalentes a las líneas minoristas desde un punto de vista de red, dado que generan tráfico en la red del operador modelado en todas las capas de red, independientemente de si la agregación se lleva a cabo a nivel local, regional o nacional.

#### *Enlaces dedicados*

Como parte de la demanda de servicios fijos, el módulo de mercado incluye el volumen de enlaces y tráfico de enlaces dedicados locales y de larga distancia para el AEP. El tráfico total de los enlaces dedicados alimenta el módulo de redes fijas, para que en este se pueda calcular el costo total del transporte de estos servicios. Por otro lado, el número de líneas de enlaces alimenta el módulo de enlaces dedicados, donde consta la desagregación de la demanda por las distintas velocidades para el cálculo de los costos para cada velocidad.

La demanda se calcula a partir de datos recibidos por el AEP solicitados en el requerimiento de información. Se ha analizado las tendencias históricas de la demanda para distintos perfiles de velocidad y tipo de enlaces (TDM y Ethernet) y se proyecta la demanda acorde con el crecimiento o decrecimiento observado:

Los datos muestran que, si bien el número total de enlaces se mantiene relativamente estable en el tiempo, existe una tendencia hacia migración desde servicios TDM hacia servicios Ethernet, así como un incremento en el tráfico total de las líneas.

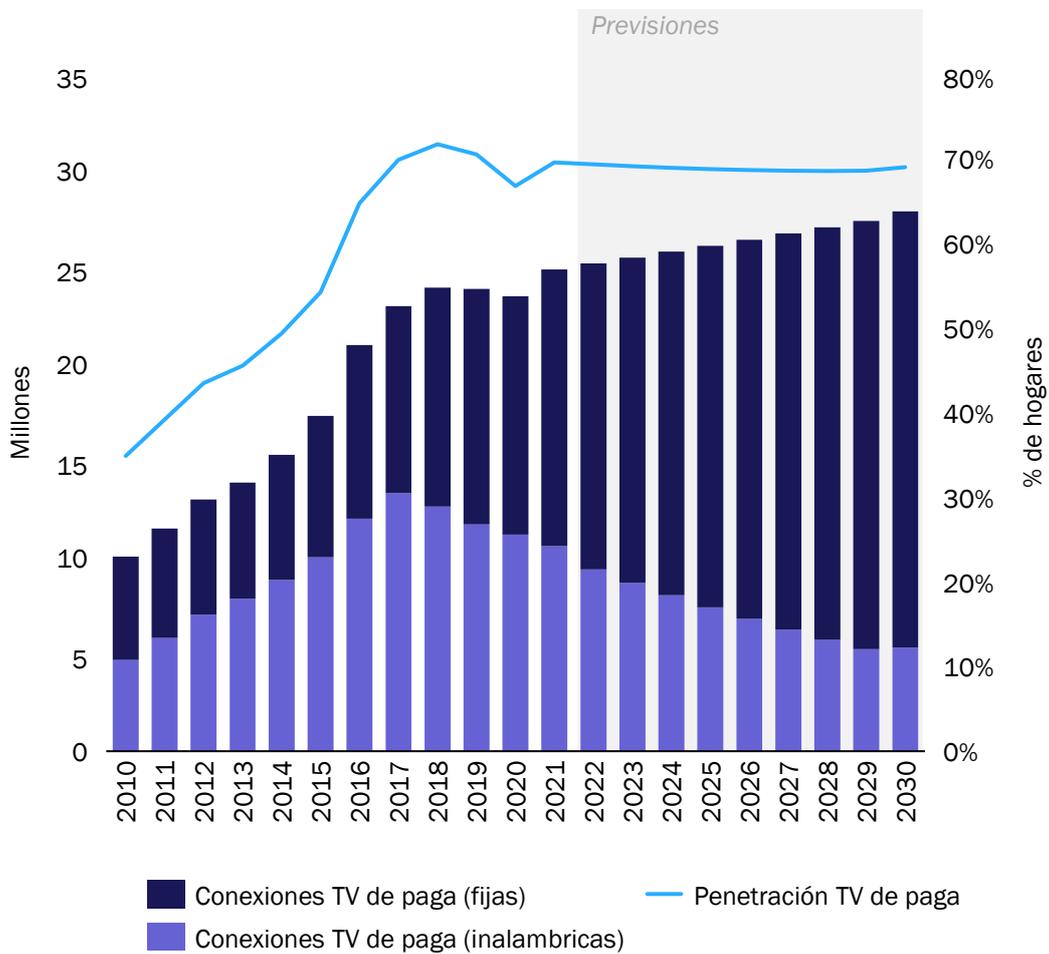
En el caso de los enlaces locales, el módulo de enlaces dedicados considera también la proporción de enlaces coubicados, es decir, enlaces donde el tráfico se entrega en la propia central del AEP y no en el emplazamiento de cliente. Estos han sido estimados en 20% de los enlaces locales totales, basado en la información proporcionada por el AEP. El modelo asume la misma proporción de enlaces coubicados en el tiempo.

### TV de paga

Para el servicio de televisión de paga, se asume que la penetración por hogar se quedará relativamente estable en 70%. Esto es un efecto de dos factores:

- Esperamos que las conexiones de televisión inalámbricas disminuyan considerablemente del 30% del total de líneas que representaron en 2021 al 15% en 2030, debido al aumento de infraestructura fija disponible
- Esperamos que las conexiones de televisión de paga fijas continúen creciendo, pero a menor ritmo debido al efecto de sustitución por servicios OTTs

Figura 3.8: Previsiones de penetración de televisión de paga [Fuente: Analysys Mason, 2023]



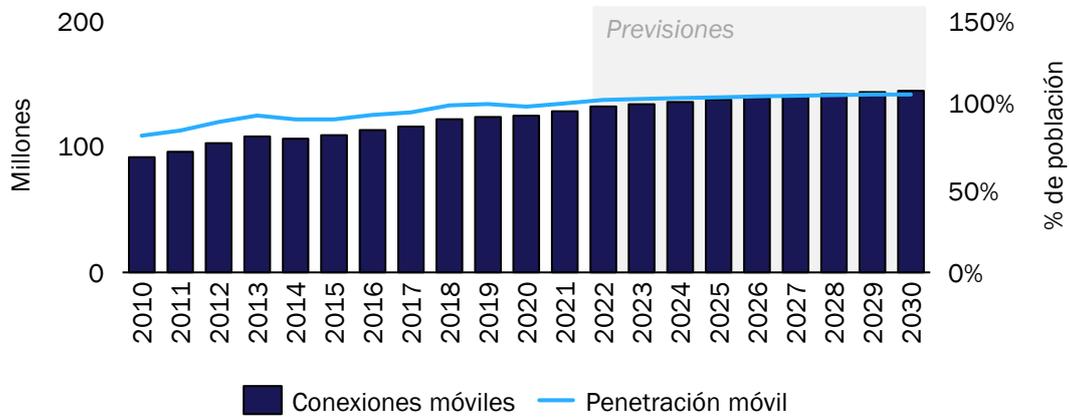
### 3.1.2 Servicios de red móvil

#### Telefonía móvil

Para proyectar la demanda de los servicios de telefonía móvil, el módulo de mercado estima la penetración sobre la población partiendo de los datos históricos de líneas móviles publicados en el BIT. Estos datos se proyectan a futuro mediante una función sigmoide para alcanzar una penetración objetivo

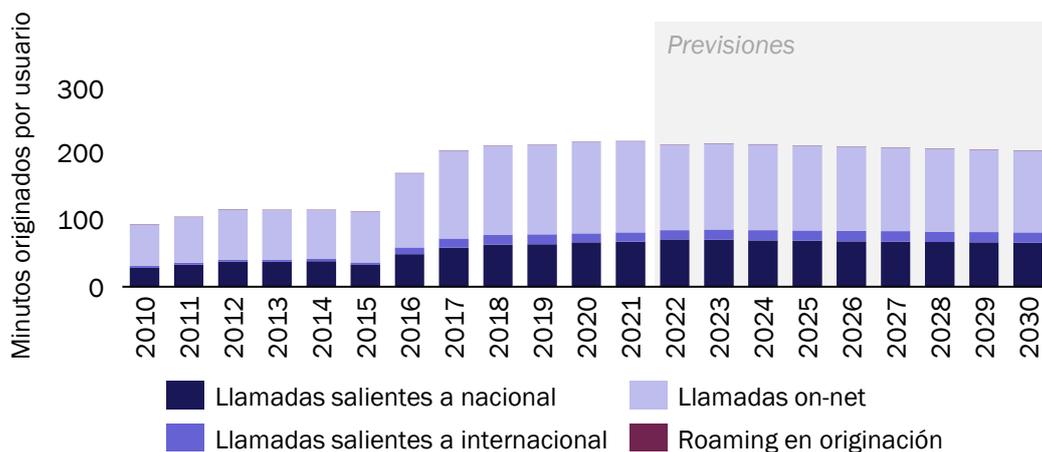
a largo plazo. Actualmente, la penetración móvil en México es de 99%, y se espera que aumente a 105% en el 2030, año en el que se estabilizaría.

Figura 3.9: Previsiones de penetración móvil [Fuente: Analysys Mason, 2023]



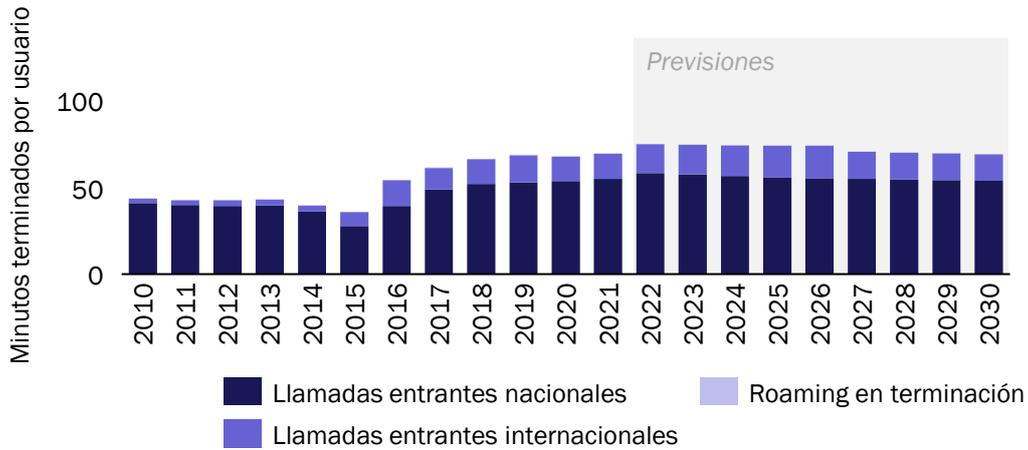
Al igual que los servicios fijos, para estimar la evolución del tráfico de voz móvil, se parte del tráfico por usuario actual y se proyecta a futuro para luego obtener el tráfico total al multiplicarlo por el número de usuarios. En 2021 el tráfico por usuario fue de 216 minutos al mes, y estimamos que este decrezca hasta 202 minutos. Sin embargo, debido al crecimiento de usuarios, el tráfico total se estima que crecerá de 323 200 millones de minutos anuales en 2021 hasta alcanzar los 344 300 millones de minutos anuales en 2030.

Figura 3.10: Previsiones del tráfico originado por usuarios al mes [Fuente: Analysys Mason, 2023]



En términos de tráfico entrante en redes móviles, el número de minutos aumentará también de los 101 700 millones en 2021 hasta los más de 115 400 millones en 2030:

Figura 3.11: Previsiones del tráfico terminado por usuarios al mes [Fuente: Analysys Mason, 2023]

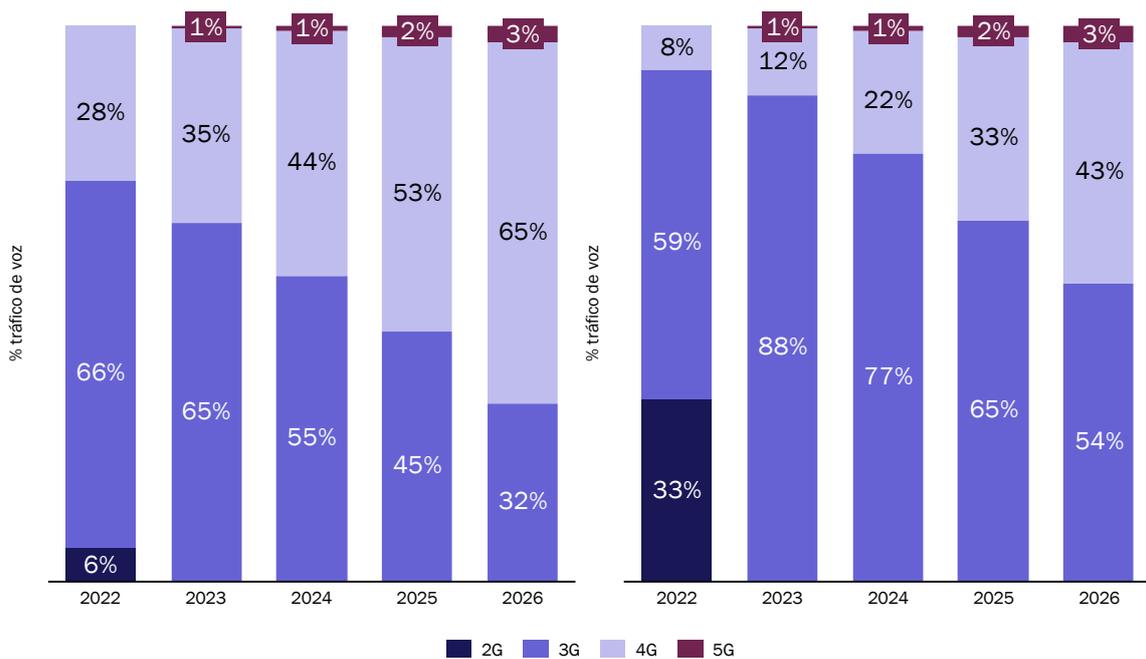


Tanto el tráfico originado como el terminado son repartidos en el modelo móvil entre las distintas tecnologías existentes (2G, 3G, 4G y 5G). Este reparto ha sido realizado basándose en datos proporcionados por los operadores y se ha evolucionado en el tiempo de tal manera que:

- se asume un apagado en la red 2G en 2023 tanto para el AEP como el CS
- la adopción de VoLTE es menor para el CS que para el AEP
- no se asume ninguna tecnología nueva más allá de las existentes (p.ej. 6G)

A continuación, se muestra el reparto que el modelo asume tanto para el AEP como para el CS, este reparto aplica a el tráfico originado y terminado:

Figura 3.12: Reparto de tráfico de voz por tecnología para el AEP (izquierda) y el CS (derecha) [Fuente: Analysys Mason, 2023]



### Datos móviles

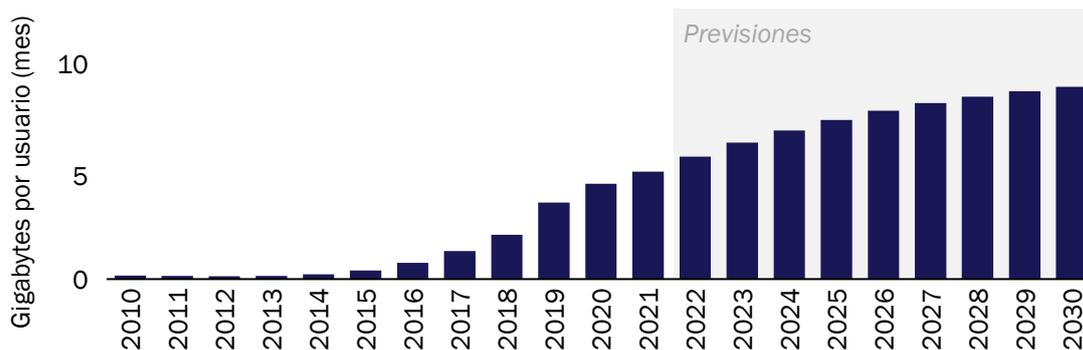
Para el servicio de internet móvil, se estima que la penetración crecerá desde el 83% de la población en el 2021 hasta cerca del 95% en el año 2030, en línea con comparativas internacionales. La Figura 3.13 muestra la evolución de penetración y conexiones resultante del módulo fijo.

Figura 3.13: Previsiones de penetración de internet móvil [Fuente: Analysys Mason, 2023]



Además de un crecimiento en el número de usuarios de internet móvil, se espera que el uso de internet por usuario aumente considerablemente debido a una mayor adopción de *smartphones* y el aumento de contenido con alto consumo de datos en dispositivos móviles. De tal forma que se estima que el consumo por usuario aumente desde 5GB por mes en 2021 a unos 9GB en el año 2026, en línea con la tendencia histórica.

Figura 3.14: Previsiones del tráfico de datos por usuario al mes [Fuente: Analysys Mason, 2023]



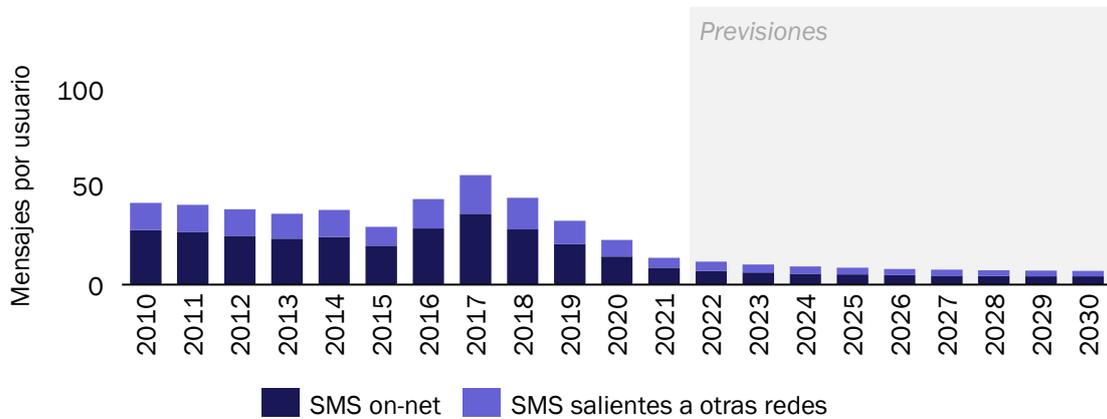
Al igual que con el tráfico de voz, el tráfico de datos también se reparte para las distintas tecnologías existentes, basándonos en información pública del BIT e información provista por los operadores.

### SMS móvil

El tráfico de SMS viene bajando desde los últimos años en México, y se estima que esta tendencia se mantenga en el tiempo, principalmente debido al incremento de la utilización de servicios de datos (p.ej.

WhatsApp o iMessage). Por estos motivos, el módulo de mercado estima que se pasará de 163 mensajes por usuario al año en el 2021 hasta 83 mensajes en el 2030:

Figura 3.15: Previsiones del tráfico SMS por usuario al mes [Fuente: Analysys Mason, 2023]



En el caso de los SMS se asume el mismo reparto por tecnologías al definido para servicios de voz.

### 3.1.3 Cuota de mercado

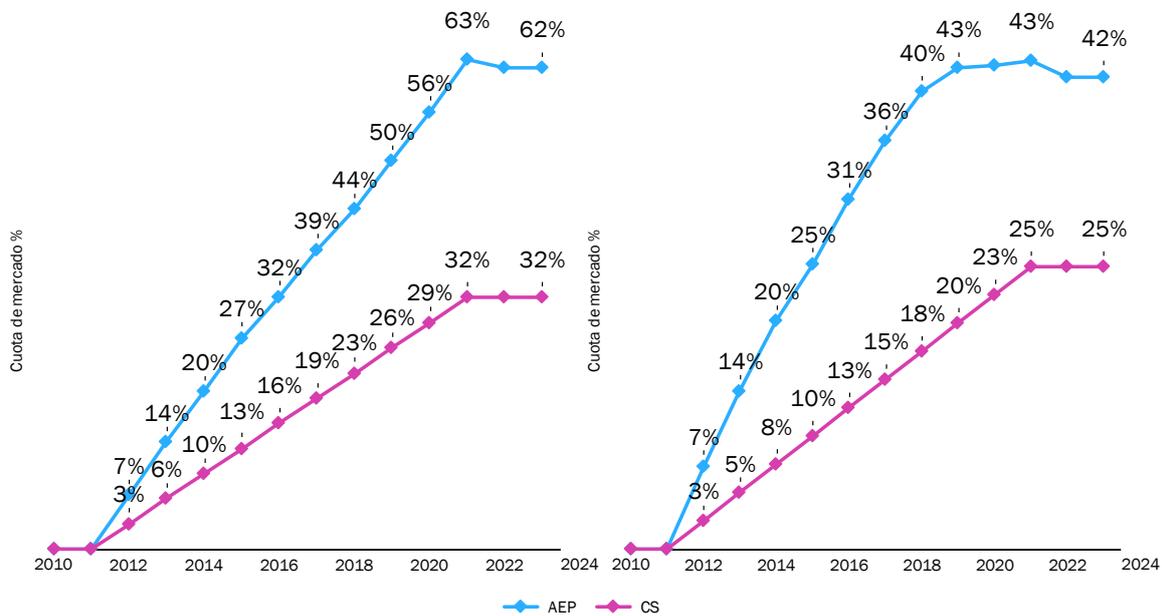
Una vez que se obtienen los datos de demanda a nivel de mercado, se procede a calcular la evolución de demanda del operador modelado, aplicando su cuota de mercado. A este respecto, cabe destacar que el modelo incluye distintos operadores modelados, a saber:

- Agente económico preponderante (AEP) fijo
- AEP móvil
- Concesionario solicitante (CS) fijo
- CS móvil

Cada uno de estos operadores ha sido modelado para obtener la demanda de los servicios que mostramos en las secciones 3.1.1. y 3.1.2. con excepción de los servicios regulados que solo aplican al AEP fijo, en cuyo caso se ha asumido que no existe demanda para el CS.

Las cuotas de mercado se han definido asumiendo que el operador hipotético empieza a comercializar servicios en el mercado en el año 2012 y adquiere su cuota de mercado objetivo de manera progresiva a lo largo de nueve años. Las cuotas de mercado objetivo se han definido tal y como se plantea en el documento metodológico del modelo.

Figura 3.16: Evolución de cuotas de mercado asumidas para el AEP el CS en el modelo móvil (izquierda) y modelo fijo (derecha)[Fuente: Analysys Mason, 2023]



### 3.1.4 Sensibilidades de la demanda

El módulo de mercado incluye sensibilidades en la demanda que permite ajustar las proyecciones a tres escenarios distintos: el base, el conservador y agresivo. De esta forma, se logra comprobar como de sensibles son los resultados del modelo a cambios en la demanda.

Presentamos a continuación los parámetros sobre los que actúan cada una de las sensibilidades:

- se modifican únicamente las previsiones a partir de 2023
- en los escenarios de penetración móvil y de banda ancha se modifica el máximo que alcanza la función sigmoide (o S-curve)
- el escenario de penetración fija modifica el crecimiento anual del número de conexiones residenciales y no residenciales
- el escenario de voz móvil y fija modifica el crecimiento anual del consumo de minutos fijos y móviles por usuario
- el escenario de SMS móviles modifica el crecimiento anual del consumo de SMS por usuario
- el escenario de datos móviles modifica el crecimiento anual del consumo de banda ancha por usuario
- el escenario de enlaces dedicados modifica el crecimiento anual del tráfico por circuito
- el escenario de banda ancha modifica el crecimiento anual del tráfico por usuario
- el escenario de televisión modifica la proporción de suscriptores de cable y televisión sobre el total de suscriptores de televisión de paga

Los resultados de demanda que hemos mostrado anteriormente corresponden con el caso base. A continuación, mostramos una tabla con el consumo anual por usuario para cada sensibilidad:

Figura 3.17: Consumo anual por usuario en los diferentes escenarios en el modelo de mercado [Fuente: Analysys Mason, 2023]

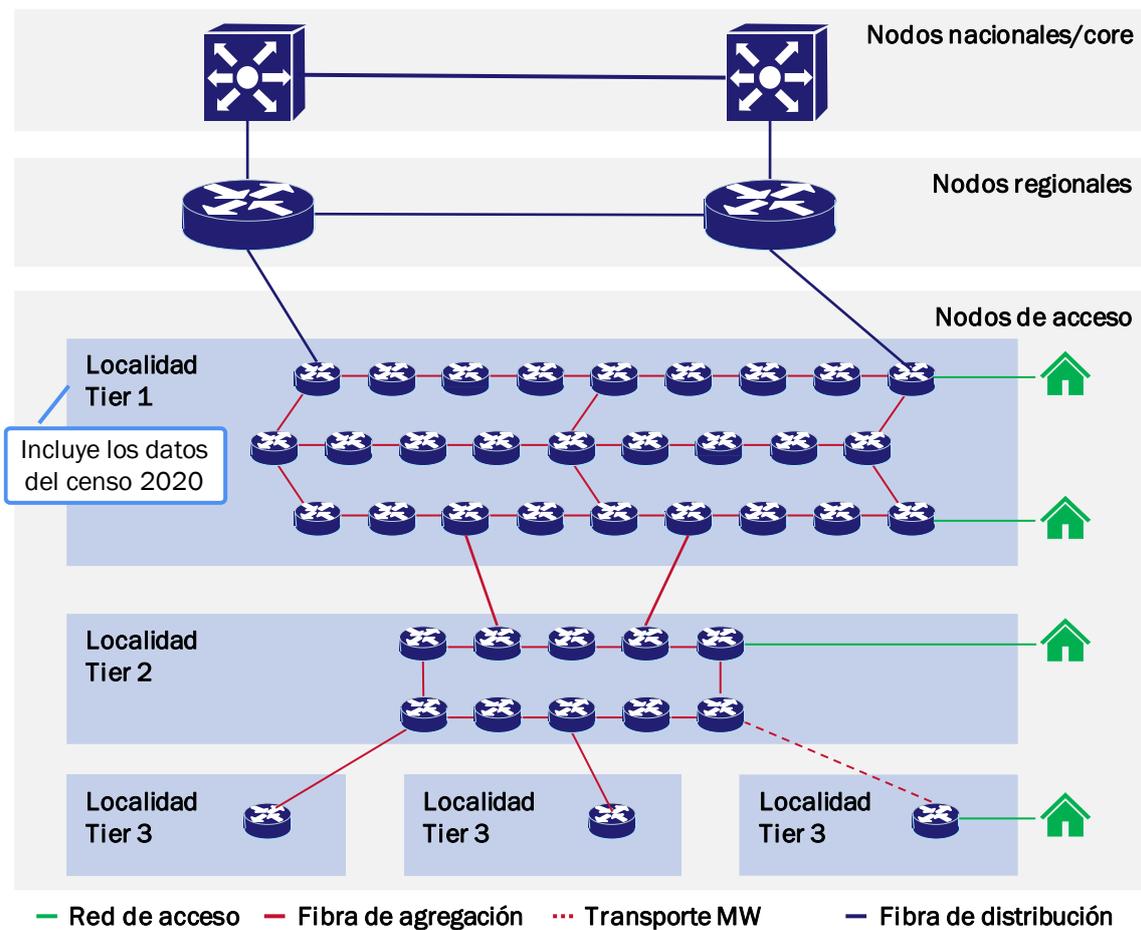
| Escenarios                   | Unidad        | 2022  | 2030 - Conservador | 2030 - Base | 2030 - Agresivo |
|------------------------------|---------------|-------|--------------------|-------------|-----------------|
| Penetración móvil            | % (población) | 101%  | 103.4%             | 104.7%      | 105.0%          |
| Penetración internet móvil   | % (población) | 88%   | 91.0%              | 95.1%       | 97.9%           |
| Voz móvil por usuario        | Min           | 2,561 | 2,345.7            | 2,425.8     | 2,507.9         |
| SMS móvil por usuario        | SMS           | 146   | 66.7               | 82.9        | 102.3           |
| Datos móviles por usuario    | GB            | 68    | 98.2               | 107.2       | 116.9           |
| Penetración fija             | % (hogares)   | 70%   | 71.3%              | 71.7%       | 71.8%           |
| Penetración banda ancha fija | % (hogares)   | 71%   | 80.1%              | 81.2%       | 82.1%           |
| Voz fija por usuario         | Min           | 755   | 28.4               | 34.5        | 41.6            |
| Tráfico efectivo por usuario | Mbps          | 2.25  | 2.57               | 2.67        | 2.81            |
| Televisión                   | % hogares     | 69%   | 65.1%              | 67.4%       | 69.3%           |

## 3.2 Caracterización geográfica

### 3.2.1 Caracterización de redes fijas

Se ha definido una arquitectura que determina el diseño de la red fija a nivel nacional en términos de km de fibra desplegados y números de nodos que conforman la red. Esta arquitectura separa conceptualmente la red de acceso (última milla) y la red de núcleo del operador para definir los activos considerados en el costeo. La siguiente figura muestra un diagrama ilustrativo de la arquitectura de la red fija propuesta:

Figura 3.18: Diagrama ilustrativo del diseño de la red fija [Fuente: Analysys Mason, 2023]



A continuación, explicamos las siguientes capas de la red mostradas en el diagrama:

- Capa nacional/core: la capa de nodos core corresponde a la malla de routers que enlazan las distintas regiones en México y gestionan y distribuyen el tráfico nacional
- Capa regional: la capa de nodos regionales es el primer nivel de inteligencia de la red y dirige el tráfico –a través de la red core si es necesario– hasta hacerlo llegar a su destino
- Capa de acceso: la capa de acceso concentra tráfico originado por los suscriptores a través de conmutadores de agregación y lo dirige al router regional donde se encamina el tráfico

### Capa nacional

El modelo geográfico utiliza un método *scorched-earth* calibrado para el diseño de la red del operador modelado. Esto resulta en una red troncal compuesta de un total de 11 nodos core y nueve nodos nacionales. Los nodos core conforman los puntos de la capa core de la red con inteligencia para redirigir el tráfico, mientras que los nodos nacionales además de esta labor también cumplen con funciones añadidas, como hospedar plataformas de red adicionales.

Los nodos de la red están conectados de forma redundante por seis anillos de fibra con una longitud total de 13 743km. La distancia entre nodos core recorrida por la fibra se ha calculado con base en la

red de carreteras de México asegurando que no se cuentan doblemente las rutas compartidas entre anillos.

A continuación, se muestra un esquema de la red core del operador modelado:

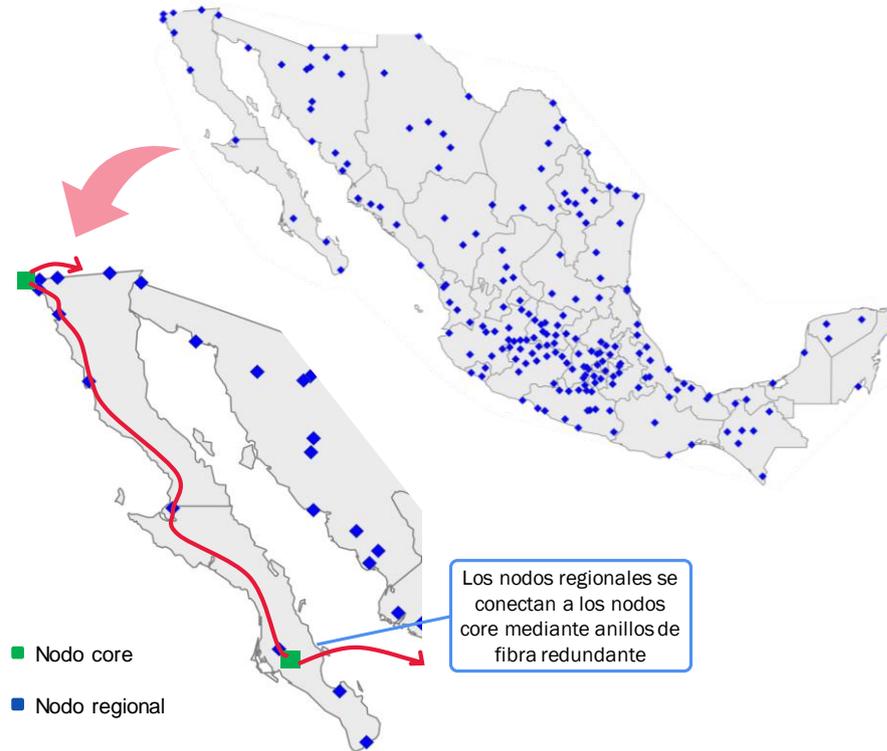
Figura 3.19: Red core del operador modelado [Fuente: Analysys Mason, 2023]



### Capa regional

El diseño de la red regional consta de 198 nodos conectados entre sí con anillos de fibra y a su vez, conectados a la red core, donde cada anillo se conecta con dos nodos core, tal y como se muestra en la Figura 3.20.

Figura 3.20: Red regional del operador modelado [Fuente: Analysys Mason, 2023]



Esta arquitectura de red suma un total de 22 000km de fibra, siendo esta fibra adicional a la fibra empleada para interconectar los nodos del núcleo de la red. Cada nodo regional cubre un ASL y concentran el tráfico de los nodos Tier 1, Tier 2 y Tier 3 asociados.

### Capa de acceso

La capa de acceso concentra tráfico originado por los suscriptores a través de conmutadores de agregación y lo dirige al router regional donde se encamina el tráfico. Para la estimación de los nodos de acceso, se ha realizado un análisis a nivel de localidad. Se han determinado como cubiertas todas las localidades de más de 2000 habitantes. Adicionalmente, se asume que el operador desplegaría un nodo de acceso cada, aproximadamente, 20 000 habitantes en la localidad. Con base en estas reglas, existen localidades que necesitan un volumen relevante de nodos de acceso, mientras que otras solo necesitarían un único nodo. De esta manera, se plantea una desagregación de la capa de acceso en tres “*tiers*” diferentes:

- Tier 1, representa las localidades de mayor tamaño, aquellas que necesitarían más de 40 nodos de acceso
  - en total representan 21 localidades, con un total de 1240 nodos de acceso
- Tier 2, representa aquellas localidades que necesitan más de un nodo de acceso, pero menos de los 40 definidos para las localidades Tier 1

- representan 542 localidades, con un total de 2935 nodos de acceso
- Tier 3, haciendo referencia a las localidades más remotas, aquellas que necesitan un único nodo de acceso, se desagregan en dos tipologías, en función de su distancia al nodo regional más cercano:
  - nodos tier 3 de fibra, aquellos a menos de 30 km del nodo regional más cercano
    - representan 3091 nodos de acceso, uno para cada localidad cubierta
  - nodos tier 3 de microondas, aquellos a más de 30 km del nodo regional correspondiente
    - representan 3091 nodos de acceso, para cubrir el mismo número de localidades

A continuación, se puede ver un ejemplo que ilustra el alto nivel de detalle en el modelado geográfico de los nodos del operador fijo modelado a nivel nacional y para un estado específico (Estado de Guerrero):

Figura 3.21: Nodos del operador fijo modelado [Fuente: Analysys Mason, 2023]

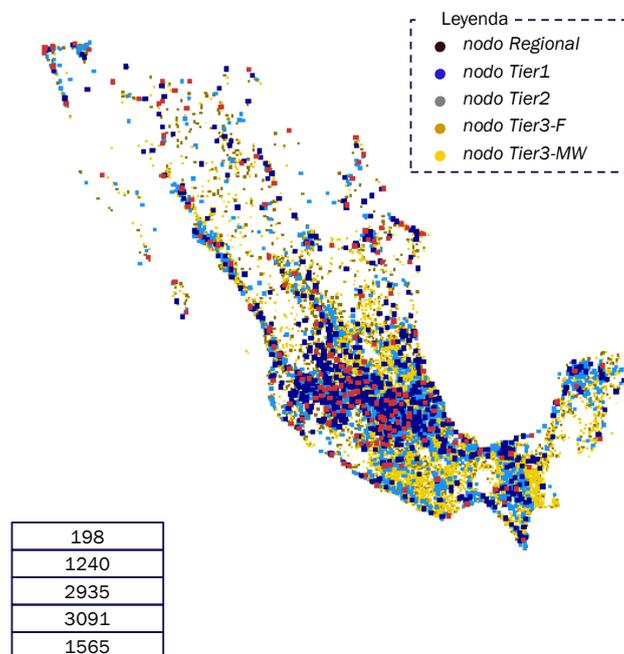
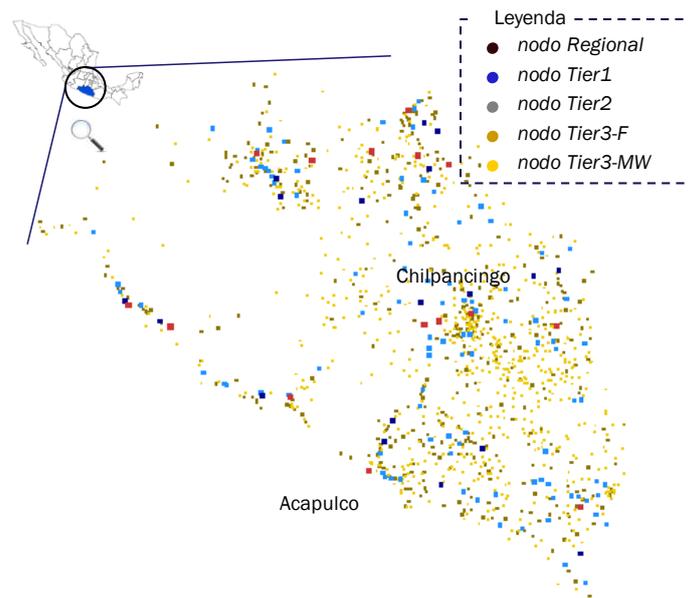
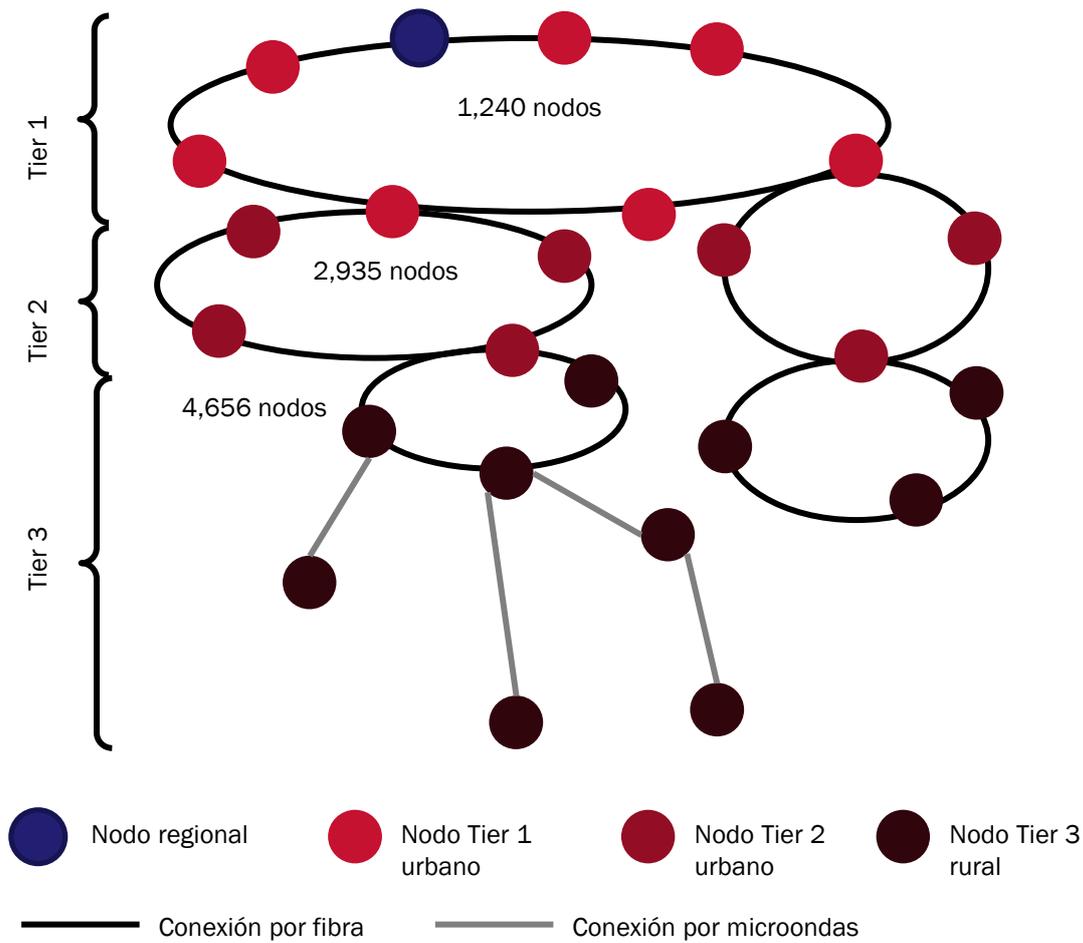


Figura 3.22: Nodos del operador fijo modelado en el Estado de Guerrero [Fuente: Analysys Mason, 2023]



Dado que en las localidades Tier 1 y Tier 2 se desplegaría más de un nodo dentro de la misma localidad, es necesario realizar un despliegue de fibra metropolitana que conecte los nodos dentro de estas localidades. En total, se ha estimado que serían necesarios unos ~12 000km de fibra metropolitana para cubrir los enlaces metropolitanos entre nodos dentro de las mismas localidades.

Figura 3.23: Red de acceso del operador modelado [Fuente: Analysys Mason, 2023]



Como se puede apreciar en la Figura 3.23, los nodos Tier 3 se conectan en anillos a su nodo Tier 2 más cercano, dentro del mismo ASL. A su vez, los nodos Tier 2 se conectan en anillo a un nodo Tier 1; y finalmente, los nodos Tier 1 se conectan en anillos al nodo regional asociado.

El diseño de la capa de acceso ofrece cierto grado de redundancia, lo cual implica resistir a fallos críticos en nodos de la red. Esto se debe a que el número de nodos que dependen de un nodo de nivel superior es relativamente pequeño en los distintos niveles de red, disminuyendo el número de nodos situado bajo un único punto de fallo. A continuación, se muestran los ratios de conexión entre nodos (número de nodos de un nivel inferior conectados a un nodo de nivel superior) y el nivel de redundancia (número de nodos de nivel superior al que está conectado un nodo de nivel inferior) de las distintas conexiones entre Tiers:

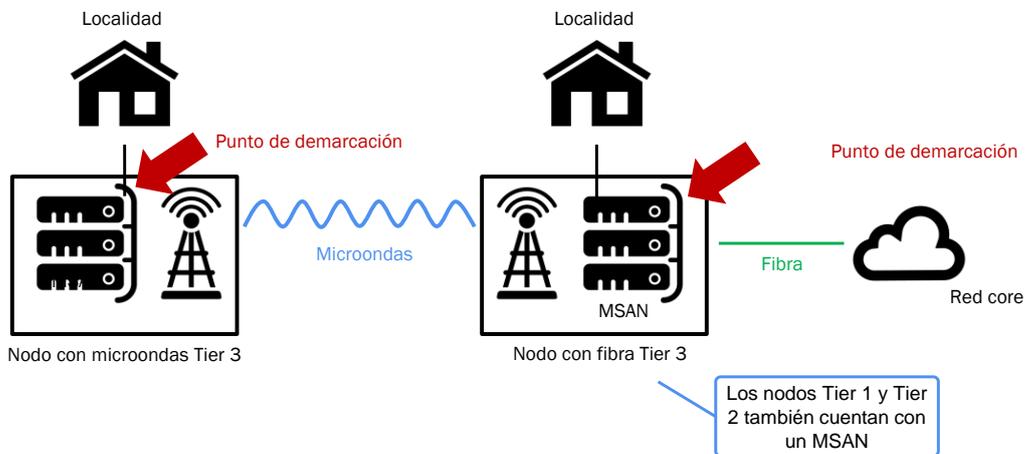
Figura 3.24: Robustez de la capa de acceso [Fuente: Analysys Mason, 2023]

|                   | Ratios | Redundancia        |
|-------------------|--------|--------------------|
| Regional a core   | 9.8    | Conexión a 2 nodos |
| Tier 1 a Regional | 6.3    | Conexión a 2 nodos |
| Tier 2 a Tier 1   | 2.4    | Conexión a 1 nodo  |

|                 | Ratios | Redundancia       |
|-----------------|--------|-------------------|
| Tier 3 a Tier 2 | 1.6    | Conexión a 1 nodo |

Es importante recalcar que el IFT modela los costos de los servicios de acceso en el modelo integral de acceso fijo. Por este motivo, el modelo fijo no incluye los elementos de la red de acceso. La red modelada, considera como punto de demarcación el nodo de acceso multiservicio (MSAN). El MSAN no se incluye en el modelo para asegurar la consistencia con el modelo de desagregación del IFT. En todo caso, se asume que el tráfico generado emplea el protocolo Ethernet para su conexión a las capas superiores de la red.

Figura 3.25: Punto de demarcación en la conexión de última milla alámbrica [Fuente: Analysys Mason, 2023]



### Distribución del tráfico fijo

Para efectuar el dimensionado de la red fija, es necesario comprender la distribución del tráfico a lo largo del país. Para ello, se ha dividido México conceptualmente en nueve regiones, similares a las utilizadas en la definición de las licencias móviles. En este sentido, se consideran los estados incluidos en una región celular, obviando las excepciones a nivel municipal. Cada una de estas regiones cuenta con un nodo nacional que permite la interconexión y el tránsito de tráfico.

La proporción de tráfico por región se calcula para el AEP y el CS con base en el número de líneas fijas reportadas por el IFT, tomando como referencia los datos a nivel estatal. Estos datos abarcan tanto las líneas residenciales como las corporativas. Debido a la falta de información detallada, se utiliza un tráfico promedio por usuario para estimar la demanda en cada región:

Figura 3.26: Distribución de líneas en las distintas regiones del modelo fijo [Fuente: Analysys Mason, 2023]

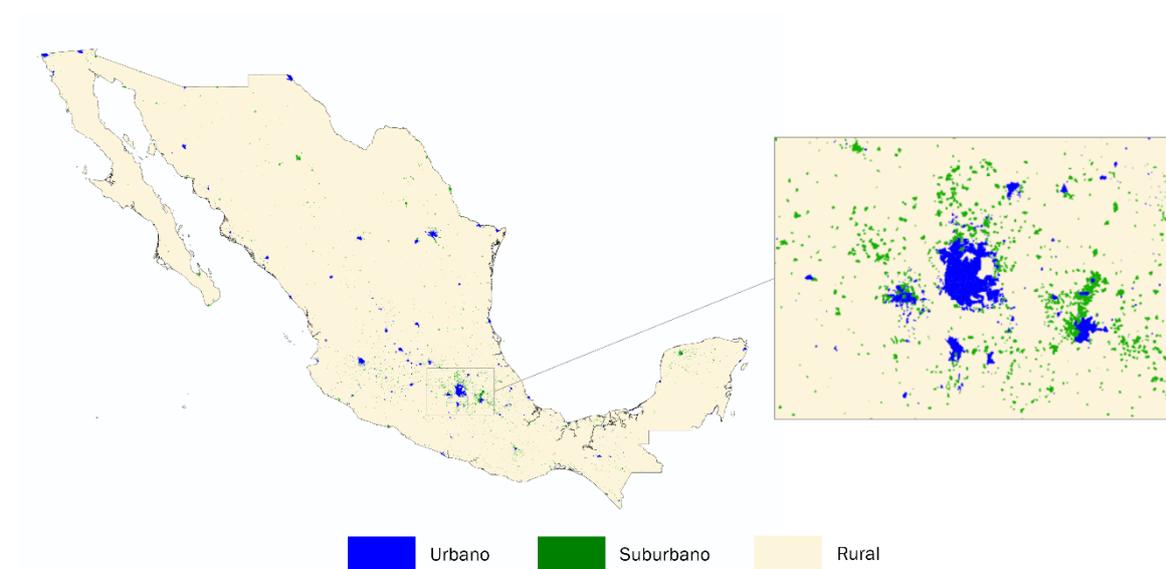
| Región   | Proporción AEP | Proporción CS |
|----------|----------------|---------------|
| Región 1 | 5%             | 5%            |

|          |     |     |
|----------|-----|-----|
| Región 2 | 4%  | 5%  |
| Región 3 | 5%  | 5%  |
| Región 4 | 11% | 14% |
| Región 5 | 12% | 11% |
| Región 6 | 10% | 10% |
| Región 7 | 14% | 9%  |
| Región 8 | 6%  | 5%  |
| Región 9 | 33% | 37% |

### 3.2.2 Caracterización de redes móviles

Para determinar el diseño de la red móvil a nivel nacional el modelo geográfico de redes móviles define tres geotipos que cubren el territorio nacional y dos geotipos adicionales para cubrir la carreteras y espacios interiores respectivamente.

Figura 3.27: Mapa de geotipos [Fuente: Analysys Mason, 2023]



El procesado geográfico se ha realizado a nivel de localidad, como base para la creación de los geotipos. Con base en los polígonos definidos por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), se ha calculado la superficie de 4,711 localidades urbanas y suburbanas, que representan el 1.21% del territorio nacional, pero concentran al 78.7% de la población, de acuerdo al censo de 2020. La superficie y población de estas localidades han sido sustraídas de los totales asociados a cada municipio al que corresponden, generando una localidad “virtual” para cada municipio que acumula la población y superficie no categorizada como urbana por el INEGI. Como resultado, se obtienen 7,380 áreas que se clasifican en urbanas, suburbanas y rurales de acuerdo a su densidad poblacional. La siguiente tabla muestra el resumen de las características demográficas de cada geotipo:

Figura 3.28: Características demográficas de cada geotipo [Fuente: Analysys Mason, 2023]

| Geotipo   | Densidad poblacional habitantes/km | Superficie (km <sup>2</sup> ) | Proporción de la superficie total | Población (millones) | Proporción de la población |
|-----------|------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------|----------------------------|
| Urbano    | >4000                              | 10 588                        | 0.5%                              | 70                   | 55.2%                      |
| Suburbano | <4000 y >500                       | 13 269                        | 0.7%                              | 30                   | 23.5%                      |
| Rural     | <500                               | 1 941 176                     | 98.8%                             | 27                   | 21.3%                      |
| Total     | -                                  | 1 965 033                     | 100%                              | 127                  | 100%                       |

Además de estas clasificaciones, el modelo divide el país en dos regiones A y B, en función de su región celular correspondiente (regiones celulares del 1- 4 son clasificadas como “A”, y del 5 – 9 son clasificadas como “B”). De esta forma, para cada geotipo existen dos modalidades, sumando a un total de 10 sub-geotipos.

Al igual que la red troncal del operador fijo, la red troncal del operador hipotético móvil está compuesta de un total de 9 nodos nacionales y 11 nodos core (ver Figura 3.19), conectados de forma redundante por seis anillos de fibra.

### 3.3 Parametrización de elementos de red

#### 3.3.1 Costos de los elementos de red

Como se puede apreciar en la Figura 2.3 y Figura 2.4 incluidas en la sección 2, tanto el modelo fijo como el móvil requieren de los costos unitarios de los elementos de red para poder costear la red y los servicios ofrecidos por el operador.

Los dos modelos incluyen un listado de cada elemento empleado en la red con una indicación de su capex y opex unitario. El capex es el costo de comprar cada equipo e instalarlo, con base en los datos obtenidos de los operadores, mientras que el opex se compone de costos de operación y mantenimiento y soporte, también basados en información proporcionada por los operadores.

Estos precios unitarios han sido incluidos en el modelo en términos de pesos mexicanos reales (también denominados constantes) para el año 2022. Para los años posteriores, se aplican las tendencias de costos de los equipos (también basadas en datos de los operadores y estimaciones basadas en otros modelos CILP), que actualizan el valor de los equipos que pueda haber en el tiempo debido, por ejemplo, a evoluciones tecnológicas que los pueda hacer menos costosos. Sin embargo, las tendencias de costo no tienen en cuenta la inflación (está se considera más adelante), por lo que una tendencia de costo negativa no tiene por qué significar que adquirir cierto equipo en años posteriores resulte más económico en términos nominales. A continuación, se muestra las tendencias de costos de capital para el modelo fijo y el móvil:

Figura 3.29: Tendencias de costos de capital para activos de red fija [Fuente: Analysys Mason, 2023]

| Categoría                    | Tendencias de costo |
|------------------------------|---------------------|
| Tarjetas de líneas           | 0%                  |
| Tarjetas de puertos          | -8%                 |
| Chasis                       | -5%                 |
| Transmisión activa           | -5%                 |
| Transmisión pasiva           | 0%                  |
| Plataformas de servicio      | -5%                 |
| Gestión de red y facturación | -5%                 |
| Emplazamientos               | +2%                 |
| Trench civil works           | +2%                 |

Figura 3.30: Tendencias de costos de capital para activos de red móvil Fuente: Analysys Mason, 2023]

| Categoría                | Tendencias de costo |
|--------------------------|---------------------|
| Sitios                   | 1%                  |
| 2G_BTS                   | -3%                 |
| NodoB                    | -4%                 |
| eNodoB                   | -4%                 |
| CK_y_portadoras          | -5%                 |
| Equipo_transmisión       | -4%                 |
| Switches                 | -4%                 |
| Switch_software          | 0%                  |
| Servidores_datos_RNC_BSC | -5%                 |
| Fibra oscura             | -1%                 |
| 2G_TRX                   | -3%                 |

Los modelos también estiman la vida útil de los diferentes activos, y está, determina la frecuencia con la que deben reemplazarse. Ya que sería irrealista considerar una compra, instalación y activación instantánea de los activos, el modelo estima un periodo de planificación y despliegue entre la compra del activo y activación efectiva en la red:

Figura 3.31: Periodo de planificación de los activos de la red fija y móvil [Fuente: Analysys Mason, 2023]

| Periodo de planificación | Modelo fijo   | Modelo móvil   |
|--------------------------|---|--|
| 1 mes                    |   | TRX y enlaces dedicados  |
| 3 meses                  | Tarjetas de puertos y líneas, SMSC  | BTS, Nodos B, eNodo B, puertos, SMSC, MME, SGW, SBC, DTM, sitios interiores, |
| 6 meses                  | MSAN, mini-MSAN, IN, VMS, BRAS, RADIUS, DNS   | VMS, HLR, AUC, EIR   |
| 9 meses                  | MSPP, mini-MSPP, E1/2/3, STM-1/4/16/64, DWDM y amplificadores, chasis switches y routers, TGW, NMS, billing system, call servers, equipo de reloj y sincronizado, plataforma de televisión linear y VoD | Sitios macro, BSC, RNC, MSCS, MGW, LTE-AP                                    |
| 1 año                    | Emplazamientos, transmisión de cable – zanja, poste, cables de fibra  | Sitios de conmutación core, zanjas, cables de fibra, sitios remotos          |

Las vidas de los elementos de red, se han definido con base en comparativas internacionales e información de los operadores en México:

Figura 3.32: Vidas útiles para los equipos de red fija [Fuente: Analysys Mason, 2023]

| Vidas útiles | Categoría   |
|--------------|---|
| 5            | Tarjetas puertos, equipo de reloj, NMS, sistema de cobranza, VAS, IN, SMSC HW, MSC SW, plataforma de televisión |
| 6            | VMS, BRAS, RADIUS, DNS, call server   |
| 8            | MSAN, mini-MSAN, MSPP, mini-MSPP, edge router y switch chassis, equipo DWDM, trunk gateway                      |
| 20           | Cables de fibra y postes  |
| 35           | Repetidores microondas, mástiles  |
| 40           | Obra civil  |
| 50           | Adquisición, preparación y mantenimiento de emplazamientos  |

Figura 3.33: Vidas útiles para los equipos de red móvil [Fuente: Analysys Mason, 2023]

| Vidas útiles | Categoría  |
|--------------|--|
| 3            | MSC software, MSS software   |
| 5            | Plataforma de portabilidad numérica, IN, SMSC HW, SMSC SW, sistema de cobranza, sistema de gestión de red, plataformas VAS, MMSC             |
| 6            | VMS, HLR, EIR, AUC, PCU, GGSN, SGSN  |
| 7            | BSC, RNC, puertos E1   |
| 8            | Transmisión HW, BTS, TRX, Nodo B, eNodoB, channel kits, fibra de backhaul, enlaces dedicados, MSC, MSS, MGW, DTM, MME, SBC, SGW, TAS, LTE-AP |
| 15           | Sitios macro   |
| 20           | Sitios de conmutación, cables de fibra, licencias de espectro  |
| 30           | Obra civil   |
| 60           | Tarjetas SIM   |

Cabe destacar que en términos generales se han considerado los mismos insumos para los distintos operadores modelados (bien basados en el AEP o en un concesionario alternativo). No obstante, se incluyen algunos ajustes para contemplar distintas modularidades en los equipos que podría observar un operador con base en distintos niveles de escala, así como para considerar el impacto que podría tener sobre el poder de negociación con los proveedores.

### 3.3.2 Carga de la red

Otro de los insumos relevantes de los que depende el dimensionado de la red es la carga de tráfico de los servicios de voz y datos durante la hora pico. Para esto, hemos utilizado datos proporcionados por los operadores sobre diferentes ratios que permitan determinar el perfil de carga. Estos parámetros son iguales para el AEP y para el CS, mostrados a continuación:

Figura 3.34: Perfil de carga de red del AEP y el CS [Fuente: Analysys Mason, 2023]

|           | Intentos de llamadas por llamada exitosa | Minutos de timbrado por intento de llamada | Minutos por llamada exitosa | Tiempo de timbrado por minuto |
|-----------|--|--|-----------------------------|-------------------------------|
| On-net    | 1.54                                     | 0.46                                       | 1.56                        | 0.454                         |
| Salientes | 1.56                                     | 0.41                                       | 1.84                        | 0.349                         |
| Entrantes | 1.38                                     | 0.46                                       | 1.59                        | 0.401                         |
| Tránsito  | 1.50                                     | -  | 1.53                        | 0.000                         |

Figura 3.35: Tráfico en hora pico para el AEP y el CS [Fuente: Analysys Mason, 2023]

|       | Número de días pico al año | Proporción de tráfico semanal durante esos días | Proporción de tráfico diario durante la hora pico de voz | Proporción de tráfico diario durante la hora pico de datos |
|-------|----------------------------|---|--|--|
| Voz   | 250                        | 73%   | 6.8%   | 6.7%   |
| SMS   | 273                        | 75%   | 4.5%   | 4.5%   |
| Datos | 250                        | 73%   | 5.9%   | 6.0%   |

Por otro lado, para poder costear la red de forma efectiva, el tráfico de la demanda obtenido del módulo de mercado a nivel de servicio se distribuye entre los distintos servicios de red. Es decir, se toma el tráfico de los distintos servicios de voz (saliente, entrante, en tránsito) y se distribuye entre los distintos servicios de red (p.ej. voz saliente de larga distancia intra-nodo, multi-nodo, etc). La distribución aplicada se basa en información proporcionada por los operadores en el requerimiento de datos. Como se aprecia en la Figura 3.36, la proporción de llamadas locales es 0%, ya que en la actualidad todas las llamadas locales pasan por al menos un nodo del núcleo.

Figura 3.36: Distribución de tráfico entre los distintos servicios de red [Fuente: Analysys Mason, 2023]

| Servicios de red                               | Proporción |
|--|------------|
| Voz saliente LD intra-nodo on-net              | 5.1%       |
| Voz saliente LD multi-nodo on-net              | 94.9%      |
| Voz saliente Local a otros operadores          | 0.0%       |
| Voz saliente LD intra-nodo a otros operadores  | 5.1%       |
| Voz saliente LD multi-nodo a otros operadores  | 94.9%      |
| Voz entrante Local de otros operadores         | 0.0%       |
| Voz entrante LD intra-nodo de otros operadores | 5.1%       |
| Voz entrante LD multi-nodo de otros operadores | 94.9%      |
| Voz en tránsito LD intra-nodo                  | 5.0%       |
| Voz en tránsito LD multi-nodo                  | 95.0%      |
| Circuitos IP/E-VPN Agregación                  | 39.7%      |
| Circuitos IP/E-VPN LD intra-nodo               | 49.8%      |
| Circuitos IP/E-VPN LD multi-nodo               | 10.5%      |

Además, hay ciertas hipótesis técnicas que considera el modelo para llevar a cabo la planificación de la red:

- La proporción de tráfico en días laborables se estima en un 80% para voz, basado en comparativas internacionales
- El ancho de banda ocupado por voz se establece en 92 kbit/s, utilizando el codec G.711 con un período de muestreo de 20 ms
- La duración media de las llamadas varía entre 3.1 y 7.0 minutos, dependiendo del tipo de llamada
- Se estima que, en promedio, se requieren entre 1.2 y 1.9 intentos de llamadas para lograr una llamada exitosa
- Se considera un ratio de contención de datos variable dependiendo de la velocidad
- Los nodos rurales de la red Tier 3 tienen una capacidad de tráfico inferior en promedio a los nodos urbanos de las redes Tier 1 y 2

Además, el modelo también contempla varias hipótesis técnicas adicionales que se han basado, en la medida de lo posible, en información facilitada por los operadores:

- Los MSAN tienen una capacidad de 512 suscriptores, mientras que los mini-MSAN admiten hasta 128 suscriptores. Se estima que la utilización máxima de capacidad de estos dispositivos es del 70%
- Los *edge router* cuentan con 8 ranuras y tarjetas que ofrecen 20 puertos GE (Gigabit Ethernet) o 2 puertos 10GE (10 Gigabit Ethernet). Se asume que la utilización máxima de capacidad de estos routers sea del 40%
- Los *core routers* también tienen 8 ranuras y tarjetas con 20 puertos GE o 2 puertos 10GE, y se estima una utilización máxima de capacidad del 40%
- Los *edge y core switches* están compuestos por 6 ranuras y tarjetas con 48 puertos 1GE o 12 puertos 10GE. Se considera una utilización máxima de capacidad del 40%.
- Se utilizan enlaces WDM con hasta 40 longitudes de onda por anillo.
- Los SBC cuentan con 8 puertos 1GE por tarjeta, y se estima una utilización máxima de capacidad del 40%.
- Otros elementos incluidos en el modelo son los servidores de llamadas (call servers), servidores de nombres de dominio (DNS), Servidor de Acceso Remoto a Banda Ancha (BRAS), servidores de autenticación (RADIUS), equipos de reloj y sincronización, gestión de red (network management), sistemas de mensajería de voz (VMS), plataformas de servicios inteligentes (IN), y sistemas de facturación mayorista (wholesale billing)

Estas hipótesis técnicas se han tenido en cuenta para asegurar una correcta planificación y dimensionamiento de la red en el modelo.

### 3.4 Otros insumos relevantes

#### 3.4.1 Espectro

Como parte de los elementos de red, el modelo móvil incluye las licencias de espectro. En concreto, el modelo considera las cinco bandas de frecuencias asignadas en México, y asigna cada banda al uso de una tecnología. Además, se consideran dos escenarios: antes del apagado de la red 2G y los años posteriores al apagado 2G (2023 en adelante).

El espectro de cada operador ha sido determinado con información del IFT y de los operadores. En el caso del AEP, el espectro está basado en las tenencias de Telcel, mientras que, en el caso del operador basado en el concesionario alternativo, el espectro está basado en los operadores relevantes (AT&T) en este caso. A continuación, se muestra el espectro disponible a nivel nacional que tiene cada operador modelado una vez se realiza el apagado de la red:

Figura 3.37: Espectro disponible a nivel nacional para el AEP y el operador hipotético alternativo una vez se realiza el apagado de la red 2G [Fuente: Analysys Mason, 2023]

| Banda de frecuencia | Tecnología en la que se emplea el espectro | Espectro del AEP (MHz <sup>1</sup> ) | Espectro del CS (MHz <sup>1</sup> ) | Comentarios  |
|---------------------|--|--------------------------------------|-------------------------------------|--|
| 850MHz              | UMTS, LTE                                  | 20 (UMTS)                            | 20 (LTE)                            | Una vez apagada la red 2G, el espectro pasa a ser usada como banda de capacidad para UMTS  |
| 1900MHz (PCS)       | UMTS, HSPA                                 | 30                                   | 30                                  | 30MHz serían suficientes para acomodar despliegues de capacidad de UMTS/HSPA incluso en casos donde se registre un elevado volumen de tráfico de banda ancha móvil |
| 1700/2100 MHz (AWS) | LTE  | 80                                   | 50                                  | 2x40 y 2x25MHz son suficientes para prestar servicios de banda ancha móvil LTE con velocidades pico de más de 100Mbit/s  |
| 2500MHz             | LTE, 5G                                    | 60 (LTE)                             | 80 (5G)                             | Los operadores podrían aumentar la capacidad de su red LTE sobre esta banda. En el caso de CS se asume que esta banda se emplearía para 5G                         |
| 3500MHz             | 5G   | 100                                  | -                                   | El operador basado en el AEP despliega el 5G sobre la banda de 3500MHz   |

Por otra parte, los costos unitarios de espectro han sido determinados basados en información proporcionada por el IFT sobre las subastas llevadas a cabo en el pasado. Estos costos se basan en los pagos efectuados en el momento de la adquisición o renovación del espectro de cada banda en posesión de los operadores:

- La inversión inicial (capex) en espectro en la banda de 850MHz se calcula de acuerdo al precio promedio pagado en la prórroga otorgada en mayo de 2010 por región por MHz
- Para la banda de 1900MHz, se toman los costos de la renovación de la concesión que tuvo lugar en 2019
- De forma similar, se calcula la inversión inicial (capex) en espectro para la banda de 1700/2100MHz, 2500MHz y 3500MHz teniendo en cuenta los resultados de la última subasta de espectro llevada a cabo en 2016, 2018 y 2020 respectivamente

Para ilustrar el costo unitario (por MHz) que toma el modelo móvil de manera más explicativa, presentamos la siguiente tabla para las bandas AWS, 2500MHz y 3500MHz (el resto de bandas son estimadas de la misma manera):

Figura 3.38: Costo por MHz de las bandas AWS, 2500MHz y 3500MHz [Fuente: Analysys Mason, 2023]

|                        |                                    | Costo por MHz     | Todas las regiones | MHz nacionales |
|------------------------|------------------------------------|-------------------|--------------------|----------------|
| 1700/2100MHz<br>(2016) | Telcel                             | 34 967 665        | 2098 259 883       | 60             |
|                        | AT&T                               | 51 854 193        | 1 031 683 8500     | 20             |
|                        | <b>Promedio nacional (MXN/MHz)</b> | <b>43 275 929</b> |                    |                |
| 2500MHz<br>(2018)      | Telcel                             | 410 774           | 24 646 443         | 60             |
|                        | AT&T                               | 17 501 266        | 1 400 101 288      | 80             |
|                        | <b>Promedio nacional (MXN/MHz)</b> | <b>8 956 020</b>  |                    |                |
| 3500MHz<br>(2020)      | Telcel                             | 31 177 063        | 3 117 706 315      | 100            |
|                        | <b>Promedio nacional (MXN/MHz)</b> | <b>31 177 063</b> |                    |                |

### 3.4.2 CCPP

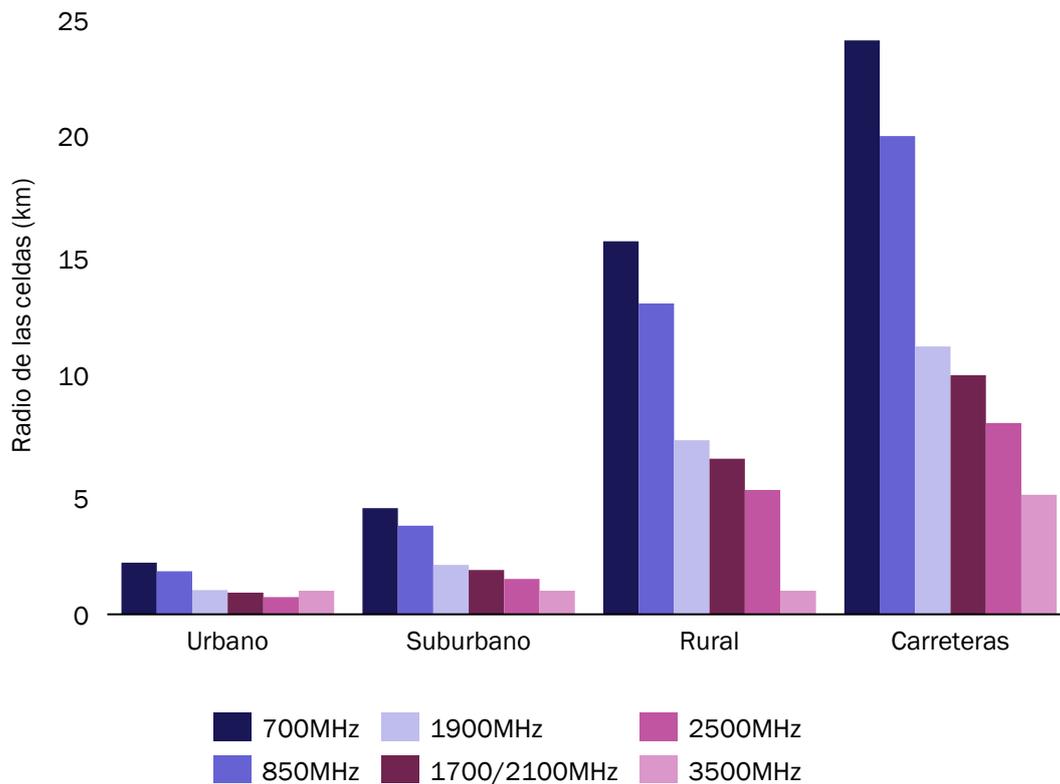
Para asegurar un retorno razonable sobre los activos, tanto el modelo fijo como el móvil emplean un costo de capital promedio ponderado (CCPP). La metodología cálculo del CCPP se explica en detalle en el documento “Metodología del CCPP”.

### 3.4.3 Radio de celda

En el modelo móvil, el número de sitios de cobertura viene determinado por el área cubierta por cada celda, esta depende del radio teórico, que se determina mediante un proceso de calibración de un operador existente, y de un factor de ajuste por el posicionamiento imperfecto de las celdas en las áreas de cobertura.

A continuación, se muestra el radio teórico de las celdas en cada geotipo:

Figura 3.39: Radio teórico de las celdas (kilómetros) [Fuente: Analysys Mason, 2023]



### 3.4.4 Factores de enrutamiento

Los factores de enrutamiento permiten relacionar los elementos de la red con los servicios. Concretamente, un factor de enrutamiento concreto medirá el número de veces que un servicio particular hace uso un elemento de red, por cada unidad de tráfico del servicio. Por ejemplo, a continuación presentamos una tabla simplificada de algunos factores de enrutamiento entre servicios de voz y elementos de red:

Figura 3.40: Tabla ilustrativa de factores de enrutamiento [Fuente: Analysys Mason, 2023]

| Elementos de red  | Llamada on-net | Llamada off-net intra-nodo | Llamada off-net multi-nodo |
|-------------------|----------------|----------------------------|----------------------------|
| Red de agregación | 2              | 1                          | 1                          |

| Elementos de red             | Llamada on-net | Llamada off-net intra-nodo | Llamada off-net multi-nodo |
|------------------------------|----------------|----------------------------|----------------------------|
| Red de backbone              | 1              | -                          | 1                          |
| Plataformas de voz de núcleo | 1              | 1                          | 1                          |
| SBC                          | -              | 1                          | 1                          |

Como se aprecia en el ejemplo, cada elemento de la red se asocia mediante los factores de enrutamiento a los distintos servicios, de tal forma que si el factor de enrutamiento es 0 para un activo específico, quiere decir que ese activo no es necesario para proporcionar el servicio. Adicionalmente, algunos servicios harán un mayor uso de la red que otros, para un mismo volumen de tráfico. Por ejemplo, una llamada on-net, hará uso de la red de agregación dos veces (una para cada usuario de la red), mientras que una llamada off-net, solo hará uso de estos equipos una vez, ya que luego la llamada es cursada por la red del operador que termina la llamada.

Los factores de enrutamiento son necesarios para poder estimar el volumen de tráfico total que cursa cada uno de los elementos de la red. No obstante, para poder llevar a cabo esta estimación, antes es necesario asegurar que los tráficos de los distintos servicios se presentan en una misma unidad (por ejemplo, minutos o Mbps).

## 4 Dimensionado de las redes modeladas

El objetivo de esta sección es presentar los criterios y algoritmos definidos en el modelo para la determinación del número de elementos de red necesarios para cumplir con las restricciones de cobertura y capacidad a los que se encuentra sujeto el operador modelado.

A este respecto, el modelo calcula de manera diferenciada los elementos de red fija y de red móvil. Las secciones a continuación describen cada una de estas redes en detalle.

### 4.1 Dimensionado de la red fija

#### 4.1.1 Red de acceso fijo

Como se ha explicado en la sección 3.2.1, el modelo fijo dimensiona los elementos de la red de acceso (por ejemplo, infraestructura pasiva, cables de cobre y fibra, ODF). Estos activos se calculan en el modelo integral de acceso fijo desarrollado por el IFT. En el caso del presente modelo, el MSAN es el punto de demarcación de la red a partir de la cual se dimensionan los activos de la red de los operadores modelados.

En concreto, el modelo dimensiona el número de MSAN necesarios en los nodos de acceso, así como los puertos necesarios para la conectividad con los agregadores de tráfico presentes en las centrales locales. Para la determinación del número y tamaño de los MSAN, el modelo toma el número de líneas asociadas a cada nodo (desagregado para cada uno de los *tiers* definidos en el modelado geográfico), y la capacidad máxima de un MSAN. Adicionalmente, el modelo estima el despliegue de un nodo agregador de tráfico en cada uno de los nodos de acceso del operador.

#### 4.1.2 Red de transporte fijo

El dimensionado de la red de transporte realiza el cálculo del volumen de equipos necesarios para el transporte del tráfico entre los nodos de la red. A este respecto, existen distintas capas diferenciadas de transporte:

- Transporte de acceso Tier 3: conecta los nodos Tier 3 con los nodos de acceso Tier 2
- Transporte de acceso Tier 2: conecta los nodos Tier 2 dentro de una misma localidad (red metropolitana) y conecta los anillos metropolitanos con los nodos de acceso Tier 1
- Transporte de acceso Tier 1: conecta los nodos Tier 1 dentro de una misma localidad (red metropolitana) y conecta los anillos metropolitanos con los nodos regionales
- Transporte regional: conecta los distintos nodos regionales entre sí y a la red de núcleo del operador modelado
- Transporte *backbone*: conecta los nodos de núcleo y nodos nacionales entre sí en anillos

Dentro de cada una de estas capas de transporte, se dimensionan distintos tipos de activos:

- Fibra e infraestructura civil: se dimensiona la infraestructura civil (por ejemplo, zanjas, ductos y postes) y la fibra con base en los resultados del modelado geográfico. El modelo toma adicionalmente una serie de insumos para cada capa de la red, que ayudan a determinar el porcentaje de la red que se despliega bajo tierra (a través de ductos y zanjas) y la red desplegada sobre tierra (a través de postes)
- Equipamiento DWDM: se realiza una estimación para cada nodo de transporte del tráfico cursado. A partir de esta estimación, se determina el número de longitudes de onda (lambdas) necesarias para cada nodo, y por ende, el volumen de equipos DWDM necesarios para cada uno de los anillos de transporte definidos. Adicionalmente, con base en la distancia cubierta por las capas de transporte, se estima el volumen de equipos de amplificación DWDM, necesarios para asegurar la conectividad entre nodos lejanos.
- Switches y enrutadores: para las capas de nodos regionales y de núcleo de la red, se realiza el cálculo del número y capacidad necesarios de los switches y enrutadores de la red. En esta estimación, se toma el tráfico medido para cada nodo, y de esta manera determinar el número de puertos ethernet necesarios en cada nodo. Con base en una serie de criterios ingenieriles relativos al número de puertos y tarjetas instalables en un switch o enrutador concreto, se determina el número de equipos necesarios para cada una de estas capas de la red

#### 4.1.3 Plataformas de núcleo fijo

Los distintos nodos core y nacionales albergan las plataformas del núcleo de la red del operador modelado. Estas plataformas tienen diversas funcionalidades, de conectividad, soporte o valor añadido para los servicios que proporciona el operador. Las plataformas de núcleo incluidas en el modelo fijo son las siguientes:

- Session border controller (SBC): En una red servicios de voz y datos, los SBC se emplean para vigilar la conexión IP entre la red de acceso, común y la red de voz controlada por el servidor de llamadas. Proporciona seguridad entre los diferentes dominios de red (por ejemplo, traducción de direcciones de red, detención de ataques de denegación de servicio, etc.) y controla la asignación de ancho de banda por llamada (o por sesión) en el borde de la red
- Servidor de llamadas (call server): usados para supervisar el tráfico de voz
- Broadband remote access server (BRAS): enruta el tráfico de Internet hacia y desde las MSAN ubicadas en el nodo de acceso
- Domain name server (DNS): traduce direcciones IP de dominios de internet a nombres legibles por humanos
- Voicemail server (VMS): gestionan el tráfico asociado a los mensajes de voz
- SMS center (SMSC): Controla el tráfico y flujo de mensajes de texto SMS

Para cada una de las plataformas del núcleo se determina una serie de reglas de dimensionado:

- Número mínimo de plataformas: se presenta el mínimo de plataformas de cada tipo que deben existir en la red. Por regla general, se estima que son necesarias al menos dos plataformas de cada tipo, para asegurar la resiliencia de la red en caso de que una de las plataformas fallara.

En algunos casos, se determina un número mínimo mayor, estimando que es necesario que esté en múltiples ubicaciones

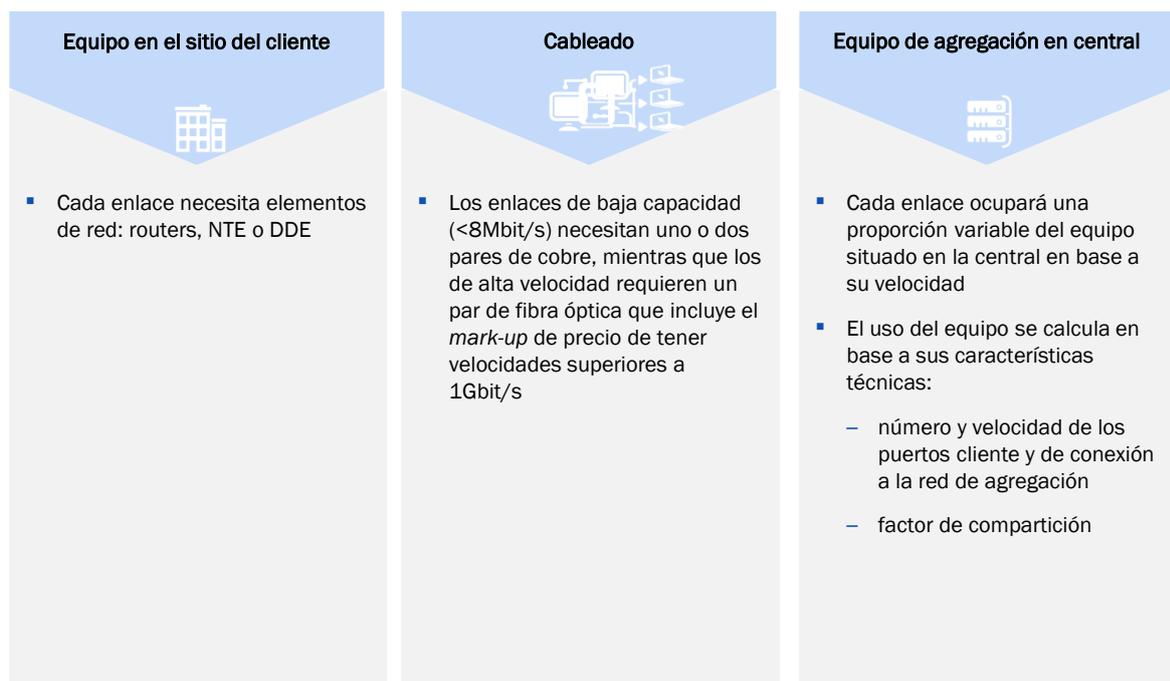
- Unidades y capacidad de dimensionado: para cada una de las plataformas se define una unidad de dimensionado (por ejemplo, minutos de voz, Mbps o llamadas en la hora cargada), así como el volumen máximo que puede cursar cada una de las plataformas. Si bien es posible que en una red real este criterio no sea el único limitante con impacto a la hora de dimensionar los equipos, se considera que la unidad de dimensionado incluida en el modelo representa el criterio más restrictivo para la plataforma en cuestión

La capacidad definida para cada plataforma se compara al tráfico real que debe cursar cada plataforma. El ratio entre ambos parámetros permite estimar el número de plataformas necesarias de cada tipo. Por ejemplo, si una plataforma concreta es capaz de gestionar 1000 llamadas simultáneas, y con base en los datos de demanda se estima que en la red se dan 10 000 llamadas de forma simultáneas, se estimaría que son necesarias diez plataformas de este tipo concreto. En caso de que este ratio fuera menor que el número mínimo de plataformas, el modelo asegura que se cumpla dicho mínimo.

#### 4.1.4 Elementos específicos de enlaces dedicados

De manera adicional a los equipos de red modelados en el módulo de redes fijas, el operador modelado requiere de ciertos equipamientos especiales para poder proveer los servicios de enlaces dedicados. Para calcular los costos del equipamiento se han identificado los elementos de red necesarios entre el cliente y la central del AEP. Para cada uno de los elementos se han definido unas reglas de ingeniería que incluyen el equipo en el sitio del cliente, el cableado y el equipo de agregación en central como muestra la siguiente figura:

Figura 4.1: Elementos específicos de enlaces dedicados [Fuente: Analysys Mason, 2023]



Según una serie de reglas de ingeniería, se determina el número de equipos necesarios para cada enlace y tramo. Por ejemplo, existen equipos en el sitio del cliente que son necesarios en cada tramo (routers, NTE o DDE). Cada enlace ocupará una proporción variable del equipo situado en la central con base en su velocidad. Además, el uso del equipo se calcula con base en sus características técnicas (número y velocidad de los puertos cliente y de conexión a la red de agregación y factor de compartición).

## **4.2 Diseño de la red móvil**

### **4.2.1 Red de acceso móvil**

La red de acceso móvil comprende aquellos activos desplegados por los operadores en los emplazamientos móviles de la red. Estos activos incluyen típicamente la infraestructura civil (predio y torre), así como el equipamiento de telecomunicaciones (estaciones base, nodos single RAN, etc.) y el equipamiento de fuerza y seguridad que fuera necesario para los emplazamientos.

Para el dimensionado de la red de acceso móvil, en primer lugar es necesario estimar el número de nodos de acceso a desplegar por el operador modelado para cada tecnología de acceso (GSM, UMTS, LTE y 5G) durante el periodo modelado. Para este cálculo, es necesario estimar por separado, por un lado, las necesidades de cobertura para cada una de las redes y, por otro lado, las necesidades con base en la demanda de servicios (tráfico) de los usuarios.

En este sentido, las necesidades de cobertura y capacidad no son homogéneas a lo largo de una red móvil. En aquellas zonas con una mayor densidad de población (y por tanto de usuarios móviles), las restricciones de capacidad serán mayores, implicando un mayor despliegue de nodos de acceso comparado con zonas rurales donde exista un volumen limitado de usuarios. Al mismo tiempo, desde un punto de vista de cobertura, las capacidades de propagación varían en función del entorno, teniendo más dificultades en entornos urbanos con múltiples obstáculos comparado con zonas rurales. Estas diferencias llevan a que el análisis de la red móvil se realice de forma diferenciada para cada uno de los geotipos definidos.

En primer lugar, se realiza el cálculo del número de nodos de acceso necesarios por la restricción de cobertura. Para este análisis, se tiene en cuenta las distintas bandas de frecuencias para proveer cobertura supuestas para cada operador (ver la Figura 3.37). El número de nodos de acceso de cobertura en el modelo se determina con base en el área cubierta por cada celda. Esta área está relacionada con el radio teórico de cobertura (ver la Figura 3.39). Además del radio teórico, se aplica un factor de ajuste para tener en cuenta el posicionamiento imperfecto de las celdas en las áreas de cobertura. Este factor tiene en cuenta las variaciones y limitaciones en la ubicación física de las celdas, lo que puede afectar su cobertura real. Adicionalmente, el modelo se ha calibrado utilizando los datos disponibles de radiobases de los operadores reales, asumiendo un nivel de cobertura poblacional de los operadores en línea con su cobertura real.

De manera posterior, se realizan las estimaciones oportunas para cumplir las restricciones por capacidad. En esta estimación, se parte de los nodos de acceso estimados para cumplir las restricciones de cobertura, los cuales se desplegarían con el espectro mínimo para poder proveer el servicio. Si la

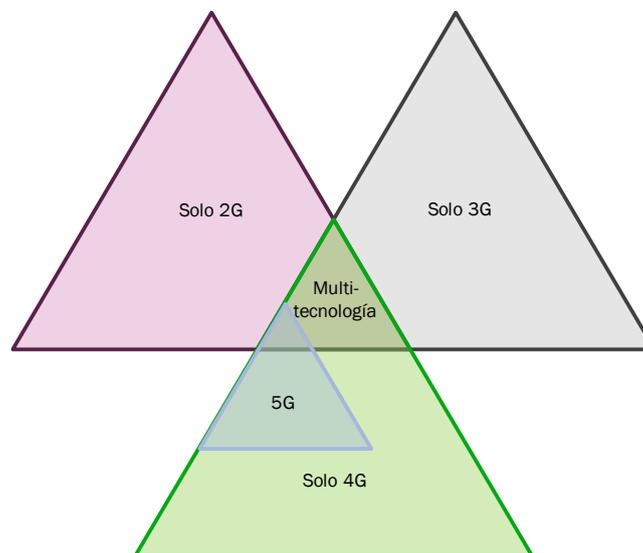
capacidad que aportaría esta red de cobertura no fuera suficiente para cumplir con los criterios de capacidad para un geotipo y tecnología dados, entonces se procedería a desplegar capacidad adicional en estos nodos de acceso, con bandas adicionales de espectro. En caso de que esta estrategia no fuera suficiente (esto es, todos los nodos de acceso de cobertura han maximizado la capacidad que podrían ofrecer y aun así no se cumple la restricción de capacidad), se procedería a desplegar nodos de acceso adicionales hasta que se cumpliera con los criterios de capacidad.

Para calcular el número de emplazamientos físicos requeridos se tienen en cuenta el número de nodos de acceso para cada una de las diferentes tecnologías de acceso. El modelo estimará cuantos de estos nodos de acceso se podrán coubicar en emplazamientos multi tecnología y con cuantos no será posible, llevando a emplazamientos de una única tecnología. De esta forma, observaríamos las siguientes tipologías de emplazamientos:

- sitios solo 2G
- sitios solo 3G
- sitios solo 4G
- sitios 5G - se asume la tecnología 5G NSA (non-standalone), la cual implica el despliegue sobre los nodos 4G existentes
- sitios multi-tecnología

La relación entre estos emplazamientos se muestra en el diagrama a continuación.

Figura 4.2: Distribución de torres entre tecnologías inalámbricas [Fuente: Analysys Mason, 2023]



En el modelo se asume que, siempre que sea posible, los operadores móviles desplegarán prioritariamente las tecnologías más modernas en los emplazamientos ya utilizados para otras tecnologías más antiguas.

## 4.2.2 Red de transporte móvil

La transmisión de la red móvil se divide en dos partes: la red troncal o backbone y la red de backhaul

- La red de backhaul conecta los emplazamientos de acceso radio con los emplazamientos del núcleo de la red red troncal mediante enlaces de microondas, fibra óptica y/o enlaces dedicados
- La red troncal o backbone consiste en una red de fibra que conectan los emplazamientos del núcleo de la red

A continuación explicamos como el modelo determina los elementos de red necesarios para dimensionar apropiadamente cada una de estas redes.

### *Red de backhaul móvil*

Como se ha mostrado en la sección 3.2.2, la red de backhaul se compone de enlaces que pueden ser de distintas tecnologías:

- microondas,
- enlaces dedicados y
- fibra

El uso de cada una de estas tecnologías dependerá del operador modelado y del geotipo. Por ejemplo, es más común el uso de fibra propia en entornos urbanos, donde las distancias entre emplazamientos son más cortas y los tráficos por emplazamiento más altos, ya que la fibra proporciona una capacidad muy alta por enlace, pero es muy cara en distancias largas. En cambio, en entornos rurales, es más común el uso de enlaces de microondas, ya que estos no guardan una dependencia relevante con la distancia entre los enlaces (la cual es más alta en este tipo de regiones).

El modelo estima que cada emplazamiento móvil necesitará un enlace de backhaul. Posteriormente, se estima el número de enlaces necesarios de cada tecnología, multiplicando el total de enlaces necesarios por la proporción de cada tipo de enlace en cada geotipo incluido como insumo del módulo móvil. Una vez se tiene el número de enlaces necesarios de cada tipo, se calcula el número de enlaces necesarios por capacidad (p.ej. número de enlaces microondas de 30Mbps) aplicando los requisitos de capacidad backhaul necesaria para cada tecnología, que depende de los requerimientos de tráfico asociados a cada emplazamiento.

### *Red de backbone móvil*

El backbone es una parte esencial de la red, ya que dota de alta capacidad los nodos del núcleo, permitiendo una conectividad segura y redundante para los usuarios finales. Los emplazamientos del backbone móvil se estiman de una forma similar a la red de transporte fijo (ver sección 4.1.2). En concreto, se compone de un total de 9 nodos nacionales y 11 nodos core (ver Figura 3.19), conectados de forma redundante por seis anillos de fibra con una longitud total de 13 743km, como se explica en la sección 3.2.1. De manera adicional, el modelo estima cual es la capacidad necesaria para el transporte entre los distintos nodos, tomando el tráfico total de la red que atraviesa esta red de backbone.

### 4.2.3 Plataformas de núcleo móvil

Al igual que en el modelo fijo, las plataformas del núcleo de la red del operador modelado se encuentran en los nodos core y nacionales y cumplen un papel fundamental para poder ofrecer los distintos servicios. A continuación, se listan algunas de estas plataformas con sus reglas de dimensionado:

- BSC: su función es gestionar y controlar las estaciones base en un sistema de comunicación celular
  - El número de BSC a desplegar se calcula en función del número de TRX. Se considera que la mayoría de las BSC son remotas, por lo que se calcula por separado el número de puertos hacia los MSC y el número de enlaces entre BSC y MSC
- RNC: se encarga de controlar y gestionar las estaciones base UMTS conocidas como Nodos-B
  - El número de RNCs desplegados se calcula en función de la carga de tráfico UMTS (megabits por segundo de descarga en la capa de radio) y el número de puertos hacia los Nodos B
- LTE-AP (LTE Access Point): es un elemento de red equivalente a BSC/RNC en el contexto de las redes LTE (Long-Term Evolution) y 5G
  - Se calcula el número de LTE-AP en función del tráfico LTE/VoLTE y 5G
- Switches y servidores: incluyen una variedad de plataformas de red como pueden ser call servers (supervisan el tráfico de voz), MSC (Mobile Switching Center - gestiona el tráfico de telefonía móvil), MSS (Mobile Switching System - realiza la conmutación y gestión de llamadas móviles), MGW (Media Gateway - convierte señales entre redes de telefonía y redes IP), NMS (Network Management System - sistema de gestión de red) o SBC (Session Border Controller - vigila la conexión IP entre la red de acceso común y la red de voz controlada por el servidor de llamadas)
  - Estas plataformas se estiman en función de los requerimientos generales del sistema y el volumen en términos de capacidad máxima que puede cursar cada una de las plataformas, teniendo en cuenta también el número mínimo de plataformas necesarias en la red

## 5 Cálculos de los costos de red

### 5.1 Cálculos de costos de red fija y móvil

Una vez se han dimensionado los distintos activos necesarios en la red, el próximo paso es calcular el costo anual asociado a estos activos. Este costo se puede desagregar en dos componentes y es equivalente para las redes fijas y móviles:

- Capex: el cual agrega los costos de depreciación y costo de capital asociado a la adquisición e instalación de equipos en la red del operador modelado
- Opex: comprendiendo los costos de operación y mantenimiento asociados a los distintos equipamientos

Para cada elemento de red se estiman los costos de cada una de estas componentes. Para ello, en primer lugar se estima el opex y capex anual. El opex se calcula sencillamente multiplicando el costo unitario (insumo del modelo) para cada año por el número de elementos de red activos en ese año concreto. Para el caso del capex, se estima el número de activos nuevos a desplegar cada año, y se multiplica este valor por su capex unitario. Cabe destacar que el número de activos a desplegar cada año considera no solo el número de equipos nuevos en la red, sino también el número de equipos que es necesario reemplazar en la red por haber alcanzado el final de su vida útil.

Una vez se dispone del opex e inversión anual, se procede a calcular el costo total anual para cada elemento de red. Este costo se modela, de acuerdo al método de depreciación económica, tal y como se describe en el documento metodológico.

#### 5.1.1 Cálculo de costos específicos de enlaces dedicados

En el caso del modelo de enlaces dedicados, como se presenta en la sección 4.1.4, es necesario el despliegue de algunos equipos específicos adicionales.

Para el cálculo de los costos asociados a estos equipos, el modelo calcula, el costo total anual, incluyendo tanto la componente de capex como el opex anual.

Con respecto a los costos asociado al capex de los equipos, estos equipos son relevantes exclusivamente para la provisión de servicios de enlaces dedicados, y no para servicios de terminación, por lo que no necesariamente deben ajustarse al método de depreciación económica. En este caso, el modelo toma el método de anualidades inclinadas para la depreciación de los costos de adquisición relevantes. Es importante comentar que, en este caso, los costos de instalación no son depreciados conjuntamente con los costos de adquisición, ya que los costos de instalación se recuperarían a través de la componente no recurrente del servicio (ver sección 6.2.2).

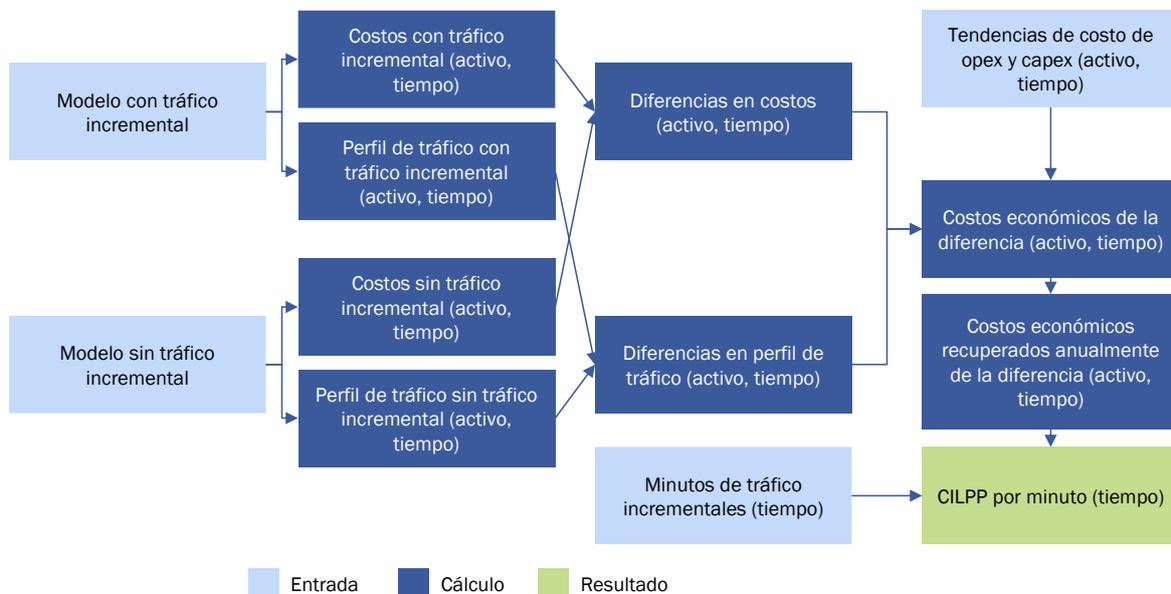
## 6 Costos de los servicios

### 6.1 Servicios de red móvil

#### 6.1.1 Servicios de interconexión

Para el cálculo de los costos de los servicios de interconexión móvil, el modelo emplea la metodología de de Costos Incrementales de Largo Plazo Puros (CILPP). El CILPP calcula los costos de un servicio con base en la diferencia entre los costos totales a largo plazo de un operador que provee el abanico total de servicios y los costos totales a largo plazo de un operador que ofrece todos los servicios salvo el del servicio que se está costeando. De esta manera, los costos unitarios son determinados como el cociente entre este costo incremental y el volumen de tráfico incremental del servicio:

Figura 6.1: Diagrama del cálculo del CILPP [Fuente: Analysys Mason, 2023]



Con esta metodología se calculan los costos de los siguientes servicios de interconexión móvil:

- Terminación de voz (tanto para el operador modelado basado en el AEP, como para el operador modelado basado en un concesionario alternativo hipotético)
- Terminación de SMS (también para ambos operadores modelados)
- Tránsito de voz en red móvil (calculado solamente para el operador modelado basado en el AEP)

#### 6.1.2 Servicios de usuario visitante

A diferencia de la interconexión, los servicios de usuario visitante se costean empleando una metodología de costos incrementales promedio a largo plazo (CIPLP). Esta metodología calcula el

incremental y en una de sus variantes se puede asignar adicionalmente la recuperación de los costos comunes por medio de asignaciones de costos (la variante del CIPLP que incorpora los costos comunes se ha sido denominada por el IFT como costo incremental total promedio de largo plazo (CITPLP)).

Como se explica en el documento del marco metodológico, en la red móvil estos costos comunes incluyen costos de la SIM, partes de la red desplegada que son comunes a todos los servicios (MSC, BSC, sitios, etc) y gastos de administración asignados a la red. Para distribuir los costos comunes a cada servicio de usuario visitante se emplea el método EPMU.

Los costos se calculan para los distintos servicios de datos, voz y SMS, y se presenta el valor unitario del resultado como promedio ponderado de los costos y volúmenes de los tres servicios, en línea con la aproximación seguida en la oferta de referencia de usuario visitante vigente.

## 6.2 Servicios de red fija

### 6.2.1 Servicios de interconexión

Los servicios de interconexión fija se costean con la misma metodología de CILPP equivalente a la seguida en los servicios de interconexión móvil (ver Figura 6.1).

Esta metodología se usa para calcular el costo de los siguientes servicios:

- Terminación de voz (tanto para el operador modelado basado en el AEP, como para el operador modelado basado en un concesionario alternativo hipotético)
- Terminación de SMS (también para ambos operadores modelados)
- Tránsito de voz en red fija (calculado solamente para el operador modelado basado en el AEP)

### 6.2.2 Servicios de enlaces dedicados

#### *Enlaces dedicados locales*

Los costos de los servicios de enlaces dedicados locales presentan una tarificación desagregada en una tarifa recurrente y una tarifa no recurrente.

En el caso de la tarifa recurrente, para su cálculo se agregan diversas componentes, de costos, a saber:

- Costos de transporte de enlaces dedicados
- Costos de equipamientos específicos
- Costos de cableado de acceso

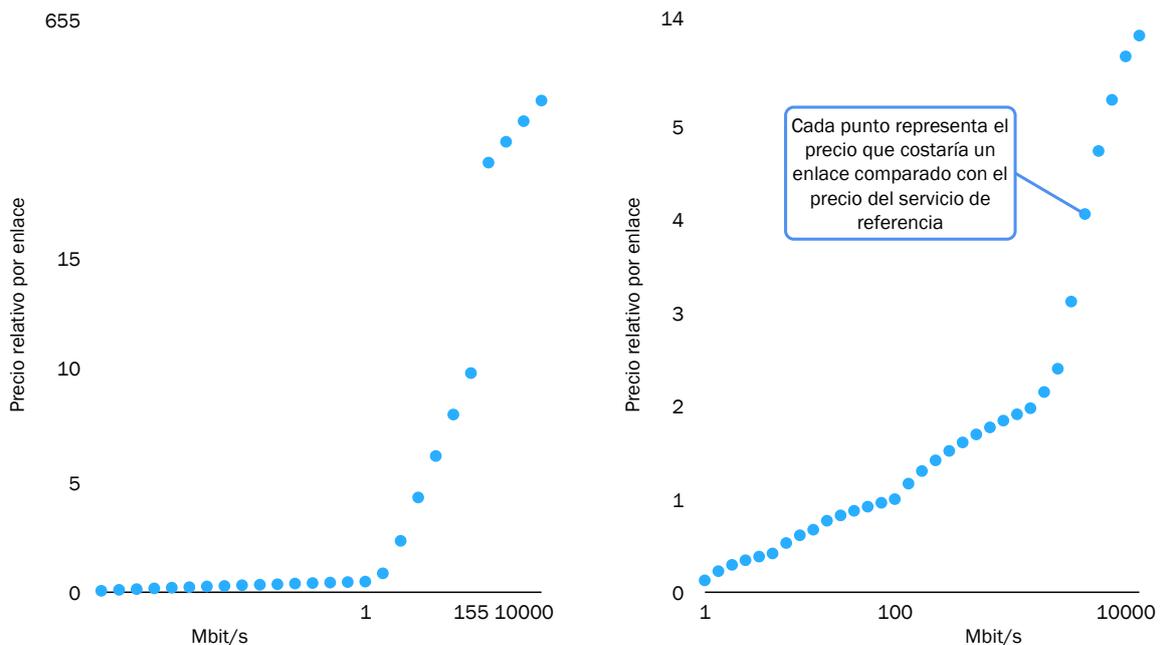
Los costos de transporte de los enlaces dedicados locales se extraen del módulo de redes fijas, bajo el estándar CIPLP que incorpora costos comunes (CITPLP) este módulo de redes fijas se ha diseñado bajo

una metodología que analiza exclusivamente los costos de una red moderna, sobre tecnología ethernet. Mientras tanto, las medidas impuestas al AEP hacen que sea necesaria la provisión de servicios a través de la tecnología TDM. Dado que los equipos asociados a la provisión de servicios TDM no se incluyen en el módulo de redes fijas, para el cálculo de los costes de enlaces dedicados se considera un factor de reconciliación que tiene en cuenta estos costos adicionales. Dicho factor se ha estimado a partir de los datos de la separación contable del AEP.

Los costos de equipamientos específicos de enlaces dedicados se calculan directamente en el módulo de enlaces dedicados, con base en la metodología expuesta en la sección 5.1.1.

Las componentes de transporte y equipamientos específicos se suman para estimar el costo total anual. Una vez obtenidos los costos anuales totales, se aplica un gradiente para repartir estos costos a cada una de las variantes de los enlaces dedicados locales. El gradiente empleado ha sido extraído a partir de las tarifas de la oferta de referencia aprobada por el IFT para el año 2023.

Figura 6.2: Gradiente empleado para enlaces locales TDM (izquierda) y Ethernet (derecha) [Fuente: Analysys Mason, 2023]



Finalmente, los costos de cableado de acceso son extraídos del modelo integral de acceso, y aplicados a cada una de las variantes del servicio modeladas con base en una serie de reglas de ingeniería, que determinan el número de servicios de acceso requeridos para cada producto.

De manera adicional, el modelo calcula los costos para los enlaces locales coubicados. Esta tarifa se estima a partir de los costos de los enlaces locales no coubicados, con una serie de ajustes.

Explícitamente para la renta mensual, no se consideran los costos relacionados en la red de acceso (determinados en el modelo por el par de cobre o hilos de fibra). Tampoco se consideran los costos de transporte (estos costos agregados son recuperados completamente con los tramos no coubicados), se

considera la mitad del porcentaje asignado de opex sobre capex de los equipos en sitio de cliente y el porcentaje asignado a la instalación en el sitio de cliente es un cuarto de lo asignado a los tramos no coubicados.

Para la tarifa de instalación, el porcentaje asignado a la instalación en el sitio de cliente es un cuarto de lo asignado a los tramos no coubicados y no se consideran los costos operativos en campo y remotos. Bajo estas consideraciones la tarifa se comprende por el porcentaje restante de recuperación de los equipos de agregación en central, los equipos en sitio del cliente y los adicionales en el sitio del cliente relacionados al cableado, así como los costos comerciales, administrativos y de operación en planta interna.

Finalmente, los costos del servicio de enlace local coubicado se calculan como porcentaje de los costos de un enlace no coubicado. Para ello, se promedian los porcentajes para las distintas velocidades de enlaces locales provistas por el operador modelado.

#### *Enlaces dedicados entre localidades*

Los costos asociados a los enlaces entre localidades se derivan principalmente de los costos de transporte de enlaces entre localidades extraídos del módulo de redes fijas. Para este servicio, el modelo fijo considera también un incremento CITPLP, es decir, el costo incremental promedio del tráfico más un costo adicional para cubrir los comunes de red.

En este caso, de manera similar a los enlaces locales, debido a que el módulo de redes fijas no incorpora los costos adicionales que incurre el AEP por la provisión de servicios TDM, el modelo de enlaces entre localidades incluye un factor de reconciliación. Este factor se ha estimado a partir de los costos observados en la separación contable del AEP.

Los costos totales son repartidos entre costos de enlaces entre localidades e internacionales, y se asignan a las diferentes velocidades con base en un gradiente de precios. Desde un punto de vista tecnológico, los enlaces internacionales son idénticos a los enlaces entre localidades y se costean por lo tanto de forma similar (a excepción de los costos asociados al equipo adicional TDM ya mencionados).

El uso del gradiente es necesario ya que existe a nivel comercial un componente de diferenciación entre costos y precios difícil de replicar en un modelo de costos ascendente. Esto se debe a que, generalmente, las estructuras comerciales de precios no están orientadas puramente a costos sino que toman en cuenta la elasticidad de la demanda (esta estructura se observa en todos los mercados, tanto regulados como no regulados). El uso del gradiente ayuda a tener en cuenta este efecto y reflejar esta diferenciación de precios de tal forma que se permite asegurar una completa recuperación de los costos asociados al servicio.

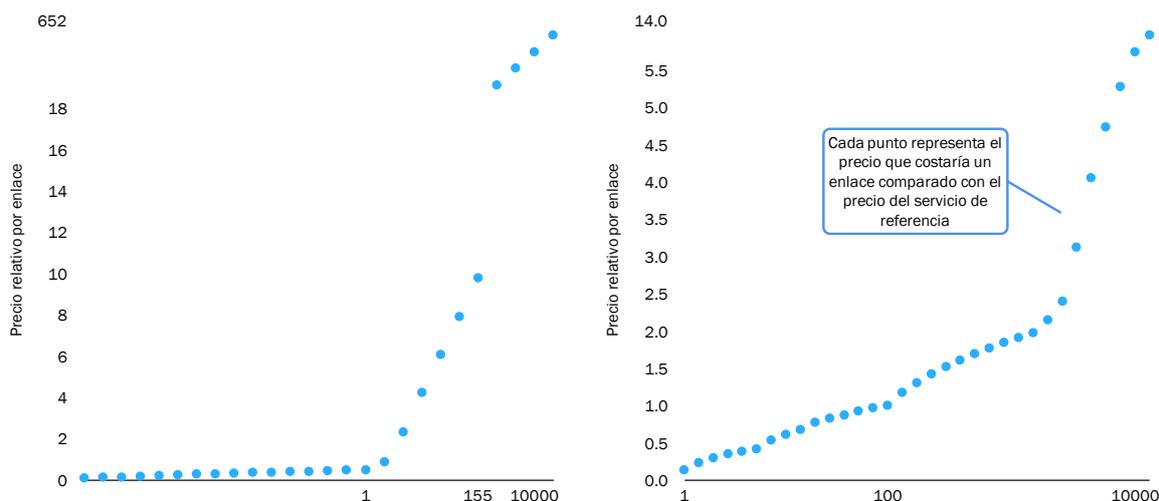
El gradiente definido representa el costo proporcional de un enlace de velocidad y tecnología específica con respecto a un enlace de referencia y se estima a partir de los precios en la última oferta de referencia aprobada por el IFT. Cabe destacar que en la aplicación del gradiente, se toman las distancias promedio asociadas a cada tipo de enlace (ethernet y TDM). Las distancias aplicadas para cada tecnología son

116 km para los enlaces TDM y 111 km para los enlaces ethernet. Estas distancias se aplican para las distintas velocidades de cada tecnología.

A continuación, se muestra el gradiente empleado para enlaces entre localidades TDM y Ethernet, es importante recalcar que el servicio de referencia es el mismo para ambas tipologías de enlace (GigaEthernet 100Mbps):

Figura 6.3: Gradiente empleado para enlaces entre localidades TDM (izquierda) y Ethernet (derecha)

[Fuente: Analysys Mason, 2023]



El proceso de aplicación del gradiente implica tres pasos principales basados en la demanda y el precio de los enlaces de referencia equivalentes:

1. Calcular el número de enlaces de referencia equivalentes: esto se hace tomando el número total de enlaces según velocidad y distancia (enlaces entre localidades e internacional) y velocidad (enlaces locales) y multiplicando por el gradiente de precios
2. Calcular el precio del enlace de referencia: para esto se dividen los costos totales que tienen que ser distribuidos (costos de transporte y los costos adicionales de calibración) por el número de enlaces de referencia equivalentes
3. Finalmente, se calcula el precio de cada velocidad de los enlaces: se multiplica el gradiente por el precio de referencia. En el caso de los enlaces internacionales, se suma al precio resultante los costos de equipos adicionales específicos de cada enlace TDM.

En el caso de enlaces entre localidades, no es necesario el despliegue de equipos adicionales, con lo cual no se añade ningún costo adicional por esta componente.

No obstante, en el caso particular de enlaces de larga distancia internacional bajo la tecnología TDM sí es necesario la estimación de costos de algunos equipos específicos. Esto es debido a que, en países como Estados Unidos de América y Japón, entre otros, se emplea la tecnología, PDH con 24 canales en vez de 30 (portadora-T en vez de portadora-E). Es decir, se comercializan enlaces T1 en vez de E1. Por ello, el AEP ha de disponer de equipos de traducción de interfaces especiales para poder transportar el

tráfico al extranjero. Esta traducción no es necesaria para interfaces Ethernet, por lo que los precios de enlaces entre localidades y de larga distancia internacional para esta tecnología son idénticos.

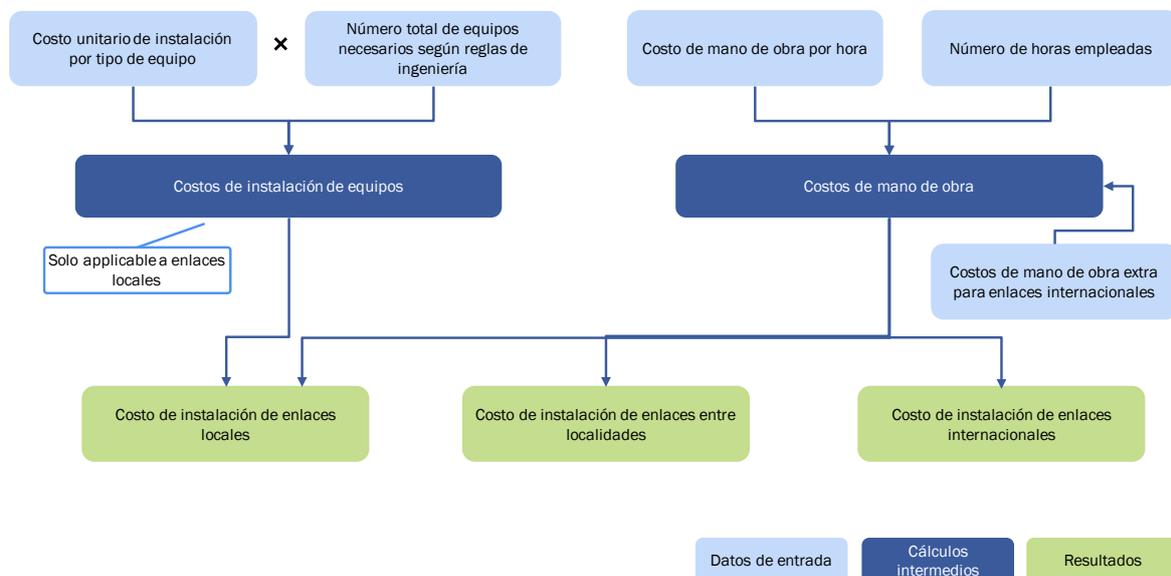
### Costos no recurrentes

Los costos no recurrentes se estiman a partir de dos componentes:

- En primer lugar, los costos de instalación asociados a los equipos específicos de enlaces dedicados para cada una de las velocidades. Estos solo aplican para los enlaces dedicados locales.
- En segundo lugar, los costos del personal del operador modelado necesarios para proceder a la activación del servicio (incluyendo comerciales, administrativos, planta interna, planta externa y operativos en remoto). Estos costos se estiman multiplicando el tiempo estimado de actuación para los distintos perfiles de personal involucrados en la instalación y el costo unitario asociado al trabajo de este personal.

A continuación, se ilustra el cálculo que se realiza en el módulo de enlaces dedicados, tanto para enlaces locales, como para enlaces entre localidades e internacionales:

Figura 6.4: Cálculo de los costos de instalación de los enlaces dedicados [Fuente: Analysys Mason, 2023]



### 6.2.3 Servicio de concentración y distribución asociado al SAIB

Los costos del servicio de concentración y distribución asociado al SAIB se extraen, en primera instancia del módulo de redes fijas bajo el estándar de costos CIPLP. En este módulo se extrae el costo unitario asociado a un servicio genérico de concentración y distribución, por Mbps de tráfico efectivo (asumiendo un servicio asimétrico y con calidad best effort). El módulo proporciona los costos para los tres niveles de agregación disponibles (local, regional y nacional).

Posteriormente, el objetivo del módulo de concentración y distribución (módulo SCyD) es el de despromediar el costo del servicio para las distintas variantes existentes del servicio. Para ello, el modelo presenta una serie de factores multiplicativos de ajuste para las distintas variantes.

Para el cálculo del costo asociado a una variante concreta, se toma el precio base para el nivel de agregación correspondiente y se multiplica por los factores de ajuste correspondientes a la variable.

Adicionalmente, cabe destacar que las tarifas finales del SAIB se calcularán añadiendo el costo de acceso al costo del SCyD. El modelo incluye, a modo meramente ilustrativo, los resultados finales del SAIB a través de una estimación de alto nivel de los costos de acceso para los distintos años modelados.

Por último, el modelo incluye las tarifas para las dos modalidades disponibles en la oferta de referencia del SAIB, definidas como:

- Caso I, en la cual los servicios se prestan a través de fibra óptica, o bien se prestan a través de cobre, pero no se hace uso de las frecuencias bajas para prestar servicios de voz por el mismo medio. En este caso, la tarifa se compone del costo del SCyD y el del acceso
- Caso II, donde los servicios se prestan a través de cobre, y se hace uso de las frecuencias bajas para prestar servicios de voz (ya sea por el mismo CS, la Empresa Mayorista o bien otro CS); por ejemplo, cuando un CS contrata el SAIB y otro Concesionario Solicitante provee voz a través de un servicio de reventa. En el Caso II, la tarifa excluye el costo asociado al acceso, y simplemente se cobra por el SCyD