

**Informe para la Comisión del
Mercado de las
Telecomunicaciones (CMT)**

**Modelo de costes
incrementales prospectivos
a largo plazo (LRIC) de
interconexión en redes fijas**

27 de mayo de 2013

Referencia: 21370-365

Índice de contenidos

1	Introducción	1
2	Enfoque conceptual	2
2.1	Operador	2
2.2	Tecnología	5
2.3	Servicios	10
2.4	Implementación	11
3	Arquitectura general del modelo	15
3.1	Módulos del modelo	15
3.3	Implementación de los módulos del modelo	17
4	Módulo de diseño geográfico de la red	18
4.1	Introducción	18
4.2	Descripción funcional del módulo	20
4.3	Ficheros del módulo de diseño geográfico	41
5	Módulo de demanda de mercado	43
5.1	Introducción	43
5.2	Servicios considerados en el módulo de demanda de mercado	44
5.3	Descripción funcional del módulo de demanda de mercado	51
5.4	Ficheros del módulo de demanda de mercado	73
6	Módulo de cálculo del tráfico de la red	74
6.1	Introducción	74
6.2	Servicios de red considerados en el módulo de cálculo del tráfico de la red	75
6.3	Descripción del funcionamiento del módulo de cálculo del tráfico de la red	82
6.4	Ficheros del módulo de cálculo del tráfico de red	97
7	Módulo de dimensionamiento de la red	98
7.1	Introducción	98
7.2	Estructura de la red modelada	99
7.3	Descripción de funcionamiento del módulo de dimensionamiento de la red	103
7.4	Ficheros del módulo de dimensionamiento de red	135
8	Módulo de cálculo del opex y de los costes de inversión y gastos de operación de los sistemas BSS/OSS	136
8.1	Cálculo del opex de la red	136
8.2	Cálculo de los costes de inversión y gastos de operación de los sistemas BSS/OSS	141
8.3	Ficheros del módulo de cálculo del opex y de los costes de inversión y gastos de operación de los sistemas BSS/OSS	145

9	Módulo de costeo	146
9.1	Introducción	146
9.2	Descripción funcional del módulo	147
9.3	Ficheros del módulo de costeo	157

Anexo A: Tipos de incrementos utilizados en los modelos de costes

Anexo B: Glosario

Copyright © 2012. Analysys Mason Limited ha desarrollado todo el material contenido en el presente documento para la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones (CMT). La propiedad de dicha información, así como su uso y divulgación, están sujetos a los Términos Contractuales acordados entre Analysys Mason Limited y la CMT.

Analysys Mason Limited Sucursal en España

José Abascal 44 4º

28003 Madrid

España

Tel: +34 91 399 5016

Fax: +34 91 451 8071

madrid@analysysmason.com

www.analysysmason.com

Sede Central: Analysys Mason Limited

Bush House, North West Wing, Aldwych

London WC2B 4PJ, UK

No. 5177472, C.I.F. W0066133J

1 Introducción

La Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones ('CMT') ha adjudicado a Analysys Mason Limited ('Analysys Mason') el contrato para la elaboración de un modelo ascendente (*bottom-up* en inglés) de costes incrementales prospectivos a largo plazo (BULRIC, por sus siglas en inglés) de interconexión en redes fijas.

Este informe describe los principios conceptuales sobre los que sustenta el modelo, así como los pasos seguidos en la construcción del mismo.

Este documento es una actualización del informe que acompañó al modelo de costes de interconexión de un operador fijo de telecomunicaciones que la CMT sacó a consulta pública en los meses de diciembre de 2012 y enero de 2013. La actualización de este documento se produce tras la recepción de comentarios y sugerencias de las organizaciones que respondieron a la consulta de la CMT, así como tras conversaciones mantenidas con la CMT.

Requisitos mínimos recomendados para ejecutar el modelo

El modelo está compuesto por 11 ficheros desarrollado en MS Excel. Se describen a continuación los requisitos mínimos del *hardware* y *software* a utilizar para ejecutar el modelo:

- MS Excel 2010 de 64 bits en un sistema operativo de 64 bits
- 6GB de memoria RAM
- procesador de cuatro núcleos reales.

Estructura del documento

El presente informe está estructurado como sigue:

- **Sección 2:** presenta el enfoque conceptual del modelo
- **Sección 3:** describe la arquitectura del modelo
- **Sección 4:** presenta el módulo de diseño geográfico
- **Sección 5:** presenta el módulo de demanda de mercado
- **Sección 6:** presenta el módulo de cálculo del tráfico de la red
- **Sección 7:** presenta el módulo de dimensionamiento de la red
- **Sección 8:** presenta el módulo de cálculo de los costes de mantenimiento de la red y de la inversión y gastos de operación de los sistemas BSS/OSS
- **Sección 9:** presenta el módulo de costeo.

El informe incluye los siguientes anexos que contienen material complementario:

- **Anexo A:** detalla los tipos de incremento utilizados en los modelos de costes
- **Anexo B:** incluye un glosario con los acrónimos utilizados en el informe.

2 Enfoque conceptual

Esta sección aborda los principios conceptuales de relevancia para el desarrollo del modelo, los cuales se clasifican en base a cuatro dimensiones clave: operador, tecnología, servicios e implementación. Estas cuatro dimensiones se ilustran en la siguiente figura.

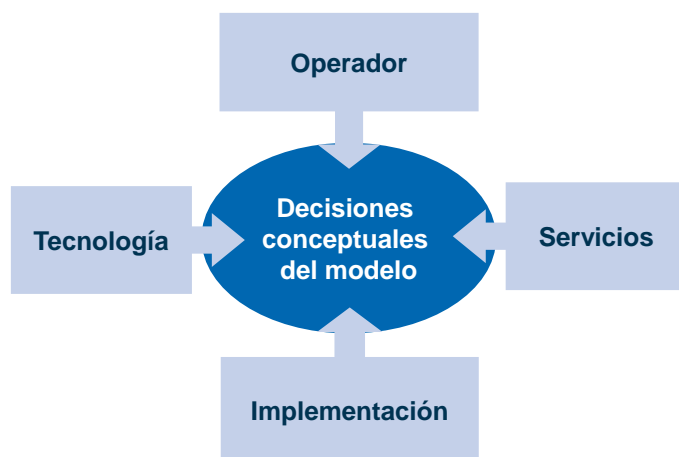


Figura 2.1: Marco metodológico sobre el modelo de costes [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Cada una de estas cuatro dimensiones se trata en detalle a continuación, conforme a la siguiente estructura:

- Sección 2.1: Operador
- Sección 2.2: Tecnología
- Sección 2.3: Servicios
- Sección 2.4: Implementación.

Asimismo, en el Anexo A se describen los tipos de incrementos utilizados en el modelo de costes.

2.1 Operador

En esta sección abordamos los aspectos conceptuales relacionados con el tipo de operador a modelar. Está estructurada como sigue:

- tipo de operador (Sección 2.1.1)
- configuración de la red del operador (Sección 2.1.2)
- tamaño del operador (Sección 2.1.3).

2.1.1 Tipo de operador

Concepto 1: El tipo de operador modelado corresponde a un operador hipotético existente o a un hipotético nuevo entrante, y el modelo aporta cierta flexibilidad para usar ambas opciones. El modelo:

- permite al operador comenzar su despliegue y lanzar operaciones comerciales en un año determinado, que puede configurarse en el propio modelo; asimismo permite variar la velocidad de evolución de su cuota de mercado
- contiene escenarios predefinidos que reflejan operadores hipotéticos basados en operadores existentes: operador con cobertura de incumbente, alternativo de alcance nacional y alternativo de alcance regional.

El tipo de operador a modelar es el principal aspecto conceptual que determina la estructura y los parámetros del modelo. En este modelo existen las siguientes opciones para definir el operador:

- **operador hipotético existente** – se define un operador con características similares a, o derivadas de, los operadores existentes en el mercado, pero se ajustan ciertos aspectos hipotéticos como puede ser la fecha de entrada al mercado y la cuota de mercado
- **nuevo entrante hipotético** – se define un nuevo operador que entra al mercado en el año 2011 o 2012 con una arquitectura de red moderna y que adquiere la cuota de mercado eficiente del operador representativo.

2.1.2 Configuración de la red del operador

Concepto 2: El nivel de cobertura geográfica máximo que se refleja en el modelo es comparable con el ofrecido por el operador fijo incumbente en España. La red de centrales de acceso del operador incumbente sirve de base para diseñar la red del operador modelado. El modelo permite configurar el alcance del operador modelado seleccionando aquellas centrales en las que se encuentra presente.

La cobertura que ofrece un operador es un aspecto central del despliegue de una red.

El modelo permite calcular los costes de diferentes tipos de operador al poder ajustarse la cobertura del operador modelado.

2.1.3 Tamaño del operador

Concepto 3: La cuota de mercado del operador modelado es configurable por parámetro.

La cuota de mercado del operador modelado es configurable por servicio como un porcentaje del número total de suscriptores y tráfico a nivel de mercado. Posteriormente se reparte el tráfico entre los diferentes nodos de acceso y servicios.

Uno de los principales parámetros del modelo es la cuota de mercado del operador modelado, cómo evoluciona y el periodo en que se da esta evolución.

El tamaño del operador a modelar viene principalmente determinado por el tráfico minorista y mayorista que transita por su red. Este tráfico se calcula en base a su cuota de mercado de los diferentes servicios minoristas y mayoristas existentes en el mercado. Por ejemplo, la cuota de mercado de un operador para un servicio mayorista como puede ser el acceso indirecto no será necesariamente la misma a la cuota de mercado de dicho operador en el mercado minorista.

El hecho de tener una cuota de mercado diferente para cada grupo de servicios puede tener un impacto considerable en los costes unitarios, ya que los costes absorbidos por cada servicio varían en función de su tráfico – y por extensión de su cuota de mercado.

Concepto 4: La velocidad de crecimiento de un operador en términos de cuota de mercado es configurable y consistente con el tipo de operador elegido (hipotético existente o hipotético nuevo entrante).

Otra cuestión relevante en lo que respecta al *tamaño eficiente* es el tiempo que toma el operador en llegar a su estado estable. La velocidad con la que esto se logrará está determinada (por separado) por la velocidad del despliegue de red y por el aumento de tráfico sobre la red desplegada.

La elección del tipo de operador hipotético – existente o nuevo entrante – afectará la velocidad de crecimiento de su cuota de mercado. Existen dos opciones principales:

- el operador hipotético adquiere su cuota de mercado definitiva desde el primer año
- el operador hipotético empieza sin suscriptores y va adquiriendo de forma progresiva cuota de mercado hasta llegar a su cuota de mercado estable a largo plazo.

Los parámetros a tener en cuenta dentro del modelo deben ser el año de lanzamiento del modelo, así como la velocidad de crecimiento de la cuota de mercado – en cuántos años alcanza la cuota de mercado estable. El modelo incorpora la flexibilidad necesaria para implementar ambas opciones.

2.2 Tecnología

En esta sección abordamos los aspectos conceptuales relacionados con la tecnología desplegada por el operador modelado. Está estructurada como sigue:

- arquitectura moderna de red (Sección 2.2.1)
- demarcación de las capas de red (Sección 2.2.2)
- diseño de los nodos de red (Sección 2.2.3)
- dimensionamiento de los activos de red (Sección 2.2.4)
- calidad de servicio (Sección 2.2.5)
- arquitectura de interconexión (Sección 2.2.6).

2.2.1 Arquitectura moderna de red

Concepto 5: La arquitectura de la red del operador modelado consta de tres niveles de red: acceso, agregación y core. Cada uno de estos niveles puede dividirse en sub-niveles si las características de la red así lo requiriesen (p.ej. para reducir el número de puntos unidos a un mismo nodo de nivel superior).

La estructura de una arquitectura de red de un operador de telecomunicaciones fijo compuesta por tres niveles es un criterio común entre los despliegues de red de operadores a nivel internacional, y así resulta ser en el mercado español.

Cada operador adapta ulteriormente este modelo a sus necesidades, añadiendo niveles intermedios adicionales donde se requiera, siempre manteniendo la estructura principal de tres niveles de red. Así, un operador con una red extensa podrá considerar añadir subniveles adicionales, generalmente a nivel de agregación para, por ejemplo, incrementar la robustez de la red. Otros operadores podrían considerar añadir subniveles adicionales en la red de acceso si la estructura idónea de esa parte de la red fuera, por ejemplo, una estructura en árbol o una mezcla de anillos y enlaces punto a punto para nodos más distantes.

Concepto 6: Se consideran en la red de acceso las tecnologías de cobre y fibra con un despliegue de DSLAM y OLT, respectivamente.

El número de líneas de acceso (cobre o fibra) por tecnología sigue un patrón de migración pre-configurado y consistente con el modelo de costes del servicio NEBA desarrollado por la CMT. Así, el presente modelo permite calcular el número de líneas de acceso por tecnología para todos y cada uno de los nodos.

El operador modelado captura una cuota de subscriptores que utilizan las dos tecnologías disponibles.

No se modela la red de acceso (última milla) pero su despliegue tiene impacto en el diseño de la red que se refleja en despliegues de DSLAM y OLT.

La red de última milla de cobre sigue siendo la utilizada mayoritariamente para dar servicio a los usuarios españoles. Adicionalmente, el despliegue de fibra es ya una realidad en el mercado español, y así ha sido considerado por la CMT en sus otros modelos de costes.

El operador hipotético modelado debe desplegar tecnologías eficientes, y un operador que desplegara una red de acceso alámbrica hoy en día desplegaría una red de fibra (al menos en la mayor parte de la red) por ser la tecnología más eficiente para prestar los servicios que actualmente están prestando los operadores de telecomunicaciones fijas.¹

Por todo ello, el modelo considera una red de cobre y fibra en el acceso, sin considerar de forma explícita tecnologías alternativas como pueden ser cable, tecnologías inalámbricas u otras tecnologías de acceso.

Concepto 7: Se han considerado una red de transporte/transmisión basada en IP/MPLS sobre Ethernet nativo y WDM para la red troncal (agregación y core) y plataformas NGN IP para los servicios vocales. Los servicios de voz están habilitados por aplicaciones que utilizan sub-sistemas multimedia IP (IMS) o similares (p.ej. *call servers* y *softswitches*).

Una red troncal NGN se define como una plataforma convergente basada en IP que transportará todos los servicios que el operador de telecomunicaciones preste, p.ej. voz, banda ancha, TV, etc. La red de transporte y conmutación estará basada en conmutadores (*switches*) y enrutadores (*routers*) Ethernet e IP/MPLS y una transmisión óptica WDM cuando sea necesario disponer de mayor capacidad en cada fibra.

Un operador que hubiera comenzado sus operaciones recientemente o entrara en el mercado en el momento presente no desplegaría una red telefónica conmutada en la red troncal sino una red multi-servicio NGN basada en todo-sobre-IP. El modelado de una red NGN/IP está en línea con lo dispuesto por la Comisión Europea (CE) en su Recomendación sobre el cálculo de los costes de terminación, que indica lo siguiente: “*un modelo ascendente que se construyera hoy podría en principio asumir que la red central para las redes fijas esté basada en redes de la próxima generación (next generation network – NGN)*”.

¹ Es posible que en ciertas zonas rurales se desplegara una red inalámbrica por razones de coste/beneficio.

2.2.2 Demarcación de las capas de red

Concepto 8: El punto de demarcación entre la red de acceso y las otras capas de la red es el primer punto donde se realiza la concentración del tráfico de manera que los recursos se asignan en función de la carga de tráfico cursado. Este punto de demarcación se corresponde con las partes en las que se produce la agregación del tráfico (en el caso de una red de acceso de cobre) y del OLT (en el caso de una red de acceso de fibra).

En Europa, la Recomendación de la Comisión de mayo de 2009 sobre el tratamiento regulatorio de las tarifas de terminación fija y móvil en la Unión Europea establece lo siguiente: *“El punto de demarcación por defecto entre los costes relacionados con el tráfico y los no relacionados con el tráfico es normalmente el punto en el que se produce la primera concentración de tráfico.”*

En el caso del presente modelo, no se tienen en cuenta los costes asociados con la red de acceso (última milla), ya que sus costes no se consideran variables con el tráfico.

El primer punto donde se realiza concentración de tráfico de manera que los recursos se asignan en función de la carga de tráfico cursado es el llamado punto de demarcación a partir del cual se consideran los elementos de red que tienen que ser incluidos en el modelo de costes. Este punto de demarcación se corresponde con las partes del DSLAM donde se realiza la agregación de tráfico (en el caso de una red de acceso de cobre) y de las partes con funcionalidad análoga del OLT (en el caso de una red de acceso de fibra).

2.2.3 Diseño de los nodos de la red

Concepto 9: El modelo permite elegir el número y ubicación de los nodos que constituyen los niveles de acceso, agregación y core de la red modelada. Las listas de nodos seleccionables en los niveles de acceso y agregación se corresponden con las coordenadas de los nodos de acceso y agregación de la red del operador incumbente.

El modelo toma como referencia la lista y coordenadas de las centrales del operador con cobertura global. Asimismo, los nodos que forman parte del nivel de agregación también están basados en la lista de centrales del operador con cobertura global.

No obstante, siguiendo un enfoque *scorched-earth* en el despliegue de la infraestructura física del operador, el modelo diseña una estructura de red de conexión de las centrales basada en criterios de eficiencia así como diseña y define la red troncal desde cero con criterios de eficiencia.

2.2.4 Dimensionamiento de los activos de red

Concepto 10: El modelo calcula, para cada año, el número total de activos de red en función del número mínimo de equipos que el operador modelado necesita para garantizar el comienzo de sus operaciones y poder satisfacer la demanda de tráfico esperada de los distintos servicios que transcurren por su red.

El modelo permite dimensionar la red del operador en base a la capacidad requerida en la hora cargada para cada servicio.

La adquisición y despliegue de los activos de red comienza con antelación a su puesta en servicio siguiendo un periodo de planificación (diferente para cada tipo de activo) que constituye un parámetro de entrada. El modelo calcula, para cada año, el número de elementos de cada tipo de activo de red necesario para satisfacer la demanda. Asimismo, el modelo tiene en cuenta la red ya desplegada en años anteriores.

2.2.5 Calidad de servicio

Concepto 11: La red del operador puede dimensionarse de acuerdo a dos enfoques de provisión de calidad de servicio:

- *Método 1* – se garantiza capacidad suficiente para transportar el tráfico de voz durante la hora cargada (utilizando una tasa de transmisión de voz configurable), y se reserva una cantidad de ancho de banda por conexión para el servicio de banda ancha (en base a un factor de sobre-suscripción) y para los canales de televisión de acuerdo a su naturaleza (SD o HD).
- *Método 2* – la capacidad requerida en cada nivel y elemento de red se calcula independientemente para cada tipo de tráfico en función de su calidad de servicio asociada (*Best Effort*, *Alta Prioridad* y *Real Time*).

Las redes históricas PSTN, basadas en conmutación de circuitos, asignan un camino físico dedicado a cada llamada de voz, reservando un ancho de banda dedicado (habitualmente un canal de voz PSTN tiene un ancho de banda de 64kbit/s) en toda la red durante la duración de la misma, e independientemente de si se está transmitiendo señal de audio entre los participantes.

Por el contrario, las NGN/IP se basan en tecnologías de conmutación de paquetes, donde la voz se envía en ‘paquetes’ de datos digitalizados. Sin especificidades de red especiales, como mecanismos de QoS, cada paquete de voz compite con los paquetes de otros servicios (voz u otros tipos de datos en una red NGN) por los recursos de red disponibles. Los mecanismos existentes para garantizar la calidad de servicio pueden priorizar los paquetes que llevan voz sobre otros tipos de paquetes de datos ayudando a asegurar que los paquetes de voz circulan por la red cumpliendo con los parámetros de pérdidas, retardo y jitter asociadas al servicio de voz.²

Hoy en día, los operadores suelen dimensionar sus redes en función del tráfico total que estiman que circulará por sus redes en las diferentes horas cargadas, sobredimensionando los recursos de la red para soportar capacidad de tráfico adicional a la calculada en la hora cargada y dando prioridad al tráfico de voz (normalmente marcado como real-time).

² Un ancho de banda abundante y suficiente para todos los servicios/llamadas también puede mejorar la calidad de la llamada en el caso de que no se apliquen otros mecanismos de QoS. Sin embargo, la falta de mecanismos de QoS y un ancho de banda limitado pueden llevar a que la calidad en las llamadas que resulten inaceptables en las horas cargadas.

Existe la posibilidad de utilizar otro método de dimensionamiento de la capacidad de red en base a niveles de calidad de servicio asociados con cada tipo de servicio. Por este método, se asignarían distintos tipos de calidad de servicio a cada tipo de tráfico, dimensionando los elementos de red en base a la combinación de tráfico con diferentes tipos de calidad de servicio que transita en cada nivel de red.

En este caso, los recursos de red se dimensionarían para cumplir con las necesidades de retardo, jitter, etc. definidos para cada tipo de tráfico. Para calcular la capacidad adicional requerida para cumplir con los parámetros de calidad de servicio especificados, se asignaría un peso diferente a cada tipo de tráfico de red. Es decir, para cada tipo de tráfico y por elemento de red involucrado por nivel de red se obtiene el peso en relación a la capacidad que requeriría el tráfico si tuviera una *QoS Best Effort*, el cual se toma como referencia. Esta ponderación representa la capacidad adicional que es necesario reservar para asegurar que el tráfico transportado responde a los requerimientos de QoS correspondientes a su nivel de calidad.

2.2.6 Arquitectura de interconexión

Concepto 12: El operador modelado puede interconectarse con los otros operadores a través de la tecnología TDM (SS7), IP o ambas en cada uno de sus PdIs. La ubicación de los PdIs, así como la proporción del tráfico que se interconecta por TDM y/o IP, son parámetros configurables en el modelo.

Los PdIs de voz se sitúan en nodos de la red core.

Los costes unitarios de los servicios se calculan para los dos tipos de interconexión en función del tipo de tráfico cursado, así como de forma global para todo el tráfico de interconexión independientemente de la tecnología empleada. Los costes unitarios de interconexión se pueden calcular por tráfico (minutos cursados) y por capacidad (E1, STM-1, etc.) para el caso de la interconexión TDM, y por tráfico (minutos cursados) y por capacidad (Fast Ethernet, GigE, 10GE, etc.) en el caso de la interconexión IP.

Existen en la actualidad dos tipos principales de interconexión: por una parte, la interconexión TDM, considerada como tradicional al basarse en la tecnología de conmutación de circuitos tradicionalmente utilizada para el transporte de voz; por otra parte, la interconexión IP, resultante de la evolución progresiva de las redes core de los operadores hacia una infraestructura NGN-todo-IP.

Si bien para los servicios vocales la red modelada está basada en una arquitectura NGN/IP, el modelo contempla tanto la interconexión de dicha red con otras redes NGN como también con redes basadas en TDM. La interconexión con las redes de otros operadores en una NGN/IP se implementa a través de pasarelas frontera (*border gateways* en inglés) que controlan el acceso a la red. Si la red se interconecta con una red tradicional de circuitos conmutados, se necesitan *media gateways* o *trunking gateways* que conviertan los paquetes de voz en señales TDM.

2.3 Servicios

En esta sección abordamos los aspectos conceptuales relacionados con los servicios que se incluyen el modelo de costes. Está estructurada como sigue:

- servicios a modelar (Sección 2.3.1)
- perfil de tráfico de la red del operador modelado (Sección 2.3.2)
- costes mayoristas o minoristas (Sección 2.3.3).

2.3.1 Servicios a modelar

Concepto 13: El operador modelado proporciona todos los servicios comunes no-de-voz disponibles en España (acceso de banda ancha, enlaces dedicados, televisión, vídeo, etc.), así como los servicios de voz (minoristas, originación y terminación de voz, tránsito, etc.).

La red NGN-IP del operador modelado transporta el tráfico de todos los servicios ofrecidos por el operador. Las economías de alcance derivadas de la prestación de servicios de voz y datos a través de una única infraestructura resultarán en un coste unitario menor de los servicios de voz y datos. Esto es particularmente cierto para redes basadas en una arquitectura de nueva generación, donde los servicios de voz y datos pueden ser transportados a través de una plataforma única.

2.3.2 Perfil de tráfico de la red del operador modelado

Concepto 14: El perfil de tráfico del operador modelado se calcula en base al número total de usuarios del operador y al consumo medio de un usuario del mercado para los servicios considerados – voz, datos, IPTV, video-llamadas, etc.

El tráfico transportado por un operador en su red está compuesto por el tráfico generado por la totalidad de sus suscriptores mayoristas y minoristas y del tráfico entrante generado por los suscriptores de otros operadores y con destino a los usuarios del operador. Es importante por lo tanto definir de forma precisa el volumen y perfil³ del tráfico cursado en la red del operador modelado.

Es necesario definir el volumen y el perfil del tráfico cursado para cada uno de los servicios en la red del operador modelado. El modelo asume que el operador modelado captura una cuota de mercado, es decir, la parte de los suscriptores del mercado que han contratado sus servicios con el operador modelado. El perfil y volumen de tráfico del operador modelado se define como la suma de tráfico generado y recibido por todos sus suscriptores. Dichos suscriptores son abonados promedio. En efecto, el modelo asume que el operador modelado opera en un mercado hipotético competitivo, por lo que la base de suscriptores de cada operador tendrá el mismo perfil de uso. Por ello, aproximamos el perfil y volumen de tráfico de un suscriptor del mercado modelado como la media del mercado, manteniendo la consistencia con la escala de dicho operador.⁴

³ Por 'perfil' entendemos las proporciones de llamadas desde/a varios destinos fijos y móviles, por hora del día y usos de otros servicios.

⁴ P.ej. se puede esperar que la proporción de llamadas originadas on-net, a igualdad de factores, esté relacionada con la talla de la base de suscriptores del operador. Claramente, a medida que el tamaño del operador modelado evolucione través del tiempo, se estimaría una proporción de tráfico on-net cambiante dinámicamente.

2.3.3 Costes mayoristas, minoristas y costes comunes

Concepto 15: El modelo calcula los costes de red mayoristas – sin considerar los costes asociados a actividades minoristas como el marketing – al que se añadirán los costes generales comunes a las operaciones minoristas y de red.

El modelo considera sólo aquellos costes que son relevantes para la prestación de los servicios mayoristas de un negocio verticalmente separado que se pretenden regular con el desarrollo del modelo.

Por otro lado, mientras en el caso del LRAIC+ se reparten los costes comunes mayoristas de la totalidad de la red entre los diferentes servicios, en el caso de utilizar LRIC puro solo se tiene en cuenta los costes incrementales dependientes del tráfico.

2.4 Implementación

En esta sección abordamos los aspectos conceptuales relacionados con la implementación de los servicios en el modelo de costes. Está estructurada como sigue:

- selección del incremento de servicio (Sección 2.4.1)
- cálculo de costes de la red del operador (Sección 2.4.2)
- depreciación (Sección 2.4.3)
- serie de tiempo (Sección 2.4.4)
- criterios de reparto de costes a servicios (Sección 2.4.5)
- coste de capital promedio ponderado (WACC, por sus siglas en inglés) (Sección 2.4.6).

2.4.1 Selección del incremento de servicio

Concepto 16: En línea con los requisitos establecidos por la CMT, el modelo calcula los costes unitarios de los servicios de terminación y originación de voz utilizando un enfoque LRIC puro.

El modelo permite calcular el coste unitario de todos los servicios de red utilizando un enfoque LRAIC plus.

La Recomendación de la CE establece que *“los costes de los servicios de terminación deben calcularse en función de los costes incrementales prospectivos a largo plazo (LRIC)”*.⁵ La CMT ha solicitado que también se calcule el coste unitario del servicio de originación con un LRIC puro.

Para el cálculo de los costes unitarios de otros servicios se utilizará un enfoque LRAIC+.

⁵ RECOMENDACIÓN DE LA COMISIÓN de 7 de mayo de 2009 sobre el tratamiento normativo de las tarifas de terminación de la telefonía fija y móvil en la UE (2009/396/CE), párrafo (13). Disponible en <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:124:0067:0074:ES:PDF>.

2.4.2 Cálculo de costes de la red del operador

Concepto 17: Los costes del operador incluyen las inversiones (capex) – incluyendo los costes de instalación y puesta en marcha – y los gastos operativos (opex) incurridos de manera eficiente.

Los costes son calculados como flujo de caja anual, partiendo de la base de costes unitarios de los equipos (capex y opex asociado) en base al número de elementos desplegados cada año. Los costes unitarios de capex y de opex siguen tendencias que reflejan la evolución de los precios de los diferentes tipos de equipos, así como mejoras en las prestaciones de los mismos a lo largo del tiempo.

Operar una red conlleva una serie de gastos e inversiones a lo largo del tiempo. Estos costes se clasifican de la siguiente manera:

- **Gastos operativos (opex)** – aquellos gastos incurridos por un operador en la explotación de su negocio, como gastos de ventas, administración, salarios, alquileres, etc. Los gastos operativos se reflejan en la cuenta de pérdidas y ganancias del año en que se incurren.
- **Inversiones de capital (capex)** – aquellos costes incurridos en el desarrollo o provisión de los elementos no consumibles de un negocio que crearán beneficios futuros, típicamente la inversión en activos. Estos gastos suelen registrarse en el libro de activos de la empresa y se amortizan con el tiempo.

Los costes de todos los elementos de red considerados en el modelo están compuestos por un componente de opex y/o de capex, y deben ser recuperados a lo largo de la vida del activo.

2.4.3 Depreciación

Concepto 18: Se utiliza la depreciación económica como algoritmo de recuperación de costes. Se han implementado además con fines informativos otras metodologías de depreciación en el modelo: depreciación lineal más recuperación del coste de capital, anualidad estándar (*annuity*) y depreciación por amortización variable (*tilted annuity*).

El modelo calcula los costes de inversión y operacionales relevantes. Estos costes tienen que ser recuperados a través del tiempo para asegurar que los operadores obtienen un retorno sobre su inversión.

La Recomendación de la CE establece que: “*el planteamiento recomendado para valorar la amortización de los activos es la depreciación económica, siempre que sea viable*”.⁶ En el contexto de este modelo, la viabilidad de utilizar la depreciación económica está asegurada.

⁶ RECOMENDACIÓN DE LA COMISIÓN de 7 de mayo de 2009 sobre el tratamiento normativo de las tarifas de terminación de la telefonía fija y móvil en la UE (2009/396/CE), párrafo (7). Disponible en <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:124:0067:0074:ES:PDF>.

El tipo de depreciación económica a ser usada en los modelos de costes se basará en el principio que establece que *todos los costes incurridos (eficientemente) deben ser completamente recuperados de manera económicamente racional*. La recuperación total de estos costes se garantiza al comprobar que el valor presente (PV) de los gastos sea igual al valor presente de los costes económicos recuperados, o alternativamente, que el valor presente neto (NPV) de los costes recuperados menos los gastos sea cero.

El uso de la depreciación económica es además coherente con la metodología utilizada por otros reguladores en el desarrollo de modelos de costes similares (p.ej. OPTA en los Países Bajos, BIPT en Bélgica), así como con la metodología utilizada con anterioridad por la CMT en otros modelos – como el modelo de coste del servicio de terminación de voz móvil.

Asimismo, se utilizan otros métodos de depreciación para estudiar el impacto que puedan tener sobre el coste unitario de los servicios costeados: depreciación lineal más recuperación del coste de capital, anualidad estándar y depreciación por amortización variable.

2.4.4 Serie de tiempo

Concepto 19: La longitud de la serie temporal debe ser al menos tan larga como la del activo con la vida más larga. El modelo se construye a 50 años.

Las vidas útiles de los activos considerados en el modelo se basan en los valores de vida útil regulatorios definidos por la CMT.

Con una serie de tiempo que sea al menos tan larga como la vida útil del activo más longevo del operador modelado (algunos de los activos de la red de un operador fijo pueden asumir vidas de hasta 50 años, como los edificios y la obra civil), se puede considerar como nulo el valor residual del operador, mientras que el modelo se asegura de que todos los elementos de red se han visto sustituidos al menos una vez. Por ello, se toma como base estos activos para el cálculo del intervalo de tiempo considerado en el modelo.

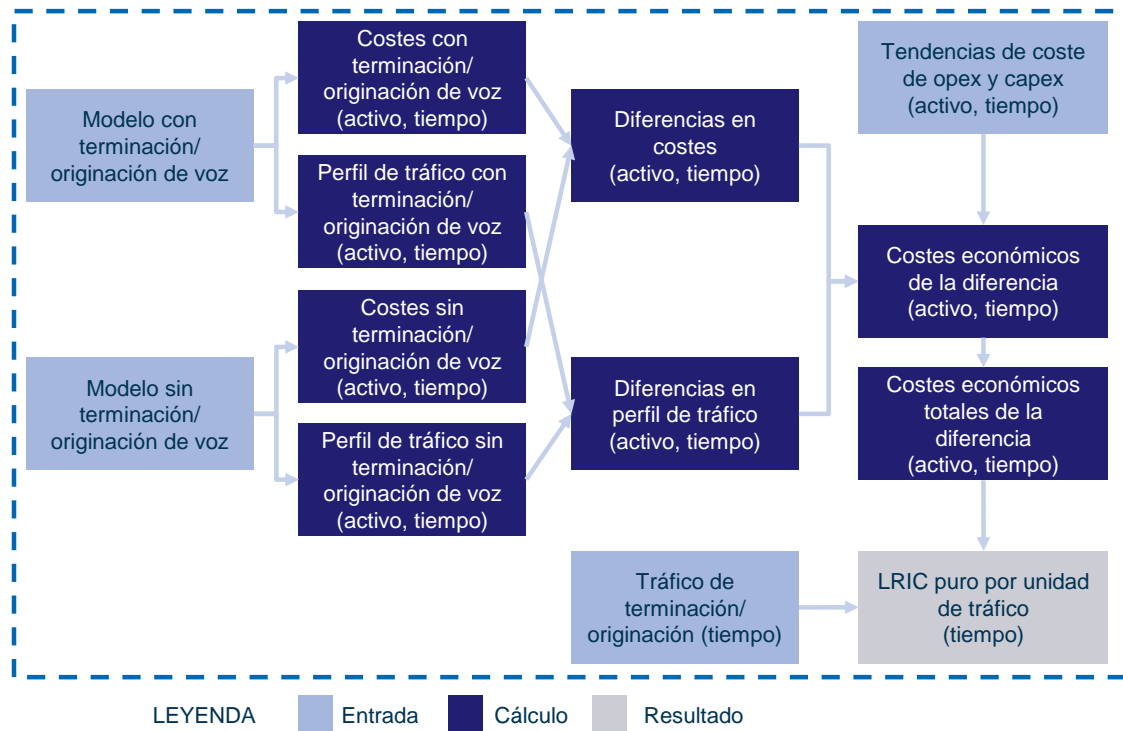
2.4.5 Criterios de reparto de costes a servicios

Concepto 20: En función de la metodología utilizada, el cálculo de los costes para cada servicio se realiza de la siguiente manera:

- En el caso del escenario LRIC puro, no se reparten los costes a los diferentes servicios, sino que se calculan los costes incrementales puros de los servicios de terminación y originación de voz. En este caso, se calculan los costes del operador con su red cargada con el tráfico de todos los servicios a los que se sustraen los costes del operador con su red cargada con el tráfico de todos los servicios excepto el que se está costeando. El resultado son los costes incrementales del servicio costeado.
- En el caso del escenario LRAIC+, los costes de cada elemento de red se asignan a los diferentes servicios a través de una matriz de enrutamiento y se reparten en base al uso que el tráfico de cada servicio realiza de los diferentes elementos de red.

En el caso del LRAIC+, los costes de tráfico se definen como un agregado y después son distribuidos a los diferentes servicios de tráfico mediante factores de enrutamiento. El LRIC puro, por otra parte, calcula los costes de un servicio en base a la diferencia entre los costes totales a largo plazo de un operador que provee el abanico total de servicios y los costes totales a largo plazo de un operador que ofrece todos los servicios salvo el del servicio que se está costeando, tal y como se muestra en la siguiente figura.

Figura 2.2: Etapas necesarias para el cálculo del LRIC puro de un servicio [Fuente: Analysys Mason, 2012]



2.4.6 Coste de capital promedio ponderado (WACC)

Concepto 21: El WACC considerado en el modelo es un parámetro de entrada que se aplica a todos los elementos de red del modelo. La CMT definirá un WACC para el operador modelado que podrá ser diferente año a año.

3 Arquitectura general del modelo

La implementación del modelo *bottom-up* de costes incrementales prospectivos a largo plazo (LRIC) de interconexión en redes fijas se ha realizado en seis módulos. Esta sección ofrece una breve descripción de cada uno de los módulos, indicando los ficheros Excel de los que se compone el modelo y la relación entre los diferentes módulos.

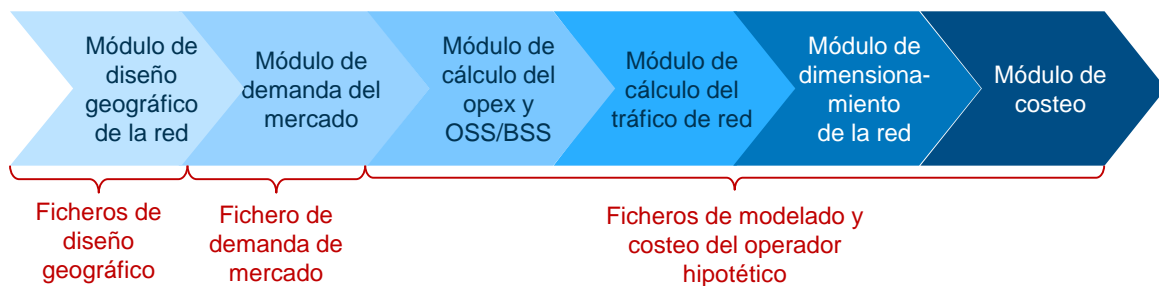
Esta sección se estructura como sigue:

- la Sección 3.1 presenta los módulos y ficheros del modelo de costes
- la Sección 3.2 muestra la relación entre los distintos módulos que integran el modelo.

3.1 Módulos del modelo

En la Figura 3.1 se muestra un esquema con la arquitectura general del modelo, mostrando la relación entre los distintos módulos que componen el modelo y los ficheros Excel existentes.

Figura 3.1: Arquitectura general del modelo [Fuente: Analysys Mason, 2012]



El modelo se estructura en torno a seis módulos, tal y como se describe en la tabla que se incluye en la página siguiente.

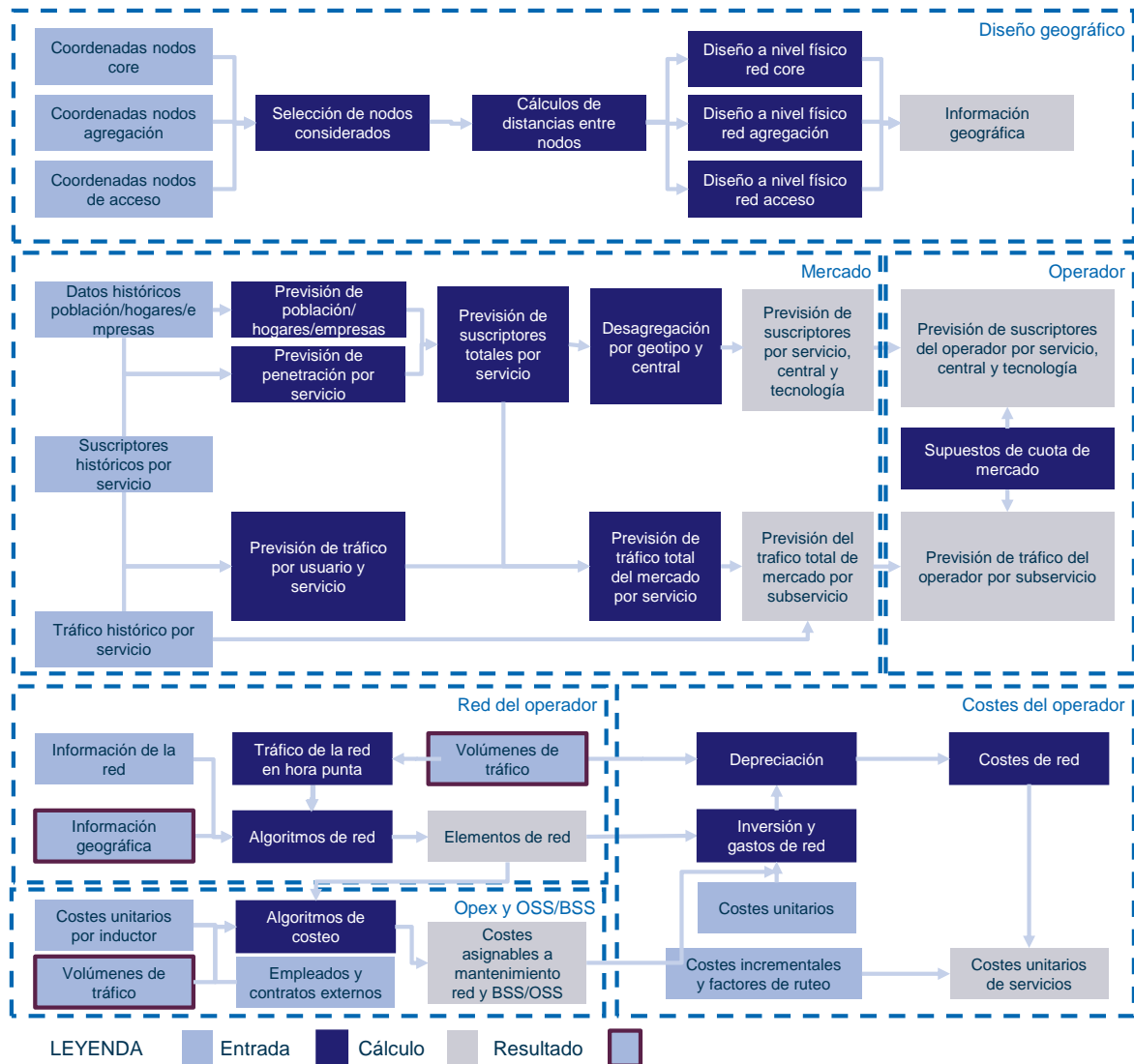
Figura 3.1: Módulos del modelo [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Módulo	Descripción
Módulo de diseño geográfico de la red	Este módulo diseña la red física del operador modelado. El módulo permite establecer diferentes escenarios de despliegue y calcular la topología y kilómetros de obra civil y fibra de la red física, en función de los nodos y parámetros de configuración seleccionados.
Módulo de demanda del mercado	Este módulo estima la demanda para los servicios de mercado incluidos en el modelo. Para ello se basa en datos históricos y realiza previsiones de tráfico a largo plazo en base a la evolución de suscriptores y el incremento anual del consumo por suscriptor de los diferentes servicios prestados a través de la red del operador modelado. El módulo considera que la demanda por suscriptor y la penetración de los diferentes servicios se estabiliza a partir de 2020.
Módulo de cálculo del tráfico de la red	Este módulo calcula el tráfico que tiene que soportar la red. Esto se efectúa en base a los datos recopilados de la red – hora cargada, duración de las llamadas, factor de contención, intentos de llamada por llamada exitosa, etc. – y para cada categoría de tráfico – voz, datos, televisión, etc. Este módulo se desarrolla teniendo en cuenta la calidad de servicio (QoS, por sus siglas en inglés) aplicada a los diferentes tipos de tráfico.
Módulo de dimensionamiento de la red	Este módulo determina los activos que se utilizan en el despliegue de la red. La red se dimensiona para soportar el tráfico obtenido en el módulo de cálculo del tráfico de la red, obteniendo el número total de activos que forman la red en cada una de sus capas – acceso, agregación y core – así como los enlaces necesarios para conectarlos entre ellos. En este módulo se calcula también el número de elementos que se despliegan en la red cada año, teniendo en cuenta su vida útil y el tiempo de planificación necesario para su despliegue.
Módulo de cálculo del opex y de los costes de inversión y de operación de los sistemas BSS/OSS	Este módulo realiza una estimación de los costes operacionales de los activos de la red, así como de los costes, tanto de las inversiones como operativos, de las plataformas BSS/OSS. Para estimar los costes de BSS/OSS, en el módulo se tienen en cuenta, por un lado, el personal del área de red y en el área BSS/OSS, y, por otro lado, el coste de las plataformas utilizadas para garantizar las operaciones.
Módulo de costeo	Este módulo define las tendencias de costes unitarios (capex y opex) a lo largo del tiempo. Así mismo, el módulo calcula el perfil de recuperación de costes en base a diferentes metodologías, entre las que se encuentra la depreciación económica, y obtiene los costes unitarios de los diferentes servicios.

3.3 Implementación de los módulos del modelo

La Figura 3.2 presenta una visión más detallada del funcionamiento del modelo que cubre la totalidad de las tareas descritas en los módulos expuestos en la Sección 3.1.

Figura 3.2: Visión general del funcionamiento del modelo [Fuente: Analysys Mason, 2012]



El funcionamiento de cada módulo se detalla en el resto de este documento. Cada sección, la cual se corresponde con un módulo, está estructurada de la siguiente manera:

- **Introducción** – muestra el esquema general de funcionamiento del módulo y describe a alto nivel los datos de entrada y salida del módulo.
- **Descripción funcional del módulo** – detalla el funcionamiento del módulo, presentando paso a paso los cálculos realizados hasta obtener los datos de salida.

4 Módulo de diseño geográfico de la red

El módulo de diseño geográfico se encarga de diseñar la red física del operador modelado. Este módulo permite establecer diferentes escenarios de despliegue y calcular la topología y kilómetros de obra civil y fibra de la red física, en función de la ubicación y número de los nodos y de los parámetros de configuración seleccionados.

4.1 Introducción

La Figura 4.1 muestra un esquema del funcionamiento del módulo de diseño geográfico de la red del operador modelado.

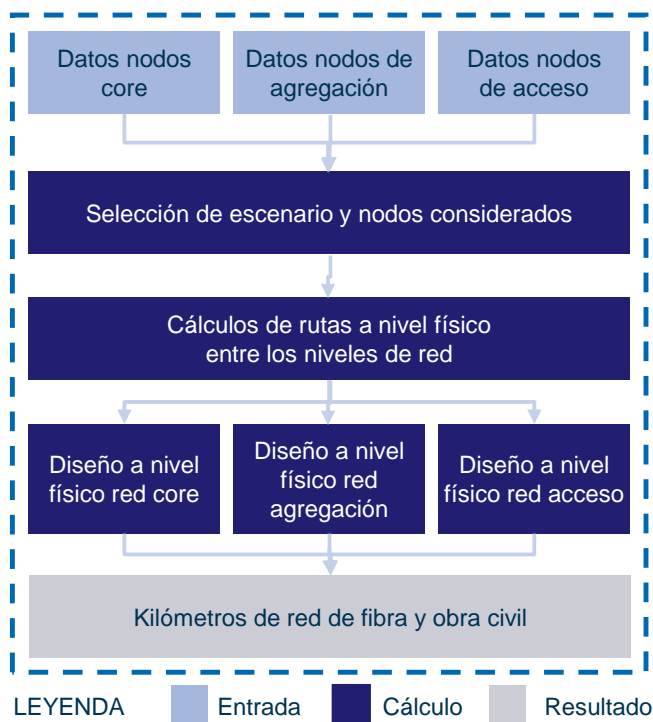


Figura 4.1: Esquema del funcionamiento del módulo de diseño geográfico [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Este módulo utiliza como datos de entrada información relativa a los nodos definidos en cada nivel de red (p.ej. coordenadas geográficas, número de líneas por central). Estos datos alimentan los algoritmos utilizados para obtener el diseño físico de la red del operador modelado.

El resultado final de este módulo es la estructura de la red física del operador modelado, incluyendo los kilómetros totales de mazos de fibra y obra civil necesarios.

El módulo de diseño geográfico estructura la red del operador modelado en tres niveles diferenciados:

- **Red core** – es la red troncal del operador y recibe el tráfico procedente de la red de agregación. La red core alberga *routers* de alta capacidad encargados de enrutar las llamadas de voz y datos a lo largo de la red multi-servicio. Algunos de los nodos core tienen funcionalidades adicionales (p.ej. puntos de interconexión o PdIs).
- **Red de agregación** – es la red de nodos regionales formada por emplazamientos que albergan *switches* que agregan el tráfico procedente de los nodos de acceso. Cada uno de los nodos de agregación está conectado a dos nodos core.
- **Red de acceso** – se compone de centrales que forman parte de sistemas en anillo y árbol conectadas a los nodos de la red de agregación. La red de acceso puede tener más de un nivel, en cuyo caso algunos de los nodos agregarían el tráfico de otras centrales que le son subordinadas.

La Figura 4.2 incluye un diagrama ilustrativo de la red física del operador modelado.

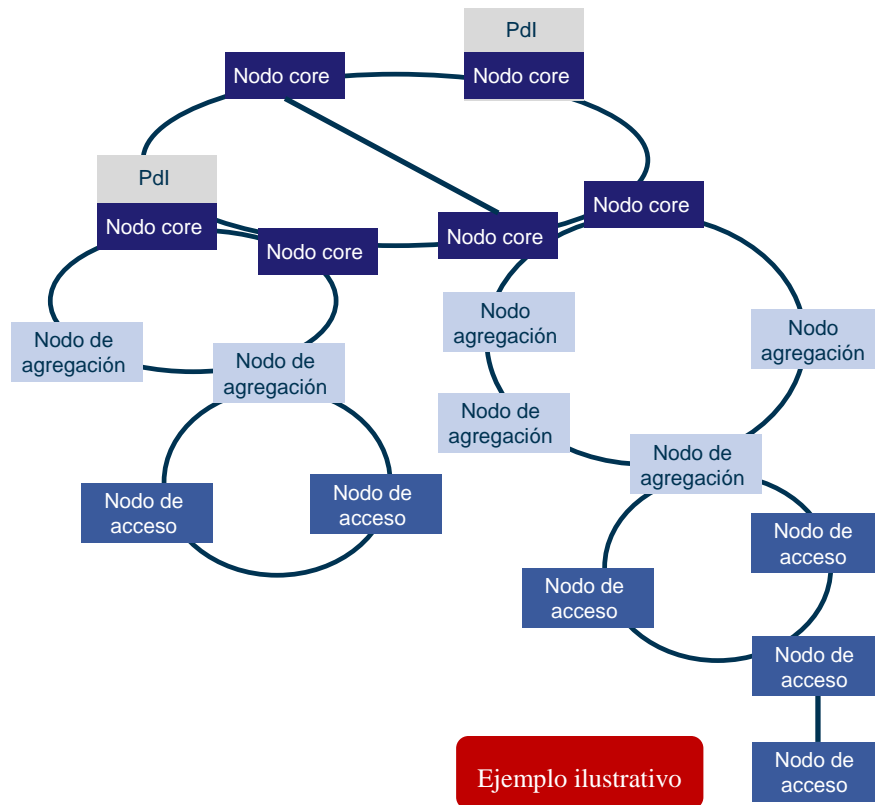


Figura 4.2: Diseño ilustrativo de la red física del operador a modelar [Fuente: Analysys Mason, 2012]

El modelo tiene la flexibilidad suficiente para que el operador modelado disponga de dos subcapas en el nivel de red de agregación (agregación L1 y agregación L2). En caso de que el operador modelado tuviera dos niveles de agregación, cada nodo de acceso estaría conectado a un nodo de agregación L1, el cual se encontraría conectado a su vez a dos nodos de agregación L2.

El modelo asume que todos los nodos de la red física del operador se conectan a través de fibra óptica. Teniendo en cuenta que un operador de telecomunicaciones desplegaría desde el principio suficiente cable de fibra para soportar la demanda de tráfico actual y futura en cada nivel de red sin necesidad de ir añadiendo fibras individuales a medida que creciera la demanda de tráfico, este módulo realiza el siguiente tipo de despliegue de fibra en las diferentes partes de la red:

- se despliegan mazos de fibra en la red de acceso compuestos por un número diferente de fibras en función del tamaño del nodo de acceso en términos del número de líneas
- se despliegan cables con el mismo número de fibras en las redes de agregación y core.

El número de fibras por cable en los diferentes niveles de red se determina de forma manual en el modelo a través de los siguientes pasos:

1. Se considera el escenario del operador que transporta el mayor volumen de tráfico por su red – en este caso se trata del escenario de *operador con cobertura de incumbente* (ver Sección 4.2.1) con el escenario agresivo de crecimiento de mercado.
2. Se identifica el número máximo de fibras desplegadas por enlace en cada uno de los tres niveles de red asumiendo un factor de utilización de un 80% de los enlaces de fibra – p.ej. si el mayor número de fibras desplegado por enlace en la red de agregación es 78, se considerarán 98 fibras para su dimensionamiento.
3. Se despliega el mazo estándar con el número de fibras estrictamente superior al calculado en el punto anterior. Es decir, se despliegan mazos con capacidad de 64, 128, etc. fibras, formatos actualmente disponibles en el mercado.

4.2 Descripción funcional del módulo

El cálculo de la red física del operador modelado se realiza a través de los siguientes pasos:

1. En primer lugar, se definen los nodos core y las conexiones físicas entre ellos que acaban formando anillos.
2. A continuación, se define la posición de los nodos de agregación, indicando en un listado cuáles serán incluidos en los cálculos de la red del operador modelado. En el caso de la red del operador con cobertura de incumbente, la red de agregación se segrega en dos niveles (L1 y L2) con nodos preestablecidos y con enlaces entre los nodos L1 y L2 definidos de antemano.
3. Se agrupan los nodos de agregación (de nivel L2 en el escenario del operador con cobertura de incumbente) a los nodos core, es decir, se decide a qué nodos core se conecta cada nodo de agregación.
4. Se calculan los anillos de la red de agregación (incluyendo los niveles de agregación L1 y L2 en el escenario del operador con cobertura de incumbente) en base a criterios definidos automáticamente (distancia) que pueden ser posteriormente revisados de forma manual.

5. Se definen los nodos de acceso incluyendo su ubicación geográfica, número de líneas, etc.
6. Se agrupan los nodos de acceso a los nodos de agregación en base a criterios definidos automáticamente (distancia) que pueden ser posteriormente revisados de forma manual.
7. Se calculan los anillos y árboles que enlazan los nodos de acceso a los nodos de agregación y los nodos de agregación a los nodos core para los distintos escenarios considerados.
8. Se calculan además los anillos que enlazan los nodos de agregación L1 a los nodos de agregación L2 en el escenario del operador con cobertura de incumbente.

A continuación detallamos paso a paso el procedimiento para obtener el diseño geográfico de la red del operador modelado:

- la Sección 4.2.1 describe el proceso relacionado con la selección de los nodos del operador modelado
- la Sección 4.2.2 presenta los cálculos relativos a la distancia entre los nodos
- la Sección 4.2.3 detalla el proceso de diseño de la red física del operador
- la Sección 4.2.4 enumera los datos de salida del módulo de diseño geográfico.

4.2.1 Selección de escenario y nodos

El módulo de diseño geográfico permite modelar diversos tipos de operadores variando su alcance geográfico y número de puntos de presencia. Este módulo permite definir dos tipos de arquitectura de red dependiendo del número de subcapas a nivel de agregación:

- *Arquitectura de un operador con cobertura de incumbente* – El operador despliega una red de acceso, una red de agregación y una red core. La red de acceso le permite dar cobertura de alcance nacional. En este escenario se segrega la red de agregación en dos niveles de red (denominados agregación L1 y agregación L2). Cada uno de los nodos de la red de acceso estaría así conectados a un nodo de la red de agregación L1, que estaría a su vez conectado a dos nodos de agregación L2. El nivel de red de agregación adicional permite reducir el número de nodos de acceso que dependen de un solo nodo de agregación. Cada nodo del nivel de agregación L2 está conectado a dos nodos de la red core.
- *Arquitectura de un operador con cobertura parcial (como sería el caso de operadores alternativos)* – El operador despliega una red de acceso, una red de agregación y una red core que son de ámbito nacional o regional según el tipo de operador modelado, pero en cualquier caso con una cobertura inferior a la del incumbente. Se asume que la red de acceso cubre zonas específicas de la geografía española en función de las zonas en las que el operador está presente. Este operador dispone de una sola capa en el nivel de agregación ya que el número de nodos de acceso conectados a cada nodo de agregación no es lo suficientemente alto como para hacer necesario disponer de dos capas de agregación. Es decir, el número de centrales de acceso que dependen de cada nodo de agregación es similar al número de nodos de acceso que dependen de cada nodo de agregación L1 en el caso del operador con cobertura de incumbente.

A continuación se ofrece una muestra de las opciones que se han definido en el módulo de diseño geográfico para seleccionar los escenarios existentes:

- **Tipo de operador** – Define la configuración de la red del operador modelado. El módulo permite seleccionar manualmente cada uno de los nodos que forman parte de la red del operador. Adicionalmente permite definir y guardar cualquier escenario que el usuario cree. Para mayor facilidad de uso, se han predefinido tres escenarios para los que se han ejecutado los algoritmos de cálculo de la red física:
 - un operador de ámbito nacional con una cobertura igual a la del incumbente
 - un operador de ámbito nacional con cobertura sólo en las principales localidades y con una presencia en las centrales de acceso compatible con la de los operadores desagregadores de bucle de alcance nacional
 - un operador regional presente en la región de Andalucía

El número de nodos y anillos de los distintos niveles de red será mayor o menor en función de la cobertura del operador modelado.

- **Conexión entre los nodos de la red de agregación y los nodos core** – Esta opción permite definir cómo se conectan los nodos de agregación (de nivel L2 en el caso de optar por una arquitectura de red de un operador con cobertura de incumbente) a la red core. Cada nodo de agregación tiene asociado dos nodos core. El módulo de diseño geográfico permite seleccionar las siguientes opciones:
 - el primer nodo core es el más cercano al nodo de agregación, mientras que el segundo nodo core asociado corresponde al nodo core más cercano al primer nodo core
 - el usuario selecciona manualmente a qué nodos core quiere conectar cada nodo de agregación.
- **Conexión entre los nodos L1 y los nodos L2 de la red de agregación en el escenario del operador con cobertura de incumbente** – Esta opción permite definir cómo se conectan los nodos de agregación de nivel L2 a los nodos de agregación de nivel L1 en el escenario del operador con cobertura de incumbente. Cada nodo de agregación L1 tiene asociado dos nodos de agregación L2 de forma predefinida. El usuario puede cambiar manualmente dichas asociaciones si así lo desea.
- **Conexión entre los nodos de la red de acceso y la red de agregación** – Esta opción permite definir la conexión entre los nodos de la red de acceso y los nodos de la red de agregación (de nivel L1 en el caso de optar por una arquitectura de red de operador con cobertura de incumbente), asignando a cada nodo de acceso un nodo de agregación. El módulo de diseño geográfico permite que el usuario asocie de manera manual un nodo de acceso con un nodo de agregación.

Los escenarios pre-configurados se han definido de forma que se asigne a cada nodo de agregación un número razonable de nodos de acceso – de media menos de 15 nodos de acceso por nodo de agregación:

- *operador con cobertura de incumbente* – los nodos de la red de acceso se conectan al nodo de la red de agregación L1 más cercano situado dentro de la provincia en la que se encuentra el nodo de acceso
 - *operador con cobertura parcial* – los nodos de la red de acceso se conectan al nodo de la red de agregación más cercano.
- **Mínimo número de líneas** – Esta opción permite definir el mínimo número de líneas que tiene que tener una central de acceso para que dicha central forme parte del operador modelado. Es decir, se desactivan aquellas centrales de acceso cuyo número de líneas de voz es inferior a las definidas por este parámetro.

Como se ha venido apuntando en esta sección, se han pre-definido tres escenarios en el modelo, cuyo detalle presentamos en la siguiente tabla.

Figura 4.3: Escenarios predefinidos en el modelo [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Parámetro	Operador con cobertura de incumbente	Operador con cobertura parcial nacional	Operador con cobertura parcial regional
Tipo de operador	Operador con cobertura de incumbente	Operador con cobertura parcial	Operador con cobertura parcial
Cobertura	Nacional – nodos del operador incumbente	Nacional – nodos del operador incumbente compatibles con cobertura de operador nacional que desagregue bucle de abonado	Regional – nodos del operador incumbente en Andalucía
Número mínimo de líneas por central	0	1000	1000
Conexión agregación – core	Los dos nodos más cercanos (Nota 1)	Los dos nodos más cercanos (Nota 1)	Nodo más cercano (Nota 2)
Conexión agregación L1 – agregación L2	Predefinido	No aplica	No aplica
Conexión acceso – agregación	Nodo de agregación más cercano dentro de la misma provincia	Nodo de agregación más cercano	Nodo de agregación más cercano

Nota 1: Los escenarios han sido revisados y parcialmente modificados de forma manual en algunos casos (p.ej. la conexión agregación-core para el operador con cobertura de incumbente) con el objetivo de obtener un diseño de red más realista, por ejemplo equilibrando el número de nodos pertenecientes a anillos dentro de la misma provincia.

Nota 2: En el caso del operador regional, cada nodo de agregación se conecta a un único nodo core.

En el escenario del operador con cobertura de incumbente, los enlaces definidos entre los nodos de agregación de nivel L1 y los de nivel L2 están pre-definidos en el modelo. La estructura de los enlaces es la misma que la utilizada en el modelo NEBA a fin de mantener una mayor coherencia

con el presente modelo desarrollado por la CMT. Por ello, cada nodo de agregación L1 está conectado a dos nodos de agregación L2 de forma pre-configurada con los mismos nodos y conexiones consideradas en el modelo NEBA desarrollado para la CMT.

En la Figura 4.4 se muestra un ejemplo de las opciones disponibles en el módulo de diseño geográfico para definir los diferentes escenarios. En el ejemplo de la figura se ha decidido ejecutar el modelo utilizando la red de un operador con cobertura parcial, cuyos nodos de agregación se conectan a los dos nodos core más cercanos y cuyos nodos de acceso están conectados a nodos de agregación también más cercanos.

1 Node scenarios

Operator scenario selected:

Aggregation node scenario selected:

Access node scenario selected:

Minimum nb of lines:

Figura 4.4: Ejemplo ilustrativo de los escenarios de diseño de red del operador alternativo con cobertura parcial nacional [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Como hemos comentado anteriormente, el módulo permite, para cada uno de los niveles de red existentes (core, agregación y acceso), seleccionar los nodos que formarán parte de la red. Cada nodo viene caracterizado por una serie de parámetros (código, latitud, longitud y distancia entre los nodos) que se recogen en una serie de tablas por cada nivel de red. En los escenarios predefinidos, los datos relativos a los nodos de cada nivel estarán ya pre-configurados.

A modo de ilustración, la Figura 4.5 incluye parte de la tabla de **definición de los nodos core en el caso de un operador con cobertura de incumbente** para mostrar cómo se registran los datos de los nodos core. Para añadir un nuevo nodo a la red se introduce un nuevo elemento en la tabla y se indican los datos asociados: coordenadas geográficas (latitud y longitud), ubicación (provincia) y distancia al resto de nodos core calculada en base a las infraestructuras de transporte vial (carretera o ferrocarril) o tendido de la red eléctrica. El módulo de diseño geográfico utiliza las coordenadas geográficas para calcular las distancias euclidianas entre las centrales de agregación y las centrales core.

Figura 4.5: Extracto de la tabla de definición de los nodos core en el escenario del operador con cobertura de incumbente [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Core nodes	Province	Latitude	Longitude	N0810099	N0810026	N2410003	N2410002
N0810099	BARCELONA			-	19	773	775
N0810026	BARCELONA			19	-	778	779
N2410003	LEÓN			773	778	-	2
N2410002	LEÓN			775	779	2	-
N2810006	MADRID			621	625	336	337
N2810065	MADRID			620	625	336	337
N2910094	MÁLAGA			1,017	1,022	876	877
N2910002	MÁLAGA			1,011	1,015	869	871
N4110003	SEVILLA			1,007	1,012	704	706
N4110038	SEVILLA			1,006	1,010	702	703
N4610005	VALENCIA			365	370	694	695
N4610004	VALENCIA			366	370	693	694
N4810011	VIZCAYA			608	613	341	342
N4810015	VIZCAYA			604	609	337	338
N3510004	LAS PALMAS DE G. CANARIA			2,401	2,422	2,109	2,110
N0710002	BALEARES			642	633	991	992

En el escenario del operador con cobertura de incumbente y en el escenario del operador de cobertura parcial y alcance nacional se han seleccionado varias ciudades para albergar los emplazamientos de los nodos core. Para mayor robustez y redundancia de la red, el módulo asume que se despliegan dos nodos core en cada ciudad, separados ambos por unos pocos kilómetros. De esta manera, cada nodo de agregación (o L2 en el caso del operador con cobertura de incumbente) se conecta a los dos nodos core de la ciudad más próxima.

En el escenario del operador regional se han definido nodos core en cuatro ciudades diferentes, pero no se ha asumido que se despliegan dos nodos core en la misma ciudad. Esto es debido, a que el menor tamaño del operador modelado en este escenario no se considera necesario ofrecer un nivel de redundancia adicional.

De forma similar, el módulo de diseño geográfico permite **definir el conjunto de nodos que forman los anillos de la red de agregación**. La distancia entre los nodos de agregación y entre los nodos de agregación y los nodos core se calcula de forma dinámica utilizando distancias euclidianas a partir de las coordenadas geográficas de los nodos. La Figura 4.6 muestra parte de la **tabla de definición de los nodos de la red de agregación** del operador con cobertura parcial nacional.

Figura 4.6: Extracto de la tabla de definición de los nodos de agregación del operador con cobertura parcial nacional [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Aggregation nodes	Province	Latitude	Longitude	N0110001	N0161004	N0263002
N0110001	ALAVA			0	49	467
N0161004	ALAVA			49	0	508
N0263002	ALBACETE			467	508	0
N0272003	ALBACETE			469	513	62
N0310008	ALICANTE			584	631	183
N0362013	ALICANTE			573	620	205
N0410004	ALMERÍA			729	768	265
N0414007	ALMERÍA			741	779	280
N0564001	ÁVILA			341	359	289
N0612004	BADAJOS			621	631	447
N0670015	BADAJOS			596	610	389
N0710002	BALEARES			631	679	462
N0730005	BALEARES			712	758	601
N0810005	BARCELONA			472	515	497
N0810008	BARCELONA			474	517	502
N0810020	BARCELONA			470	514	493
N0812001	BARCELONA			471	513	512
N0910002	BURGOS			109	114	427
N0963002	BURGOS			58	67	448
N1013003	CÁCERES			520	528	400
N1069012	CÁCERES			471	477	402

En el caso del escenario del operador con cobertura de incumbente, el módulo de diseño geográfico calcula la distancia entre los nodos de agregación L1 y los nodos de agregación L2, que se calcula de forma dinámica utilizando distancias euclidianas a partir de las coordenadas geográficas de los nodos. La Figura 4.7 muestra parte de la tabla de definición de los nodos de agregación L1. En la figura los nodos del eje horizontal se corresponden con los nodos de agregación L1, mientras que los nodos del eje vertical se corresponden con los nodos de agregación L2.

Figura 4.7: Extracto de la tabla de definición de los nodos de agregación L1 y L2 del operador con cobertura de incumbente [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Aggregation L1 nodes (MIGA code)	Province	Latitude	Longitudo	N0110001	N0161004	N0263002
N0114008	ALAVA			10	43	468
N0110001	ALAVA			0	49	467
N0110018	ALAVA			34	80	433
N0110024	ALAVA			27	55	453
N0110025	ALAVA			38	38	472
N0113003	ALAVA			25	68	466
N0161004	ALAVA			49	0	508
N0263002	ALBACETE			467	508	0
N0268013	ALBACETE			541	584	86
N0272003	ALBACETE			469	513	62
N0274039	ALBACETE			535	575	69
N0310008	ALICANTE			584	631	183
N0310024	ALICANTE			589	636	180
N0311002	ALICANTE			579	626	191
N0320003	ALICANTE			545	592	167
N0321012	ALICANTE			553	600	181
N0321013	ALICANTE			541	589	180
N0322007	ALICANTE			557	603	161
N0330005	ALICANTE			593	638	174
N0362007	ALICANTE			570	618	199
N0362013	ALICANTE			573	620	205
N0362014	ALICANTE			570	618	212

Tal y como se muestra en la Figura 4.8, en el módulo de diseño geográfico también se define el **listado de los nodos de acceso** utilizando los siguientes datos: la provincia donde se encuentra ubicado el nodo de acceso, sus coordenadas geográficas (latitud y longitud), el número total de líneas de la central asociada al código MIGA del nodo a finales de 2011, y las distancias euclidianas entre los nodos de acceso y los nodos de agregación. Esta información permite optimizar la definición de la red de acceso mediante el uso de algoritmos de diseño de red (ver Sección 4.2.3).

Figura 4.8: Extracto de la tabla de distancias de los nodos de acceso del operador con cobertura parcial nacional [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Access nodes (MIGA code)	Province	Latitude	Longitudo	Lines TESAU + unbundled + naked+ unused (EoY 2011)	N0110001	N0161004	N0263002	N0272003
N0110001	ALAVA			30,374	0	49	467	469
N0110002	ALAVA			21,272	1	48	467	470
N0110003	ALAVA			48,361	2	48	468	471
N0110004	ALAVA			95	10	47	475	476
N0110005	ALAVA			176	6	47	472	474
N0110006	ALAVA			2,209	5	47	467	470
N0110007	ALAVA			526	8	55	465	467
N0110008	ALAVA			609	7	44	474	476
N0110010	ALAVA			249	7	42	472	475
N0110011	ALAVA			586	40	86	426	429
N0110012	ALAVA			180	36	84	432	434
N0110013	ALAVA			787	33	72	437	441
N0110014	ALAVA			974	36	82	431	433
N0110015	ALAVA			244	47	94	422	423
N0110016	ALAVA			408	38	86	431	432
N0110017	ALAVA			430	44	90	423	425
N0110018	ALAVA			210	34	80	433	435
N0110019	ALAVA			1,913	47	95	424	424
N0110020	ALAVA			464	36	81	430	434
N0110021	ALAVA			546	22	52	456	461
N0110022	ALAVA			366	34	42	467	473
N0110023	ALAVA			161	36	49	460	467
N0110024	ALAVA			445	27	55	453	459
N0110025	ALAVA			197	38	38	472	480
N0110026	ALAVA			276	32	53	455	461
N0110027	ALAVA			81	12	56	469	469
N0110028	ALAVA			74	48	34	481	489
N0110029	ALAVA			2,429	2	50	467	469
N0110030	ALAVA			1,066	2	48	466	469

4.2.2 Cálculo de las rutas físicas entre los distintos niveles de red

El módulo de diseño geográfico toma como punto de partida las siguientes distancias:

- distancias entre los nodos core, calculadas asumiendo que la fibra entre ellos se despliega siguiendo infraestructuras de transporte (carreteras, vías férreas, etc.)
- distancias entre los nodos de agregación
- distancias entre todos los nodos de la red de agregación y los nodos de la red core
- distancias entre los nodos de la red de agregación L1 y los nodos de la red de agregación L2 en el caso del operador con cobertura de incumbente
- distancias entre las centrales de la red de acceso y los nodos de la red de agregación.

Salvo las distancias entre los nodos core – las cuales han sido pre-configuradas de forma manual en el modelo – las demás distancias entre dos puntos 1 y 2 se calculan usando la fórmula de Harvesine como distancias euclidianas teniendo en cuenta el radio de curvatura de la Tierra:

$$d = 2r \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{lat_2 - lat_1}{2} \right) + \cos(lat_1) \cos(lat_2) \sin^2 \left(\frac{long_2 - long_1}{2} \right)} \right)$$

Donde:

- lat_1 , $long_1$, lat_2 y $long_2$ son las latitudes y longitudes de los puntos 1 y 2
- r es el radio de la Tierra
- d es la distancia resultante.

A esta distancia se le aplica un factor de corrección para compensar la linealidad del resultado de la fórmula de Harvesine, tal y como se muestra en la Figura 4.9, obteniendo así resultados más realistas.

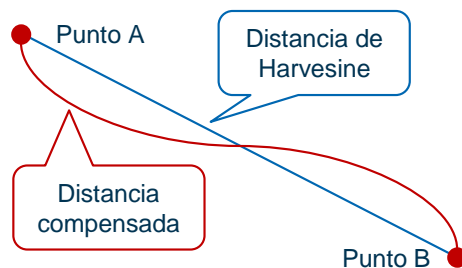


Figura 4.9:
Comparación entre la distancia de Harvesine entre dos puntos, y la misma distancia compensada [Fuente: Analysys Mason, 2012]

La fórmula utilizada para calcular las demás distancias entre dos puntos 1 y 2 se incluye en el modelo en MS Excel, pero son los resultados que arroja dicha fórmula los que se utilizan directamente en los escenarios pre-definidos del módulo de diseño geográfico. Esto permite agilizar la ejecución del modelo ya que evita tener que recalcularse las distancias con cada iteración del modelo.

El módulo de diseño geográfico calcula automáticamente los dos nodos de la red core más cercanos a cada uno de los nodos de la red de agregación, y el nodo de agregación más cercano (dentro de la misma provincia en el caso del operador con cobertura de incumbente) para cada una de las centrales de acceso existentes. Esta información se utiliza para emparentar los nodos de las redes de acceso, agregación y core con los nodos de la capa de orden superior respectiva.

En el caso del escenario del operador con cobertura de incumbente, los nodos de acceso se conectan a los nodos de agregación L1, mientras que son los nodos de agregación L2 los que se conectan a los nodos core. La conexión de los nodos de agregación L1 a los nodos de agregación L2 en este escenario está pre-definida y se basa, por razones de consistencia, en las conexiones establecidas en el modelo NEBA desarrollado por la CMT.

La Figura 4.10 muestra parte de la tabla en la que se realiza el cálculo de distancias entre los nodos de agregación y los nodos core en el escenario del operador con cobertura parcial nacional. En el ejemplo utilizado, *Bilbao 2* es el nodo core más cercano al nodo de agregación *N0110001*.

Figura 4.10: Extracto de la tabla de la distancia entre los nodos de agregación y los nodos core del operador con cobertura parcial nacional [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Aggregation nodes	Province	Latitude	Longitude	1st closest core node	2nd closest core node	3rd closest core node	Barcelona 1	Barcelona 2	Bilbao 1	Bilbao 2
N0110001	ALAVA			Bilbao 2	Bilbao 1	Madrid 1	474	474	55	54
N0161004	ALAVA			Bilbao 2	Bilbao 1	Madrid 1	517	517	16	14
N0263002	ALBACETE			Valencia 2	Valencia 1	Madrid 2	499	497	519	518
N0272003	ALBACETE			Valencia 2	Valencia 1	Madrid 2	446	445	523	522
N0310008	ALICANTE			Valencia 2	Valencia 1	alma de Mallorc	446	445	639	638
N0362013	ALICANTE			Valencia 2	Valencia 1	alma de Mallorc	406	404	628	627
N0410004	ALMERÍA			Sevilla 1	Sevilla 2	Valencia 2	703	701	780	779
N0414007	ALMERÍA			Sevilla 1	Sevilla 2	Valencia 2	725	723	792	791
N0564001	ÁVILA			Madrid 2	Madrid 1	Bilbao 2	639	638	374	373
N0612004	BADAJÓZ			Sevilla 1	Sevilla 2	Madrid 2	900	899	647	645
N0670015	BADAJÓZ			Sevilla 1	Sevilla 2	Madrid 2	851	850	626	625
N0710002	BALEARES			Palma de Mallorca	Barcelona 2	Barcelona 1	226	225	680	680
N0730005	BALEARES			Palma de Mallorca	Barcelona 2	Barcelona 1	249	248	756	756
N0810005	BARCELONA			Barcelona 2	Barcelona 1	alma de Mallorc	3	2	512	512
N0810008	BARCELONA			Barcelona 1	Barcelona 2	alma de Mallorc	5	6	514	514
N0810020	BARCELONA			Barcelona 2	Barcelona 1	alma de Mallorc	6	5	511	511
N0812001	BARCELONA			Barcelona 1	Barcelona 2	alma de Mallorc	19	20	509	510
N0910002	BURGOS			Bilbao 2	Bilbao 1	Madrid 1	545	545	130	128
N0963002	BURGOS			Bilbao 2	Bilbao 1	Madrid 1	515	515	82	81
N1013003	CÁCERES			Madrid 2	Madrid 1	Sevilla 1	822	820	544	543
N1069012	CÁCERES			Madrid 2	Madrid 1	Sevilla 1	796	795	493	491
N1121015	CÁDIZ			Sevilla 2	Sevilla 1	Madrid 2	946	944	881	879
N1130013	CÁDIZ			Sevilla 2	Sevilla 1	Madrid 2	976	974	858	857
N1210007	CASTELLÓN			Valencia 1	Valencia 2	alma de Mallorc	270	269	479	479
N1265010	CASTELLÓN			Valencia 1	Valencia 2	Barcelona 2	201	199	448	448
N1311007	CIUDAD REAL			Madrid 2	Madrid 1	Sevilla 1	649	647	538	536
N1361003	CIUDAD REAL			Madrid 2	Madrid 1	Valencia 2	547	545	483	481
N1410007	CORDOBA			Sevilla 1	Sevilla 2	Madrid 2	777	775	673	672
N1464002	CORDOBA			Sevilla 1	Sevilla 2	Madrid 2	786	785	721	720
N1510005	A CORUÑA			Bilbao 2	Bilbao 1	Madrid 1	984	983	487	486
N1530003	A CORUÑA			Bilbao 2	Bilbao 1	Madrid 2	989	988	505	504
N1661007	CUENCA			Madrid 1	Madrid 2	Valencia 2	465	464	431	430
N1666018	CUENCA			Madrid 1	Madrid 2	Valencia 2	429	428	358	357
N1710001	GIRONA			Barcelona 1	Barcelona 2	alma de Mallorc	94	96	540	541

La Figura 4.11 incluye parte de la tabla correspondiente para la red acceso del escenario del operador con cobertura parcial de alcance nacional. En este caso, el módulo de diseño geográfico ha calculado de forma dinámica que los nodos de agregación más cercanos a la central de acceso *N0110002* son los nodos *N0110001* y *N263005*, respectivamente. Esta información se utiliza para calcular las rutas óptimas que conectan entre sí los nodos de acceso con los nodos de agregación.

Figura 4.11: Extracto de la tabla de la distancia entre los nodos de acceso y los nodos de agregación del operador con cobertura parcial nacional [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Access nodes	Latitude	Longitude	1st closest regional node	2nd closest regional node	N0110001	N0263002	N0272003	N0310008
N0110001			N0110001	N2613005	0	467	469	584
N0110002			N0110001	N2613005	1	467	470	585
N0110003			N0110001	N2613005	2	468	471	586
N0110004			N0110001	N4810004	10	475	476	591
N0110005			N0110001	N4810004	6	472	474	588
N0110006			N0110001	N2613005	5	467	470	586
N0110007			N0110001	N2613005	8	465	467	581
N0110008			N0110001	N4810004	7	474	476	591
N0110010			N0110001	N4810004	7	472	475	591
N0110011			N2613005	N0110001	40	426	429	545
N0110012			N2613005	N0110001	36	432	434	549
N0110013			N2613005	N0110001	33	437	441	559
N0110014			N2613005	N0110001	36	431	433	549
N0110015			N2613005	N0110001	47	422	423	538
N0110016			N2613005	N0110001	38	431	432	547
N0110017			N2613005	N0110001	44	423	425	541
N0110018			N2613005	N0110001	34	433	435	551
N0110019			N2613005	N0110001	47	424	424	538
N0110020			N2613005	N0110001	36	430	434	549
N0110021			N0110001	N2613005	22	456	461	579
N0110022			N0110001	N4810004	34	467	473	593
N0110023			N0110001	N2613005	36	460	467	587
N0110024			N0110001	N2613005	27	453	459	578
N0110025			N0110001	N4810004	38	472	480	599
N0110026			N0110001	N2613005	32	455	461	580
N0110027			N0110001	N2613005	12	469	469	583
N0110028			N0110001	N4810004	48	481	489	610

4.2.3 Diseño de la red física del operador

El módulo de diseño geográfico permite seleccionar los nodos que se consideran en el diseño de la red física del operador modelado en cada uno de sus niveles – acceso, agregación y core – en función de los escenarios previamente definidos en el modelo.

Diseño de la red core

El módulo de diseño geográfico permite definir hasta diez anillos en la red core por escenario, indicando para cada anillo los nodos core por los que pasa cada anillo. El sistema asume que aquellos nodos que no forman parte de ninguno de los anillos configurados se encuentran desactivados, y no los considera en cálculos posteriores. A la hora de elegir qué nodos y anillos se encuentran activados, para el buen funcionamiento del algoritmo de diseño, es importante cerrar el anillo explícitamente, es decir, que el nodo final del último tramo sea el mismo que el nodo inicial del primer tramo del anillo.

La Figura 4.12 muestra a modo de ejemplo la definición de algunos de los anillos de la red core del operador con cobertura de incumbente. En este caso, se asume que el anillo *Ring 1* está formado por seis enlaces que conectan nodos ubicados en Madrid, Bilbao y León, mientras que el *Ring 2* está formado por seis enlaces que conectan Madrid, Bilbao y Barcelona.

Figura 4.12: Diseño de dos anillos de la red core en el escenario del operador con cobertura de incumbente [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Ring 1						Incumbent operator	
	From	To	Distance (km)	Civil work (km)		From	To
TRUE	N2810006	N2810065	1	1	N2810006N2810065	N2810006	N2810065
TRUE	N2810065	N4810015	351	351	N2810065N4810015	N2810065	N4810015
TRUE	N4810015	N4810011	2	2	N4810011N4810015	N4810015	N4810011
TRUE	N4810011	N2410003	252	252	N2410003N4810011	N4810011	N2410003
TRUE	N2410003	N2410002	2	2	N2410002N2410003	N2410003	N2410002
TRUE	N2410002	N2810006	314	314	N2410002N2810006	N2410002	N2810006
FALSE							
FALSE							
FALSE							
FALSE							
FALSE							
FALSE							
FALSE							
FALSE							
FALSE							
core_nodos_rin Total fibre			922	922	core_scenario1_ring1		
			core_fibre_ring1				

Ring 2						Incumbent operator	
	From	To	Distance (km)	Civil work (km)		From	To
TRUE	N2810006	N2810065	1	1	N2810006N2810065	N2810006	N2810065
TRUE	N2810065	N4810015	351	351	N2810065N4810015	N2810065	N4810015
TRUE	N4810015	N4810011	2	2	N4810011N4810015	N4810015	N4810011
TRUE	N4810011	N0810026	513	513	N0810026N4810011	N4810011	N0810026
TRUE	N0810026	N0810099	15	15	N0810026N0810099	N0810026	N0810099
TRUE	N0810099	N2810006	548	548	N0810099N2810006	N0810099	N2810006
FALSE							
FALSE							
FALSE							
FALSE							
FALSE							
FALSE							
FALSE							
FALSE							
FALSE							
core_nodos_rin Total fibre			1,430	1,076	core_scenario1_ring2		

En función de los nodos seleccionados y del escenario elegido, el módulo de diseño geográfico informa sobre qué nodos core están activos, así como del número de kilómetros de fibra y de obra civil necesarios para construir la red core. Para ello, el módulo de diseño geográfico tiene en cuenta que en los tramos compartidos entre anillos no se duplica la obra civil ni la fibra, ya que se



considera que el operador ha aprovechado la obra de infraestructura civil para desplegar fibra suficiente para poder satisfacer la demanda actual y futura en su red.

De este modo, en el ejemplo mostrado en la Figura 4.13 sería necesario construir 5.583 kilómetros de mazos de fibra y 3.899 kilómetros de obra civil para completar la red core del operador con cobertura parcial nacional. En la figura se puede también apreciar que los nodos core de Córdoba, Granada, Málaga y Santander están desactivados. Esto es debido a que no se utilizan en ninguno de los anillos del escenario seleccionado.

Selected core_scenario	Alternative operator	
Total fibre deployed		5,585 km
Total civil work deployed		3,899 km
Activated core nodes		12
Core nodes	Activated?	
Barcelona 1	TRUE	
Barcelona 2	TRUE	
Bilbao 1	TRUE	
Bilbao 2	TRUE	
Córdoba	FALSE	
Granada	FALSE	
Madrid 1	TRUE	
Madrid 2	TRUE	
Málaga	FALSE	
Santander	FALSE	
Sevilla 1	TRUE	
Sevilla 2	TRUE	
Valencia 1	TRUE	
Valencia 2	TRUE	
	FALSE	
	FALSE	
	FALSE	
	FALSE	
Palmas de Gran Canaria (Las)	TRUE	
Palma	TRUE	

Figura 4.13: Cálculo del número de kilómetros de obra civil y mazos de fibra necesarios para desplegar en la red core del operador con cobertura parcial nacional [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Diseño de la red de agregación

En función del escenario considerado y de los nodos seleccionados, el módulo de diseño geográfico calcula de forma dinámica la conexión entre los nodos de agregación (de nivel L2 en el caso del escenario del operador con cobertura de incumbente) y los nodos core. Como hemos comentado con anterioridad, cada nodo de agregación (o L2 en el caso del escenario del operador con cobertura de incumbente) se conecta con dos nodos core. La manera práctica en que esto se implementa se describe a continuación.

Primeramente, a cada nodo de agregación se le asigna un nodo core en base a criterios específicos (distancia o nodo asignado por el usuario), que suele ser el nodo más cercano. Por ejemplo, en la Figura 4.14 el módulo de diseño geográfico asume que el nodo de agregación 0110001 debe estar conectado físicamente al nodo *Bilbao 1*, ya que es su nodo core más cercano.

Aggregation nodes	Associated core node	Distance to associated core node
N0110001	Bilbao 1	55
N0263002	Valencia 2	179
N0272003	Valencia 2	119
N0310008	Valencia 2	134
N0362013	Valencia 2	111
N0410004	Sevilla 1	352
N0414007	Sevilla 1	335
N0564001	Madrid 2	87
N0612004	Sevilla 1	205
N0710002	Palma	2
N0730005	Palma	140
N0810005	Barcelona 2	2
N0810008	Barcelona 1	5
N0810020	Barcelona 2	5
N0812001	Barcelona 1	19
N0910002	Bilbao 1	130
N1013003	Sevilla 1	277
N1121015	Sevilla 2	149

Figura 4.14: Ejemplo de asociación entre los nodos de agregación y el nodo core más cercano para el operador de cobertura parcial nacional [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Adicionalmente, el módulo de diseño geográfico permite seleccionar los nodos de agregación que se quieren considerar en el modelo; esto se hace de forma sencilla asignando un valor *True* o *False*. Así, en el ejemplo de la Figura 4.14 se han desactivado los nodos de la lista situados debajo de los nodos *N0110001*, *N0612004*, *N0910002* y *N1013003*, por lo que aparecen en blanco en la lista.

El módulo de diseño geográfico asume que se construye un anillo por nodo core en el que están presentes todos los nodos de agregación conectados principalmente al nodo core considerado. Así, por ejemplo, todos los nodos de agregación asociados al nodo core *Bilbao 1* se encuentran en un mismo anillo, mientras que todos los nodos de agregación asociados al nodo core *Bilbao 2* se encuentran en un anillo distinto. Para asegurar que todos los nodos de agregación están conectados a dos nodos core, el modelo asocia a cada nodo core otro nodo core más cercano incluyéndolo en el anillo del nodo core considerado. Por ejemplo, en el caso del nodo core de *Bilbao 1*, el nodo core más cercano es *Bilbao 2*, por lo que el anillo *Bilbao 1* incluye, además de los nodos de agregación asociados, el nodo core *Bilbao 2*. Asimismo, en el caso del nodo core de *Bilbao 2*, el nodo core más cercano es *Bilbao 1*, por lo que el anillo *Bilbao 2* incluye, además de los nodos de agregación asociados, el nodo core *Bilbao 1*. Esto resulta en anillos de agregación donde están presentes dos nodos core, asegurando que todo nodo de agregación está conectado a dos nodos core.

La información relativa a la asociación de los nodos de agregación a los nodos core alimenta un algoritmo de diseño automático de la red de agregación, que calcula los kilómetros de fibra y obra civil necesarios.

► *Diseño de la red de agregación L1-L2 del operador con cobertura de incumbente*

En el caso específico de la red de agregación L1-L2 del operador con cobertura de incumbente se define de forma manual la asociación de cada nodo de agregación L1 a dos nodos de agregación L2, tal y como se muestra en la Figura 4.15.

Figura 4.15: Asociación de los nodos de agregación L1 a los nodos de agregación L2 del operador con cobertura de incumbente [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Aggregation L1 nodes	Associated aggregation L2 node A	Distance to associated L2 aggregation node A	Associated aggregation L2 node B	Distance to associated L2 aggregation node B
N0114008	N0110001	10	N0161004	43
N0110001	N0110001	0	N0161004	49
N0110018	N0110001	34	N0161004	80
N0110024	N0110001	27	N0161004	55
N0110025	N0110001	38	N0161004	38
N0113003	N0110001	25	N0161004	68
N0161004	N0110001	49	N0161004	0
N0263002	N0272003	62	N0263002	0
N0268013	N0272003	76	N0263002	86
N0272003	N0272003	0	N0263002	62
N0274039	N0272003	102	N0263002	69
N0310008	N0362013	43	N0310008	0
N0310024	N0310008	11	N0362013	54
N0311002	N0310008	17	N0362013	26
N0320003	N0362013	39	N0310008	42
N0321012	N0362013	25	N0310008	41
N0321013	N0310008	53	N0362013	32
N0322007	N0310008	28	N0362013	47
N0330005	N0310008	26	N0362013	69
N0362007	N0362013	7	N0310008	37
N0362013	N0310008	43	N0362013	0
N0362014	N0362013	11	N0310008	54
N0363019	N0362013	32	N0310008	75
N0364004	N0310008	60	N0362013	21
N0364007	N0362013	35	N0310008	76
N0365005	N0310008	39	N0362013	78
N0366016	N0310008	46	N0362013	89
N0366021	N0310008	57	N0362013	97

En la mayor parte de los casos, los nodos de agregación L1 se conectan a nodos de agregación L2 situados en su misma provincia. En función del tamaño de cada provincia y del número de líneas dentro del área cubierta por cada central de agregación L2, el algoritmo arroja como resultado uno o dos anillos de fibra por provincia.

La definición de los anillos se modifica de forma manual con el objetivo de equilibrar el número de nodos por anillo.

Diseño de la red de acceso

En función de, por un lado el escenario seleccionado al ejecutar el modelo, y por otro lado los nodos de acceso activados, el módulo geográfico pre-selecciona aquel nodo de agregación que cumpla con las condiciones del escenario considerado para conectar las centrales de acceso:

- en el caso del escenario del operador con cobertura parcial, los nodos de la red de acceso se conectan al nodo de la red de agregación más cercano
- en el caso del operador con cobertura del incumbente, los nodos de la red de acceso se conectan a nodos de la red de agregación ubicados en la misma provincia.

De un modo similar al caso de la red de agregación, el módulo de diseño geográfico permite activar o desactivar los nodos de la red de acceso para cada uno de los escenarios considerados.

El módulo de diseño geográfico asume que un operador tiene, de media, 15 nodos de acceso por cada nodo de agregación. Esto es posible en el escenario del operador con cobertura de incumbente gracias a la inclusión de un nivel de agregación adicional (L1) al que se conectan los nodos de acceso. Dichos nodos se conectan a su vez a nodos de agregación de nivel superior (L2).

La Figura 4.16 muestra un ejemplo de la selección de nodos en la red de acceso. En este caso, el nodo de agregación más cercano a la central de acceso *N0110002* es *N0110001*.

Figura 4.16: Ejemplo de la asociación entre nodos de acceso y nodos de agregación en el escenario del operador con cobertura parcial nacional [Fuente: Analysys Mason, 2012]

			Total activated nodes:	901
Access nodes	Associated aggregation node	Distance to associated	nb of lines	
N0110001	N0110001	0	30,374	
N0110002	N0110001	1	21,272	
N0110003	N0110001	2	48,361	

4.2.4 Cálculo de la red física del operador

Una vez se ha efectuado el diseño de la red física, el módulo de diseño geográfico utiliza algoritmos específicos de tipo ‘problema del viajante’ – o *travelling salesman problem* (TSP, en inglés) – para diseñar de forma óptima la red considerada. Los algoritmos calculan la arquitectura óptima de los anillos de la red para minimizar su coste, así como de las estructuras en árbol que cuelgan de los anillos de red utilizadas en la red de acceso. Se utilizan algoritmos de respuesta óptima en el caso de anillos compuestos por un número bajo de nodos y algoritmos genéticos en el caso de anillos con un número importante de nodos. Los algoritmos genéticos se basan en heurísticas y, a pesar de no resultar en soluciones optimizadas, permiten encontrar aproximaciones suficientemente buenas (superior al 95% de optimización) con tiempos de ejecución razonables para conjuntos de nodos grandes.

El modelo utiliza un fichero por nivel de red (acceso, agregación – incluyendo L1 y L2 – y core) y escenario considerado (operador con cobertura de incumbente o cobertura parcial nacional o regional).

Los datos de entrada considerados en cada uno de los ficheros que contienen el algoritmo de diseño geográfico de la red se muestran en la Figura 4.17.

Clustering to Ring Nodes	
Maximum nodes per Ring Node	16 <i>LEs.Per.L1C</i>
Automatically assign as a Ring Node if number of units of demand exceeds	1 <i>DemandUnits.For.L1C</i>
Maximum demand sitting on a tree (excluding Ring Nodes)	1 <i>DemandUnits.For.Tree</i>
Civil works cost per metre	70.3 <i>Trench.Cost</i>
Fibre cost per metre	2.0 <i>Fibre.Cost</i>
Generating Rings	
Maximum number of Ring Nodes per ring	16 <i>Max.L1Cs.Per.Ring</i>
Number of Bridging Nodes required	2 <i>Bridging.Nodes</i>
Number of Ring Nodes before using genetic algorithm	16 <i>Num.L1Cs.GA.Thresh</i>
Number of generations to use in genetic algorithm	100 <i>GA.Num.Generation</i>

Figura 4.17: Datos de entrada del fichero de cálculo de la red física que conecta los nodos de agregación L2 a los nodos core del operador con cobertura de incumbente [Fuente: Analysys Mason, 2012]

- *Maximum nodes per ring node* – El módulo de diseño geográfico asume un máximo de 16 nodos por anillo.
- *Automatically assign as a ring node if number of units of demand exceeds* – Número de líneas de un nodo a partir del cual se le considera automáticamente como parte del anillo. Si el nodo tuviera un número de líneas menor, el algoritmo podría considerarlo como parte del anillo o como parte de uno de los árboles que cuelgan del anillo.
- *Maximum demand sitting on a tree (excluding ring nodes)* – Número máximo de líneas que pueden estar presentes en la totalidad de los nodos de una estructura en árbol, excluyendo las líneas del nodo del que cuelga dicha estructura.
- *Civil works cost per metre* – Coste asociado a la construcción de un metro de obra civil pensada para el despliegue de fibra.
- *Fibre cost per metre* – Coste asociado al despliegue de un mazo de cables de fibra.
- *Maximum number of ring nodes per ring* – El módulo de diseño geográfico asume un máximo de 16 nodos por anillo, incluyendo el nodo de la capa superior.
- *Number of Bridging Nodes required* – En casos puntuales, si hay demasiados nodos asociados a un mismo anillo, el módulo de diseño geográfico crea un nuevo anillo en el que no está presente el nodo de nivel superior. Dicho anillo estará en contacto con el anillo principal a través del número de nodos indicado en esta variable. El módulo de diseño geográfico asume que dicha unión se efectuará a través de dos nodos para asegurar la redundancia de la estructura.
- *Number of Ring Nodes before using genetic algorithm* – Como se ha indicado anteriormente, el módulo de diseño geográfico utiliza algoritmos genéticos para anillos con más de 16 nodos.
- *Number of generations to use in genetic algorithm* – Un algoritmo genético busca la solución óptima resultante de la evolución de un conjunto de soluciones potenciales que se someten a un número de mutaciones y combinaciones entre ellas. El módulo de diseño geográfico asume que el algoritmo genético ejecuta unas 100 variaciones o generaciones.

Las variables *Automatically assign as a ring node if number of units of demand exceeds* y *Maximum demand sitting on a tree (excluding ring nodes)* toman valores distintos en el módulo de diseño geográfico en función del nivel de red considerado:

- Los niveles de red que no son de acceso no han de tener árboles asociados a los anillos, por lo que hay que asignar valores a estas variables que indiquen al algoritmo que todos los nodos han de colocarse en los anillos de fibra. Esto se consigue asignando un valor de 1 a estas variables, al tiempo que se asigna a los nodos una demanda de 2, por lo que todos los nodos se asignarán automáticamente a anillos de fibra.
- Para el nivel de red de acceso, los algoritmos reciben un valor para estas variables que es aproximadamente el doble de la demanda media de los nodos considerados. Esta aproximación se basa en nuestra experiencia y en el análisis de los resultados del modelo español, que indica que dicha combinación es la que resulta en una red más realista.

La tabla que se presenta a continuación muestra el valor de estas variables para los distintos escenarios y niveles de red:

Figura 4.18: Valores asociados a las variables *Automatically assign as a ring node if number of units of demand exceeds* y *Maximum demand sitting on a tree (excluding ring nodes)* [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Escenario	Red de acceso	Red de agregación	Red de agregación L1-L2
Operador con cobertura de incumbente	2.000 y 5.000	1	1
Operador con cobertura parcial nacional	20.000	1	N/A
Operador con cobertura parcial regional	10.000	1	N/A

* N/A = No aplica

Para calcular el coste de la obra civil y de la fibra, los costes que se utilizan en el módulo de diseño geográfico varían en función del nivel de red, tal y como se muestra en la siguiente tabla. El algoritmo de construcción de la red utiliza los datos resultantes para optimizar los costes de despliegue.

(Euros)	Red de acceso	Red de agregación, incluyendo L1-L2
Obra civil	67,0/m	70,3/m
Fibra	1,4/m	2,0/m

Figura 4.19: Coste de la obra civil y de la fibra en EUR/m desplegados [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Asimismo, los algoritmos de diseño de la red de acceso presentan una opción adicional que permite estimar el número de pares de fibra por cada mazo en la red de acceso. Por cada enlace de red se estima el número de fibras por mazo en función del tamaño de cada central (en términos del número de líneas) (ver Figura 4.20). El resultado de este cálculo da una indicación del tamaño medio del mazo de fibra que el operador desplegaría en su red de acceso, y representa un valor medio que engloba las posibles variaciones que se podrían encontrar en un despliegue de red real. La estimación del coste unitario del mazo de fibra desplegado en la red de acceso se basa en este valor indicativo.

Geotype	Min. nb of lines	Max. nb of lines	Nb of fibre pairs per duct
Madrid & Barcelona	10,000	10,000,000	192
More than 10.000 lines	10,000	10,000,000	192
Más de 3.000 y menos de 10.000 habitantes	3,000	10,000	96
Más de 1.500 y menos de 3.000 habitantes	1,500	3,000	96
Más de 1.000 y menos de 1.500 habitantes	1,000	1,500	48
Más de 600 y menos de 1.000 habitantes	600	1,000	24
Más de 250 y menos de 600 habitantes	250	600	12
Menos de 250 habitantes	-	250	12
Other 1	-	-	-
Other 2	-	-	-

Figura 4.20: Tabla de tipos de mazos de fibra estimados en función del tamaño de la central considerada [Fuente: Analysys Mason, 2012]

A partir de los datos de entrada, el algoritmo calcula la estructura más eficiente en términos de costes de los anillos (y árboles en el caso de la red de acceso), así como el número de kilómetros de fibra y obra civil necesarios para construir la red considerada.

Los resultados de los algoritmos de construcción de la red se plasman en varias tablas que reúnen toda la información que requerirá el modelo para su ejecución, como se muestra en las siguientes figuras.

Figura 4.21: Tabla de resultados de la red de agregación L2 – core del operador con cobertura de incumbente [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Ring Node name	Lat1	Long1	Lat2	Long2	Parent Node	Next node	Ring	Number of Ring Nodes in Parent Node	Is a Parent Node?	Bridging Node	Ring joined to	Is in Parent Node ring?	Dist to next node (km)
N0810008					N0810026	N0810026	1	5			1	Y	2
N0810026					N0810026	N1710001	1	5	Y		1	Y	80
N1710001					N0810026	N1771008	1	5			1	Y	21
N1771008					N0810026	N0810099	1	5			1	Y	74
N0810099					N0810026	N0810008	1	5			1	Y	12
N2510003					N0810099	N2269007	2	9			2	Y	47
N2269007					N0810099	N2214005	2	9			2	Y	51
N2214005					N0810099	N2571013	2	9			2	Y	122
N2571013					N0810099	N0810026	2	9			2	Y	104
N0810026					N0810099	N0810005	2	9			2	Y	7
N0810005					N0810099	N0810099	2	9			2	Y	7
N0810099					N0810099	N4310004	2	9	Y		2	Y	75
N4310004					N0810099	N4302007	2	9			2	Y	16
N4302007					N0810099	N2510003	2	9			2	Y	63
N2465011					N2410002	N2765009	3	10			3	Y	63
N2765009					N2410002	N3666002	3	10			3	Y	115
N3666002					N2410002	N1530003	3	10			3	Y	45
N1530003					N2410002	N1510005	3	10			3	Y	55
N1510005					N2410002	N2710004	3	10			3	Y	81
N2710004					N2410002	N3310008	3	10			3	Y	141
N3310008					N2410002	N3303002	3	10			3	Y	27
N3303002					N2410002	N2410002	3	10			3	Y	105
N2410002					N2410002	N2410003	3	10	Y		3	Y	2
N2410003					N2410002	N2465011	3	10			3	Y	90
N2410002					N2410003	N2410003	4	13			4	Y	2
N2410003					N2410003	N2410001	4	13	Y		4	Y	4
N2410001					N2410003	N3263019	4	13			4	Y	126

Figura 4.22: Tabla de resultados de la red de acceso – agregación L1 del operador con cobertura de incumbente [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Node	Tree node	Fibre distance	Duct distance	Node	Aggregation ring ID	Aggregation ring ID	Fibre distance	Duct distance
N0110035	N0110001	3.39	1.62	N0110096	1	1	64.11	64.11
N0110040	N0110001	0.72	0.72	N0114011	1	2	55.44	55.44
N0110038	N0110001	0.62	0.62	N0112008	1	3	8.73	4.37
N0110030	N0110001	1.76	1.76	N0112003	1	4	12.80	6.40
N0110036	N0110001	2.00	2.00	N0110027	1	5	39.56	39.56
N0110033	N0110001	2.02	1.40	N0110003	1	6	51.88	51.88
N0110034	N0110001	2.86	0.86	N0110001	1	7	35.37	35.37
N0110005	N0110001	7.12	3.34	N0110002	1	8	292.56	292.56
N0110008	N0110001	9.81	2.69	N0110036	1	9	95.31	95.31
N0110007	N0110001	5.73	5.73	N0110006	1	10	264.53	264.53
N0110004	N0110001	3.78	3.78	N0110014	2	11	141.58	141.58
N0110027	N0110001	10.35	4.62	N0110018	2	12	73.38	73.38
N0112005	N0110001	3.39	3.39	N0114006	2	13	22.87	22.87
N0112007	N0110001	7.08	7.08	N0110019	2	14	38.30	38.30
N0110020	N0110018	5.32	5.32	N0110024	3	15	6.35	3.18
N0110014	N0110018	3.47	3.47	N0110021	3	16	28.04	28.04
N0110017	N0110018	4.60	4.60	N0110025	4	17	20.50	20.50
N0110016	N0110018	2.60	2.60	N0110022	4	18	98.70	98.70
N0114002	N0110018	10.29	7.69	N0113003	5	19	12.39	6.19
N0110013	N0110018	8.98	8.98	N0111004	5	20	18.38	9.19
N0110015	N0110018	4.43	4.43	N0113002	5	21	67.88	67.88
N0114004	N0110018	13.75	13.75	N0114009	6	22	40.64	40.64
N0110031	N0110024	5.42	3.23	N0114008	6	23	26.60	26.60
N0114001	N0110024	2.19	2.19	N0112006	6	24	47.40	47.40
N0110026	N0110024	12.00	6.58	N0110032	6	25	44.55	44.55

Como se puede apreciar en las figuras anteriores, la información incluye, entre otros elementos, las distancias de los enlaces, los kilómetros de obra civil necesarios, y las asociaciones de nodos con sus respectivos anillos.

Comentamos a continuación las características específicas de los diferentes escenarios considerados en el módulo de diseño geográfico.

Red física del operador con cobertura de incumbente

Para el operador con cobertura de incumbente se necesita calcular la red que conecta los nodos de acceso a los nodos de agregación L1, de agregación L1 a L2 y de agregación L2 a core.

► *Red de agregación L2 a core*

La Figura 4.23 muestra un ejemplo de los anillos de la red de agregación L2 – core obtenidos al ejecutar el modelo. Si bien, por razones de espacio en la figura, los anillos situados en Canarias no aparecen en esta figura ni en las siguientes, están considerados en la ejecución del modelo. El algoritmo ha generado nueve pares de anillos, uno por cada nodo core activo; cada uno de los nodos que se encuentran activos está formado por los nodos de agregación L2 definidos previamente en el módulo de diseño geográfico que se conectan a los dos nodos core más cercanos, situados ambos en la misma ciudad. Visualmente, el hecho de que los dos nodos core estén ubicados en la misma ciudad separados por unos pocos kilómetros solamente, hace que no se aprecie en la figura que cada nodo de agregación L2 se conecta a dos nodos core. La configuración de los anillos se ha revisado de forma manual para obtener un diseño lo más realista posible, equilibrando los anillos para que tengan un número similar de nodos.

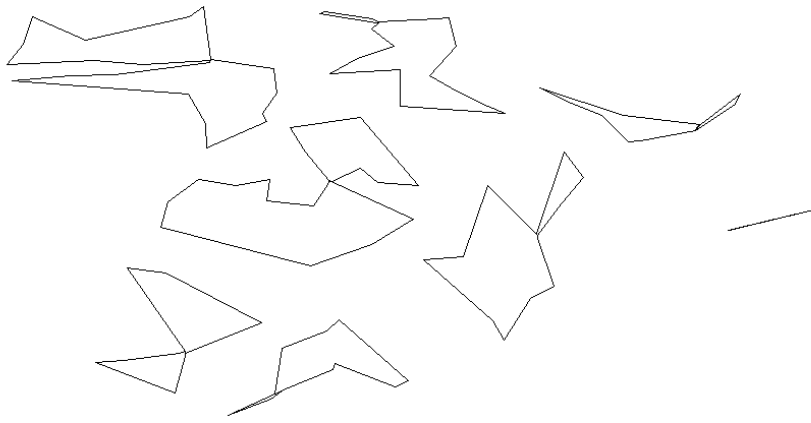


Figura 4.23: Anillos en la red de agregación L2 – core del operador con cobertura de incumbente [Fuente: Analysys Mason, 2012]

► *Red de agregación L1 a agregación L2*

La Figura 4.24 muestra un ejemplo de los anillos de la red de agregación L1 – agregación L2 obtenidos al ejecutar los algoritmos de construcción de la red física. El algoritmo genera anillos de fibra claramente separados por provincias. La configuración de los anillos se ha revisado de forma manual para obtener un diseño lo más realista posible, separando los anillos con un mayor número de nodos en pares de anillos en aquellas provincias que tienen un número importante de nodos. Cada anillo tiene al menos dos nodos de agregación L2.



Figura 4.24: Anillos en la red de agregación L1 – agregación L2 del operador con cobertura de incumbente [Fuente: Analysys Mason, 2012]

► Red de acceso a agregación

La Figura 4.24 muestra un ejemplo de los anillos de la red de acceso – agregación L1 obtenidos al ejecutar el modelo. El algoritmo genera anillos de fibra así como estructuras en forma de árbol. Se observa en la figura que la densidad de las líneas es mayor en aquellas provincias con un mayor número de líneas, generalmente asociadas a las provincias con una mayor población.



Figura 4.25: Anillos en la red de acceso – agregación L1 del operador con cobertura de incumbente [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Red física del operador con cobertura parcial nacional

Para el operador con cobertura parcial nacional se necesita diseñar la red que conecta los nodos de acceso a los nodos de agregación y los nodos de agregación a los nodos core.

► Red de agregación a core

La Figura 4.26 muestra un ejemplo de los anillos de la red de agregación – core obtenidos al ejecutar el modelo. El algoritmo ha generado siete pares de anillos, uno por cada nodo core activo, formado cada uno por los nodos de agregación definidos previamente en el módulo de diseño geográfico que se conectan a los dos nodos core más cercanos, situados ambos en la misma ciudad. Visualmente, el hecho de que los dos nodos core estén ubicados en la misma ciudad separados por unos pocos kilómetros solamente, hace que no se aprecie en la figura el hecho de que cada nodo de agregación L2 se conecta a dos nodos core. La configuración de los anillos se ha revisado de forma manual para obtener un diseño lo más realista posible, equilibrando los anillos para que tengan un número similar de nodos.

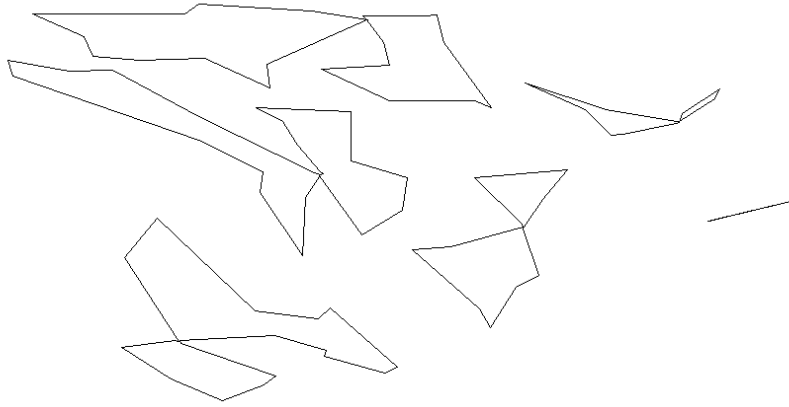


Figura 4.26: Anillos en la red de agregación – core del operador con cobertura parcial nacional [Fuente: Analysys Mason, 2012]

► Red de acceso a agregación L1

La Figura 4.27 muestra un ejemplo de los anillos de la red de acceso – agregación obtenidos al ejecutar el modelo. El algoritmo genera anillos de fibra así como estructuras en forma de árbol. Se observa que los anillos y árboles están presentes principalmente en las zonas con un mayor número de líneas, generalmente asociadas a las provincias con una mayor población. En efecto, en este escenario, se asume que el operador con cobertura parcial de alcance nacional se concentra en las zonas más económicamente viables.



Figura 4.27: Anillos en la red de acceso – agregación del operador con cobertura parcial nacional [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Red física del operador con cobertura parcial regional

En el caso del operador con cobertura parcial regional se necesita diseñar la red que conecta los nodos de acceso a los nodos de agregación y los nodos de agregación a los nodos core. El operador modelado es un operador regional que despliega su red en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

► Red de agregación a core

La Figura 4.28 muestra un ejemplo de los anillos de la red de agregación – core obtenidos al ejecutar el modelo. El algoritmo asigna a cada nodo de agregación dos nodos core en función de su distancia, y calcula los anillos en función de estos parámetros.

Contrariamente a los otros escenarios considerados, el operador tiene un solo nodo core por ciudad, por lo que el segundo nodo core más cercano se encuentra ubicado en una ciudad diferente. La configuración de los anillos se ha revisado de forma manual para obtener un diseño lo más realista posible, equilibrando los anillos para que tengan un número similar de nodos.

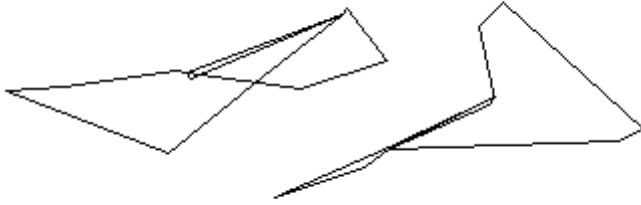


Figura 4.28: Anillos en la red de agregación – core del operador con cobertura parcial nacional [Fuente: Analysys Mason, 2012]

► Red de acceso a agregación

La Figura 4.29 ilustra un ejemplo de los anillos de la red de acceso – agregación obtenidos al ejecutar el modelo. El algoritmo genera anillos de fibra así como estructuras en forma de árbol. Se observa que los anillos y árboles están presentes principalmente en las zonas con un mayor número de líneas, generalmente asociadas a las provincias con una mayor población. En efecto, el operador con cobertura parcial regional se concentra en las zonas más económicamente viables.



Figura 4.29: Anillos en la red de acceso – agregación del operador con cobertura parcial nacional [Fuente: Analysys Mason, 2012]

4.2.5 Datos de salida del módulo de diseño geográfico

El módulo de diseño geográfico proporciona la distancia total en kilómetros de cables de fibra y obra civil desplegada en los distintos niveles de la red del operador – acceso, agregación y core.

Adicionalmente, el módulo de diseño geográfico exporta la lista de nodos core, de acceso y agregación activos en función del escenario seleccionado en el módulo.

4.3 Ficheros del módulo de diseño geográfico

El módulo de diseño geográfico está compuesto por los ficheros en MS Excel que se enumeran en la siguiente tabla.

Figura 4.30: Ficheros que componen el módulo de diseño geográfico [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Nombre del fichero	Descripción
1.1: <i>Geographic model incumbent access SMALL</i>	Este fichero permite seleccionar nodos de acceso que se considerarán en el escenario del operador con cobertura de incumbente. Define los nodos de agregación L1 a los que se conectarán los nodos de acceso seleccionados. Este fichero considera las provincias con un menor número de líneas de acceso.
1.1: <i>Geographic model incumbent access LARGE</i>	Este fichero permite seleccionar los nodos de acceso que se considerarán en el escenario del operador con cobertura de incumbente. Define los nodos de agregación L1 a los que se conectarán los nodos de acceso seleccionados. Este fichero considera las provincias con un mayor número de líneas de acceso.
1.1: <i>Geographic model incumbent core</i>	Este fichero permite seleccionar los nodos core que se considerarán en el escenario del operador con cobertura de incumbente. Define la estructura de la red core del operador. Asimismo, define las conexiones entre los nodos de agregación L1 y L2, así como las conexiones entre los nodos de agregación L2 y los nodos core seleccionados.
1.1: <i>Geographic model OLO</i>	Este fichero permite seleccionar los nodos de acceso, agregación y core considerados en el escenario del operador con cobertura parcial nacional. Define la estructura de la red core del operador, así como las conexiones entre los nodos de acceso y agregación, y entre los nodos de agregación y core en función de los parámetros definidos. Considera diferentes escenarios, incluidos el del operador OLO y el del operador regional.
1.1: <i>Geographic model regional</i>	Este fichero permite seleccionar los nodos de acceso, agregación y core considerados en el escenario de operador con cobertura parcial regional. Define la estructura de la red core del operador, así como las conexiones entre los nodos de acceso y agregación, y entre los nodos de agregación y core en función de los parámetros definidos. Considera diferentes escenarios, incluidos el del operador OLO y el del operador regional.
1.2: <i>Rings incumbent access SMALL-aggregation L1</i>	Este fichero calcula la estructura de los anillos y árboles que conectan los nodos de acceso y los nodos de agregación L1 para el escenario del operador con cobertura de incumbente en aquellas provincias que tienen un menor número de líneas de acceso.
1.2: <i>Rings incumbent access LARGE-aggregation L1</i>	Este fichero calcula la estructura de los anillos y árboles que conectan los nodos de acceso y los nodos de agregación L1 para el escenario del operador con cobertura de incumbente en aquellas provincias que tienen un mayor número de líneas de acceso.
1.2: <i>Rings incumbent aggregation L1-L2</i>	Este fichero calcula la estructura de los anillos que conectan los nodos de agregación L1 con los nodos de agregación L2 para el escenario del operador con cobertura de incumbente.
1.2: <i>Rings incumbent aggregation L2-core</i>	Este fichero calcula la estructura de los anillos que conectan los nodos de agregación L2 con los nodos core para el escenario del operador con cobertura de incumbente.
1.2: <i>Rings OLO access-aggregation</i>	Este fichero calcula la estructura de los anillos que conectan los nodos de acceso con los nodos de agregación para el escenario del operador con cobertura parcial nacional.

Nombre del fichero	Descripción
<i>1.2: Rings OLO aggregation-core</i>	Este fichero calcula la estructura de los anillos que conectan los nodos de agregación con los nodos core para el escenario del operador con cobertura parcial nacional.
<i>1.2: Rings regional access-aggregation</i>	Este fichero calcula la estructura de los anillos que conectan los nodos de acceso con los nodos de agregación para el escenario del operador con cobertura parcial regional.
<i>1.2: Rings regional aggregation-core</i>	Este fichero calcula la estructura de los anillos que conectan los nodos de agregación con los nodos core para el escenario del operador con cobertura parcial regional.

Debido al carácter modular del modelo, cada fichero presenta las opciones relevantes para la tarea que desempeña. Por ejemplo, los ficheros *1.1: Geographic model incumbent access SMALL* y *1.1: Geographic model incumbent access LARGE* reúnen exclusivamente las opciones relativas a la configuración de la red de acceso del operador incumbente.

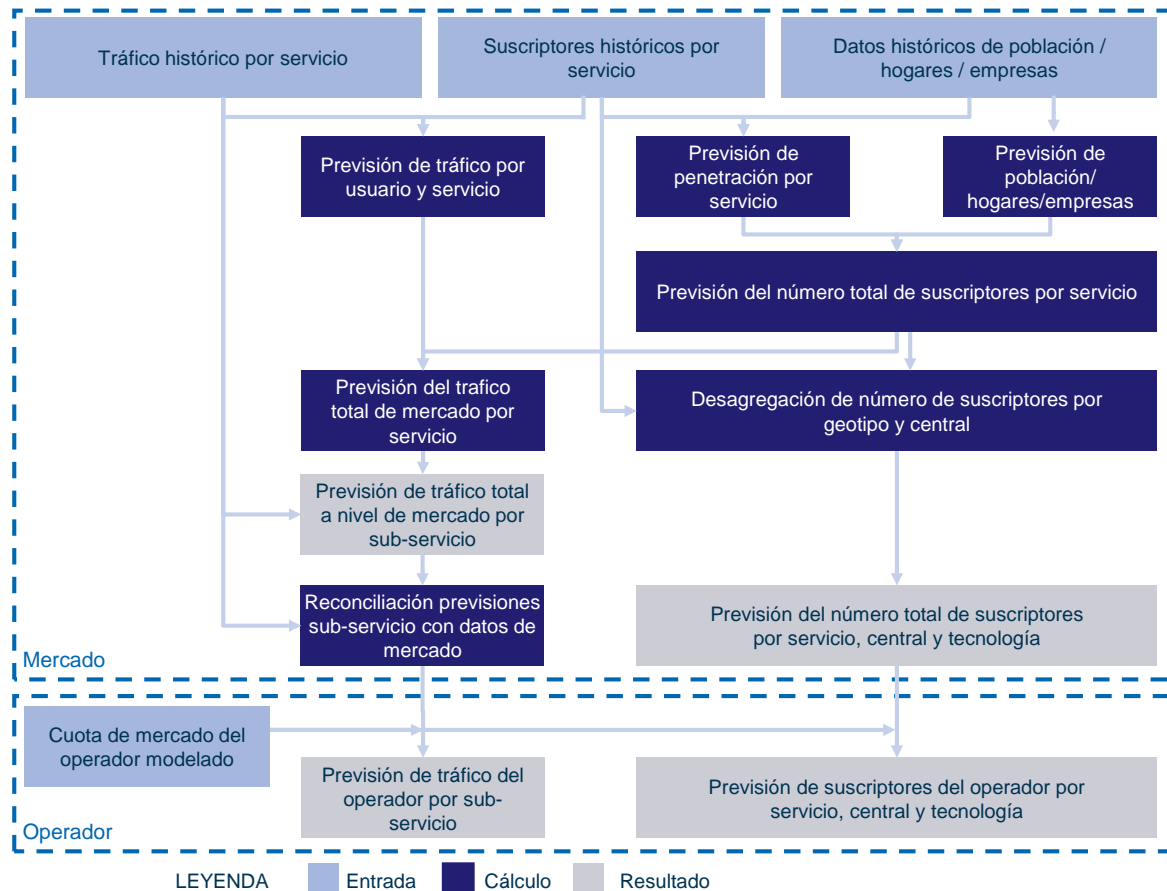
5 Módulo de demanda de mercado

El módulo de demanda de mercado estima la evolución del número de suscriptores y del tráfico de los servicios ofrecidos por el operador modelado.

5.1 Introducción

La Figura 5.1 muestra un esquema del funcionamiento del módulo de demanda de mercado.

Figura 5.1: Esquema del funcionamiento del módulo de demanda de mercado [Fuente: Analysys Mason, 2012]



Este módulo utiliza como datos de entrada datos históricos económicos y demográficos (p.ej. número de hogares), así como datos históricos de tráfico y suscriptores por servicio prestado a través de una red fija de telecomunicaciones en España. A partir de estos datos se aplican las tendencias correspondientes para obtener las proyecciones de demanda por servicio a nivel nacional.

El módulo de demanda de mercado permite modificar los datos de demanda de forma semi-automatizada (p.ej. permite introducir manualmente un valor específico para el tráfico de un cierto año y que las previsiones de los años siguientes se actualicen correspondientemente).

Asimismo, este módulo recibe información relativa a aquellas centrales de acceso activas en las que el operador modelado se encuentra presente. Aplicando la cuota de mercado del operador modelado a las proyecciones de la demanda a nivel de mercado, el módulo de demanda arroja el número de suscriptores y el volumen de tráfico por servicio del operador modelado a nivel de central activa (área MIGA). Tal y como se observa en la Figura 5.1, el módulo de demanda de mercado arroja como resultado la demanda por servicio a nivel de central de acceso, que luego se utiliza como datos de entrada para los otros módulos que componen el modelo.

Conviene señalar que este módulo calcula la demanda estimada de los servicios del mercado, es decir, los servicios tradicionalmente ofrecidos por los operadores a través de sus redes de telecomunicaciones fijas. Sin embargo, la demanda de estos servicios deben ser posteriormente asignados a sus correspondientes servicios de red, es decir, a los servicios prestados por un operador de telecomunicaciones fijo a través de una red de nueva generación (NGN, por sus siglas en inglés). En realidad, son los servicios de red los que se costean en el modelo y no los servicios de demanda de mercado que se corresponden con todos los servicios ofrecidos actualmente por los operadores a través de sus redes TDM (*time division multiplexing*) e IP (*Internet Protocol*).

5.2 Servicios considerados en el módulo de demanda de mercado

El módulo de demanda de mercado calcula las previsiones relativas al tráfico y suscriptores en función de los datos históricos y del tipo de servicio. Los servicios modelados cuya demanda se ha dimensionado se clasifican en función del tipo de servicio: voz, video-llamadas, datos y otros tipos de servicios como líneas alquiladas, televisión por IP, etc. La Figura 5.2 muestra la lista de servicios modelados.

Figura 5.2: Lista de servicios modelados [Fuente: Analysys Mason, 2012]

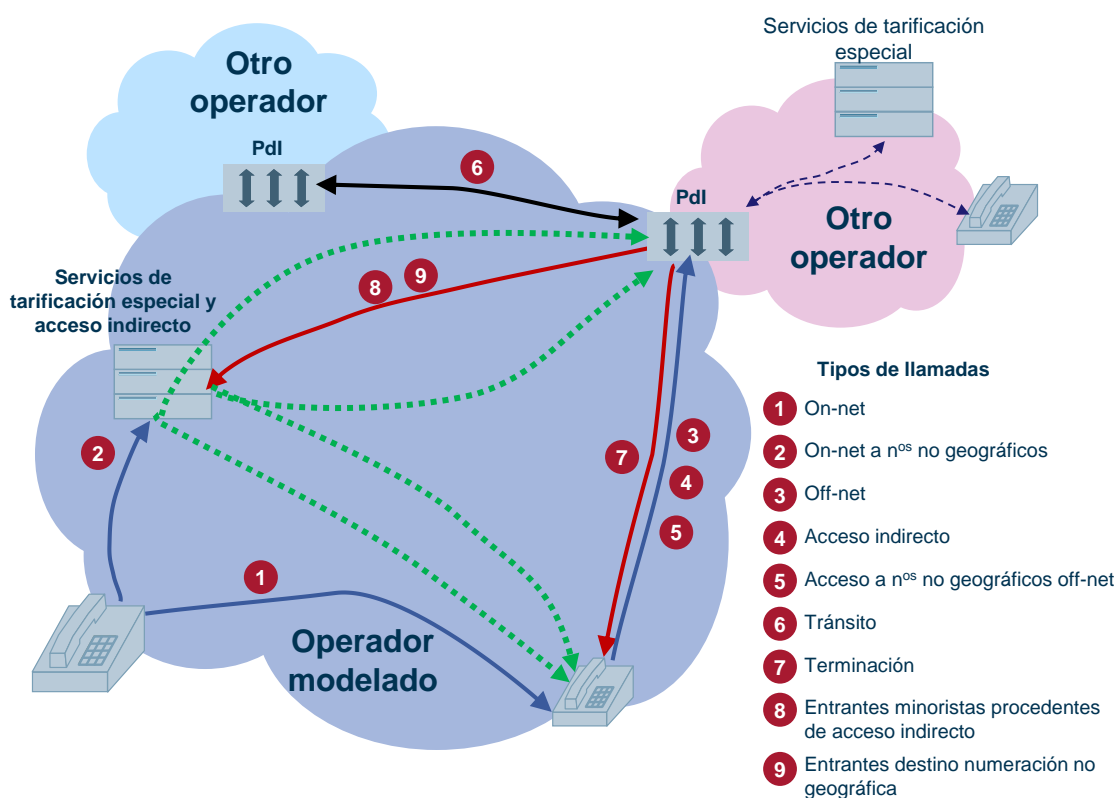
Servicios	Voz	Video-llamadas	Datos	Otros
Subservicios	<ul style="list-style-type: none"> Llamadas minoristas on-net Llamadas minoristas on-net a números no geográficos Llamadas minoristas salientes Llamadas mayoristas salientes Llamadas mayoristas a servicios en la modalidad de acceso Llamadas mayoristas en tránsito Llamadas mayoristas entrantes Llamadas entrantes procedentes de acceso indirecto Llamadas entrantes a numeración no geográfica 	<ul style="list-style-type: none"> Video-llamadas on-net Video-llamadas salientes Video-llamadas entrantes 	<ul style="list-style-type: none"> Acceso a internet conmutado Banda ancha best-effort Banda ancha alta prioridad Bitstream best-effort Bitstream alta prioridad 	<ul style="list-style-type: none"> Líneas alquiladas Otros servicios de transporte Otros servicios de interconexión Televisión por IP Servicios de video bajo demanda

Adicionalmente, para cada tipo de servicio se define un conjunto de sub-servicios que representan los servicios ofrecidos en el mercado actualmente.

En la Figura 5.3 se muestran los flujos de llamada asociados a los sub-servicios de voz para los que se dimensionará el tráfico. Los sub-servicios se clasifican en función de si el operador modelado es el que emite (líneas en color azul), el que recibe (líneas en color rojo) o por el que transita la llamada (línea en color negro).

En el caso de las llamadas procedentes de acceso indirecto (es decir, llamadas generadas en otro operador mediante código de selección de operador) y de las llamadas destino numeración no geográfica del operador modelado se indica con la línea verde discontinua los posibles flujos de la llamada. Como se muestra en la figura, una vez se han alcanzado los servicios de tarificación especial y de acceso indirecto (red inteligente) la llamada es encaminada hacia un cliente del operador modelado o bien hacia un cliente de un operador tercero mediante interconexión.

Figura 5.3: Flujos asociados a los principales sub-servicios de voz considerados en el modelo⁷ [Fuente: Analysys Mason, 2012]



A continuación se describe cada uno de los sub-servicios de voz modelados. La numeración asignada a cada categoría coincide con la numeración mostrada en la Figura 5.3.

⁷ En el modelo se ha asumido que las llamadas entrantes a números no geográficos son transferidas a un número de la red del operador que alberga el servicio no geográfico. De este modo, se simplifica el número de servicios a modelar

Figura 5.4: Lista de sub-servicios de voz considerados en el modelo de mercado [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Categoría	Servicio	Descripción
1. Llamadas minoristas on-net	Llamadas provinciales on-net	Llamadas de voz entre dos suscriptores minoristas del operador de la misma provincia
	Llamadas interprovinciales on-net	Llamadas de voz entre dos suscriptores minoristas del operador fijo modelado en provincias diferentes
2. Llamadas minoristas on-net a números no geográficos	Llamadas a números no geográficos on-net	Llamadas de voz de un suscriptor minorista del operador fijo modelado a números no geográficos del propio operador fijo modelado, incluyendo los números de tarifas especiales, el servicio de consulta telefónica sobre números de abonado y los servicios de emergencia
3. Llamadas minoristas salientes	Llamadas salientes internacionales	Llamadas de voz de un suscriptor minorista del operador fijo modelado a un destino internacional
	Llamadas salientes a móviles	Llamadas de voz de un suscriptor minorista del operador fijo modelado a un operador móvil doméstico
	Llamadas salientes a otros operadores fijos	Llamadas de voz de un suscriptor minorista del operador fijo modelado a un operador fijo doméstico
4. Llamadas mayoristas salientes (acceso indirecto)	Llamadas salientes locales	Llamadas de voz de un suscriptor de un operador alternativo que contrata al operador modelado, para el transporte y entrega de tales llamadas interconectándose en la central local correspondiente.
	Llamadas salientes metropolitana	Llamadas de voz de un suscriptor de un operador alternativo, que contrata al operador modelado para el transporte y entrega de tales llamadas interconectándose en la central metropolitana correspondiente.
	Llamadas salientes tránsito simple	Llamadas de voz de un suscriptor de un operador alternativo, que contrata al operador modelado para el transporte y entrega de tales llamadas interconectándose en una central de tránsito correspondiente a la numeración metropolitana.
	Llamadas salientes tránsito doble	Llamadas de voz de un suscriptor de un operador alternativo, que contrata al operador modelado para el transporte y entrega de tales llamadas, interconectándose en una central de tránsito con una numeración metropolitana no cubierta en el tránsito simple.
5. Llamadas mayoristas a servicios en la modalidad de acceso (por ejemplo tarifas especiales)	Llamadas salientes locales	Llamadas de voz originadas por un suscriptor del operador fijo modelado a números no geográficos de otro operador, incluidos números de tarifas especiales, servicio de consulta telefónica sobre números de abonado y servicios de emergencia, entregada en la central local.
	Llamadas salientes metropolitana	Llamadas de voz originadas por un suscriptor del operador fijo modelado a números no geográficos de otro operador, incluidos números de tarifas especiales, servicio de consulta telefónica sobre números de abonado y servicios de emergencia, entregada en la central metropolitana.
	Llamadas salientes tránsito simple	Llamadas de voz originadas por un suscriptor del operador fijo modelado a números no geográficos de otro operador, incluidos números de tarifas especiales, servicio de consulta telefónica sobre números de abonado y servicios de emergencia, entregada en una central de tránsito dentro del área nodal en la que se generó la llamada.

Categoría	Servicio	Descripción
	Llamadas salientes tránsito doble	Llamadas de voz originadas por un suscriptor mayorista del operador fijo modelado a números no geográficos de otro operador, incluidos números de tarifas especiales, servicio de consulta telefónica sobre números de abonado y servicios de emergencia, entregada en una central de tránsito fuera del área nodal en la que se generó la llamada.
6. Llamadas mayoristas en tránsito	Llamadas en tránsito nacional	Llamadas de voz recibidas de otro operador nacional, móvil o fijo, y terminadas en la red de otro operador nacional, móvil o fijo
	Llamadas en tránsito nacional procedentes de internacional	Llamadas de voz recibidas de otro operador internacional y terminadas en la red de otro operador nacional móvil o fijo, así como llamadas de voz recibidas de otro operador nacional y terminadas en la red de otro operador internacional
	Llamadas en tránsito internacional	Las llamadas transitadas por la red del operador modelado cuando el origen y destino son redes de otros países. Por ejemplo, un operador que hace de puente entre origen (p.ej. O2 UK) y destino (p.ej. Telefónica Perú)
7. Llamadas mayoristas entrantes	Llamadas entrantes local	Llamadas de voz recibidas de otro operador internacional, móvil o fijo, terminadas en un suscriptor minorista del operador fijo modelado y que fueron entregadas en un Pdl local
	Llamadas entrantes metropolitana	Llamadas de voz recibidas de otro operador internacional, móvil o fijo, terminadas en un suscriptor minorista del operador fijo modelado y que fueron entregadas en un Pdl metropolitana
	Llamadas entrantes tránsito simple	Llamadas de voz recibidas de otro operador internacional, móvil o fijo, terminadas en un suscriptor minorista del operador fijo modelado y que fueron entregadas en un Pdl ubicado en una central de tránsito con una numeración dentro de la misma área nodal
	Llamadas entrantes tránsito doble	Llamadas de voz recibidas de otro operador internacional, móvil o fijo, terminadas en un suscriptor minorista del operador fijo modelado y que fueron entregadas en un Pdl ubicado en una central de tránsito con una numeración fuera del área nodal, no cubierta en el tránsito simple
	Llamadas entrantes de internacional	Llamadas de voz recibidas de números internacionales y terminadas en un suscriptor minorista del operador fijo modelado, tras transitar en una central internacional
8. Llamadas entrantes procedentes de acceso indirecto	Llamadas entrantes procedentes de acceso indirecto	Llamadas generadas mediante código de selección de operador por suscriptores conectados a la red utilizando la infraestructura del operador incumbente y cuyo tráfico ha sido recibido por el operador modelado para su posterior entrega al destinatario de la llamada. El tráfico generado en este servicio es igual a la suma del tráfico generado en los subservicios pertenecientes a la categoría " <i>llamadas mayoristas salientes (acceso indirecto)</i> "
9. Llamadas entrantes a numeración no geográfica (p.ej. ejemplo a tarifas especiales)	Llamadas entrantes a numeración no geográfica	Llamadas de voz recibidas a números no geográficos, incluidos números de tarifas especiales, servicio de consulta telefónica sobre números de abonado, y servicios de emergencia del operador fijo modelado

Nota: Las llamadas salientes mayoristas corresponden al servicio de originación, mientras que las llamadas entrantes mayoristas corresponden al servicio de terminación

Finalmente, en la Figura 5.5 se muestran los sub-servicios asociados a los servicios de video-llamadas, datos y otros servicios ofrecidos sobre la red fija:

Figura 5.5: Lista de sub-servicios de video-llamadas, datos y otros servicios fijos considerados en el modelo de mercado [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Categoría	Servicio	Descripción
Video-llamadas	Video-llamadas on-net	Llamadas simultáneas de voz y vídeo entre dos suscriptores minoristas del operador fijo modelado
	Video-llamadas salientes	Llamadas simultáneas de voz y vídeo originadas por un suscriptor minorista del operador fijo modelado y terminadas en la red de otro operador internacional, fijo o móvil
	Video-llamadas entrantes	Llamadas simultáneas de voz y vídeo recibidas de otro operador nacional o internacional, móvil o fijo, y terminadas en un suscriptor minorista de la red del operador fijo modelado
Datos	Acceso a Internet conmutado	Llamadas efectuadas por los usuarios sobre la red de conmutación de acceso para acceder a Internet
	Banda ancha best-effort	Provisión de un servicio de Internet a través de una línea de suscripción digital con prioridad baja
	Banda ancha alta prioridad	Provisión de un servicio de Internet a través de una línea de suscripción digital con prioridad alta para ofrecer servicios del tipo OTT (<i>over the top</i>), de banda ancha de mayor prioridad, etc. El tráfico de banda ancha de alta prioridad utilizado por empresas para unir sus centrales a través de VPNs se incluye dentro de la categoría <i>Otros Servicios de Transporte</i>
	Bitstream best-effort	Provisión de un servicio de Internet a través de bitstream con prioridad baja
	Bitstream alta prioridad	Provisión de un servicio de Internet a través de bitstream con prioridad alta para ofrecer servicios del tipo OTT, de banda ancha de mayor prioridad, etc. El tráfico de banda ancha de alta prioridad utilizado por empresas para unir sus centrales a través de VPNs se incluye dentro de la categoría <i>Otros Servicios de Transporte</i>
Otros servicios fijos	Líneas alquiladas	Incluye servicios de líneas alquiladas, ya sea para aprovisionar a clientes minoristas, otros operadores, o para uso interno
	Otros servicios de transporte	Ancho de banda en las diferentes capas de la red (p.ej. nodos de acceso, nodos de agregación, nodos troncales) utilizado para soportar los servicios corporativos a grandes empresas (p.ej. VPN-IP, MetroLAN) y las redes móviles. Esto excluye el backhaul de banda ancha y los servicios de líneas alquiladas
	Otros servicios de interconexión	Ingresos y minutos cursados por otros servicios de interconexión en redes fijas no incluidos en la Oferta de Interconexión de Referencia (OIR) y descritos en los Acuerdo Generales de Interconexión (AGI) suscritos por los operadores
	Televisión por IP	Emisión de contenidos televisivos de forma linear en forma de un abanico de canales, con una programación preparada de antemano e idéntica para los televidentes de un mismo canal
	Servicios de vídeo bajo demanda	Emisión de contenidos televisivos a los que accede el suscriptor de forma personalizada (vídeos bajo demanda, o VoD por sus siglas en inglés)

Servicios de mercado y servicios de red

Tal y como se comentó previamente, el módulo de demanda de mercado calcula las proyecciones relativas al volumen de tráfico para cada uno de los servicios y sub-servicios ofrecidos por el operador modelado. Muchos de estos servicios (p.ej. la existencia de llamadas y de niveles de interconexión a nivel local, metropolitano, tránsito simple) son el resultado de las características de las redes de conmutación TDM, de prácticas históricas y de la regulación vigente. Estos servicios no serían prestados necesariamente de la misma manera en una red NGN.

El modelo tiene por objetivo costear los servicios prestados por un operador de telecomunicaciones fijo a través de una NGN. Para ello, se introduce en el modelo el concepto de ‘servicios de red’, es decir, los servicios prestados por un operador de telecomunicaciones fijo a través de una NGN. Por lo tanto, será necesario asociar los servicios enumerados en las Figura 5.4 y Figura 5.5 a su servicio equivalente en una NGN.

Al asignar los servicios de mercado a sus correspondientes servicios de red se deben considerar los siguientes aspectos:

- Algunos servicios no pueden prestarse a través de la NGN del operador modelado. Por ejemplo, el tráfico generado por el servicio de acceso a Internet conmutado deberá incluirse en los servicios de banda ancha.
- Los recursos de red que utilizan los servicios prestados a través de un red NGN pueden ser diferentes de los utilizados en una red tradicional de telecomunicaciones. Por ejemplo, suponiendo que los PdIs de la red NGN están ubicados a nivel de la red core, los recursos de red utilizados por una llamada de ámbito local *off-net* serán los mismos que los utilizados por una llamada de ámbito provincial *off-net* (ver Figura 5.6), por lo que el tráfico generado por ambos servicios podría considerarse de forma conjunta.

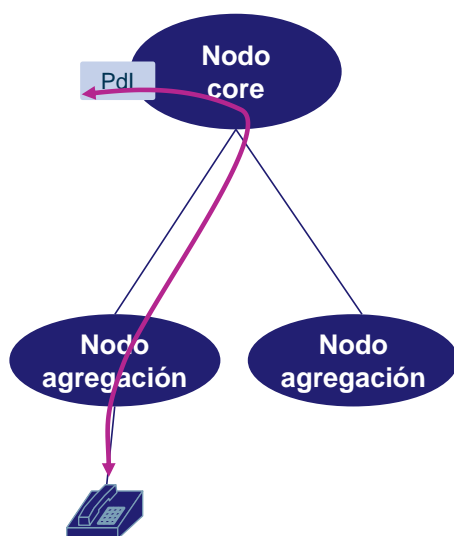


Figura 5.6: Escenario de interconexión en una llamada de ámbito local en una red con los PdIs a nivel core [Fuente: Analysys Mason, 2012]

En la Sección 6 se detalla el conjunto de servicios NGN que se modelan y costean en el modelo.

Servicio de llamadas mayoristas salientes

En el caso del servicio de llamadas mayoristas salientes, el suscriptor de un operador utiliza la infraestructura de otro operador para cursar las llamadas de voz. El modelo ofrece las dos siguientes alternativas para modelar este tipo de tráfico:

- Asumir que el servicio mayorista de originación de llamadas se ofrece a través de la NGN del operador modelado y por tanto se estima y costea la demanda de suscriptores y tráfico para este servicio.
- Asumir que el servicio mayorista de originación de llamadas no se ofrece a través de la red NGN, y que todo el tráfico asociado a este servicio se distribuye de la siguiente forma:
 - Un porcentaje del tráfico (configurable por el usuario) se convierte en tráfico minorista del operador incumbente. Es decir, se considera que un porcentaje de los abonados del operador alternativo que utilizaban el servicio mayorista de acceso pasan a ser suscriptores del operador incumbente ya que es el único operador con la infraestructura necesaria para ofrecer los servicios de voz en toda la cobertura nacional.
 - Un porcentaje del tráfico (configurable por el usuario) se convierte en tráfico bitstream real-time y es entregado al operador alternativo en una de sus centrales de acceso.
 - El resto del tráfico se convierte en tráfico bitstream real-time y es entregado en un punto de interconexión a nivel core.
 - El modelo permite configurar los porcentajes utilizados para convertir el tráfico mayorista de originación de llamadas en cada tipo de tráfico descrito en los puntos anteriores.

El modelo asume que el servicio mayorista de llamadas salientes a números no geográficos sigue prestándose en una red NGN y por tanto se costea dicho servicio.

Servicio de líneas alquiladas

Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que el servicio de líneas alquiladas sólo considera el tráfico generado por los enlaces que hacen uso de los recursos de conmutación Ethernet y routing IP de la red del operador modelado.

Las líneas alquiladas transportadas a nivel 1, es decir, el nivel físico del modelo OSI (*open system interconnection*), son enlaces punto a punto en los que se ofrece capacidad física entre dos puntos sin que se haga uso de los recursos de conmutación Ethernet e IP y por tanto no se han considerado a efectos del modelado.

5.3 Descripción funcional del módulo de demanda de mercado

A continuación detallamos paso por paso el procedimiento para calcular las proyecciones de mercado:

- la Sección 5.3.1 describe las proyecciones relativas al tráfico y suscriptores por servicio
- la Sección 5.3.2 describe cómo se desagregan las proyecciones de demanda por sub-servicio
- la Sección 5.3.3 describe cómo se desagregan las proyecciones de demanda de cada sub-servicio por geotipo y central de acceso
- la Sección 5.3.4 describe el proceso por el cual los suscriptores de la red cobre son migrados gradualmente a la red de fibra
- la Sección 5.3.5 explica cómo se obtienen las proyecciones relativas al tráfico y suscriptores del operador modelado
- la Sección 5.3.6 describe los datos de salida del módulo de demanda de mercado.

5.3.1 Proyecciones de tráfico y suscriptores por servicio

El modelo abarca un horizonte temporal de 50 años (ver Sección 2.4.4). Dado que no sería realista efectuar una previsión detallada y precisa para el periodo total del modelo, el modelo pretende efectuar una previsión para un periodo razonable de tiempo. Por lo tanto, el modelo efectúa una proyección detallada del tráfico de los distintos servicios hasta el año 2020. Tras este periodo, el modelado de la demanda se estabiliza bien asumiendo que el tráfico por usuario y la penetración por servicio permanecen constantes a través del tiempo, o que la tasa de crecimiento es conservadora y permanece estable hasta el final del periodo modelado (50 años). De este modo, se evita que cambios a largo plazo en la demanda de los servicios puedan afectar a la recuperación de costes en los primeros años del modelo.

En efecto, la estabilización del mercado tras un periodo de tiempo responde a dos razones principales:

- limitar el impacto de errores asociados a un periodo demasiado largo (ej. nuevas tecnologías desconocidas)
- limitar el impacto que tendría un exceso de demanda en años posteriores sobre el coste final de los servicios modelados debido a la depreciación económica.

Por otra parte, no se prevé la introducción de nuevas tecnologías que no estén presentes actualmente en el mercado.

En cualquier caso, el modelo es flexible ya que permite al usuario modificar antes y más allá de la fecha de 2020 la demanda estimada. Una vez realizados los cambios, el modelo actualiza de forma dinámica la demanda para cada uno de los servicios existentes.

El módulo de demanda utiliza en gran parte datos macro-económicos: población, número de hogares, así como los datos históricos de la penetración de los distintos servicios fijos en el mercado – líneas fijas, banda ancha y televisión – como punto de partida de la estimación de la

demanda. En el caso de los servicios de video-llamadas, dado que no existen datos históricos del uso de este servicio en la red fija, se deriva el tráfico de los servicios de video-llamadas en la red fija de estadísticas de este servicio en la red móvil.

Datos macro-económicos

Se utilizan las cifras oficiales de población (padrón), así como las proyecciones de población a corto plazo (hasta 2020) publicadas por el INE (Instituto Nacional de Estadística) para calcular las proyecciones de población durante el horizonte temporal del modelo. A partir del año 2020 se considera que la población en España se mantiene constante.

Para calcular las proyecciones del número de hogares se ha utilizado la *Encuesta sobre Equipamiento y Uso de Tecnologías de la Información y Comunicación en los hogares* publicada por el INE,⁸ que proporciona los datos históricos del número de hogares existentes en España. Adicionalmente, se utilizan las previsiones publicadas por Euromonitor International para estimar la evolución esperada del número de hogares en España hasta el año 2020. Tal y como se ha explicado previamente, a partir de ese año se considera que el número de hogares se estabiliza. En la Figura 5.7 podemos ver las proyecciones de población y número de personas por hogar utilizadas en el modelo de costes.

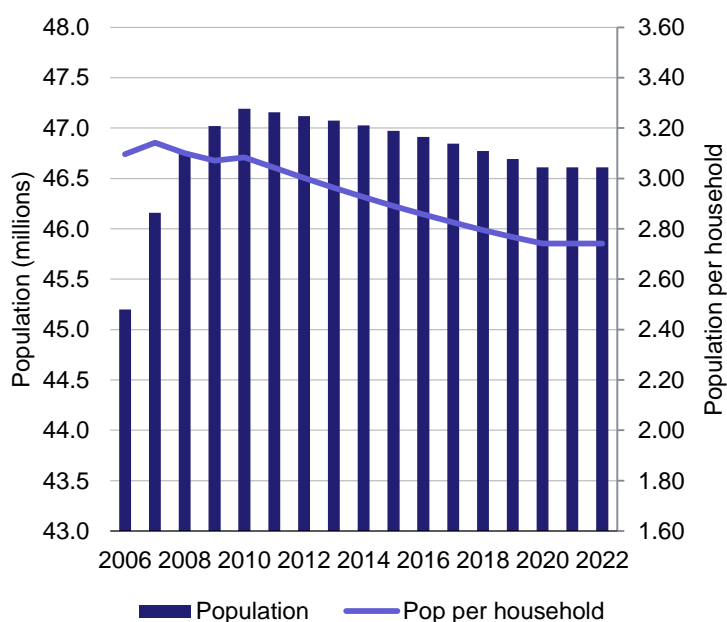


Figura 5.7:
Proyecciones de
población total y
población por hogar en
España hasta el año
2022 [Fuente: Analysys
Mason, 2012]

Proyecciones de penetración y tráfico por servicio

Una vez obtenidas las proyecciones de población y número de hogares en España, el módulo de demanda estima la penetración de los servicios y la evolución del tráfico anual por suscriptor durante el horizonte temporal del modelo. Aplicando los datos de penetración y tráfico por servicio y usuario a las proyecciones de población, es posible obtener el volumen de tráfico anual por servicio.

⁸

<http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=/t25/p450&file=inebase>.

En aras de asegurar la mayor coherencia posible entre los diferentes modelos desarrollados por la CMT (p.ej. modelo de costes del servicio NEBA), se han tenido en cuenta las previsiones de demanda de dichos modelos a la hora de construir este módulo de demanda de mercado. En efecto, dichos modelos contienen datos y previsiones de demanda del mercado de servicios de telecomunicaciones prestados a través de una red fija de un operador que presta servicios en el mismo mercado. Tal y como ha sugerido la CMT, el modelo tiene en cuenta la demanda de servicios de banda ancha de diferentes calidades, de IPTV, así como de la migración de accesos de cobre a fibra del modelo desarrollado por la CMT para costear el servicio NEBA.

El módulo de demanda calcula las previsiones para los servicios definidos en la Figura 5.2:

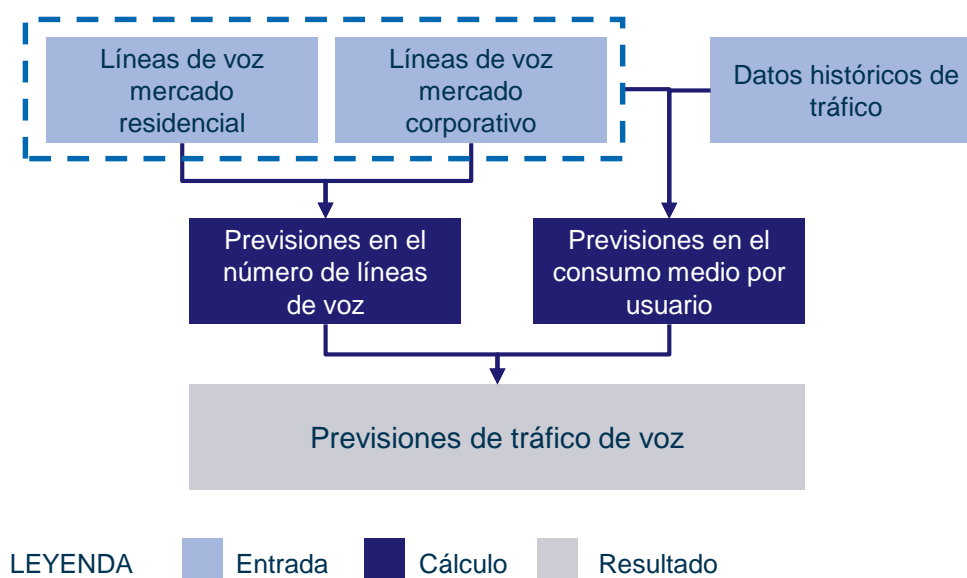
- servicios de voz y video-llamadas
- servicios de datos
- otros servicios (p. ej. líneas alquiladas, IPTV o VoD).

► *Servicios de voz y video-llamadas*

En la Figura 5.8 se muestra un esquema de la metodología utilizada para obtener las proyecciones de tráfico de voz a nivel de mercado. Tal y como se aprecia en la figura, la metodología consta de tres pasos diferenciados:

- estimación de las previsiones del número de líneas de voz
- estimación de las previsiones del consumo medio por usuario
- estimación de las previsiones del tráfico de voz.

Figura 5.8: Metodología empleada para obtener las proyecciones del tráfico de voz a nivel de mercado [Fuente: Analysys Mason, 2012]



Estimación de las previsiones del número de líneas de voz

Para obtener las proyecciones relativas al número de conexiones fijas de voz en España se han utilizado los datos históricos del número de líneas de voz en los segmentos residencial y empresarial publicados por la CMT en sus informes anuales. El modelo aplica a los datos históricos del mercado residencial las previsiones de crecimiento para el número de líneas fijas de voz en el sector residencial hasta el año 2016 estimadas por Analysys Mason Research. A partir de ese año, se asume una tendencia en la penetración de las líneas fijas por hogar similar a la registrada en los últimos años en el mercado. A partir de 2020 se asume que el mercado se estabiliza.

En el segmento empresarial, se asume que el parque total de líneas fijas en España decrece de manera proporcional al número de líneas de empresas hasta el año 2016, según previsiones de Analysys Mason Research. A partir de ese año y hasta el año 2020, se asume una tendencia similar a la registrada en los últimos años. A partir de 2020 se asume que el mercado se estabiliza.

De este modo, considerando diferentes niveles de crecimiento en el segmento residencial y empresarial, es posible obtener una estimación más precisa del número total de líneas de voz en el mercado (ver Figura 5.9).

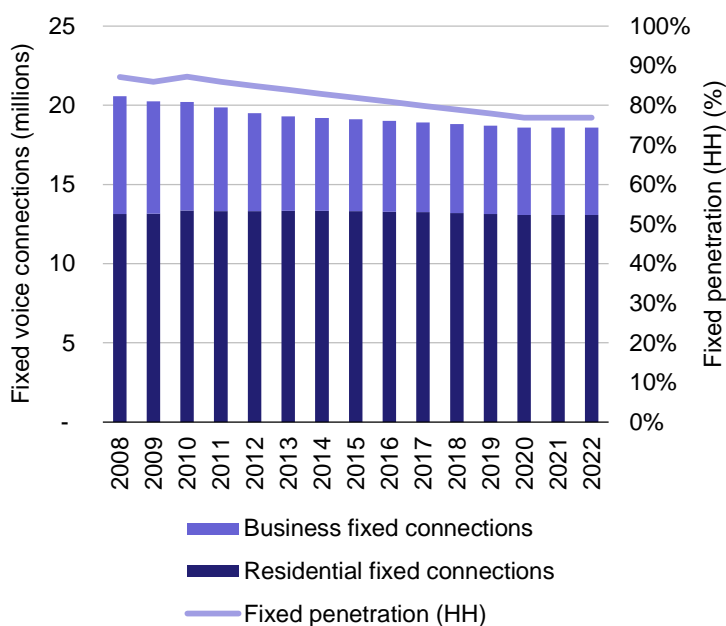


Figura 5.9: Proyecciones del número de conexiones fijas y penetración de conexiones fijas por hogar en España hasta el año 2022 [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Es importante hacer notar que el concepto de número de líneas o conexiones de voz no equivale al número de líneas físicas de voz. Por ejemplo, una línea física de voz RDSI (red digital de servicios integrados) puede equivaler a 2 o a 30 conexiones de voz (2 líneas en el RDSI básico y 30 líneas el RDSI primario). En el modelo se utilizará el concepto de líneas o conexiones de voz.

Estimación de las previsiones del consumo medio por usuario

El número de minutos de voz por usuario y año se ha calculado dividiendo el número de minutos de voz generados anualmente en la red fija, según la información publicada por la CMT,⁹ entre el número medio anual de líneas fijas previamente calculado.

Para obtener las proyecciones relativas al consumo medio por usuario, se asume que el número de minutos de voz generados por cada usuario fijo seguirá una tendencia a la baja hasta el año 2020 del -2%, similar a la registrada en los últimos años en el mercado. A partir de 2020, se asume que el mercado se estabiliza.

Estimación de las previsiones del tráfico de voz

Considerando las proyecciones relativas al número de líneas de voz y al consumo medio anual de tráfico por línea de voz, se calculan las previsiones del tráfico saliente de servicios de voz en la red fija.

La Figura 5.10 muestra las proyecciones que arroja el módulo de demanda de mercado en relación al tráfico de voz por suscriptor y al número total de conexiones de voz en la red fija.

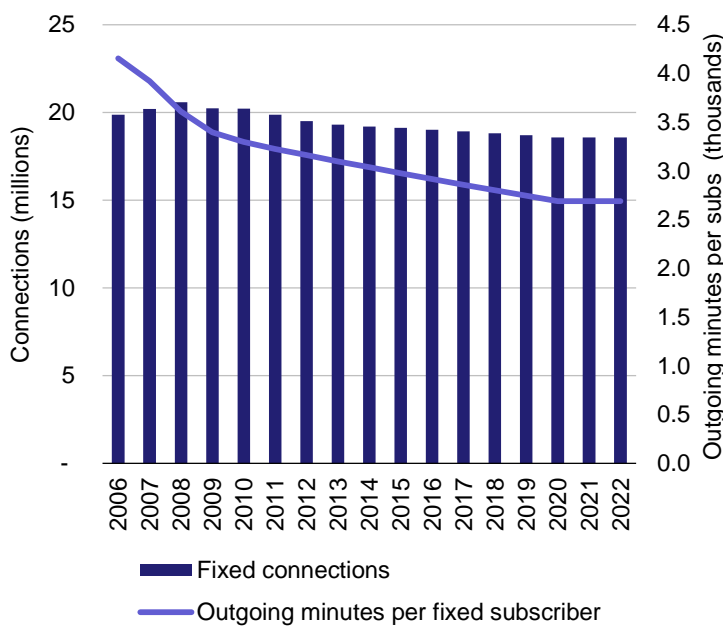


Figura 5.10: Proyecciones del número de líneas fijas y tráfico saliente por suscriptor [Fuente: Analysys Mason, 2012]

⁹ Los informes anuales publicados por la CMT incluyen los minutos correspondientes al servicio Oficina Vodafone.

► *Servicios de datos*

En el caso de los servicios de banda ancha, y para garantizar la coherencia con otros modelos de costes desarrollados por la CMT, se han utilizado las proyecciones realizadas en el modelo de costes del servicio NEBA (para clientes de acceso directo y clientes de acceso indirecto), hasta el año 2020; a partir de ese año, se asume que el mercado se estabiliza.

En la Figura 5.11 se muestran las proyecciones utilizadas en cuanto al número de suscriptores de banda ancha fija en España entre el año 2006 y 2022.

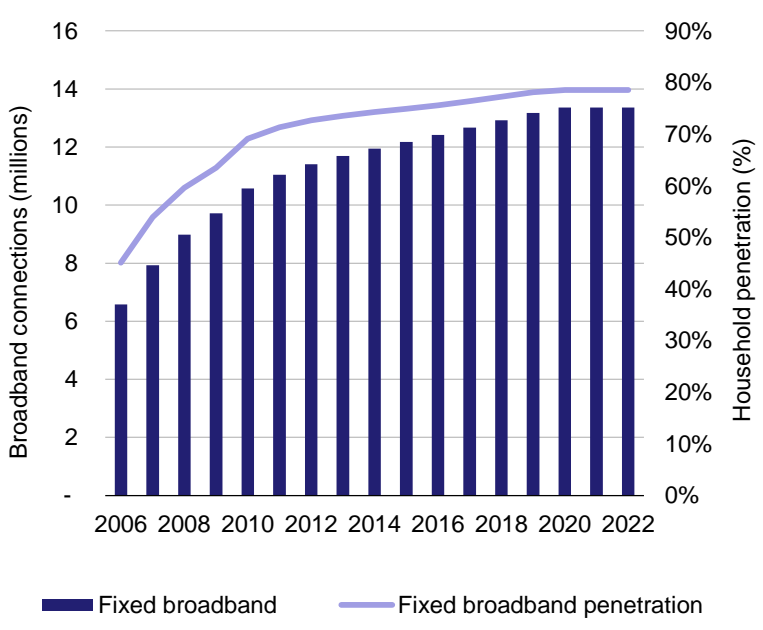


Figura 5.11: Estimación del número de accesos de banda ancha y penetración de la banda ancha fija en España hasta el año 2022 [Fuente: Analysys Mason, 2012]

De forma similar, a la hora de calcular el tráfico medio por usuario en la hora cargada, el modelo utiliza las proyecciones relativas al consumo de datos incluidas en el modelo de costes de NEBA en función del tipo de tráfico (*best effort* y *gold*) y tecnología en la red de acceso (cobre/cable y fibra). En la Figura 5.12 se muestran las proyecciones relativas al consumo de datos por suscriptor en la hora cargada para tráfico de tipo *best effort*.

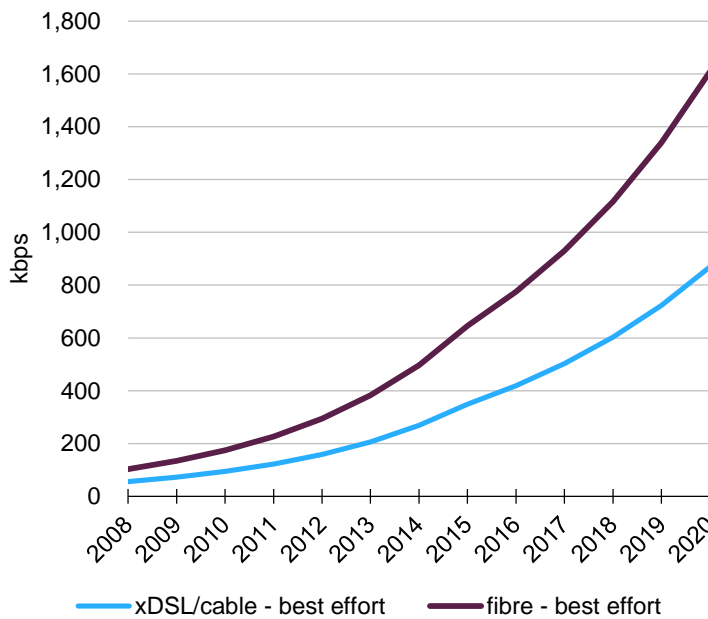


Figura 5.12: Consumo en la hora cargada por suscriptor de banda ancha para tráfico best effort utilizando fibra o cobre/cable en la red de acceso [Fuente: Modelo de costes NEBA, 2012]

► *Otros servicios*

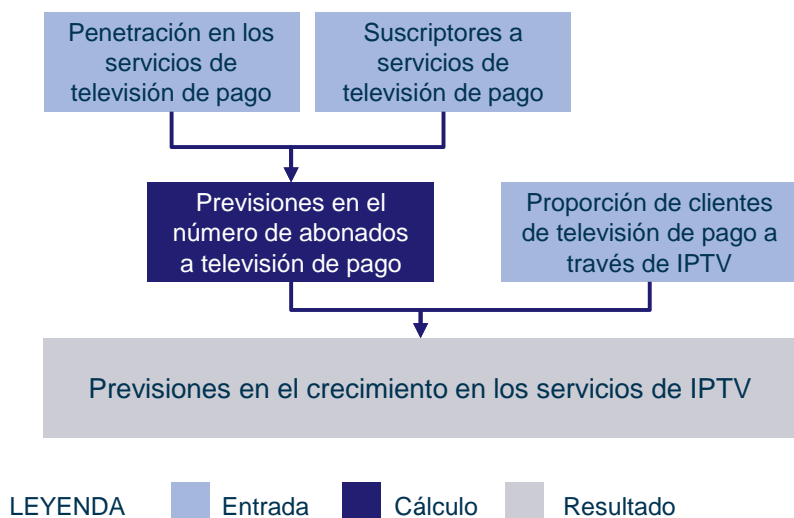
A continuación se describe la metodología empleada para obtener las previsiones relativas a los siguientes servicios:

- IPTV
- VoD
- líneas alquiladas.

Cálculo de las previsiones relativas a los servicios de IPTV

En la Figura 5.13 se muestra un esquema de la metodología utilizada para obtener las previsiones relativas al número de suscriptores de servicios de IPTV a nivel de mercado.

Figura 5.13: Metodología empleada para obtener las proyecciones de suscriptores de servicios de IPTV a nivel de mercado [Fuente: Analysys Mason, 2012]



Cálculo de las previsiones relativas a los servicios de IPTV (continuación)

Para estimar el número de suscriptores de servicios de televisión de pago durante el horizonte temporal considerado en el modelo, se aplican, a los datos históricos publicados por la CMT, las previsiones de crecimiento en el mercado de la televisión de pago calculadas por Analysys Mason Research hasta el año 2016. A partir de esa fecha, se asume que la penetración por hogar de la televisión de pago en España sigue una tendencia similar a la registrada en los últimos años.

A partir de las previsiones del número de suscriptores de la televisión de pago, se obtiene el número de suscriptores de servicios de IPTV en España. Para ello, se considera que la proporción de usuarios de servicios de IPTV respecto al total de suscriptores de televisión de pago sigue una tendencia similar a la registrada en los últimos años.

La Figura 5.14 muestra las proyecciones obtenidas en relación al número de suscriptores de servicios de IPTV, así como las proyecciones relativas a la penetración de los servicios de televisión de pago por hogar en España en el periodo 2008–2022.

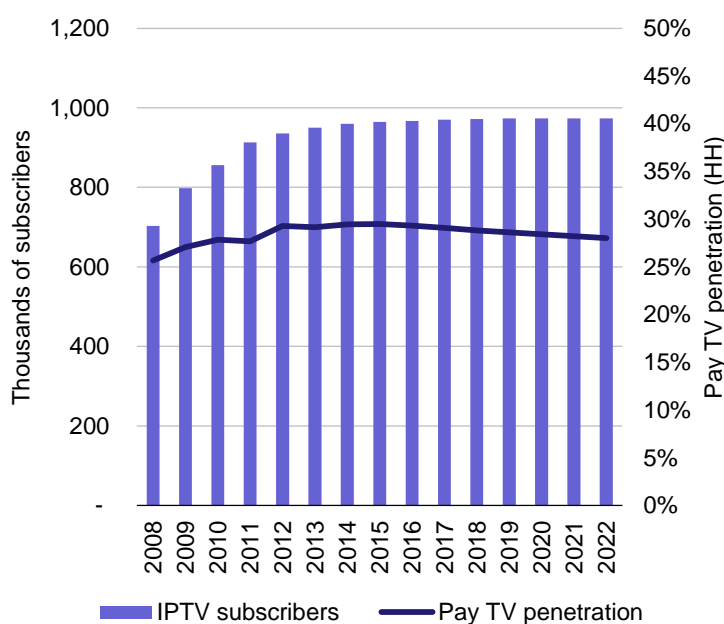


Figura 5.14: Estimación del número de suscriptores de servicios de IPTV y penetración de los servicios de televisión de pago en España hasta el año 2022 [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Cálculo de las previsiones relativas a los servicios de VoD

Para estimar el número de usuarios concurrentes de servicios de VoD en la hora cargada, y por coherencia, se han utilizado las previsiones obtenidas en el modelo de costes del servicio de NEBA. De este modo, y tal y como se ha explicado previamente, se garantiza la coherencia entre los diferentes modelos de costes desarrollados por la CMT.

*Cálculo de las
previsiones
relativas al
mercado de líneas
alquiladas*

Por último, el módulo de demanda calcula las proyecciones relativas al mercado de líneas alquiladas. A partir de los datos históricos del número y velocidad de líneas alquiladas proporcionados por la CMT se obtienen las proyecciones de la velocidad media anual por circuito alquilado y del número de líneas alquiladas. En el modelo se asume una tendencia de crecimiento de velocidad y número de circuitos similar a la registrada en los últimos años por el mercado.

Tal y como se comentó previamente, sólo se consideran las líneas alquiladas que hacen uso de los recursos de red a nivel 2 y 3, excluyendo los enlaces punto a punto transportados exclusivamente a nivel físico.

5.3.2 Desagregación de las proyecciones de tráfico por sub-servicio

Una vez calculado el volumen de tráfico total por servicio tal y como se explica en la Sección 5.3.1, el módulo de demanda desagrega las proyecciones de tráfico a nivel de los sub-servicios enumerados en las Figura 5.4 y Figura 5.5.

A continuación se describe la metodología utilizada para desagregar las proyecciones de tráfico en los sub-servicios asociados a los siguientes servicios del mercado:

- servicios de voz y video-llamadas
- servicios de datos
- otros servicios.

Servicios de voz y video-llamadas

En la Figura 5.15 se muestra la relación entre los servicios de voz y video-llamadas y sus sub-servicios asociados.

Figura 5.15: Relación entre los servicios de voz y video-llamadas y sus sub-servicios asociados [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Servicio	Sub-servicio asociado
Llamadas minoristas on-net	Llamadas provinciales on-net
	Llamadas inter-provinciales on-net
Llamadas minoristas on-net a números no geográficos	Llamadas a números no geográficos on-net
Llamadas minoristas salientes	Llamadas salientes internacionales
	Llamadas salientes a móviles
	Llamadas salientes a otros operadores fijos
Llamadas mayoristas salientes (acceso indirecto)	Llamadas salientes locales
	Llamadas salientes metropolitana
	Llamadas salientes tránsito simple
	Llamadas salientes tránsito doble
Llamadas mayoristas a servicios en la modalidad de acceso (por ejemplo tarifas especiales)	Llamadas salientes locales
	Llamadas salientes metropolitana
	Llamadas salientes tránsito simple
	Llamadas salientes tránsito doble
Llamadas mayoristas entrantes	Llamadas entrantes locales
	Llamadas entrantes metropolitana
	Llamadas entrantes tránsito simple
	Llamadas entrantes tránsito doble
	Llamadas entrantes procedentes de internacional
Llamadas mayoristas en tránsito	Llamadas en tránsito nacional
	Llamadas en tránsito nacional procedentes de internacional
	Llamadas en tránsito internacional
Llamadas entrantes procedentes de acceso indirecto	Llamadas entrantes procedentes de acceso indirecto
Llamadas entrantes a numeración no geográfica (por ejemplo a tarifas especiales)	Llamadas entrantes a numeración no geográfica
Video-llamadas	Video-llamadas on-net
	Video-llamadas salientes
	Video-llamadas entrantes

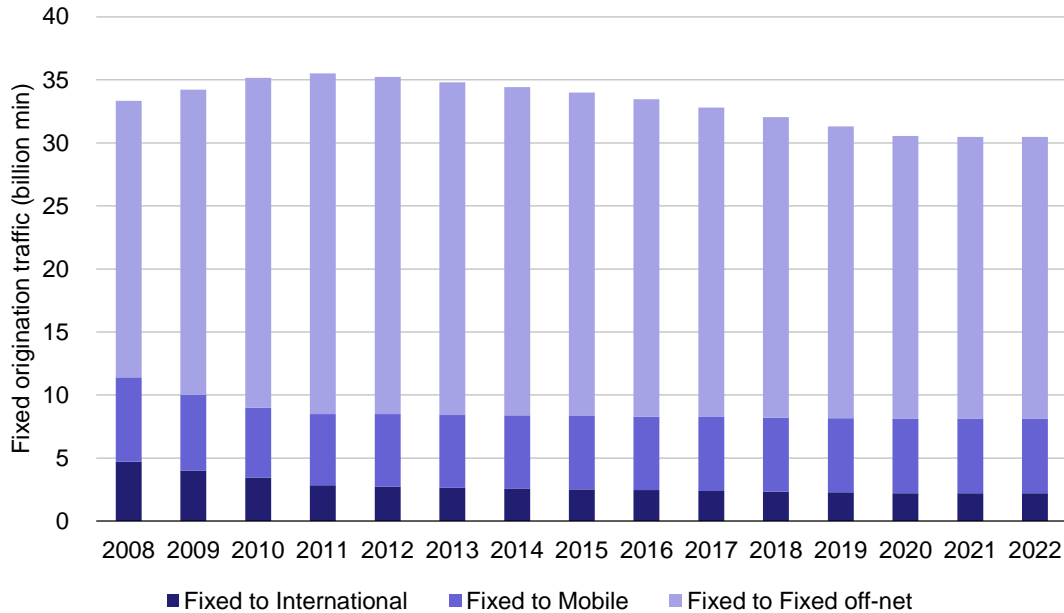
El módulo de demanda utiliza los datos históricos de tráfico de cada sub-servicio proporcionados por la CMT para estimar las proyecciones en el tráfico anual de cada sub-servicio.

Para ello, el módulo asume que la proporción del tráfico de cada sub-servicio de voz respecto al tráfico total del servicio sigue una tendencia similar a los datos históricos excepto en el caso de las llamadas a la red móvil que experimentan un crecimiento progresivo hasta el año 2020, a partir del cual se estabiliza.

Una vez establecido el peso de cada sub-servicio respecto al tráfico total de cada servicio de voz, se multiplica dicho peso por el tráfico total del servicio de voz correspondiente y se obtiene los datos anuales de tráfico por sub-servicio.

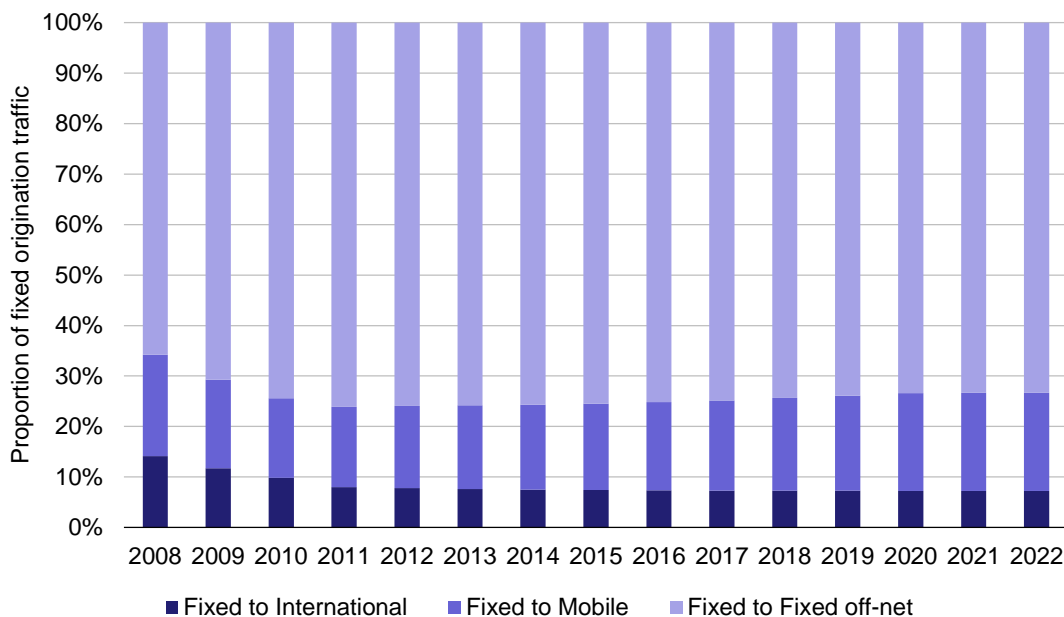
La Figura 5.16 muestra los resultados obtenidos tras desagregar el tráfico de las llamadas minoristas de voz off-net en sus sub-servicios correspondientes.

Figura 5.16: Proyección en el tráfico de llamadas minoristas de voz en España hasta el año 2022 [Fuente: Analysys Mason, 2012]



La Figura 5.17 muestra el peso del tráfico de los sub-servicios de voz llamadas a móviles, llamadas off-net red fija y llamadas a números internacional respecto al tráfico total del servicio de llamadas minoristas off-net.

Figura 5.17: Porcentaje de cada sub-servicio de llamadas minoristas de voz off-net respecto al tráfico total del servicio [Fuente: Analysys Mason, 2012]



Servicios de datos

Se reparte el tráfico total generado por los servicios de datos del mercado, es decir, los servicios de datos ofrecidos tradicionalmente a través de las redes de telecomunicaciones fijas, entre los siguientes sub-servicios:

- acceso a Internet conmutado
- banda ancha *best-effort* a través de acceso directo
- banda ancha de alta prioridad a través de acceso directo
- banda ancha *best-effort* a través de acceso indirecto (*bitstream*)
- banda ancha de alta prioridad a través de acceso indirecto (*bitstream*).

A partir del número total de suscriptores de banda ancha previamente obtenido, del tráfico por suscriptor clasificado en función del tipo de tráfico (*best effort* y *alta prioridad*) y de la tecnología utilizada en la red de acceso (cobre y fibra), se obtiene el tráfico en la hora cargada para cada sub-servicio de datos durante el horizonte temporal considerado en el modelo.

En el modelo, y de forma similar a otros modelos de costes desarrollados por la CMT, se asume que la demanda de un usuario de banda ancha a través de acceso directo y acceso indirecto es la misma.

En la Figura 5.18 se muestra el resultado de desagregar el tráfico total de banda ancha por sub-servicio. Tal y como se muestra en la tabla, el tráfico *best-effort* es el principal impulsor de la demanda de datos.

Figura 5.18: Proyección en el tráfico en la hora cargada de servicios de banda ancha en España en Gbit/s
[Fuente: Modelo NEBA, Analysys Mason, 2012]

	2011	2012	2013	2014	2015
Best-effort (acceso directo)	1 263	1 723	2 360	3 237	4 443
Best-effort (acceso indirecto)	71	117	194	302	441
Alta prioridad (acceso directo)	0	0	1	2	5
Alta prioridad (acceso indirecto)	0	0	0	0,2	0,5

Otros servicios

En el caso del resto de servicios considerados en el modelo, es decir, servicios de IPTV, VoD y líneas alquiladas, no se han desagregado en sub-servicios.

5.3.3 Desagregación de suscriptores por geotipo y central

Para responder al requisito de la CMT de que el modelo pueda calcular diferentes estimaciones de demanda en función de la zona geográfica, se utiliza el concepto de ‘geotipo’ en el modelo, es decir, agrupaciones de áreas geográficas. Concretamente, estas agrupaciones se entienden como agrupaciones de áreas MIGA en las que se puedan aplicar perfiles comunes de evolución de la penetración de los diferentes servicios.

Una vez obtenida las proyecciones relativas al número de suscriptores por servicio, el módulo de demanda realiza una estimación del crecimiento de la penetración de los servicios y del número de suscriptores en cada uno de los geotipos considerados. De este modo, es posible considerar diferentes proyecciones de crecimiento por geotipo y servicio, lo que permite obtener estimaciones más precisas en lo que respecta a la evolución de la demanda por central de acceso.

Para garantizar la coherencia con otros modelos desarrollados por la CMT, el módulo de demanda utiliza los mismos geotipos que se incluyeron en el modelo de costes del servicio NEBA desarrollado por la CMT. La lista de geotipos utilizados en el módulo de demanda se muestran en la siguiente tabla.

Geotipo	Descripción del geotipo
1	Madrid y Barcelona
2	Más de 10.000 habitantes
3	Más de 3.000 y menos de 10.000 habitantes
4	Más de 1.500 y menos de 3.000 habitantes
5	Más de 1.000 y menos de 1.500 habitantes
6	Más de 600 y menos de 1.000 habitantes
7	Más de 250 y menos de 600 habitantes
8	Menos de 250 habitantes

*Figura 5.19: Geotipos utilizados en el modelo
[Fuente: Analysys Mason, 2012]*

El módulo de demanda utiliza datos históricos relativos a la demanda por servicio en cada uno de los geotipos. A partir de esta información, el módulo estima en qué fase de crecimiento se encuentra cada uno de los geotipos en relación al número total de suscriptores por servicio (p.ej. posiblemente el mercado dentro del geotipo 1 – Madrid y Barcelona – sea más maduro y con un potencial de crecimiento menor que el mercado en geotipos con un menor número de habitantes). A partir de aquí, y teniendo en cuenta el número total de suscriptores por servicio, el módulo estima el crecimiento del tráfico por servicio por geotipo.

A continuación se detalla cómo se utilizan los geotipos en cada uno de los servicios modelados:

- **Servicios de voz** – Para estos servicios, se asume que el número de líneas de telefonía fija en todas las centrales de acceso, independientemente del geotipo al que pertenecen, evolucionan en línea con la media nacional. Esto es debido a que el mercado fijo de voz en España es un mercado suficientemente maduro, lo que implica que el crecimiento de suscriptores por central de acceso puede tener una correlación menor con el número de habitantes por población, con la existencia o no de operadores alternativos o con la penetración actual de este servicio en el área cubierta por una central de acceso.
- **Servicios de datos** – Para estos servicios, y a fin de garantizar la coherencia entre los diferentes modelos de costes desarrollados por la CMT, se utilizan las mismas previsiones de crecimiento que las consideradas en el modelo de costes del servicio NEBA (ver Figura 5.20).

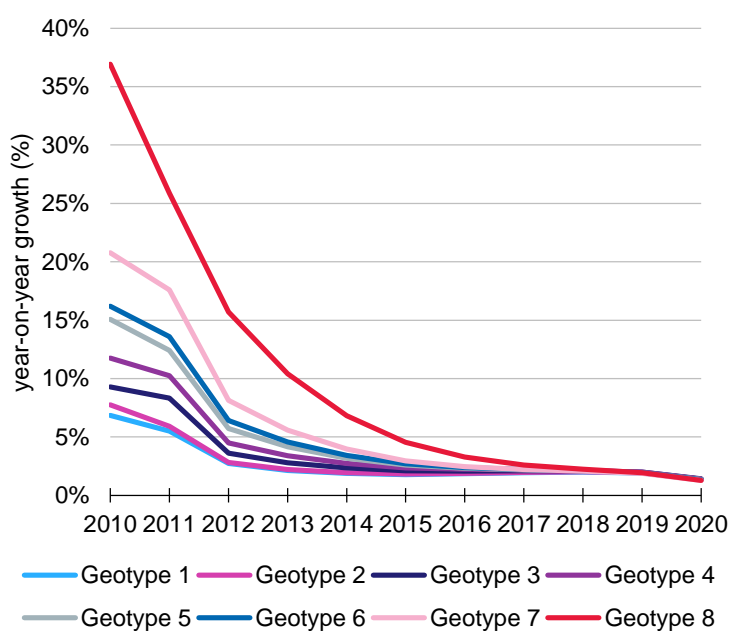


Figura 5.20:
Crecimiento anual por geotipo de los suscriptores de banda ancha en España (2010–2020) [Fuente: Analysys Mason, 2012]

- **Otros servicios** – Para los servicios de IPTV, se utilizan los datos históricos facilitados por la CMT relativos al número de suscriptores de televisión de pago del operador incumbente, desagregados por central de acceso. Se asume que la distribución de suscriptores de IPTV en España es proporcional a la distribución de suscriptores de TV de pago del operador incumbente. De este modo, a partir del número promedio anual de suscriptores de IPTV en España y de la distribución de suscriptores de televisión de pago del operador incumbente por central de acceso se obtiene la distribución histórica de los suscriptores de IPTV. Subsiguientemente, teniendo en cuenta en qué fase de crecimiento anual se encuentra cada uno de los geotipos, se estima el número de suscriptores de IPTV por geotipo durante el horizonte temporal considerado en el modelo (ver Figura 5.21).

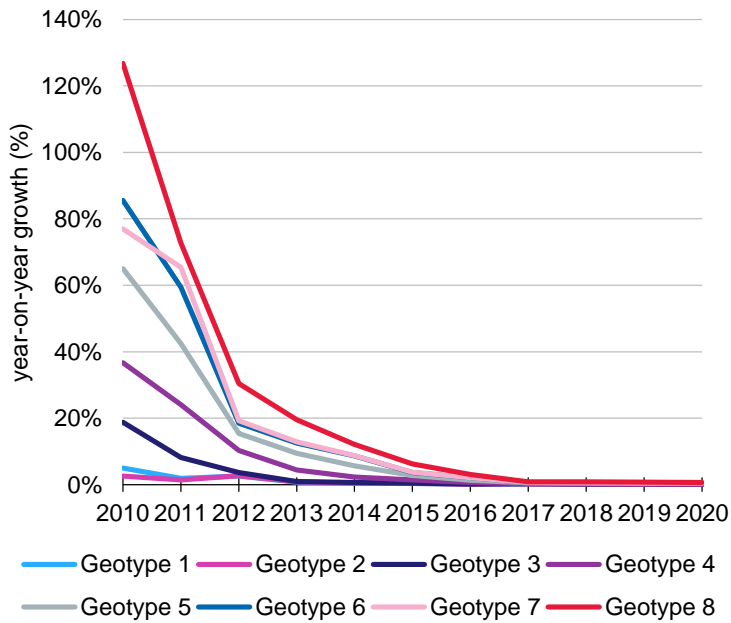


Figura 5.21:
Crecimiento anual por geotipo de los suscriptores de IPTV en España (2010–2020)
[Fuente: Analysys Mason, 2012]

Las siguientes gráficas muestran las proyecciones relativas al número de suscriptores de voz, banda ancha e IPTV en el periodo temporal 2008–2022 en función del geotipo.

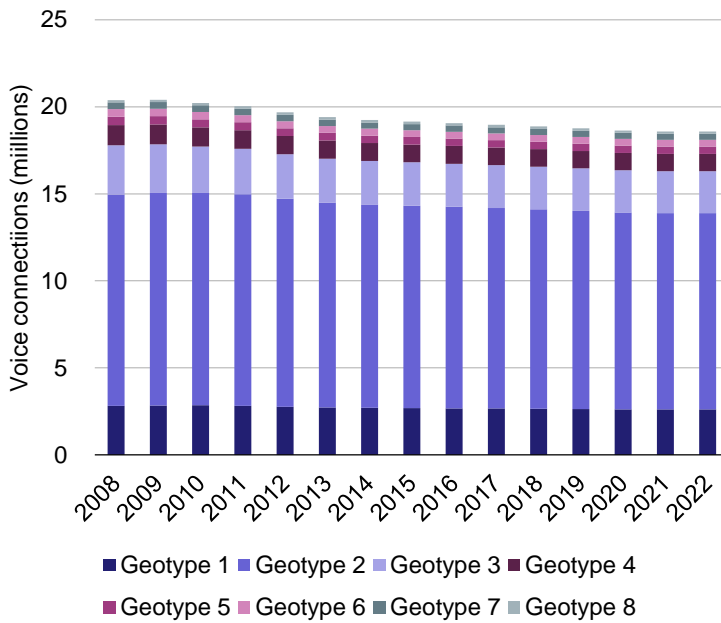


Figura 5.22:
Proyecciones relativas al número de suscriptores de voz por geotipo (2008–2022)
[Fuente: Analysys Mason, 2012]

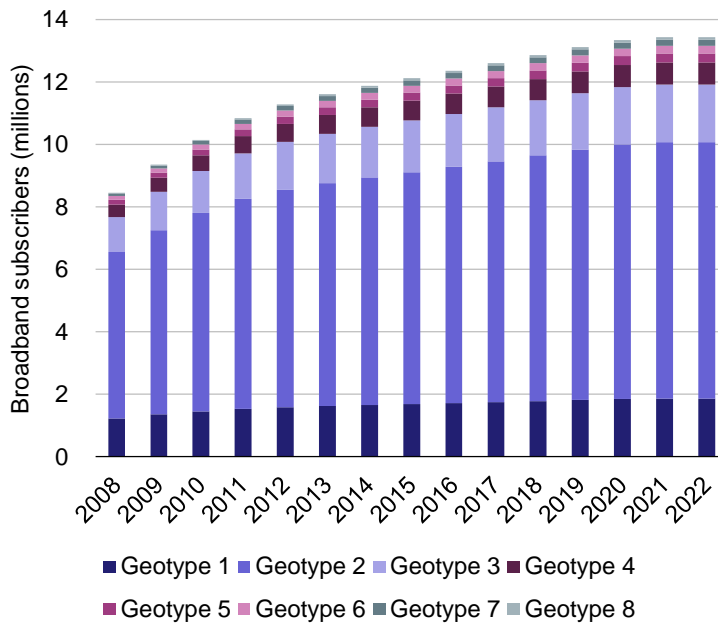


Figura 5.23:
Proyecciones relativas al número de suscriptores de banda ancha por geotipo (2008–2022) [Fuente: Analysys Mason, 2012]

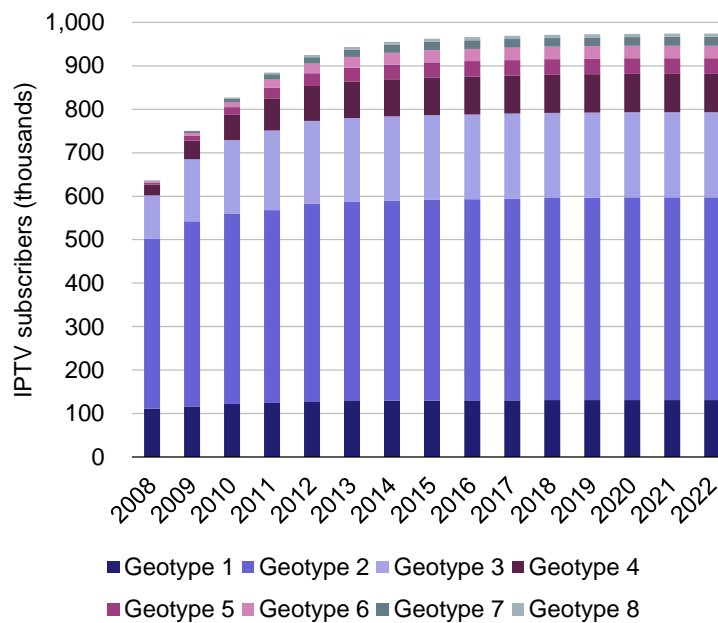


Figura 5.24:
Proyecciones relativas al número de suscriptores de IPTV por geotipo (2008–2022) [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Una vez calculada las proyecciones relativas al número de suscriptores de voz, banda ancha e IPTV por geotipo, extrapolamos estos resultados al nivel de central de acceso. Esto nos permite dimensionar los recursos necesarios para satisfacer la demanda futura en cada una de las centrales existentes. Para ello, aplicamos a los datos históricos por central y servicio proporcionados por la CMT, la proyección de crecimiento de la demanda en función del geotipo al que pertenece cada una de las centrales. Es decir, se asume que el número de suscriptores en todas las centrales de acceso crece de manera proporcional a la demanda en el geotipo al que pertenece cada central.

5.3.4 Migración de líneas de acceso de cobre a fibra

El módulo de demanda desagrega los accesos por tecnología (cobre y fibra), cubriendo la migración actual de cobre a fibra. Con el fin de garantizar la coherencia entre los diferentes modelos de costes desarrollados por la CMT, principalmente el modelo de costes del servicio NEBA, en el módulo de demanda se asume que se migran el mismo número de centrales de cobre a fibra, y en el mismo plazo de tiempo que el considerado en esos otros modelos de costes.

En este modelo se considera que durante la migración de cobre a fibra, todos los suscriptores con acceso de fibra son suscriptores también de servicios de banda ancha, y sólo al completarse la migración de la central pueden existir usuarios de fibra que no son suscriptores del servicio de banda ancha.

Las siguientes gráficas muestran las proyecciones relativas al número de suscriptores de banda ancha que acceden a Internet a través de fibra y utilizando la línea de cobre entre los años 2008 y 2022.

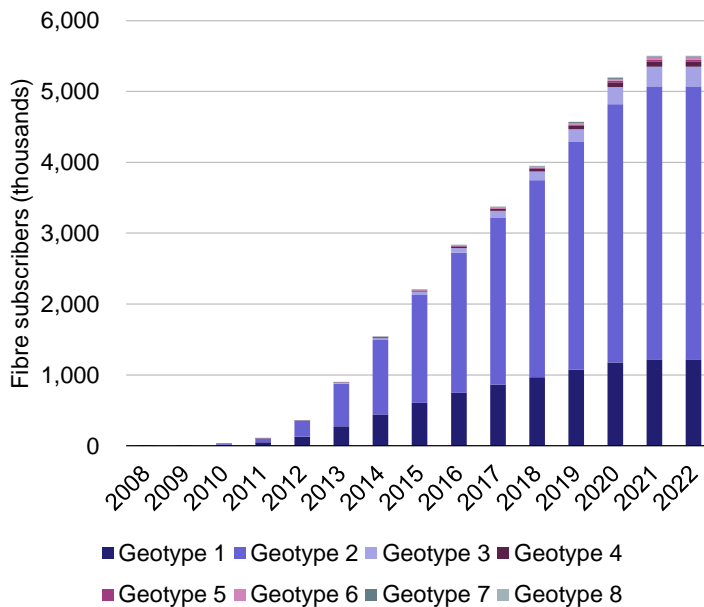


Figura 5.25: Proyecciones relativas al número de suscriptores de banda ancha que acceden a Internet a través de fibra, por geotipo (2008–2022) [Fuente: Analysys Mason, 2012]

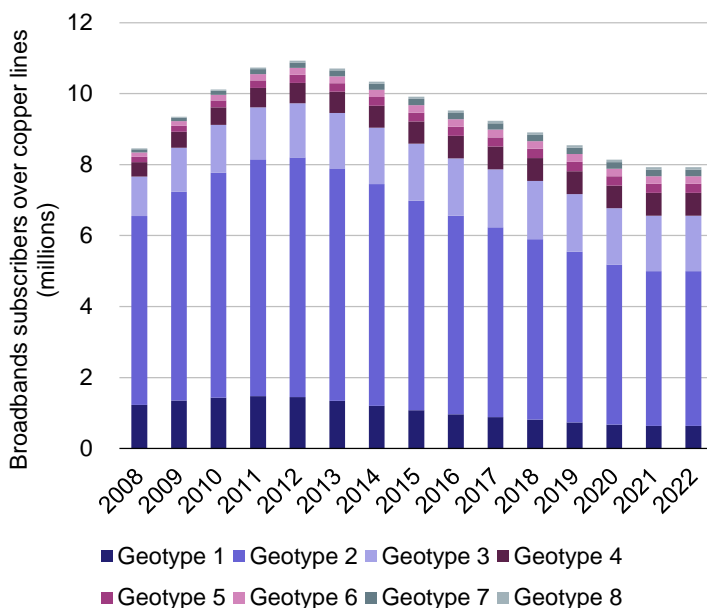


Figura 5.26: Proyecciones relativas al número de suscriptores de banda ancha que acceden a Internet utilizando la línea de cobre, por geotipo (2008–2022) [Fuente: Analysys Mason, 2012]

De forma similar, el módulo de demanda utiliza las proyecciones relativas al número de hogares pasados por fibra utilizado en los otros modelos de costes de la CMT mencionados con anterioridad. Estas proyecciones están disponibles a nivel de central de acceso.

Centrales cabecera de fibra

Las tecnologías de acceso a través de fibra, como por ejemplo GPON (*Gigabit passive optical network*) o P2P (punto-a-punto) permiten aumentar el área de cobertura de la central de acceso con respecto al caso de la red de última milla basada en pares de cobre.

Por esta razón, el modelo introduce el concepto de central cabecera de fibra. Estas centrales albergan los OLT (*optical line terminal*) y agrupan los suscriptores de servicios de telecomunicaciones conectados con fibra en áreas anteriormente cubiertas por centrales de acceso más pequeñas que se encuentran dentro del área de influencia de la central cabecera.

En este módulo se consideran las mismas centrales cabecera que en el modelo de costes de NEBA desarrollado por la CMT, teniendo en cuenta que se asume que el radio de alcance de la fibra óptica en una GPON es de 20 kilómetros desde la central cabecera.

Una vez realizada la agrupación de centrales de acceso que dependen de una misma central cabecera de fibra, se obtiene, para cada una de las centrales cabecera, el número de suscriptores de fibra migrados, así como el número de hogares a los que llega la fibra óptica anualmente. La información resultante es utilizada por el módulo de dimensionamiento de red para determinar el número de OLTs necesarios por central cabecera y la capacidad de los enlaces que unen las centrales de acceso con las centrales de agregación.

5.3.5 Previsiones de tráfico y suscriptores del operador modelado

La Figura 5.27 muestra un esquema del proceso utilizado para obtener, a partir de las proyecciones realizadas a nivel de mercado y por central de acceso, el número de suscriptores y volúmenes de tráfico del operador modelado.

Figura 5.27: Esquema de la metodología empleada para extrapolar las proyecciones de tráfico y el número de suscriptores al caso del operador modelado [Fuente: Analysys Mason, 2012]



Para ello, el módulo de demanda recibe como datos de entrada las cuotas de mercado del operador modelado para cada uno de los servicios considerados. Las siguientes tablas muestran las cuotas de mercado utilizadas en el módulo de demanda para definir las características del operador modelado; el conjunto de servicios para los cuales se definen cuotas de mercado varía en función del escenario elegido (operador con cobertura similar al incumbente u operador alternativo).

Figura 5.28: Cuota de mercado por servicio utilizada para definir el escenario del operador con cobertura similar al operador incumbente [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Cuota de mercado	Descripción
Voice market share (retail)	Cuota de mercado del operador modelado de los servicios minoristas de voz
Voice transit market share	Cuota de mercado de los servicios de tránsito de voz
Outgoing calls market share (wholesale)	Proporción de abonados que utilizan el servicio mayorista de acceso de voz del operador modelado respecto al total de suscriptores que utilizan dicho servicio
Intelligent network services market share	Cuota de mercado de los servicios de tarificación especial
xDSL market share (retail)	Cuota de mercado del operador modelado de los servicios minoristas de banda ancha a través de cobre/cable
xDSL bitstream market share (wholesale)	Proporción de abonados de otros operadores que utilizan la infraestructura del operador modelado para acceder a servicios de banda ancha a través de la red de cobre respecto al total de suscriptores de la red de cobre que utilizan el servicio de banda ancha a través de acceso indirecto
Ratio of homes passed by fibre to total homes passed	Proporción de hogares pasados a través de fibra del operador modelado respecto al total de hogares pasados a través de fibra en el mercado
Fibre subscribers market share (retail)	Cuota de mercado del operador modelado en los servicios minoristas de banda ancha a través de fibra
Fibre bitstream market share (wholesale)	Proporción de abonados de otros operadores que utilizan la infraestructura del operador modelado para acceder a servicios de banda ancha a través de fibra respecto al total de clientes de fibra que utilizan el servicio de banda ancha a través de acceso indirecto
TV (IPTV and VoD) market share	Cuota de mercado del operador modelado en los servicios minoristas de IPTV y VoD
Video calls market share	Cuota de mercado del operador modelado en los servicios minoristas de video llamadas
Data services (leased lines, VPN/IP, etc.) market share	Cuota de mercado del operador modelado en servicios de datos a empresas (ej. VPN/IP, circuitos alquilados, etc.)

Figura 5.29: Cuota de mercado por servicio utilizada para definir las características del operador modelado en el escenario del operador alternativo [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Cuota de mercado	Definición
Voice market share (retail)	Cuota de mercado del operador modelado de los servicios minoristas de voz
Voice transit market share	Cuota de mercado de los servicios de tránsito de voz
Ratio of wholesale outgoing calls from OLO subscribers to total wholesale outgoing calls (indirect access)	Proporción de abonados del operador modelado que utilizan el servicio mayorista de acceso voz respecto al total de abonados que utilizan dicho servicio
Intelligent network services market share	Cuota de mercado de los servicios de tarificación especial
xDSL market share (direct access)	Cuota de mercado del operador modelado de los servicios minoristas de banda ancha a través de cobre/cable y de acceso directo
Ratio of xDSL bitstream subscribers to total xDSL bitstream subscribers (indirect access)	Proporción de abonados del operador modelado que utilizan la infraestructura del operador incumbente para acceder al servicio de acceso indirecto de banda ancha a través de la red de cobre respecto al total de suscriptores de los operadores alternativos que utilizan el servicio mayorista de acceso indirecto a través de la red de cobre
Ratio of homes passed by fibre to total homes passed	Proporción de hogares conectados a la red de fibra del operador modelado respecto del total de hogares conectados con fibra
Fibre subscribers market share (direct access)	Cuota de mercado del operador modelado de los servicios minoristas de banda ancha a través de fibra y de acceso directo
Ratio of fibre bitstream subscribers to total fibre bitstream subscribers (indirect access)	Proporción de abonados del operador modelado que utilizan la infraestructura del operador incumbente para acceder al servicio de acceso indirecto de banda ancha a través de fibra con respecto al total de suscriptores de los operadores alternativos que utilizan el servicio mayorista de acceso indirecto a través de fibra
TV (IPTV and VoD) market share	Cuota de mercado del operador modelado de los servicios minoristas de IPTV y VoD
Video calls market share	Cuota de mercado del operador modelado de los servicios minoristas de video-llamadas
Data services (leased lines, VPN/IP...) market share	Cuota de mercado del operador modelado de servicios de datos a empresas (p.ej. VPN/IP, circuitos alquilados)

Aplicando la cuota de mercado a las proyecciones de tráfico y de número de suscriptores por servicio calculadas previamente se obtienen las proyecciones relativas al tráfico y número de suscriptores para el operador modelado.

La cuota de mercado del operador modelado se aplica tanto a las previsiones obtenidas a nivel de mercado en términos de suscriptores y volumen de tráfico para cada uno de los servicios y sub-servicios modelados, como a las previsiones obtenidas a nivel de central de acceso.

Es importante resaltar que el módulo de demanda de mercado recibe como datos de entrada el número de centrales de acceso que el operador modelado tiene activadas; de este modo, se considera que el operador modelado sólo dispone de suscriptores en sus centrales activadas. Teniendo en cuenta los datos relativos al número de suscriptores anuales por servicio previamente calculados, el conjunto de centrales activadas para el operador modelado, así como su cuota de mercado por servicio, se calibran los datos de forma ponderada para que la suma de suscriptores por central sea igual al total de suscriptores del operador anualmente.

5.3.6 Datos de salida del módulo

El módulo de demanda arroja los siguientes resultados:

- previsión del tráfico total a nivel de mercado por sub-servicio
- previsión del número total de suscriptores a nivel de mercado por servicio y central de acceso
- previsión del tráfico del operador modelado por sub-servicio
- previsión del número de suscriptores del operador modelado por servicio y central de acceso.

Las siguientes gráficas muestran un ejemplo de los resultados que arroja el módulo de demanda de mercado, concretamente en lo que respecta al número de suscriptores y volumen de tráfico de los principales servicios considerados en el modelo y al número de suscriptores de voz por central de acceso.

Figura 5.30: Ejemplo de los resultados que arroja el módulo de demanda relativos al número de suscriptores y volumen de tráfico de los principales servicios considerados en el modelo [Fuente: Analysys Mason, 2012]

	2011	2012	2013	2014	2015
Operator subscriber/connections					
Network connections (direct and indirect subscribers)	6,259,482	11,967,486	11,542,404	11,241,966	11,019,565
Voice connections over copper	6,213,152	11,653,191	10,784,392	9,994,297	9,309,423
Fixed broadband connections	3,320,268	6,980,252	7,292,539	7,554,223	7,758,543
xDSL subscribers (retail)	3,273,938	6,665,957	6,534,527	6,306,555	6,048,401
xDSL subscribers (direct access)	3,273,938	6,665,957	6,534,527	6,306,555	6,048,401
xDSL bitstream subscribers (wholesale)	292,094	711,943	858,742	977,252	1,010,399
Fibre subscribers (retail)	46,330	314,295	758,012	1,247,669	1,710,142
Fibre subscribers (direct access)	46,330	314,295	758,012	1,247,669	1,710,142
Fibre bitstream subscribers (wholesale)	0	14,117	43,999	80,782	137,437
Homes passed by fibre	463,645	2,250,570	3,734,900	4,888,350	5,956,375
Indirect access subscribers	849,752	1,339,151	1,068,381	852,359	680,016
IPTV subscribers	154,764	323,597	330,049	334,168	336,670
VoD subscribers	12,581	26,421	27,742	29,129	30,586
Operator annual traffic					
Provincial on-net calls (retail)	5,149,584,078	9,604,034,123	9,006,412,221	8,538,968,205	8,158,572,516
Inter-provincial on-net calls (retail)	1,716,528,026	3,201,344,708	3,002,137,407	2,846,322,735	2,719,524,172
Non-geographic on-net calls (retail)	418,541,175	809,819,803	783,669,801	762,569,169	743,717,151
Fixed Service 4	0	0	0	0	0
Fixed Service 5	0	0	0	0	0
Outgoing calls to mobile (retail)	1,525,759,200	3,098,209,307	3,115,529,295	3,130,992,528	3,143,582,851
Outgoing calls to other fixed operators (retail)	7,293,989,296	14,446,402,030	14,245,875,593	14,062,872,928	13,850,951,084
Outgoing calls to international numbers (retail)	766,003,500	1,482,111,775	1,434,252,702	1,395,634,858	1,361,132,370
Incoming calls to non-geographic numbers	602,719,913	1,166,180,415	1,128,523,125	1,098,137,175	1,070,989,341

Figura 5.31: Ejemplo de los resultados que arroja el módulo de demanda de mercado relativos al número de suscriptores de voz por central de acceso [Fuente: Analysys Mason, 2012]

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
2 Operator voice connections per activated local exchange								
MIGA								
0110001	31,676	31,348	31,261	30,986	29,935	28,547	27,597	27,039
0110002	22,957	23,254	23,137	22,933	22,155	21,128	20,425	20,012
0110003	52,501	52,187	52,452	51,991	50,227	47,899	46,305	45,368
0110004	115	110	106	105	102	97	94	92
0110005	205	197	186	185	178	170	164	161
0110006	2,195	2,166	2,103	2,085	2,014	1,921	1,857	1,819
0110007	673	673	667	661	638	609	589	577
0110008	502	488	511	506	489	467	451	442
0110010	258	240	229	227	219	209	202	198
0110011	660	648	633	628	606	578	559	548
0110012	178	181	197	195	188	179	173	170
0110013	802	775	754	747	722	689	666	652
0110014	1,078	1,100	1,079	1,069	1,033	985	952	933
0110015	251	235	221	219	212	202	195	191
0110016	343	349	352	349	337	322	311	305
0110017	376	389	402	398	385	367	355	347
0110018	226	219	223	221	213	203	197	193
0110019	2,139	2,159	2,060	2,042	1,972	1,881	1,818	1,782
0110020	545	534	531	527	509	485	469	460
0110021	623	605	603	597	577	550	532	521
0110022	384	369	373	369	357	340	329	322
0110023	191	179	166	164	159	152	146	144
0110024	547	544	541	537	519	494	478	468
0110025	218	215	214	212	205	195	189	185
0110026	294	285	278	276	266	254	245	240
0110027	72	77	83	82	79	76	73	72
0110028	78	82	82	81	78	74	72	71
0110029	3,140	3,647	4,192	4,155	4,014	3,828	3,701	3,626
0110030	2,495	2,780	3,132	3,104	2,999	2,860	2,765	2,709
0110031	55	46	48	48	46	44	42	42
0110032	33	56	61	61	59	56	54	53
1066007	348	334	313	310	300	286	276	271

5.4 Ficheros del módulo de demanda de mercado

El módulo de demanda de mercado está compuesto por los ficheros en MS Excel que se enumeran en la siguiente tabla.

Figura 5.32: Ficheros que componen el módulo de demanda de mercado [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Nombre del fichero	Descripción
<i>Market.xls</i>	Este fichero recoge las proyecciones relativas al tráfico y número de suscriptores para el mercado en su conjunto, desagregando los resultados obtenidos a nivel de central de acceso (área MIGA).
<i>Operator.xls</i>	Este fichero recoge las proyecciones relativas al tráfico y número de suscriptores del operador modelado. Es decir, muestra el resultado de aplicar la cuota de mercado del operador a las proyecciones de mercado obtenidas. Las proyecciones se obtienen a nivel de central de acceso (área MIGA).
<i>Operator Broadband.xls</i>	Este fichero recoge las proyecciones relativas al tráfico y número de suscriptores del operador modelado para los servicios de banda ancha y para el número de hogares pasados por fibra en cada una de las centrales de acceso que están activas.

6 Módulo de cálculo del tráfico de la red

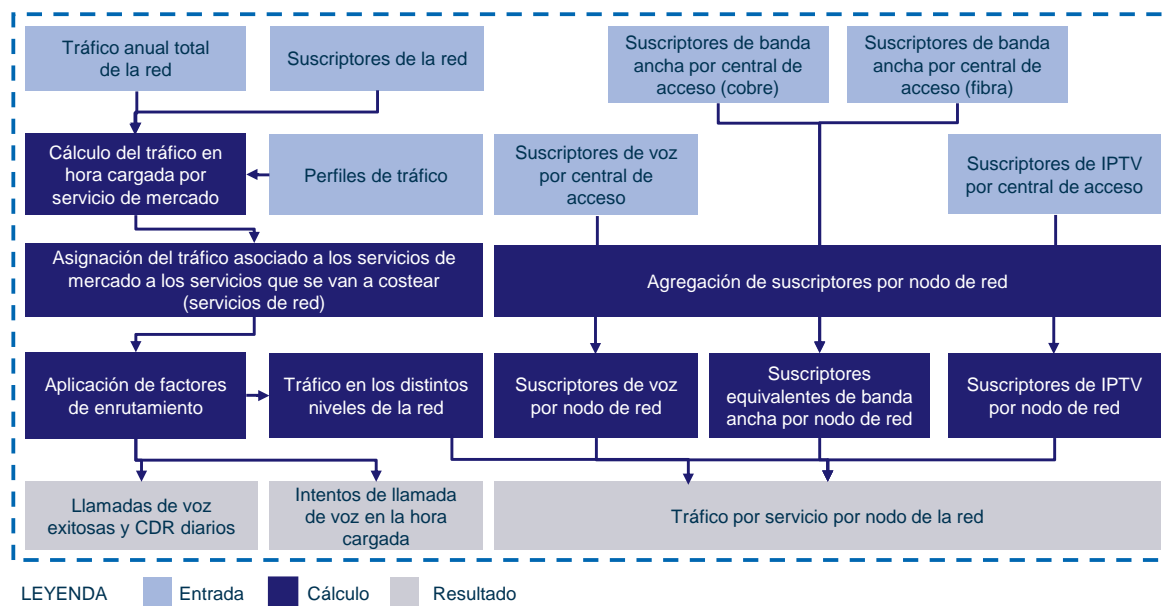
El módulo de cálculo del tráfico de la red tiene como objetivo obtener la capacidad necesaria para soportar el tráfico en la hora cargada generado por los servicios de voz, video-llamadas y datos en cada nivel y nodo de la red del operador modelado. Esta sección se estructura como sigue:

- la Sección 6.2 describe la lista de servicios de red que se incluyen en el modelo
- la Sección 6.3 presenta de manera detallada el cálculo del tráfico de red y la capacidad para soportar dicho tráfico.

6.1 Introducción

La Figura 6.1 muestra un esquema del funcionamiento del módulo de cálculo del tráfico de la red.

Figura 6.1: Esquema del funcionamiento del módulo de cálculo de tráfico de la red [Fuente: Analysys Mason, 2012]



Este módulo utiliza como datos de entrada las previsiones obtenidas en el módulo de demanda de mercado sobre volumen de tráfico y número suscriptores, desagregadas por sub-servicio para cada nodo de la red. Asimismo, este módulo recibe información relativa de los perfiles de tráfico – como puede ser la proporción de tráfico de voz en la hora cargada – que permite conocer el grado de utilización de la red en Erlangs.

A partir del tráfico anual transportado por la red, de los requerimientos de calidad de servicio y haciendo uso de los factores de enrutamiento (que determinan el uso que cada servicio hace de los diferentes elementos de la red), se obtiene el tráfico total cursado en la red total en la hora cargada para los elementos de red en cada uno de los niveles de red existentes (acceso, primer nivel de agregación, segundo nivel de agregación y core).

Una vez dimensionado el tráfico por servicio en los diferentes niveles de la red, se distribuye de forma proporcional al número de suscriptores por servicio y nodo para cada nivel de la red; es decir, se calcula el tráfico específico a cada nodo en base al número de suscriptores de voz, banda ancha e IPTV presente en cada uno de los nodos. Para ello, se considera que el volumen de tráfico por usuario es homogéneo en toda la red para cada uno de los servicios considerados en el modelo; es decir, un usuario genera y recibe el mismo tráfico de un servicio particular independientemente de su ubicación geográfica.

La metodología descrita en el párrafo anterior es matemáticamente equivalente a realizar la suma de flujos de tráfico en cada nodo. Por ejemplo, la capacidad necesaria en un nodo del nivel de agregación es equivalente a la suma de todo el tráfico que fluye de y hacia los nodos de acceso para los cuales se agrega el tráfico.

De este modo, se simplifica la complejidad del modelo a la vez que se obtiene la precisión necesaria para dimensionar la capacidad de la red a nivel de central de acceso, agregación y core.

El módulo arroja resultados relativos al volumen de tráfico por servicio de red en la hora cargada en cada nodo de la red, los intentos de llamadas de voz, así como el número de CDRs (*call detail record*) generados.

6.2 Servicios de red considerados en el módulo de cálculo del tráfico de la red

El módulo de demanda de mercado calcula las previsiones relativas al volumen de tráfico para cada uno de los servicios y sub-servicios ofrecidos por el operador modelado a través de su red de telecomunicaciones. Muchos de estos servicios (p.ej. la existencia de llamadas y de niveles de interconexión a nivel local, metropolitano, tránsito simple) son el resultado de las características de las redes de conmutación TDM, de prácticas históricas y de la regulación vigente. Estos servicios no serían prestados necesariamente de la misma manera en una NGN.

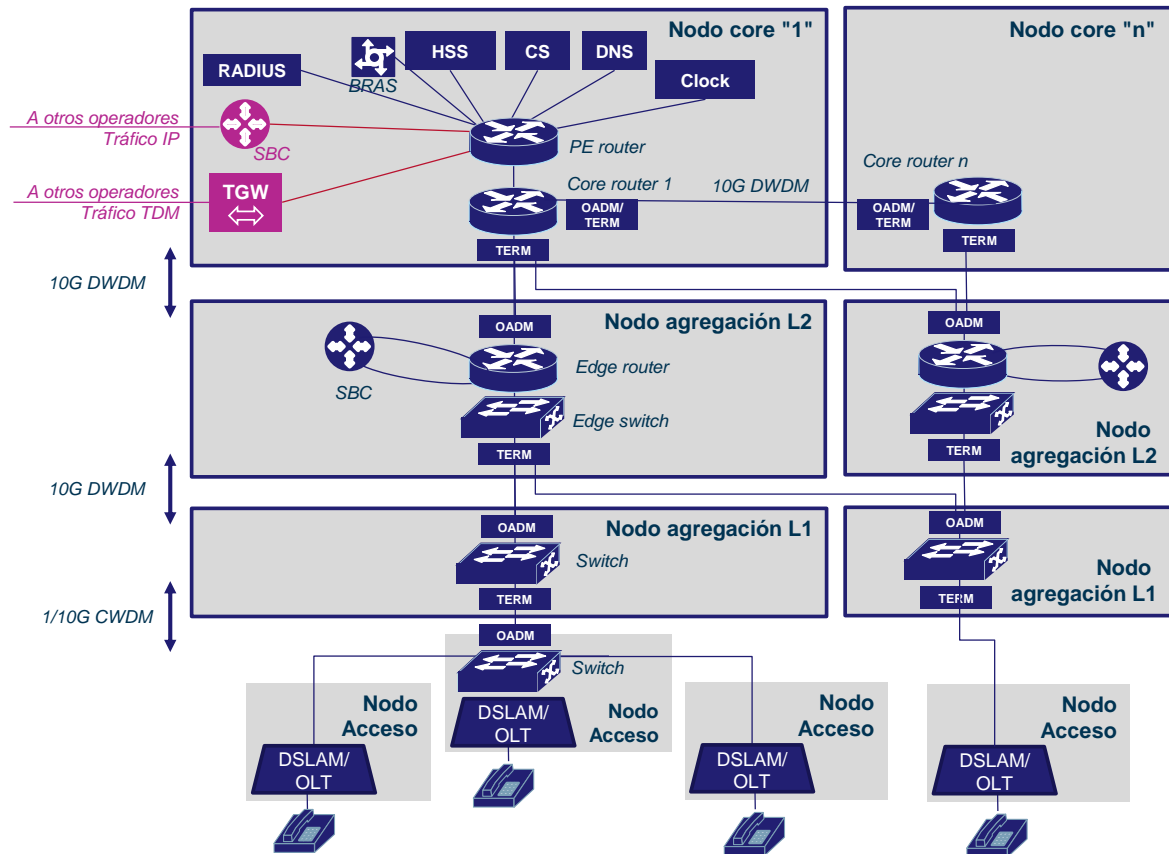
El modelo tiene por objetivo costear los servicios prestados por un operador de telecomunicaciones fijo a través de una NGN. Para ello, se introduce en el modelo el concepto de ‘servicios de red’, es decir, los servicios prestados por un operador de telecomunicaciones fijo a través de una NGN.

Se han definido los diferentes servicios de red en base a las características propias de una NGN con PdIs a nivel core, agrupando en un único servicio de red los servicios de mercado (es decir, los servicios ofrecidos tradicionalmente por los operadores a través de sus redes de telecomunicaciones fijas) que utilizan los mismos recursos de red. En la Sección 6.3.4 se detalla el mapeo entre los servicios del módulo de mercado y los servicios de red.

En la Figura 6.2 se presenta un esquema de la arquitectura modelada a nivel lógico en el escenario del operador con cobertura similar al incumbente. Tal y como se muestra en la figura, los PdIs se encuentran situados a nivel de los nodos core.

La red a nivel core es una red totalmente mallada a nivel lógico. En efecto, todos los nodos core están conectados entre sí, con lo que una llamada transitará por un máximo de dos nodos core independientemente de la ubicación del origen y receptor de la llamada. (Ver Sección 7 para mayor detalle sobre la arquitectura de red modelada).

Figura 6.2: Arquitectura a nivel lógico del operador modelado en el escenario del operador con cobertura similar al incumbente [Fuente: Analysys Mason, 2012]



A continuación se describe el conjunto de servicios de red definidos en el módulo de cálculo del tráfico de la red.

Figura 6.3: Servicios de red considerados en el módulo de cálculo del tráfico de la red [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Categoría	Servicio de red	Descripción
Llamadas minoristas on-net	Llamadas minoristas regionales on-net ¹⁰	Llamadas de voz entre dos suscriptores minoristas del operador modelado dentro del área cubierta por un mismo nodo de agregación
	Llamadas minoristas nacionales intra-nodo on-net	Llamadas de voz entre dos suscriptores minoristas del operador en las que la llamada transita por un único nodo core del operador modelado
	Llamadas minoristas nacionales multi-nodo on-net	Llamadas de voz entre dos suscriptores minoristas del operador modelado en las que la llamada transita por dos nodos core del operador
Llamadas minoristas salientes	Llamadas minoristas nacionales intra-nodo off-net	Llamadas de voz de un suscriptor minorista del operador modelado a otro operador en las que la llamada transita por un único nodo core del operador modelado
	Llamadas minoristas nacionales multi-nodo off-net	Llamadas de voz de un suscriptor minorista del operador modelado a otro operador en las que la llamada transita por dos nodos core del operador modelado
Llamadas mayoristas entrantes	Llamadas entrantes nacionales intra-nodo	Llamadas de voz recibidas de otro operador internacional o nacional y terminadas en la red de un suscriptor minorista del operador modelado, tras transitar en un único nodo core del mismo
	Llamadas entrantes nacionales multi-nodo	Llamadas de voz recibidas de otro operador internacional o nacional y terminadas en la red de un suscriptor minorista del operador modelado, tras transitar por dos nodos core del mismo
Llamadas mayoristas salientes (acceso indirecto)	Llamadas mayoristas salientes intra-nodo	Llamadas de voz originadas por un suscriptor de un operador alternativo, que contrata el transporte y entrega de dichas llamadas a otro operador interconectado y transitan por un único nodo core del operador modelado antes de ser entregadas en el Pdl
	Llamadas mayoristas salientes multi-nodo	Llamadas de voz originadas por un suscriptor de un operador alternativo, que contrata el transporte y entrega de tales llamadas a otro operador interconectado y transitan por dos nodos core del operador modelado antes de ser entregadas en el Pdl

¹⁰ Este servicio se explica por la presencia de un *edge router* (router de acceso) a nivel de agregación, lo que permite que ciertas llamadas on-net sean tratadas a nivel regional sin llevar al nivel core.

Categoría	Servicio de red	Descripción
Llamadas mayoristas salientes a números no geográficos o de tarificación especial (servicios en la modalidad de acceso)	Llamadas mayoristas salientes intra-nodo	Llamadas de voz originadas por un suscriptor del operador modelado a un número no-geográfico (tarifas especiales, servicio de consulta telefónica sobre números de abonado y servicios de emergencia) de otro operador nacional bajo el modelo de acceso tras transitar en un único nodo core del operador
	Llamadas mayoristas salientes multi-nodo	Llamadas de voz originadas por un suscriptor del operador modelado a un número no-geográfico (tarifas especiales, servicio de consulta telefónica sobre números de abonado y servicios de emergencia) de otro operador nacional bajo el modelo de acceso tras transitar en dos nodos core del operador
Llamadas mayoristas de tránsito	Llamadas mayoristas de tránsito intra-nodo	Llamadas de voz recibidas de otro operador internacional o nacional y terminadas en la red de otro operador internacional o nacional y que transitan por un único nodo core del operador modelado
	Llamadas mayoristas de tránsito multi-nodo	Llamadas de voz recibidas de otro operador internacional o nacional y terminadas en la red de otro operador internacional o nacional y que transitan por dos nodos core del operador modelado
Llamadas entrantes a números no geográficos	Llamadas entrantes a números no geográficos	Llamadas de voz recibidas de otro operador internacional o nacional a un número no-geográfico (tarifas especiales, servicio de consulta telefónica sobre números de abonado y servicios de emergencia) del operador modelado
Video-llamadas	Video-llamadas minoristas salientes nacionales intra-nodo on-net	Llamadas simultáneas de voz y vídeo entre dos suscriptores minoristas del operador modelado que transitan por un único nodo core del operador modelado
	Video-llamadas minoristas salientes nacionales multi-nodo on-net	Llamadas simultáneas de voz y vídeo entre dos suscriptores minoristas del operador modelado que transitan por dos nodos core del operador modelado
	Video-llamadas entrantes nacionales intra-nodo	Llamadas simultáneas de voz y vídeo recibidas de otro operador internacional o nacional y terminadas en la red de un suscriptor minorista del operador modelado y que transitan por un único nodo core del operador modelado
	Video-llamadas entrantes nacionales multi-nodo	Llamadas simultáneas de voz y vídeo recibidas de otro operador internacional o nacional y terminadas en la red de un suscriptor minorista del operador modelado y que transitan por dos nodos core del operador modelado

Categoría	Servicio de red	Descripción
VPN/IP	Servicios VPN/IP a nivel regional	Tráfico asociado a servicios VPN/IP y líneas alquiladas en el que las dos centrales de acceso dependen de un mismo nodo de agregación
	Servicios VPN/IP a nivel nacional intra-nodo	Tráfico asociado a servicios VPN/IP y líneas alquiladas en el que las dos centrales de acceso dependen de un mismo nodo core
	Servicios VPN/IP a nivel nacional multi-nodo	Tráfico asociado a servicios VPN/IP y líneas alquiladas en el que para conectar las dos centrales de acceso es necesario transitar por dos nodos core
Banda ancha	Banda ancha intra-nodo best effort	Provisión de un servicio de acceso a Internet tipo best-effort y de acceso indirecto de nivel nacional. Para alcanzar el punto de acceso a Internet el tráfico transita por un único nodo core del operador modelado
	Banda ancha multi-nodo best effort	Provisión de un servicio de acceso a Internet tipo best-effort y de acceso indirecto de nivel nacional. Para alcanzar el punto de acceso a Internet, el tráfico transita por dos nodos core del operador modelado
	Banda ancha intra-nodo alta prioridad	Provisión de un servicio de acceso a Internet o de acceso indirecto de nivel nacional con tráfico de alta prioridad. Para alcanzar el punto de acceso a Internet el tráfico transita por un único nodo core del operador modelado
	Banda ancha multi-nodo alta prioridad	Provisión de un servicio de acceso a Internet o de acceso indirecto de nivel nacional con tráfico de alta prioridad. Para alcanzar el punto de acceso a Internet el tráfico transita por dos nodos core del operador modelado
	Banda ancha intra-nodo real-time	Provisión de un servicio de acceso indirecto con calidad real-time. Para alcanzar el punto de acceso a Internet el tráfico transita por un único nodo core del operador modelado
	Banda ancha multi-nodo real-time	Provisión de un servicio de acceso indirecto t con calidad real-time. Para alcanzar el punto de acceso a Internet, el tráfico transita por dos nodos core del operador modelado
	Banda ancha regional best effort	Provisión de un servicio de acceso indirecto regional de calidad alta prioridad. Para alcanzar el punto de interconexión de datos el tráfico transita por un nodo de agregación del operador modelado
	Banda ancha regional alta prioridad	Provisión de un servicio de Internet a través de una línea de suscripción digital con prioridad alta. Para alcanzar el punto de interconexión de datos el tráfico transita por un nodo de agregación del operador modelado
	Banda ancha regional real-time	Provisión de un servicio de acceso indirecto regional con calidad real-time. Para alcanzar el punto de punto de interconexión de datos el tráfico transita por un nodo de agregación del operador modelado

Categoría	Servicio de red	Descripción
Televisión	Televisión por IP - Acceso	Emisión de contenidos televisivos a través de los recursos de la red de acceso de forma linear en forma de un abanico de canales, con una programación preparada de antemano e idéntica para los televidentes de un mismo canal.
	Televisión por IP – Agregación L1	Emisión de contenidos televisivos a través de los recursos de la red de agregación L1 de forma linear en forma de un abanico de canales, con una programación preparada de antemano e idéntica para los televidentes de un mismo canal
	Televisión por IP – Agregación L2	Emisión de contenidos televisivos a través de los recursos de la red de agregación L2 de forma linear en forma de un abanico de canales, con una programación preparada de antemano e idéntica para los televidentes de un mismo canal
	Televisión por vídeo bajo demanda	Emisión de contenidos televisivos a los que accede el suscriptor de forma personalizada (VoD)

6.2.1 Escenario de un operador con cobertura parcial

En el escenario del operador con cobertura parcial se tienen en cuenta unas categorías de servicios adicionales a las incluidas en la tabla anterior. Estos servicios adicionales se utilizan para dimensionar la capacidad necesaria en la red del operador con cobertura parcial asociada al tráfico de aquellos suscriptores a los que presta servicios de voz y datos utilizando la infraestructura del operador incumbente.

En la siguiente tabla se muestran los servicios que aplican exclusivamente al caso del operador con cobertura parcial y no al resto de escenarios:

Figura 6.4: Servicios de red adicionales considerados en el módulo de cálculo del tráfico de la red [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Categoría	Servicio de red	Descripción
Llamadas salientes con acceso indirecto (recursos del operador alternativo)	Llamadas intra-nodo on-net con acceso indirecto	Llamadas de voz entre dos suscriptores minoristas del operador alternativo. La llamada se origina a través del servicio de acceso indirecto utilizando la infraestructura del operador que presta el servicio de acceso indirecto y transita por un único nodo core del operador alternativo
	Llamadas intra-nodo off-net con acceso indirecto	Llamadas de voz entre un suscriptor minorista del operador alternativo y un suscriptor de otro operador nacional o internacional. La llamada se origina a través del servicio de acceso indirecto utilizando la infraestructura del operador que presta el servicio de acceso indirecto, y transita por un único nodo core del operador alternativo
	Llamadas multi-nodo on-net con acceso indirecto	Llamadas de voz entre dos suscriptores minoristas del operador alternativo. La llamada se origina a través del servicio de acceso indirecto utilizando la infraestructura del operador que presta el servicio de acceso indirecto, y transita por dos nodos core del operador alternativo
	Llamadas multi-nodo off-net con acceso indirecto	Llamadas de voz entre un suscriptor minorista del operador alternativo y un suscriptor de otro operador nacional o internacional. La llamada se origina a través del servicio de acceso indirecto utilizando la infraestructura del operador que presta el servicio de acceso indirecto, y transita por dos nodos core del operador alternativo
Banda ancha con acceso indirecto (recursos del operador alternativo)	Banda ancha <i>best effort</i> con acceso indirecto nacional	Provisión de un servicio de Internet a través de una línea de suscripción digital con prioridad estándar a través de tráfico de acceso indirecto intercambiado en un nodo core. Este servicio sólo aplica en el escenario del operador con cobertura parcial
	Banda ancha alta prioridad con acceso indirecto nacional	Provisión de un servicio de Internet a través de una línea de suscripción digital con prioridad alta a través de tráfico de acceso indirecto intercambiado en un nodo core. Este servicio sólo aplica en el escenario del operador con cobertura parcial
	Banda ancha <i>best effort</i> con acceso indirecto regional intra-nodo	Provisión de un servicio de Internet a través de una línea de suscripción digital con prioridad estándar a través tráfico de acceso indirecto intercambiado en un nodo local. El tráfico circula por un nodo core hasta alcanzar el punto de acceso a internet. Este servicio sólo aplica en el escenario del operador con cobertura parcial
	Banda ancha alta prioridad con acceso indirecto regional intra-nodo	Provisión de un servicio de Internet a través de una línea de suscripción digital con prioridad alta a través de tráfico de acceso indirecto intercambiado en un nodo local. El tráfico circula por un nodo core hasta alcanzar el punto de acceso a internet. Este servicio sólo aplica en el escenario del operador con cobertura parcial

Categoría	Servicio de red	Descripción
	Banda ancha <i>best effort</i> con acceso indirecto regional multi-nodo	Provisión de un servicio de Internet a través de una línea de suscripción digital con prioridad estándar de tráfico de acceso indirecto intercambiado en un nodo local. El tráfico circula por dos nodo core hasta alcanzar el punto de acceso a internet. Este servicio sólo aplica en el escenario del operador con cobertura parcial
	Banda ancha alta prioridad con acceso indirecto regional multi-nodo	Provisión de un servicio de Internet a través de una línea de suscripción digital con prioridad alta de tráfico de acceso indirecto intercambiado en un nodo local. El tráfico circula por dos nodo core hasta alcanzar el punto de acceso a internet. Este servicio sólo aplica en el escenario del operador con cobertura parcial

6.3 Descripción del funcionamiento del módulo de cálculo del tráfico de la red

En esta sección detallamos el procedimiento para calcular la capacidad total de la red en la hora cargada por servicio de red. La sección se estructura como sigue:

- la Sección 6.3.1 explica el proceso de agregación de suscriptores por central y servicio
- la Sección 6.3.2 presenta los cálculos realizados para obtener el tráfico total en la hora cargada
- la Sección 6.3.3 presenta los cálculos realizados para obtener el tráfico total en la hora cargada considerando los factores de calidad de servicio
- la Sección 6.3.4 detalla el mapeo del tráfico de los servicios de mercado a los servicios de red
- la Sección 6.3.5 detalla el uso de los factores de enrutamiento para obtener el tráfico en los distintos nodos de la red
- la Sección 6.3.6 presenta los resultados que arroja el módulo de cálculo del tráfico de la red.

6.3.1 Agregación de suscriptores por nodo de red

Con el fin de dimensionar de forma precisa los recursos de red necesarios en cada nodo, se calcula de forma independiente la capacidad que se necesita en cada nodo de la red en la hora cargada. Dicha capacidad es proporcional al tráfico total de los servicios de red generado por los suscriptores cuyo tráfico es agregado en cada nodo; es decir, al tráfico agregado en cada nodo y recibido por los suscriptores de voz, banda ancha e IPTV presente en cada uno de los nodos.

A continuación describimos la metodología empleada para agregar los suscriptores de los servicios de voz, datos e IPTV en cada uno de los nodos de la red.

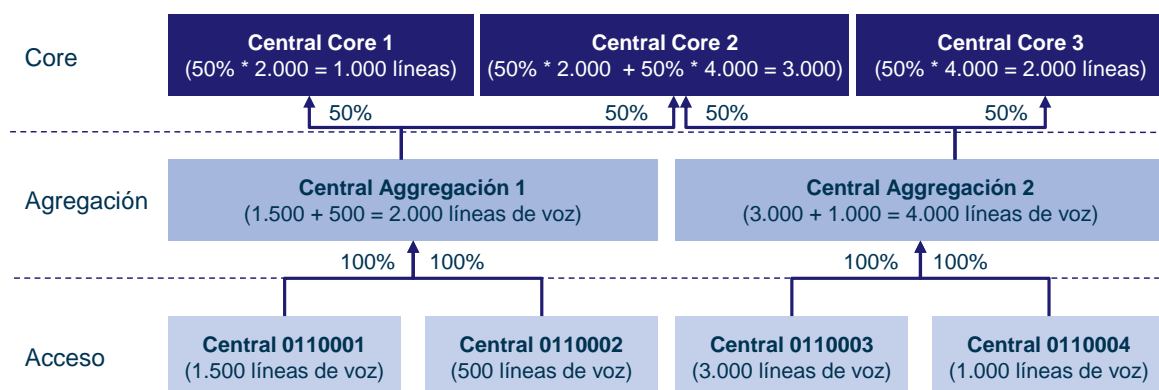
Suscriptores de voz

El módulo de cálculo del tráfico de la red permite calcular el número de líneas de voz cuyo tráfico se agrega en cada nodo de la red, ya que conocemos a qué nodo de agregación se conecta una central de acceso, a qué nodos core se conecta un nodo de agregación, y el número de suscriptores de voz por central de acceso.

El tráfico de las líneas de voz de las centrales de acceso dependientes de cada nodo de agregación (L1 y L2 en el escenario del operador con cobertura de incumbente) se suma directamente para cada nodo de agregación. De manera análoga, el tráfico agregado a nivel de agregación se suma directamente para cada nodo core. En el caso de que los nodos de un nivel inferior se conecten a más de un nodo de nivel superior, se asume que el tráfico se distribuye de forma equi-proporcional entre los nodos superiores; es decir, el tráfico del 50% de los suscriptores se distribuye a uno de los nodos superiores, mientras que el 50% del tráfico restante se distribuye al otro nodo al que se conecta. Esto es posible debido a que los nodos dentro de un mismo nivel (en las partes de acceso y agregación de la red) no se comunican entre sí.

En la Figura 6.5 se muestra un ejemplo ilustrativo de la lógica utilizada para agregar el número de suscriptores en los diferentes niveles de red.

Figura 6.5: Ejemplo ilustrativo de la agregación de suscriptores en cada uno de los nodos de la red [Fuente: Analysys Mason, 2012]



La *Central Agregación 1* agrega el tráfico de 2.000 líneas de voz. Esta central está conectada a dos centrales a nivel core, con lo que cada una de ellas recibe el tráfico del 50% de sus suscriptores – 1.000 líneas de voz. Por otra parte, en la *Central Core 2* se agrega el tráfico de 1.000 suscriptores procedentes de la *Central Agregación 1* y de 2.000 suscriptores procedentes de la *Central Agregación 2* – 3.000 líneas de voz.

Este cálculo se efectúa para la totalidad del horizonte temporal del modelo (50 años).

Suscriptores de banda ancha

La metodología empleada para agregar los suscriptores de banda ancha es la misma que la utilizada para los servicios de voz: se agregan los suscriptores de las centrales de niveles inferiores hasta obtener las líneas dependientes de cada uno de los nodos de agregación y core.

En este caso, dado que la demanda de datos de los usuarios que acceden al servicio de datos a través de conexiones de cobre y de fibra no es la misma, se diferencian los suscriptores que acceden a través de cada una de estas tecnologías. Es decir, para cada uno de los nodos de la red se obtiene el número de suscriptores que acceden a través de cobre y a través de fibra cuyo tráfico de datos se agrega en dicho nodo.

Suscriptores de IPTV

La arquitectura de la red de transmisión de televisión se basa en el concepto CDN (*content delivery network*); es decir, existe una red en paralelo a la red core del operador que se dedica exclusivamente a la transmisión del contenido audiovisual. La cabecera de televisión se conecta a nivel provincial. La CDN se conecta con la red modelada en cada uno de los nodos de agregación, los cuales distribuyen el contenido audiovisual a los usuarios finales a través de la red de acceso.

El formato de transmisión del contenido audiovisual de televisión es el conocido como televisión sobre IP (IPTV, por sus siglas en inglés). Todos los canales de televisión se distribuyen desde la cabecera de televisión hasta las centrales de acceso a través de un flujo *multicast*.

De forma similar a los servicios de voz y datos, a partir del número de suscriptores de IPTV por central de acceso, el módulo de cálculo del tráfico de la red obtiene el número de suscriptores de IPTV que se conectan a los nodos de agregación. Dado que la señal de IPTV no se transporta a través de la red core del operador, no es necesario obtener el tráfico asociado a los servicios de IPTV a nivel core.

6.3.2 Cálculo del tráfico en la hora cargada

En el módulo de cálculo del tráfico de la red se transforman las previsiones de tráfico obtenidas con el módulo de demanda en la capacidad de red necesaria para poder transmitir los volúmenes de tráfico durante la hora cargada. De este modo es posible dimensionar los recursos de la red en la hora cargada para soportar el tráfico estimado para cada uno de los años del horizonte temporal del modelo.

A continuación se presenta la metodología empleada para calcular la capacidad necesaria en la red en función del tipo de servicio considerado:

- servicios de voz y video-llamadas
- servicios de datos
- servicios de IPTV
- servicios de VoD.

Servicios de voz y video-llamadas

A partir de las previsiones de demanda anuales por sub-servicio se obtiene la capacidad en la hora cargada en Erlangs utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Tráfico en hora punta (Erlangs)} = \frac{\text{Tráfico anual (min)} * PTDL * PTHP}{\text{Número de días laborales al año} * \text{minutos por hora}}$$

Donde:

- *PTDL* es la proporción del tráfico anual transmitido en días laborables
- *PTHP* es la proporción del tráfico diario transmitido en la hora cargada.

Subsiguientemente, el tráfico en Erlangs se multiplica por el ancho de banda necesario para transmitir una llamada de voz, y se obtiene así la capacidad necesaria en Mbit/s para soportar los servicios de voz. En el módulo de cálculo del tráfico de la red se asume que el códec utilizado para transportar el tráfico IP de voz es el G.711 con un periodo de muestreo de 20ms, que es similar al utilizado por la mayor parte de los operadores fijos en España. En cualquier caso, el módulo permite configurar este parámetro para reflejar la posible utilización de otros códecs.

A partir del número promedio estimado de llamadas por llamada exitosa y de la duración promedio de cada llamada por servicio de voz se obtiene el número de CDRs diarios generados, así como el número de intentos de llamada durante la hora cargada por servicio de red. Esta información se utiliza para dimensionar ciertos recursos de red como el sistema de facturación mayorista. (Ver la Sección 7 para mayor detalle sobre la metodología empleada para dimensionar los diferentes equipos de la red.)

El módulo de cálculo del tráfico de la red utiliza las siguientes estimaciones:

- el número de intentos de llamada por llamada exitosa es igual a 1,4
- la duración promedio de las llamadas es de 3 minutos para las llamadas regionales on-net y de 3.5 minutos para el resto de llamadas.

Servicios de datos

En el caso de los servicios de datos, y para garantizar una mayor coherencia con los otros modelos de costes desarrollados previamente por la CMT, el módulo de cálculo del tráfico de la red utiliza los datos relativos al volumen de tráfico por servicio y usuario utilizados en el modelo de costes del servicio NEBA, ver la Figura 6.6.

Figura 6.6: Capacidad por usuario de servicios de datos (kbps) [Fuente: Modelo de costes NEBA, 2012]

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
xDSL/cable - best effort	93.96	122.15	158.80	206.43	268.36	348.87	418.65
xDSL/cable - gold	0.58	0.76	0.98	1.28	1.66	2.16	2.59
fibre - best effort	173.95	226.14	293.98	382.17	496.82	645.87	775.04
fibre - gold	0.00	0.00	0.15	0.19	0.25	0.32	0.39

En lo que respecta a las líneas alquiladas y otros servicios de transporte de datos, se utilizan ratios de contención para establecer una relación entre la capacidad nominal (*headline rate* en inglés) de los circuitos y la capacidad realmente reservada en los circuitos. De este modo, al dividir la capacidad promedio de los circuitos entre el ratio de contención se obtiene la capacidad en la hora cargada necesaria para soportar cada uno de los servicios.

Servicios de IPTV

Tal y como se ha comentado previamente, en el módulo de cálculo del tráfico de la red se asume que los canales de televisión se distribuyen a través de un flujo *multicast*; es decir, los canales ofertados se distribuyen a aquellas centrales de acceso en las que existen suscriptores conectados a servicios de IPTV.

Para garantizar una mayor coherencia con los otros modelos de costes desarrollados por la CMT, se asume – de manera similar al modelo de costes del servicio NEBA – que el número de canales SD (definición estándar) y HD (alta definición) varía en función del año y la tecnología de acceso disponible. En la siguiente tabla se incluye el número y tipo de canales distribuidos a los suscriptores de servicios IPTV en función de la tecnología utilizada en la red de acceso.

Figura 6.7: Número y tipo de canales distribuidos a los suscriptores de servicios IPTV en función de la tecnología de la red de acceso [Fuente: Modelo NEBA, 2012]

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Número de canales SD (xDSL)	122	123	124	125	126	127	128	129
Número de canales HD (xDSL)	0	0	0	0	0	0	0	0
Número de canales SD (fibra)	122	121	120	119	118	117	116	115
Número de canales HD (fibra)	4	6	8	10	12	14	16	18

El ancho de banda *multicast* que es necesario transportar a las centrales de acceso en función de la tecnología utilizada en la red de acceso (cobre, fibra o ambas) se obtiene multiplicando el ancho de banda necesario para transmitir canales de tipo SD y HD por el número de canales a transmitir (ver Figura 6.8). En el caso de aquellas centrales que han comenzado la migración a fibra pero en las que todavía existen suscriptores que utilizan la red de última milla de cobre, es necesario transportar el tráfico de todos los canales existentes, es decir, tanto los canales ofertados para los usuarios en la red de cobre como para los usuarios en la red de fibra.

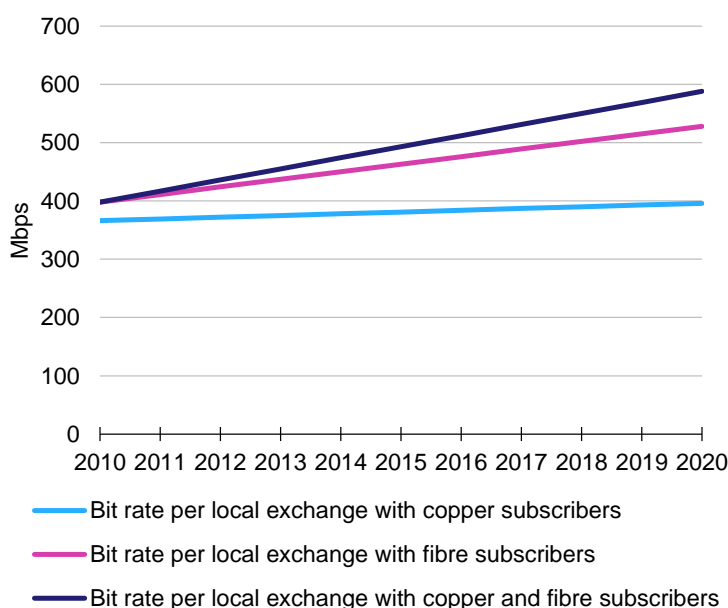


Figura 6.8: Ancho de banda multicast de televisión en función de la tecnología de la red de acceso [Fuente: Analysys Mason, modelo NEBA, 2012]

Dado que se asume que los servicios de IPTV requieren una capacidad constante en la red y que el tráfico multicast IPTV se transmite a todos los nodos en los que existen suscriptores de IPTV, no es necesario transformar las previsiones de tráfico obtenidas en el módulo de demanda para obtener el tráfico en la hora cargada.

Servicios de VoD

Para garantizar una mayor coherencia entre los otros modelos de costes desarrollados por la CMT, se asume la misma distribución de usuarios concurrentes de VoD que en el modelo de costes del servicio NEBA, así como el mismo ancho de banda por usuario (3Mbit/s).

6.3.3 Factores de calidad de servicio

El módulo de cálculo del tráfico de red permite utilizar factores de calidad de servicio para dimensionar los recursos de la red modelada. Para ello, la red del operador modelado puede dimensionarse en base a dos factores de calidad de servicio diferentes:

- *Método 1* – La capacidad de red del operador modelado se dimensiona en base a la capacidad requerida en la hora cargada para cada servicio. Este método garantiza capacidad suficiente para transportar el tráfico de voz durante la hora cargada (utilizando una tasa de transmisión de voz configurable), reserva un porcentaje del ancho de banda por conexión para el servicio de banda ancha (en base a un factor de sobre-suscripción), así como la cantidad de ancho de banda necesario para los canales de televisión de acuerdo a su naturaleza (SD o HD). Es el método utilizado generalmente por los operadores para dimensionar sus redes.
- *Método 2* – La capacidad requerida en cada nivel de red se calcula independientemente para cada tipo de tráfico en función de su calidad de servicio asociada (*Best Effort*, *Alta Prioridad* y *Real Time*). En aras de asegurar una mayor coherencia con los otros modelos de costes desarrollados por la CMT, este método se implementa de forma similar al modelo de costes del servicio NEBA. Esto se trata a continuación en mayor detalle.

A continuación se detalla la metodología empleada para obtener los factores de calidad de servicio por nivel de red utilizados en el Método 1 y en el Método 2.

Método 1

Los recursos de red se modelan en base al tráfico agregado por servicio en hora cargada, de forma que ningún enlace de la red esté congestionado para soportar las proyecciones de tráfico obtenidas en la hora cargada.

Se describe a continuación el cálculo de la capacidad requerida en hora cargada por tipo de servicio:

- En el caso de los servicios de voz, se obtiene la capacidad equivalente en Erlangs para satisfacer la demanda de tráfico en hora cargada, y se le aplica una tasa de transmisión configurable para obtener el ancho de banda resultante en hora cargada.

- En el caso de los servicios de datos, y para garantizar la coherencia con otros modelos de costes desarrollados por la CMT, se ha utilizado la capacidad requerida por suscriptor y servicio calculada en el modelo de costes NEBA, ver Figura 6.6. Dicha capacidad lleva incluida un factor de sobre-suscripción para garantizar que los recursos de red son dimensionados en base al tráfico en hora cargada.
- Finalmente, en el caso del tráfico *multicast* IPTV, se asume que requiere una capacidad constante en la red, y consecuentemente, al no variar durante la hora cargada, la capacidad necesaria es igual al ancho de banda requerido para transmitir la señal de televisión.

Adicionalmente, se añade un factor de utilización en el dimensionamiento de los recursos de red que permite sobredimensionar la capacidad de los recursos de red para soportar picos de tráfico adicionales a los estimados en las proyecciones.

Método 2

De manera similar a los tipos de tráfico soportados por las redes de los operadores de telecomunicaciones fijas en España, se modelan tres clases de calidad de servicio asociadas a aplicaciones con diferentes requisitos:

- *QoS Best Effort* – representa el menor nivel de calidad disponible. Sólo establece requisitos en términos de una proporción máxima de paquetes perdidos.
- *QoS Alta Prioridad* – esta clase de servicio impone requisitos definidos de retardo medio y pérdida de paquetes. Las aplicaciones cuyo tráfico se transmite utilizando esta clase de servicio no es sensible al orden de llegada de los paquetes – es decir, la información transportada no se ve afectada si se altera el orden en el que se transportan los paquetes a través de la red.
- *QoS Real Time* – es el nivel más alto de calidad, y establece requisitos definidos de retardo promedio, pérdida de paquetes y variación de retardo (*'jitter'*).

Los recursos de red se dimensionan para cumplir con las especificaciones de parámetros de calidad de servicio definidos para cada tipo de tráfico. Tal y como se ha explicado previamente, el módulo de cálculo del tráfico de red utiliza los mismos parámetros de calidad de servicio definidos en la especificación funcional del modelo de costes del servicio NEBA. La tabla que se muestra a continuación reproduce estos parámetros.

Clase de servicio	Pérdida máxima de paquetes	Retardo promedio de paquetes
QoS Best effort	0.8%	–
QoS Alta Prioridad	0.4%	66ms
QoS Real Time	0.02%	45ms

Figura 6.9: Parámetros de nivel de servicio definidos en el modelo NEBA para cada clase de servicio [Fuente: CMT, 2012]

Para calcular la capacidad adicional requerida en la red para cumplir con los requisitos de nivel de servicio, se asigna un peso diferente a cada tipo de tráfico de red. Es decir, para cada clase de servicio y por nivel de red (acceso, agregación y core) se obtiene el peso como un múltiplo en relación a la capacidad que requeriría el tráfico si tuviera una *QoS Best Effort*. Esta ponderación representa la capacidad adicional que es necesario reservar para asegurar que el tráfico transportado responde a los requisitos de QoS correspondientes a su nivel de calidad. Se presenta a continuación una clasificación de los distintos servicios modelados en función de sus niveles de calidad de servicio.

Servicio	Best Effort	Alta Prioridad	VoD*	Real Time
Voz				✓
Video-llamadas				✓
Banda ancha <i>best-effort</i>	✓			
Banda ancha alta prioridad		✓		
Bitstream <i>best-effort</i>	✓			
Bitstream alta prioridad		✓		
Líneas alquiladas		✓		
Otros servicios de transporte	✓	✓		
Otros servicios de interconexión				✓
Televisión por IP**				✓
Televisión VoD			✓	

Figura 6.10:
Clasificación del tráfico en función de sus niveles de calidad de servicio
[Fuente: Analysys Mason, 2012]

Notas:

*El tráfico VoD se considera Real Time pero se presenta en una columna distinta al definirse en base a parámetros de nivel de servicio diferentes adaptados a sus características.

**Para la televisión por IP se reserva el ancho de banda requerido por los canales transportados en cada nivel de red, cuyo ancho de banda que es constante a lo largo del día.

A continuación pasamos a detallar cómo se han modelado los factores de calidad de servicio para cada clase de servicio:

► *QoS Best Effort*

El tráfico clasificado como *Best Effort* se corresponde con el tráfico de menor prioridad y se dimensiona exclusivamente en base a la capacidad necesaria para transportar los volúmenes de tráfico en la hora cargada. Es decir, no se aplica ningún peso adicional al tráfico que circula por la red en la hora cargada para el que se han dimensionado los recursos de la red.

El tráfico *Best Effort* se utiliza como referencia para calcular los pesos relativos del tráfico cuya calidad es superior (p.ej. tráfico *Alta Prioridad* o *Real Time*).

► *QoS Alta Prioridad*

De forma similar al modelo de costes del servicio NEBA, se consideran las siguientes aproximaciones para obtener los factores de ponderación para el tráfico transmitido con *QoS Alta Prioridad*:

- el proceso de llegada de los paquetes se comporta de manera similar al de una variable aleatoria e independiente que sigue una distribución de *Poisson*
- el tiempo de procesamiento de los paquetes se puede modelar como una variable exponencial
- existe un único servidor para atender la llegada de paquetes
- la longitud de la cola de paquetes puede ser infinita.

Teniendo en cuenta estas aproximaciones, se puede considerar que la llegada del tráfico *Alta Prioridad* a cada nodo de la red se comporta como un proceso de colas del tipo M/M/1 definido en base a la tasa de llegada de los paquetes λ y una tasa de servicio μ que representa la celeridad con la que los paquetes son tratados en el nivel de red considerado. Esto resulta en un tiempo de espera T en cada nodo definido por $T = 1/(\mu - \lambda)$. Teniendo en cuenta los tiempos máximos de espera que es necesario cumplir en cada nivel de red, se obtiene que la tasa de servicio tiene que ser superior a $\mu > \lambda + 1/T$.

Comparando la tasa de servicio mínima y la tasa de llegada de paquetes (μ/λ) en cada tipo de nodo de la red, se obtiene la capacidad adicional a reservar para cumplir con los acuerdos de nivel de servicio del tráfico *Alta Prioridad*.

Por ejemplo, si el tráfico promedio de datos *Alta Prioridad* en los *edge routers* de agregación es de 30Mbit/s (lo que equivale a una tasa de llegada (λ) de 3.000 paquetes por segundo asumiendo un tamaño promedio de un paquete Ethernet de 10kbit/s), y el retardo promedio (T) a nivel de *router* es inferior a 13ms, se obtiene que la tasa de servicio (μ) que requieren los *routers* de agregación tiene que ser superior a $3.000 + 1 / 0,013 = 3.000+77 = 3.077$ paquetes por segundo. Esto resulta en una reserva de ancho de banda de $3.077 * 10\text{kbit/s} = 30.770\text{kbit/s}$ o 30,77Mbit/s. El resultado indica que es necesario multiplicar el tráfico *Alta Prioridad* entrante en cada *edge router* por un factor de 1,025 (que resulta de dividir 30,77Mbit/s entre 30Mbit/s) para poder dimensionar los equipos de forma que cumplan los retardos definidos en los requisitos de calidad.

Tal y como se deduce del ejemplo anterior, los factores de calidad de servicio dependen del periodo máximo de latencia en cada nivel de red – p.ej. acceso (DSLAM, OLTs), agregación (switch de agregación), etc. – y del tráfico promedio que llega a cada tipo de recurso de la red.

La aplicación de los factores de calidad de servicio en el módulo de cálculo del tráfico de red implica tener que incrementar el tráfico entrante en cada nodo de red, y por ende los elementos de red afectados tienen que volver a dimensionarse para tener en cuenta este incremento de tráfico, lo que a su vez conlleva tener que modificar los factores de calidad de servicio. Por consiguiente, este proceso tiene que repetirse hasta que se estabilicen los resultados.

► *QoS Real Time*

De forma similar al modelo de costes del servicio NEBA, y con el fin de garantizar una mayor coherencia con los otros modelos de costes desarrollados por la CMT, se asume la tasa de bloqueo como el parámetro de calidad crítico a la hora de dimensionar los recursos que soportan el tráfico *Real Time*. Cada uno de los dos tipos de tráfico *Real Time* (es decir, el tráfico de voz y el tráfico de VoD) tiene una tasa de bloqueo diferente que resulta en un peso relativo diferente en cada nivel de red.

El comportamiento del tráfico *Real Time* es similar al de conmutación de circuitos; es decir, es un tráfico orientado a conexión en el que la tasa de llegada de los paquetes a los nodos no sigue una distribución exponencial sino que es más o menos constante. Por ello, la metodología empleada para obtener los factores de calidad de servicio del tráfico *Real Time* se basa en el uso de la función *Erlang B* asociada a una tasa de bloqueo apropiada en el que el paquete es descartado si no se dispone de capacidad suficiente para tratarlo. Para obtener la tasa de bloqueo correspondiente en cada nivel de red se multiplica la tasa de bloqueo máxima definida en los acuerdos de nivel de servicio, por la probabilidad de que ocurra un bloqueo en un determinado nivel de red.

Por ejemplo, en lo que respecta al tráfico de voz que transita por un DSLAM, asumiendo que el 60% de los bloqueos ocurren en la red de acceso y que el tráfico promedio en cada DSLAM es de 11 *Erlangs*, se obtiene que la tasa máxima de bloqueo en los DSLAMs es de $60\% * 0.02\% = 0.012\%$. A partir de la fórmula *Erlang B* se obtiene que el número de canales necesarios para soportar esa tasa de bloqueo es de 26. Si se compara el número de canales necesarios para obtener una tasa máxima de bloqueo del 0,012% respecto al tráfico de entrada (11 *Erlangs*) se obtiene un peso de $26/11=2,36$. Es decir, para alcanzar esta tasa máxima de bloqueo es necesario dimensionar los DSLAMs como si el tráfico entrante se multiplicase por un peso de 2,36.

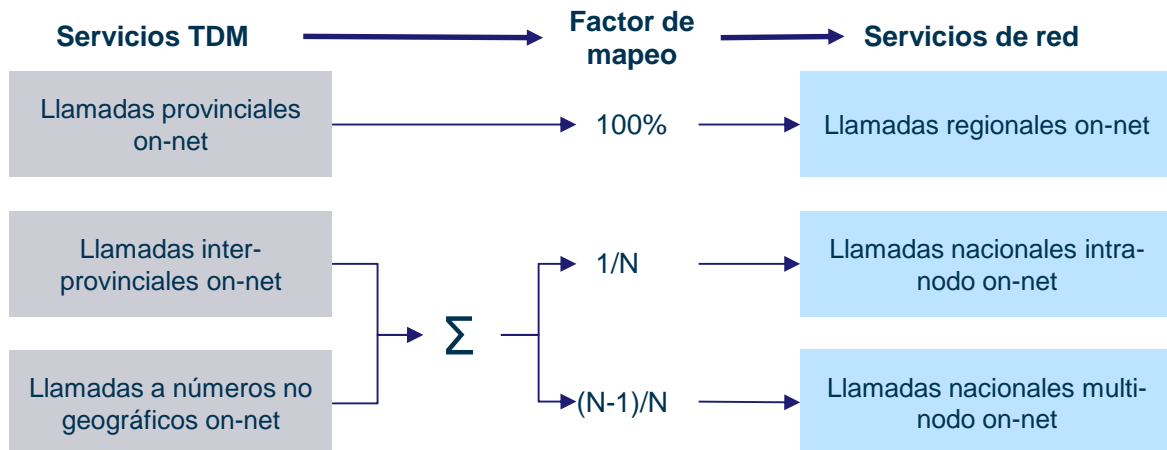
El factor de calidad de servicio depende del tráfico entrante en los nodos y de la tasa máxima de bloqueo. Por ello, y de forma similar al tráfico *Alta Prioridad*, es necesario efectuar un proceso iterativo para obtener los factores de calidad correctos a utilizar en el módulo de cálculo del tráfico de red.

6.3.4 Cálculo del tráfico por servicio de red

Tras haber calculado el volumen de tráfico en la hora cargada, se reparte el tráfico resultante entre los distintos servicios de red, es decir, entre los servicios que se van a costear en el modelo. Tal y como se explica en la Sección 6.2, es necesario hacer una equivalencia entre los servicios para los que se ha dimensionado el tráfico y los servicios existentes en una red NGN.

La asignación del tráfico de los servicios de mercado a los servicios de red se basa en la adaptación del enrutado del flujo de tráfico de un servicio TDM a una arquitectura de red NGN; es decir, qué elementos atraviesa el flujo de tráfico de cada servicio al ser transmitido por la red NGN. Por ejemplo, en la Figura 6.11 se muestra la asignación del tráfico asociado al servicio de *llamadas minoristas on-net* en sus servicios de red NGN correspondientes.

Figura 6.11: Ejemplo de asignación de tráfico de los servicios de mercado a los servicios de red on-net de voz definidos en el modelo [Fuente: Analysys Mason, 2012]

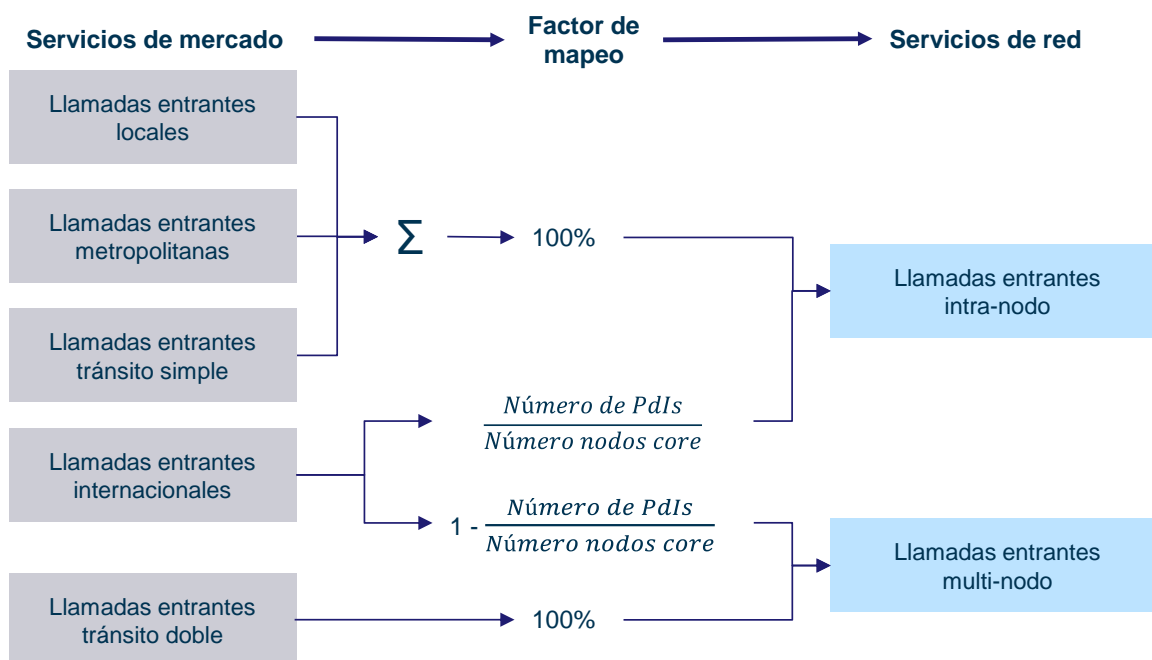


Tal y como se muestra en la figura, el servicio de *llamadas provinciales on-net* equivale al servicio de red *llamadas regionales on-net*, con lo cual todo el tráfico calculado para el primer servicio de mercado se asigna al servicio de red. Esto es debido a que es el único servicio de red que cumple con las características del servicio de *llamadas provinciales on-net*, es decir, una llamada de voz minorista que se distribuye al receptor en el nodo de agregación.

Por otra parte, el tráfico de los servicios de *llamadas inter-provinciales on-net* y *llamadas a números no-geográficos on-net* se asigna a los servicios *llamada nacional on-net intra-nodo* y *llamada nacional on-net multi-nodo* de forma proporcional a la probabilidad de que se produzca un tipo u otro de llamada. De este modo, la probabilidad de que el destino de una llamada on-net sea un suscriptor que dependa directamente del mismo nodo core es igual a $1/N$, siendo N el número de nodos core de voz. De forma similar, la probabilidad de que se produzca una *llamada on-net multi-nodo*, será igual a $(N-1)/N$, siendo N el número de nodos core.

La Figura 6.12 muestra la asignación del tráfico asociado a los servicios de terminación tradicionales en sus servicios de red NGN correspondientes.

Figura 6.12: Ejemplo de asignación de tráfico de los servicios de mercado tradicionales a los servicios de terminación definidos en el modelo [Fuente: Analysys Mason, 2012]



Tal y como muestra la figura, el tráfico asociado a los servicios de *terminación de llamada local*, *terminación de llamada metropolitana* y *terminación de llamada con tránsito simple* se asignan al servicio de red *terminación intra-nodo*, ya que es el único servicio NGN que cumple con las características de dichos servicios de mercado; es decir, para entregar la llamada al receptor de la misma sólo es necesario transitar por un nodo core.

Por otra parte, todo el tráfico asociado al servicio de mercado *terminación con tránsito doble* se asigna al servicio de red NGN *terminación multi-nodo*, ya que es el único servicio de red en el que la llamada transita por más de un nodo para alcanzar al receptor de la misma.

Finalmente, en el caso de las llamadas procedentes del extranjero, se calcula la probabilidad de que la llamada transite por un único nodo core o por dos nodos core. La probabilidad de que una llamada entregada en un PDI transite por un único nodo core para llegar a su destino es igual a la división del número de nodos core con un PDI entre el número total de nodos core, ya que el modelo asume que la llamada será entregada en el PDI más cercano al receptor de la misma.

$$\text{Probabilidad terminación intra nodo} = \frac{\text{Número nodos core con PDI}}{\text{Número de nodos core}}$$

De forma similar, la probabilidad de que una llamada procedente del extranjero transite por dos nodos core al terminar en la red de un operador es igual a:

$$\text{Probabilidad terminación intra nodo} = 1 - \frac{\text{Número nodos core con PDI}}{\text{Número de nodos core}}$$

Utilizando esta metodología se asignan los tráficos obtenidos en el módulo de mercado a sus correspondientes servicios de red.

6.3.5 Distribución del tráfico entre los nodos de red

A partir de la capacidad requerida por cada uno de los servicios de red en la hora cargada, el módulo de cálculo del tráfico de red convierte el tráfico asociado a estos servicios de red en carga de red. Para ello, se utilizan factores de enrutamiento que permiten calcular la utilización de cada activo por parte de cada servicio de red, estableciendo el tráfico que discurre entre los diferentes puntos de la red.

Primero se obtiene la utilización de los elementos de red en la hora cargada por tipo de activo en cada nivel de red. A continuación se distribuye el tráfico por servicio en cada nodo de la red en función del número de suscriptores agregado cuyo tráfico transita por cada nodo.

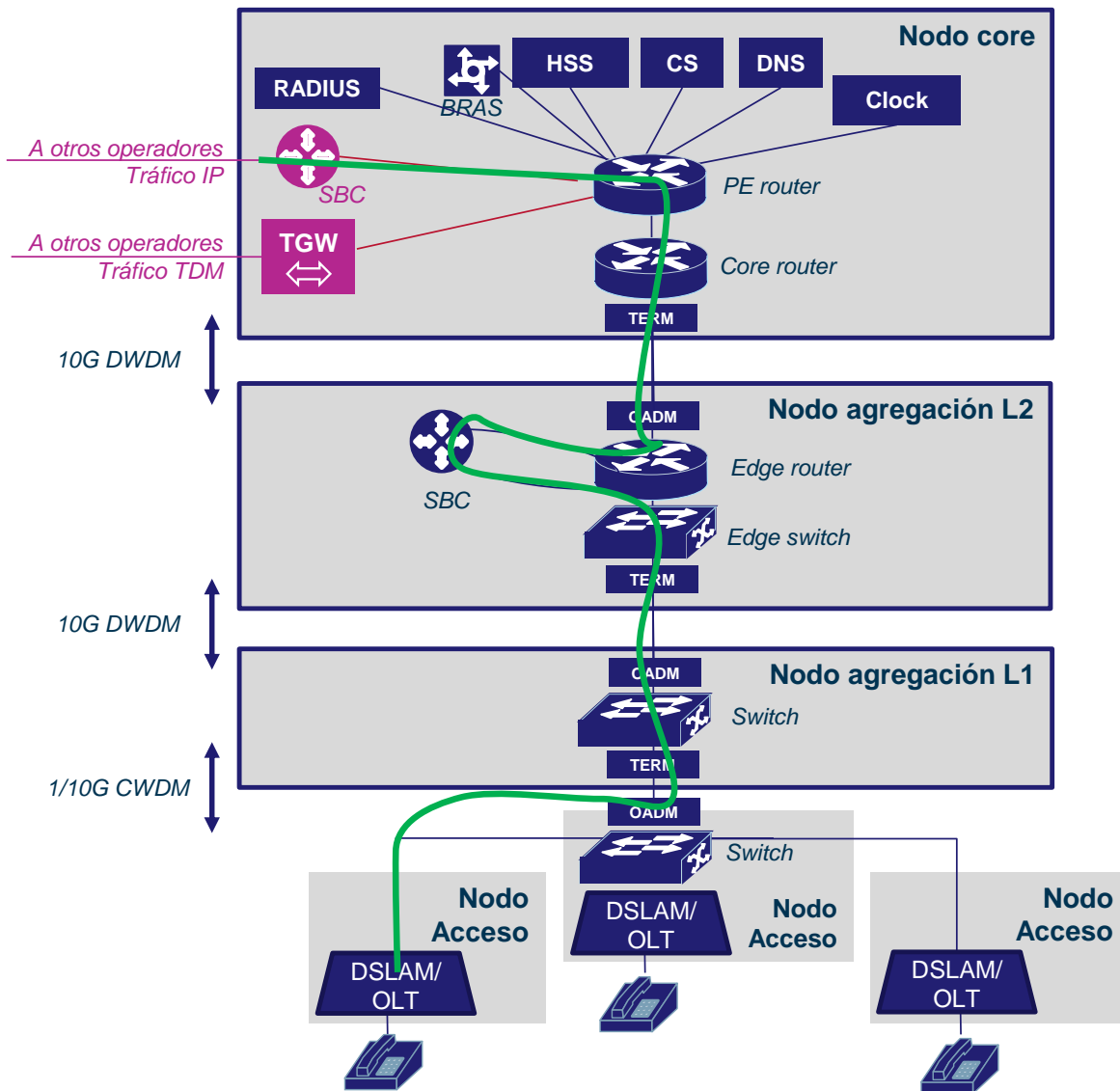
Pasamos ahora a explicar los factores de enrutamiento utilizados en el módulo de cálculo del tráfico de red, así como la desagregación de la capacidad obtenida a nivel de red en cada uno de los nodos.

Definición de los factores de enrutamiento

Los factores de enrutamiento tienen por objetivo determinar la utilización que cada servicio de red hace de cada elemento de red. La manera de obtener la capacidad efectiva para la que es necesario dimensionar cada recurso se halla multiplicando la capacidad en la hora cargada previamente obtenida por el número de veces que cada tipo de recurso es utilizado en cada tipo de llamada (factor de enrutamiento).

Por ejemplo, la Figura 6.13 muestra los elementos de red por los que circula una *llamada de voz off-net intra-nodo* en el caso de un operador con cobertura similar al incumbente. El camino que recorre la línea verde en la figura muestra que la llamada hace uso de los recursos de la red de acceso, *switch* de agregación L1, *switch* de agregación L2, SBC, *edge router*, *core router* y SBC de interconexión.

Figura 6.13: Esquema gráfico del flujo de una llamada off-net intra-nodo en el caso de un operador con cobertura similar al incumbente [Fuente: Analysys Mason, 2012]



La siguiente tabla incluye los factores de enrutamiento que se han definido para este tipo de llamada. En este ejemplo, dado que este tipo de llamadas sólo transita por un nodo core, el factor de enrutamiento asociado a los enlaces entre los nodos core es igual a 0.

	Factores de enrutamiento
Acceso	1
Enlaces entre red de acceso y agregación L1	1
Switch de agregación L1	1
Enlaces entre agregación L1 y agregación L2	1
Switch de agregación L2	1
SBC	1
Edge router	1
Core router	1
Interconexión SBC	1
Enlaces entre nodos core	0
PE router	0

Figura 6.14: Factores de enrutamiento para el caso de una llamada off-net intra-nodo [Fuente: Analysys Mason, 2012]

En el caso de una llamada on-net, la llamada transita dos veces por la red de acceso, los *switches* de agregación L1, los enlaces entre red de acceso y agregación, etc., del operador modelado, ya que en una llamada *on-net* tanto la rama saliente como la rama entrante de la misma discurren por la red del operador modelado. Por ello, los factores de enrutamiento asociados a estos recursos de red tienen un valor de 2.

Aplicando los factores de enrutamiento al tráfico de red en la hora cargada calculado previamente, se obtiene la carga de red en la hora cargada por tipo de recurso de red.

Desagregación del tráfico por nodo de red

Una vez obtenida la capacidad requerida en cada nivel de red, se calcula la capacidad necesaria en cada nodo de forma proporcional al número de suscriptores por servicio para cada uno de los nodos. Es decir, se distribuye de forma ponderada en función del número de líneas de voz, banda ancha a través de cobre, banda ancha a través de fibra e IPTV cuyo tráfico es agregado en cada nodo. Como se ha indicado previamente, en el módulo de cálculo del tráfico de red se asume que todos los suscriptores que acceden al mismo servicio utilizando la misma tecnología se comportan de manera homogénea.

Por ejemplo, para obtener el tráfico de voz que circula por los *core routers* de un nodo core se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Tráfico voz en router core 1} = \text{Tráfico total voz en routers core} * \frac{\text{Líneas voz en nodo 1}}{\text{Líneas voz totales}}$$

El tráfico de voz que circula por los *core routers* del operador modelado se distribuye de manera ponderada en función del número de líneas de voz cuyo tráfico es agregado en cada nodo.

De este modo, suponiendo que una vez se han aplicado los factores de enrutamiento la capacidad requerida en los *core routers* es igual a 10.000Mbit/s, que el número de líneas de voz agregadas en el

nodo core 1 es igual 1.000 líneas, y que el número total de líneas de voz es igual a 20.000, se deduce que hay que dimensionar los *core routers* del nodo core 1 para soportar un tráfico de 500Mbit/s.

$$500 = 10.000 * \frac{1.000}{20.000}$$

Finalmente, se calibra el modelo para garantizar que la suma total del tráfico por nodo y servicio coincide con el total del tráfico por nivel de red. Este método es matemáticamente equivalente a realizar la suma de capacidad requerida en cada uno de los nodos que dependen jerárquicamente de un nodo particular (o del tráfico generado por cada usuario en la red de acceso) para un nodo en concreto. Sin embargo, de este modo se simplifica la complejidad del modelo en MS Excel manteniendo la precisión necesaria para dimensionar la capacidad de la red a nivel de central.

6.3.6 Datos de salida del módulo

El módulo de cálculo del tráfico de red arroja los siguientes resultados:

- el tráfico transportado por el operador modelado para cada servicio y nodo de red en Mbit/s; la Figura 6.15 muestra un ejemplo de la capacidad requerida en los *core routers* del operador modelado en cada uno de sus nodos core
- el número de llamadas de voz exitosas
- los CDR diarios, necesarios para el dimensionamiento de algunos de los elementos de red.

Figura 6.15: Ejemplo del volumen de tráfico de datos de alta prioridad transportado en los nodos core [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Units	2008	2009	2010	2011	2012	2013	
Gold data traffic on the core routers							
Core nodes							
0810099	Mbps	5,671	9,061	18,730	24,902	33,727	45,484
0810026	Mbps	1,746	2,790	5,782	7,674	10,366	13,902
2410003	Mbps	2,891	4,620	9,606	12,804	17,285	23,155
2410002	Mbps	2,238	3,574	7,530	9,955	13,358	17,819
2810006	Mbps	1,665	2,658	5,543	7,332	9,900	13,276
2810065	Mbps	1,908	3,048	6,360	8,446	11,388	15,257
2910094	Mbps	2,844	4,543	9,445	12,565	16,995	22,747
2910002	Mbps	2,390	3,817	7,963	10,544	14,198	18,972
4110003	Mbps	852	1,360	2,833	3,726	4,979	6,686
4110098	Mbps	907	1,447	3,094	4,084	5,467	7,245
4610005	Mbps	2,126	3,396	6,983	9,260	12,484	16,714
4610004	Mbps	1,738	2,778	5,740	7,636	10,340	13,889
4810011	Mbps	1,154	1,843	3,852	5,126	6,934	9,276
4810015	Mbps	599	956	2,043	2,718	3,662	4,894
	Mbps	0	0	0	0	0	0
	Mbps	0	0	0	0	0	0
	Mbps	0	0	0	0	0	0
	Mbps	0	0	0	0	0	0
	Mbps	0	0	0	0	0	0
	Mbps	0	0	0	0	0	0
Total	Mbps	28,730	45,892	95,503	126,772	171,081	229,315

Ejemplo ilustrativo

6.4 Ficheros del módulo de cálculo del tráfico de red

El módulo de cálculo del tráfico de red está incluido en el fichero 3.1 *Traffic.xlsm*.

7 Módulo de dimensionamiento de la red

El módulo de dimensionamiento de la red calcula el número de activos que utiliza el operador modelado en el despliegue de su red. Ésta se dimensiona en base al tráfico de voz y datos que soporta la red en las horas cargadas, calculando el número total de activos que componen la red en cada uno de sus nodos – acceso, agregación y core – así como los enlaces necesarios para conectarlos entre ellos.

7.1 Introducción

En la Figura 7.1 se muestra un esquema del funcionamiento del módulo de dimensionamiento de red.

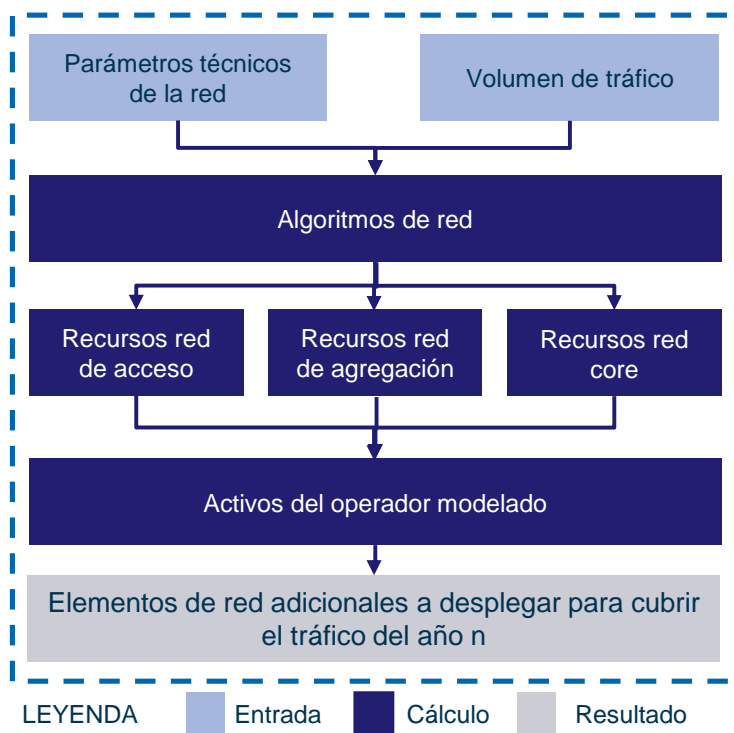


Figura 7.1: Esquema del funcionamiento del módulo de dimensionamiento de la red [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Los datos de entrada de este módulo se clasifican en función de las dos categorías siguientes:

- los **parámetros técnicos de red** que definen las reglas de diseño de cada elemento de red
- los **datos de tráfico** de todos los servicios de red, incluyendo
 - el tráfico generado por todos los servicios de red (voz, datos, vídeo, etc.) durante el horizonte temporal considerado en el modelo
 - la información anual relativa a la duración promedio de las llamadas en la hora cargada y del número de intentos de llamada en la hora cargada para cada servicio de voz ofrecido por el operador modelado
 - el tráfico transportado en los diferentes puntos de las redes de agregación y core del operador modelado
 - el tráfico transportado en cada una de las centrales de acceso del operador modelado.

A partir de estos datos, el módulo de dimensionamiento calcula el número de activos de red necesarios para transportar el tráfico en la hora cargada para cada uno de los años del modelo.

Asimismo, el módulo utiliza información relativa a:

- la vida útil de cada tipo de activo de red
- el periodo de planificación en meses, que indica el periodo de tiempo necesario para la planificación, contacto con fabricantes e instalación que transcurre antes de desplegar un activo.

A partir de esta información, se determina si es necesario reemplazar un activo existente por un nuevo activo, y cuándo es necesario adquirir nuevos activos en la red.

7.2 Estructura de la red modelada

Conceptualmente, la arquitectura de red está compuesta por tres niveles principales:

- la capa de acceso, donde el tráfico agregado en los DSLAMs (*digital subscriber line access multiplexers*) / OLTs (*optical line terminal*) se distribuye a la red de agregación del operador modelado
- la capa de agregación, que concentra el tráfico procedente de los DSLAMs/OLTs a través de *switches* de agregación y lo dirige al *edge* router donde se decide cómo tratar el tráfico
- la capa core, encargada de gestionar y distribuir el tráfico a nivel nacional.

La red es compatible con la implementación que se hace de una arquitectura IMS (*information management system*), tal y como la define el 3rd Generation Partnership Project (3GPP).

La siguiente tabla muestra los tipos de activos desplegados en cada uno de los niveles de red.

Figura 7.2: Tipos de activos de red desplegados en la red del operador modelado [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Activo	Descripción	Nivel de red
DSLAM	Multiplexa el tráfico de los suscriptores conectados a través del bucle de cobre y lo transmite a la red troncal, y <i>viceversa</i>	Acceso
OLT	Multiplexa el tráfico de los suscriptores conectados a través de la red GPON (<i>Gigabit passive optical network</i>) de fibra y lo transmite a la red troncal, y <i>viceversa</i>	Acceso
Switch	Agrega el tráfico procedente de diferentes recursos de red, y <i>viceversa</i> (p.ej: DSLAMs, OLTs, <i>edge routers</i>)	Acceso y agregación
Edge router	Enruta el tráfico procedente de las centrales de acceso hacia un nodo core o su central de acceso destino	Agregación
SBC (<i>session border controller</i>) de acceso	Desempeña funciones de seguridad y controla la asignación de recursos por llamada (o sesión)	Agregación
Core router	Enruta el tráfico que circula entre los nodos de agregación y los nodos core, así como entre los propios nodos core	Core

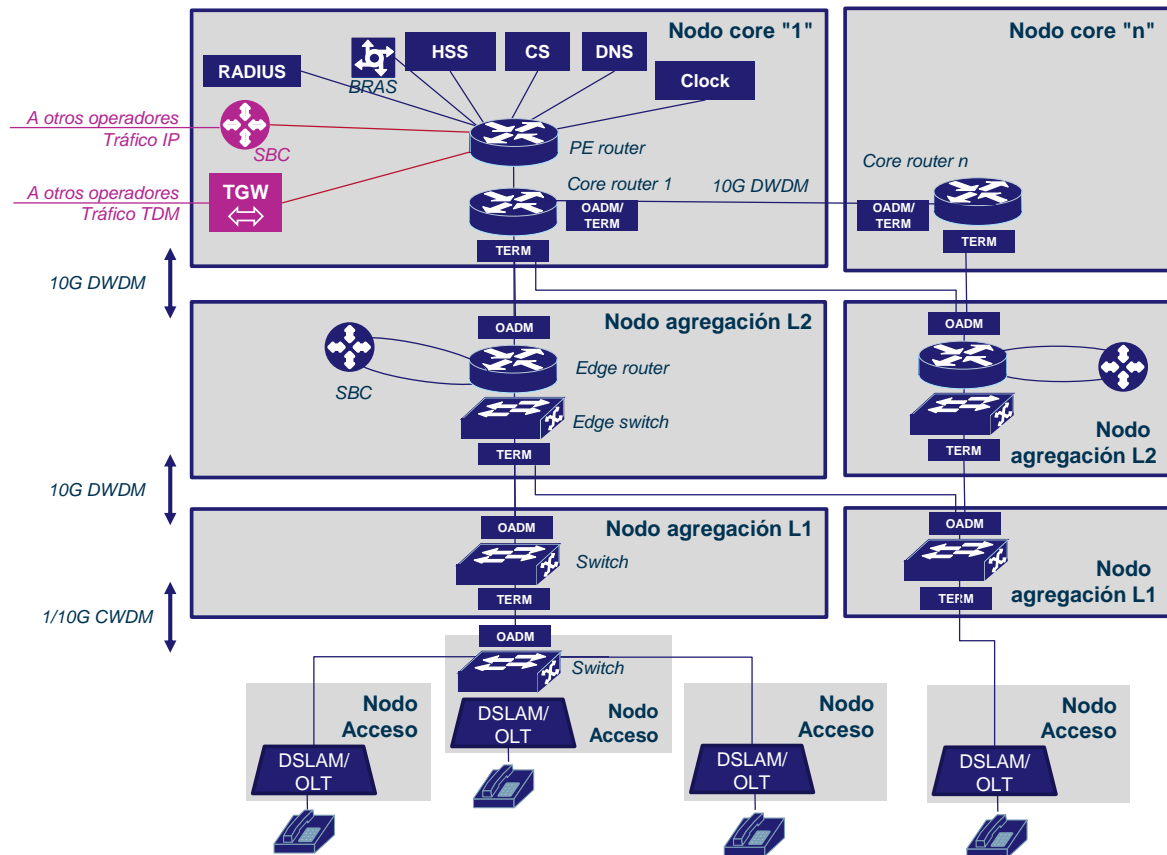
Activo	Descripción	Nivel de red
SBC de interconexión	Se encuentran ubicados en los PdIs de voz. Monitoriza el tráfico de interconexión para garantizar los acuerdos de nivel de servicio (SLA, por sus siglas en inglés)	Core
TGW (<i>trunking gateway</i>)	Se encuentran ubicados en los PdIs de voz. Convierte el tráfico TDM en tráfico IP para transmitirlo a la red troncal, y <i>viceversa</i>	Core
PE router	Agrega el tráfico procedente de las plataformas de servicios de datos y de interconexión y lo transmite a la red troncal. Crea una VPN/IP entre los elementos NGN y el resto de recursos de la red de voz.	Core
Call server/ <i>soft-switch</i>	Controla la señalización y habilita el enrutamiento de las llamadas de voz. Incluye también un conjunto de servicios de gestión (llamada en espera, transferencia de llamada, marcación rápida, etc.).	Core
DNS (<i>domain name server</i>)	Traduce los nombres de dominios en sus correspondientes direcciones IP	Core
RADIUS (<i>remote authentication dial-in user server</i>)	Desempeña las funciones de autenticación y autorización	Core
BRAS (<i>broadband remote access server</i>)	Aplica las políticas de calidad de servicio al tráfico de datos	Core
HSS (<i>home subscriber server</i>)	Contiene la información de los usuarios y sus perfiles	Core
VMS (<i>voice mail system</i>)	Ofrece las funcionalidades propias del buzón de voz	Core
AS (<i>application server</i>) – plataforma de red inteligente	Plataforma encargada de ofrecer los servicios de valor añadido	Core
Equipos de sincronización	Encargados de las tareas de sincronización de los equipos de red	Core
Plataforma de IPTV	Plataforma encargada de ofrecer los servicios de IPTV	Core
Plataforma de VoD	Plataforma encargada de ofrecer los servicios de VoD	Core
OADM (<i>optical add-drop multiplexer</i>)	Responsable de insertar o extraer lambdas en los nodos que forman parte de estructuras en anillo	Acceso, agregación y core
Multiplexadores terminales (TERM)	Multiplexan y demultiplexan los flujos de datos recibidos en cada nodo	Agregación y core
Transpondedores CWDM	Adapta una señal óptica a la longitud de onda adecuada para que pueda ser transmitida en sistemas CWDM	Acceso
Transpondedores DWDM	Adapta una señal óptica a la longitud de onda adecuada para que pueda ser transmitida en sistemas DWDM	Agregación y core
Amplificadores ópticos	Amplifica la señal óptica recibida	Agregación y core

En el módulo de dimensionamiento se definen principalmente dos tipos de arquitectura de red en función del escenario seleccionado: operador con cobertura similar al incumbente u operador alternativo. A continuación se describen cada una de estas arquitecturas de red.

7.2.1 Escenario del operador con cobertura similar al incumbente

La Figura 7.3 muestra la arquitectura de la red de un operador con cobertura similar al incumbente.

Figura 7.3: Arquitectura de la red modelada en el escenario del operador con cobertura similar al incumbente
[Fuente: Analysys Mason, 2012]



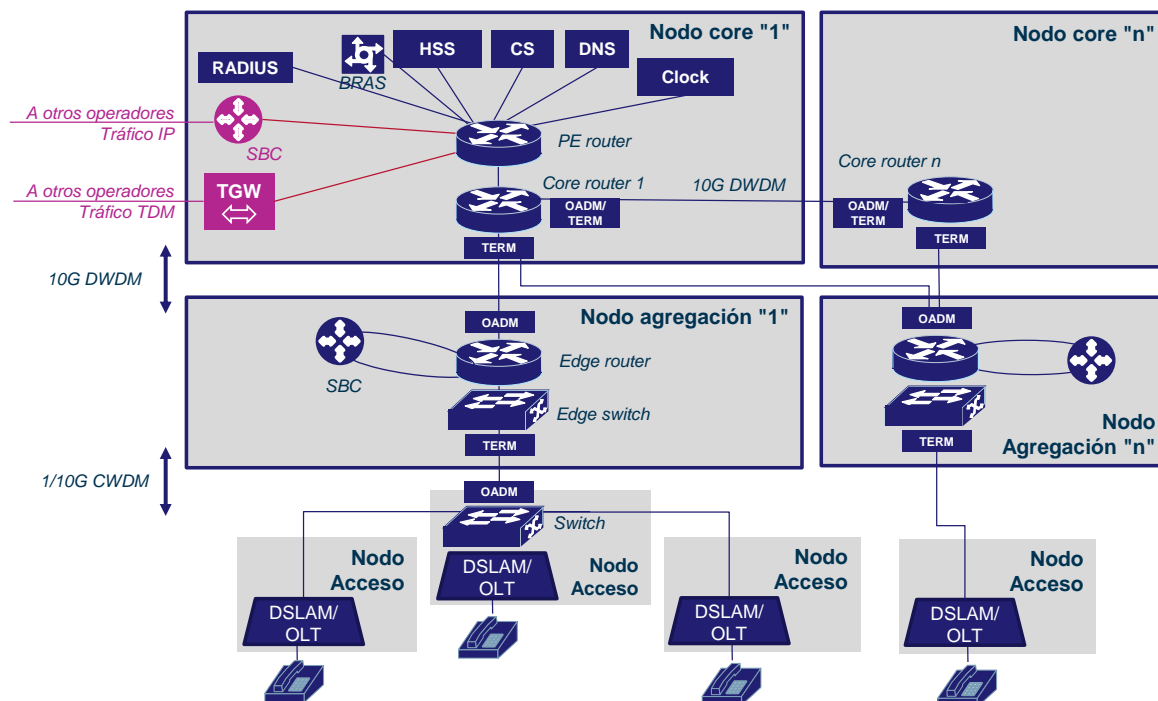
Para ofrecer un nivel de redundancia adecuado y evitar puntos de fallo en la red que puedan afectar a un número importante de usuarios, la red se ha diseñado teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

- las centrales de acceso más importantes se conectan utilizando estructuras en anillo con su nodo padre del nivel de agregación
- se han diseñado dos niveles en la capa de agregación (L1 y L2) que agregan el tráfico procedente de los niveles de red inferiores
- los nodos de agregación L1 se conectan a dos nodos L2 a través de estructuras en anillo
- los nodos de agregación L2 se conectan a dos nodos core a través de estructuras en anillo
- se despliega una topología totalmente mallada a nivel lógico entre los nodos core
- los enlaces se dimensionan para que la ocupación máxima en la hora cargada sea inferior al 50%, permitiendo establecer caminos alternativos en el caso de fallo en uno de los enlaces.

7.2.2 Escenario del operador alternativo

En el escenario del operador alternativo se considera un sólo nivel de agregación (ver Figura 7.4). Esto es debido a que el número de centrales de acceso es muy inferior al número de centrales existentes en el caso del operador con cobertura similar al incumbente, y por lo tanto las necesidades de agregación de tráfico se pueden satisfacer con un solo nivel de agregación.

Figura 7.4: Arquitectura de la red modelada en el escenario del operador alternativo [Fuente: Analysys Mason, 2012]



En este escenario, la red se ha diseñado conforme a los siguientes requisitos para garantizar un nivel de redundancia adecuado:

- las centrales de acceso más importantes se conectan con la capa de agregación utilizando estructuras en anillo
- los nodos de agregación se conectan a dos nodos core a través de estructuras en anillo
- se despliega una topología totalmente mallada a nivel lógico entre los nodos core
- los enlaces se dimensionan para que la ocupación máxima en la hora cargada sea inferior al 50%.

7.3 Descripción de funcionamiento del módulo de dimensionamiento de la red

Esta sección detalla paso a paso el procedimiento para dimensionar los activos de la red. Está estructurada como sigue:

- la Sección 7.3.1 describe la metodología utilizada para dimensionar los elementos de la red de acceso
- la Sección 7.3.2 describe la metodología empleada en el dimensionamiento de la red de agregación
- la Sección 7.3.3 describe el dimensionamiento de los elementos de la red core
- la Sección 7.3.4 detalla el cálculo del número de activos a desplegar anualmente
- la Sección 7.3.5 presenta los resultados que arroja el módulo de dimensionamiento de red.

7.3.1 Diseño de la red de acceso

La red de acceso es la encargada de multiplexar el tráfico procedente de los suscriptores finales y transmitirlo a la red troncal, y *viceversa*.

La Figura 7.5 muestra un esquema ilustrativo de la red de acceso, mientras que la tabla que sigue incluye una lista de los tipos de activos modelados en este nivel de red.

Figura 7.5: Esquema ilustrativo de la arquitectura modelada en la red de acceso [Fuente: Analysys Mason, 2012]

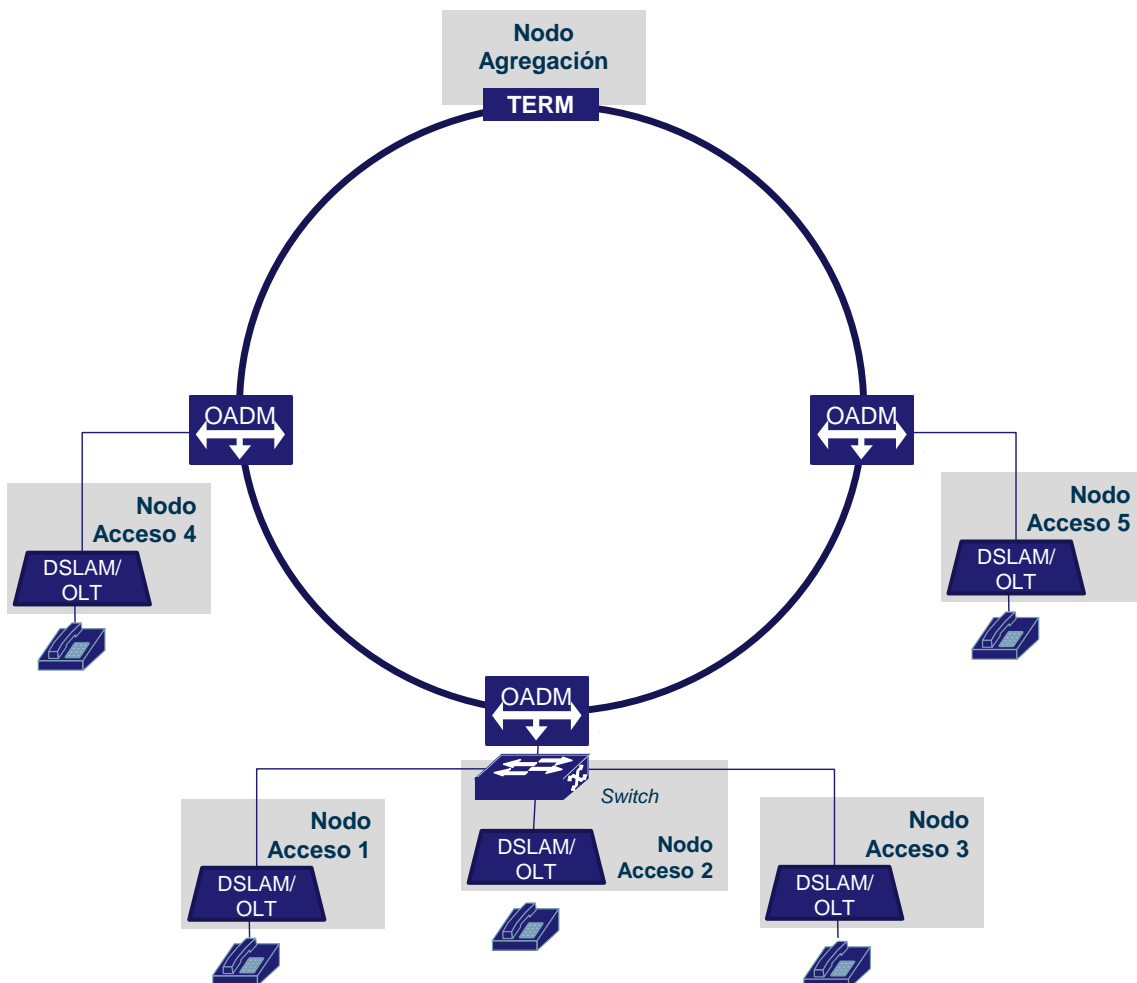


Figura 7.6: Tipos de activos modelados en la red de acceso [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Activo	Descripción
DSLAM	Multiplexa el tráfico de los suscriptores conectados a través del bucle de cobre y lo transmite a la red troncal, y <i>viceversa</i>
OLT	Multiplexa el tráfico de los suscriptores conectados a través la red GPON de fibra y lo transmite a la red troncal, y <i>viceversa</i>
Switch	Agrega y desagrega el tráfico procedente de diferentes recursos de red
Fibra óptica	Es el medio de transporte utilizado para transmitir el tráfico entre los nodos de la red
Conductos y canalizaciones	Es la infraestructura física utilizada para albergar la fibra
OADM	Es el responsable de insertar o extraer lambdas en los nodos que forman parte de estructuras en anillo
Transpondedores CWDM	Adapta una señal óptica a la longitud de onda adecuada para que pueda ser transmitida a través de sistemas CWDM

El módulo aplica algoritmos de dimensionamiento para obtener el número y tipo de los activos de red que conforman cada uno de los nodos de acceso durante el horizonte temporal considerado en el modelo. Para ello, se utilizan los datos de tráfico obtenidos en el módulo de cálculo de tráfico y los parámetros de configuración de los activos definidos en el modelo (ej. factor de utilización, número de puertos por tarjeta, ranuras por rack).

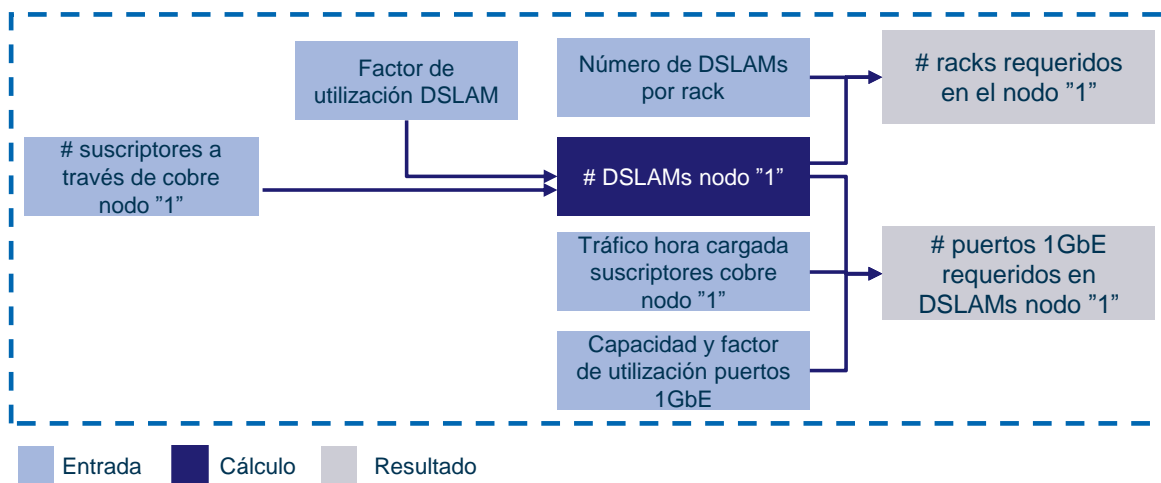
A continuación se tratan los siguientes aspectos relativos al dimensionamiento de la red de acceso:

- dimensionamiento de los DSLAMs del operador modelado
- dimensionamiento de los OLTs del operador modelado
- dimensionamiento de los *switches*
- dimensionamiento de los recursos de transmisión.

Dimensionamiento de los DSLAMs

Los DSLAMs se despliegan en todas las centrales de acceso en las que hay suscriptores de voz o de banda ancha utilizando la red de última milla de cobre. En la Figura 7.7 se muestra un esquema general de la metodología empleada para dimensionar los DSLAMs en un nodo de la red.

Figura 7.7: Esquema de la metodología utilizada para dimensionar el número de DSLAMs necesarios para un nodo y año concreto [Fuente: Analysys Mason, 2012]



► *Cálculo del número de DSLAMs y del número de racks*

La siguiente tabla incluye los parámetros utilizados en el dimensionamiento de los DSLAMs.

Parámetro	Valor
Número de DSLAMs por rack	3
Número de suscriptores por DSLAM	864
Factor de utilización de los DSLAMs	85%

Figura 7.8: Parámetros utilizados en el dimensionamiento de los DSLAMs [Fuente: Analysys Mason, 2012]

El número de DSLAMs por nodo se obtiene a partir del número de suscriptores que acceden a la red a través de la línea de cobre en cada una de las centrales de acceso:

$$N^{\circ} \text{ DSLAMs por nodo} = \text{Roundup}\left(\frac{N^{\circ} \text{ de suscriptores a través de cobre por nodo}}{\text{Capacidad de los DSLAMs} * \text{Factor utilización}}\right)$$

Una vez obtenido el número de DSLAMs por nodo, se calcula el número de racks necesarios para albergar los DSLAMs en cada central de acceso:

$$N^{\circ} \text{ racks} = \text{Roundup}\left(\frac{N^{\circ} \text{ de DSLAMs por nodo}}{\text{Capacidad de los racks}}\right)$$

► *Cálculo del número de puertos de transmisión*

La siguiente tabla incluye los parámetros utilizados para dimensionar los puertos de transmisión de los DSLAMs.

Parámetro	Valor
Número mínimo de puertos de 1GbE por DSLAM activo	1
Factor de utilización de los puertos de 1GbE aplicando la metodología 1 de calidad de servicio ¹¹¹²	60%
Factor de utilización de los puertos de 1GbE aplicando la metodología 2 de calidad de servicio	67.5%

Figura 7.9: Parámetros utilizados en el dimensionamiento de los puertos de transmisión de los DSLAMs [Fuente: Analysys Mason, 2012]

En función del tráfico transportado en cada nodo y teniendo en cuenta los factores de utilización de los puertos, se dimensiona el número de interfaces de red requeridos para transportar el tráfico a la red de agregación. Para calcular el tráfico transportado en cada nodo se tiene en cuenta que en aquellas centrales de acceso con suscriptores de IPTV, el tráfico multicast de televisión tiene que ser distribuido a todos los DSLAMs.

¹¹ Metodologías empleadas en el modelo para dimensionar la calidad de servicio (ver Sección 5).

¹² Los factores de utilización de los recursos de red que son incrementales con respecto al tráfico se definen a nivel de los puertos. De este modo, se sobredimensiona el número de puertos necesarios, y, consecuentemente, el número de tarjetas y racks.

A continuación se muestra la fórmula empleada para calcular el número de puertos de transmisión hacia la red troncal requeridos en los DSLAMs de cada central de acceso:

$$N^{\circ} \text{ puertos de 1Gb} = \text{Roundup}\left(\frac{\text{Tráfico suscriptores cobre por central de acceso}}{\text{Capacidad de los puertos de 1Gb} * \text{Factor utilización}}\right)$$

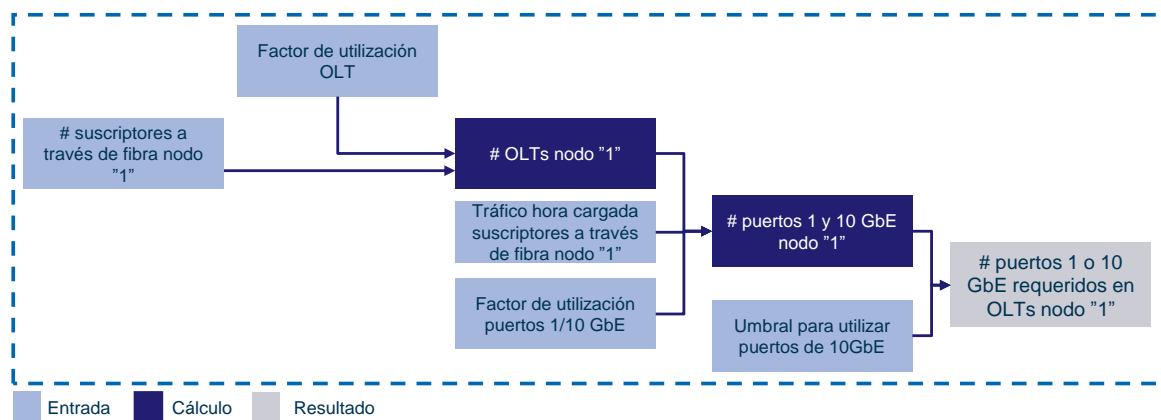
Dimensionamiento de los OLTs

Los OLTs se despliegan en todas las centrales de acceso cabecera en las que existen hogares a los que llega la red de fibra.

Es importante tener en cuenta que sólo se instalarán OLTs en las centrales cabecera de la red de fibra hasta el hogar (FTTH). Esto es debido a que los accesos a través de fibra soportan una mayor distancia desde la central local hasta el equipo del cliente que los accesos a través de cobre. De este modo, los OLTs de las centrales cabecera agregan el tráfico de los suscriptores de fibra ubicados en el área de centrales más pequeñas que no disponen de OLTs pero cuyos suscriptores se encuentran dentro del alcance propio de la tecnología GPON.

La Figura 7.10 muestra un esquema de la metodología empleada para calcular el número de OLTs para un nodo y año concreto.

Figura 7.10: Esquema de la metodología utilizada para calcular el número de OLTs necesarios para un nodo y año concreto [Fuente: Analysys Mason, 2012]



► Cálculo del número de OLTs

La siguiente tabla incluye los parámetros utilizados para dimensionar el número de OLTs:

Parámetro	Valor
Número de suscriptores por puerto GPON	64
Número de puertos por tarjeta OLT	10
Número de tarjetas OLT por rack	16
Factor de utilización de los OLTs considerando QoS	120%

Figura 7.11: Parámetros utilizados en el dimensionamiento de los OLTs [Fuente: Analysys Mason, 2012]

A partir del número de hogares a los que llega la red fibra y del factor de utilización de los OLTs, se obtiene el número de OLTs requeridos por nodo:

$$N^{\circ} \text{ OLTs por nodo} = \text{Roundup}\left(\frac{N^{\circ} \text{ de hogares pasados a través de fibra por nodo}}{\text{Capacidad de los OLTs} * \text{Factor utilización}}\right)$$

Para garantizar una mayor coherencia entre los otros modelos de costes desarrollados por la CMT, se utiliza un factor de utilización de 120% para dimensionar el número de OLTs necesarios por central de acceso – sobredimensionar el número de hogares pasados por fibra que son conectados a los puertos de los OLT es una práctica habitual entre los operadores.

► *Cálculo del número de puertos de transmisión*

Una vez obtenido el número de OLTs por nodo (central cabecera), se obtiene el número de puertos que son necesarios para transmitir el tráfico de los suscriptores finales hacia la red de agregación.

La siguiente tabla muestra los parámetros utilizados para dimensionar los puertos de transmisión de los OLTs:

Parámetro	Valor
Número mínimo de puertos de transmisión por OLT activo	1
Umbral de puertos de 1GbE a partir del cual se migra a puertos de 10GbE	2
Factor de utilización de los puertos de 1GbE aplicando la metodología 1 de calidad de servicio	60%
Factor de utilización de los puertos de 1GbE aplicando la metodología 2 de calidad de servicio	67.5%
Factor de utilización de los puertos de 10GbE aplicando la metodología 1 de calidad de servicio	60%
Factor de utilización de los puertos de 10GbE aplicando la metodología 2 de calidad de servicio	67.5%

Figura 7.12: Parámetros utilizados en el dimensionamiento de los puertos de transmisión de los OLTs [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Para calcular el tráfico transportado en cada nodo se tiene en cuenta que en aquellas centrales de acceso con suscriptores de IPTV, el tráfico multicast de televisión tiene que ser distribuido a todos los OLTs.

Los OLTs considerados en el modelo utilizan puertos de transmisión de 1GbE o de 10GbE en función del tráfico generado por los suscriptores en el área cubierta por cada central cabecera. En el módulo de dimensionamiento se calcula primero el número de puertos de 1GbE necesarios para transmitir el tráfico hacia la red troncal. En función del número de puertos requeridos se evalúa si es más adecuado utilizar puertos de transmisión de 1GbE o de 10GbE, en base a un umbral definido por los costes asociados a las dos configuraciones.

A continuación se muestra la fórmula utilizada para obtener el número de puertos de 1GbE y de 10GbE en los OLTs:

$$N^{\circ} \text{ puertos de 1/10Gb} = \text{Roundup}\left(\frac{\text{Tráfico suscriptores fibra por central de acceso}}{\text{Capacidad puertos de 1/10Gb} * \text{Factor utilización}}\right)$$

Dimensionamiento de los switches

En aquellas centrales de acceso en las que el tráfico es suficientemente importante se instalan *switches* que agregan el tráfico procedente de:

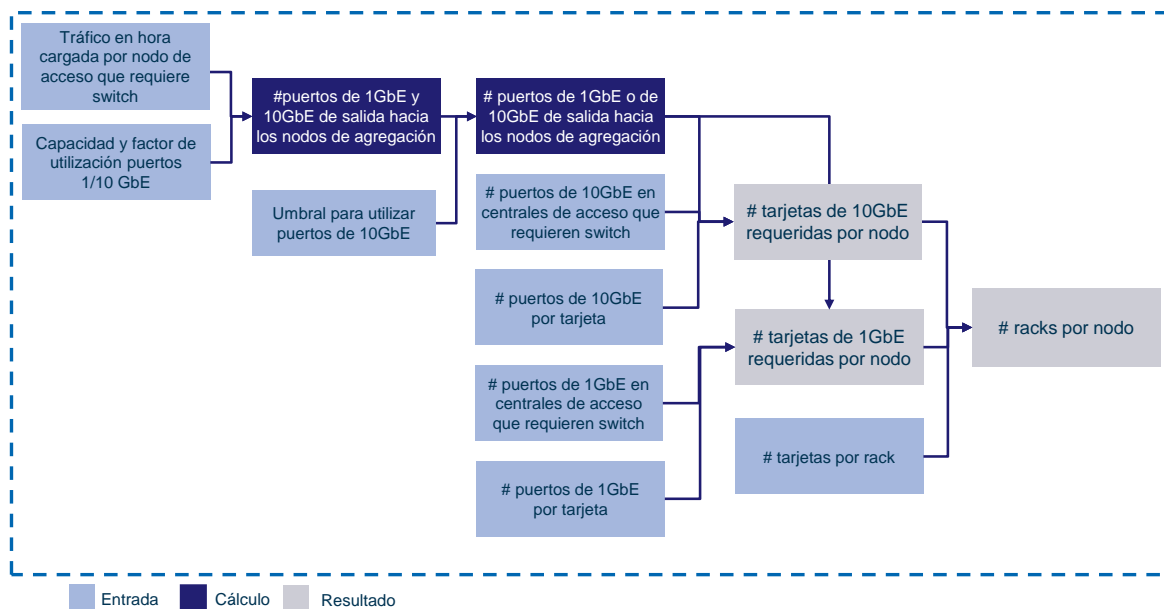
- los DSLAMs/OLTs de la propia central de acceso
- centrales de acceso remotas que se conectan a través de la central cabecera al anillo que conecta con la central de agregación más cercana.

El uso de *switches* permite disminuir la utilización de fibras ópticas en la red de acceso y optimizar el número de OADMs y de multiplexadores terminales necesarios en la red de transmisión que conecta los nodos de la red de acceso con los de la red de agregación. En el módulo de dimensionamiento se asume que es necesario instalar un *switch* en las siguientes situaciones:

- centrales de acceso que agregan el tráfico procedente de otras centrales remotas conectadas a través de estructuras en árbol
- centrales de acceso en las que el número de puertos de transmisión supera un umbral definido en el modelo.

En la Figura 7.13 se muestra un esquema de la metodología empleada para dimensionar los *switches* en los nodos de acceso:

Figura 7.13: Esquema de la metodología utilizada para calcular el número de switches en la red de acceso [Fuente: Analysys Mason, 2012]



El dimensionamiento de las tarjetas requeridas en los *switches* viene determinado por los siguientes parámetros:

- El número de puertos de 1GbE y de 10GbE necesarios para conectar el *switch* y los DSLAMs/OLTs.
- El número de puertos de salida que transmiten el tráfico hacia la red troncal del operador. El tráfico que circula por cada uno de los *switches* es igual a la suma del tráfico procedente de todos los DSLAMs/OLTs existentes en la central de acceso donde se ubica el *switch*, y del tráfico procedente de aquellas centrales remotas conectadas por enlace punto a punto al nodo de acceso cabecera. En función del número de puertos de salida requeridos se evalúa si es más adecuado utilizar puertos de transmisión de 1GbE o de 10GbE, en base a un umbral definido por los costes asociados a las dos configuraciones.

La siguiente tabla muestra los parámetros utilizados para dimensionar los *switches*.

Parámetro	Valor
Número máximo de puertos de transmisión a partir del cual es necesario instalar un <i>switch</i>	2
Número de puertos de 1GbE por tarjeta	48
Número de puertos de 10GbE por tarjeta	12
Factor de utilización de los puertos de 1GbE aplicando la metodología 1 de calidad de servicio	60%
Factor de utilización de los puertos de 1GbE aplicando la metodología 2 de calidad de servicio	67.5%
Factor de utilización de los puertos de 10GbE aplicando la metodología 1 de calidad de servicio	60%
Factor de utilización de los puertos de 10GbE aplicando la metodología 2 de calidad de servicio	67.5%
Número máximo de tarjetas por chasis	6

Figura 7.14: Parámetros utilizados en el dimensionamiento de los *switches* [Fuente: Analysys Mason, 2012]

A continuación se muestran las fórmulas utilizadas para obtener el número de puertos de salida de los *switches* de acceso:

$$N^{\circ} \text{ puertos de 1/10GbE} = \text{Roundup}\left(\frac{\text{Tráfico en los switches por central de acceso}}{\text{Capacidad puertos 1/10GbE} * \text{Factor utilización}}\right)$$

Una vez obtenido el número de puertos de 1Gb y de 10Gb requeridos en los *switches* para transmitir el tráfico hacia la red de agregación, se obtiene el número de tarjetas de 1Gb y de 10Gb en base al número de puertos de 1Gb y de 10Gb procedentes de los DSLAMs y OLTs de las correspondiente centrales de acceso:

$$N^{\circ} \text{ tarjetas 1GbE} = \text{Roundup}\left(\frac{N^{\circ} \text{ puertos de entrada 1GbE} + N^{\circ} \text{ puertos salida 1GbE}}{\text{Capacidad de las tarjetas de puertos de 1GbE}}\right)$$

$$N^{\circ} \text{ tarjetas 10GbE} = \text{Roundup}\left(\frac{N^{\circ} \text{ puertos entrada 10GbE} + N^{\circ} \text{ puertos salida 10GbE}}{\text{Capacidad de las tarjetas de puertos de 10GbE}}\right)$$

Finalmente, a partir del número de tarjetas necesarias por central de acceso, se obtiene el número de racks requeridos para soportar los *switches* de la red de acceso:

$$N^{\circ} \text{ racks} = \text{Roundup}\left(\frac{N^{\circ} \text{ tarjetas puertos } 1\text{GbE} + N^{\circ} \text{ tarjetas puertos } 10\text{GbE}}{\text{Capacidad de los racks}}\right)$$

Dimensionamiento de los recursos de transmisión

Las centrales de acceso se conectan entre sí y a su nodo padre de agregación utilizando estructuras en forma de árbol y anillos. Las principales centrales de acceso en términos de suscriptores se conectan a los nodos de agregación utilizando anillos CWDM con capacidad para un máximo de 16 lambdas de 1Gbit/s o de 10Gbit/s, mientras que aquellas centrales locales con un volumen de suscriptores bajo se conectan a una central de acceso cabecera utilizando árboles.

En la Figura 7.15 se muestra un ejemplo ilustrativo de la conexión de diez centrales de acceso a un nodo de agregación. En el ejemplo, los nodos *a9* y *a10* se conectan a través de un árbol o enlaces punto a punto al nodo cabecera *a4*, que a su vez está conectado al nodo de agregación a través de un anillo formado por ocho nodos de acceso.

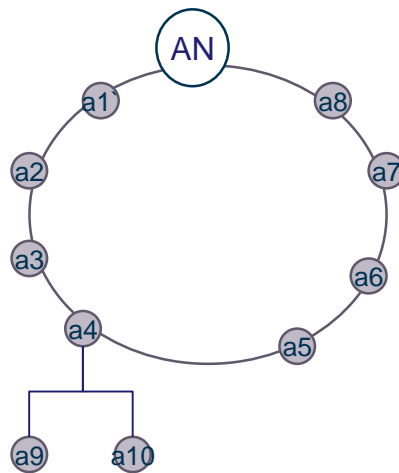


Figura 7.15: Ejemplo de la arquitectura de red empleada para conectar diez centrales de acceso a un nodo de agregación [Fuente: Analysys Mason, 2012]

A continuación se describe la metodología empleada para dimensionar los recursos de transmisión de la red de acceso.

► *Transpondedores*

Los transpondedores permiten adaptar la señal procedente de los DSLAMs, OLTs y *switches* a las longitudes de onda requeridas para transmitir la señal por anillos CWDM. Se utilizan dos transpondedores por puerto de *backhaul*, de este modo es posible transmitir la señal a ambos lados del anillo, ofreciendo una mayor redundancia.

Al utilizar estructuras CWDM es necesario añadir un transpondedor por canal para regenerar la señal en los anillos cuya longitud sea superior a 50km. En el caso de los anillos cuya longitud sea superior a 100km, será necesario añadir dos transpondedores por canal. En función de la capacidad de las lambdas se utilizarán transpondedores con puertos de 1GbE o de 10GbE.

► OADMs

Los OADMs son los elementos de red responsables de insertar o extraer lambdas en los nodos que forman parte de estructuras en anillo.

Se utiliza un puerto OADM por cada puerto de transmisión de los DSLAMs, OLTs y *switches* del operador modelado; es decir, por cada lambda utilizada para transmitir la señal a la red de agregación a través de los anillos CWDM.

En el modelo se ha realizado la estimación de que el número de OADMs por central de acceso coincide con el número de sistemas CWDM requeridos para transportar las lambdas de *backhaul* en cada uno de los anillos que forman la red de acceso.

La siguiente fórmula muestra cómo se calcula el número de OADMs a partir del número de lambdas transmitidas en cada anillo de acceso:

$$N^{\circ} \text{ OADMs} = \text{Roundup}\left(\frac{N^{\circ} \text{ de lambdas de backhaul por anillo de acceso}}{\text{Capacidad de los sistemas CWDM}}\right)$$

7.3.2 Diseño de la red de agregación

La red de agregación es la encargada de concentrar el tráfico procedente de la red de acceso y distribuirlo a la red core del operador. En función de si se está modelando un operador con cobertura similar al incumbente o de un operador alternativo, la red dispondrá respectivamente de dos niveles de agregación o de un solo nivel.

La siguiente tabla incluye una lista de los tipos de activos modelados en la red de agregación.

Figura 7.16: Tipos de activos modelados en la red de agregación [Fuente: Analysys Mason, 2012]

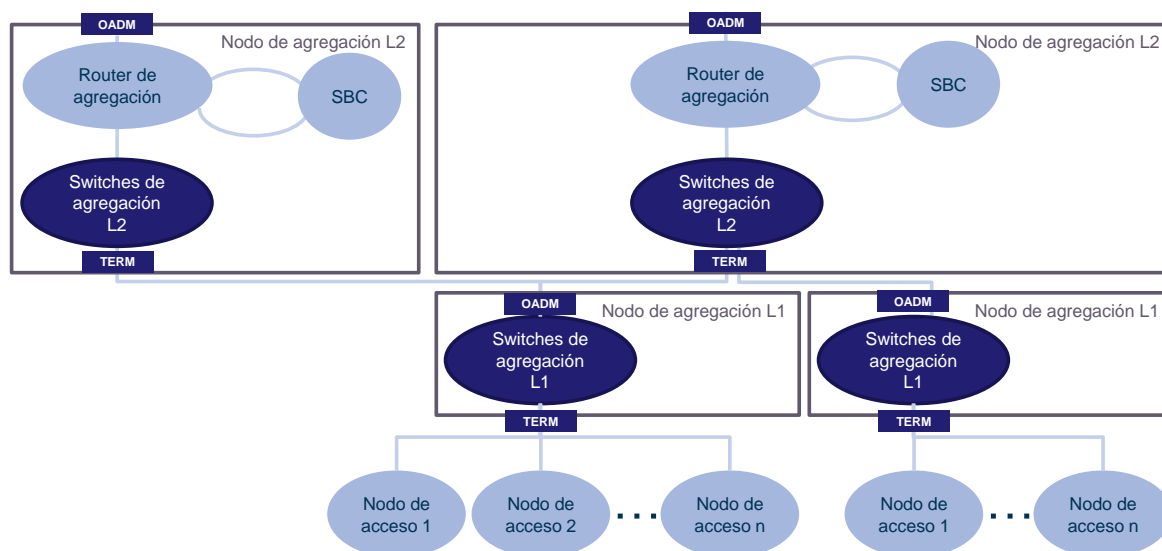
Activo	Descripción
Switch	Agrega el tráfico procedente de diferentes recursos de red, y <i>viceversa</i> (p.ej: DSLAMs, OLTs, edge router)
Edge router	Enruta el tráfico procedente de las centrales de acceso hacia un nodo core o su central de acceso destino si esta se encuentra dentro del área cubierta por el mismo nodo de agregación que al central de origen
SBC de acceso	Desempeña funciones de seguridad y controla la asignación de recursos por llamada (o sesión)
OADM	Es el responsable de insertar o extraer lambdas en los nodos que forman parte de estructuras en anillo
Multiplexadores terminals (TERM)	Multiplexa y demultiplexa los flujos de datos recibidos en cada nodo
Transpondedores DWDM	Adapta una señal óptica a la longitud de onda adecuada para que pueda ser transmitida en sistemas DWDM
Amplificadores ópticos	Amplifica la señal óptica recibida

A continuación se describen los dos tipos de arquitecturas modeladas, así como la metodología empleada en el dimensionamiento de los distintos recursos de la red de agregación (*switches* de agregación, SBCs de acceso, *routers* de agregación y los recursos de transmisión).

Red de agregación en el escenario del operador con cobertura similar al incumbente

En la Figura 7.17 se muestra la arquitectura de la red modelada en el escenario del operador con cobertura similar al incumbente.

Figura 7.17: Arquitectura de la red de agregación modelada en el escenario del operador con cobertura similar al incumbente [Fuente: Analysys Mason, 2012]



Este escenario se caracteriza por utilizar dos niveles de agregación. De este modo se pretende mejorar la redundancia y la escalabilidad de la red, evitando así que exista un único punto de fallo que pueda afectar al servicio de un número importante de centrales de acceso y permitiendo soportar un mayor tráfico de datos sin afectar al servicio ofrecido:

- El primer nivel de agregación (L1) está formado por un *switch* de agregación que agrega el tráfico procedente de la red de acceso. Cada nodo de agregación L1 está conectado a dos nodos de agregación del nivel superior.
- El segundo nivel de agregación (L2) está formado por un *switch*, un *router* y un SBC de acceso. Cada nodo de agregación L2 se conecta a dos nodos core.

Red de agregación en el escenario del operador alternativo

En el escenario en el que se modela un operador alternativo existe un único nivel de red de agregación, tal y como se muestra en la Figura 7.18.

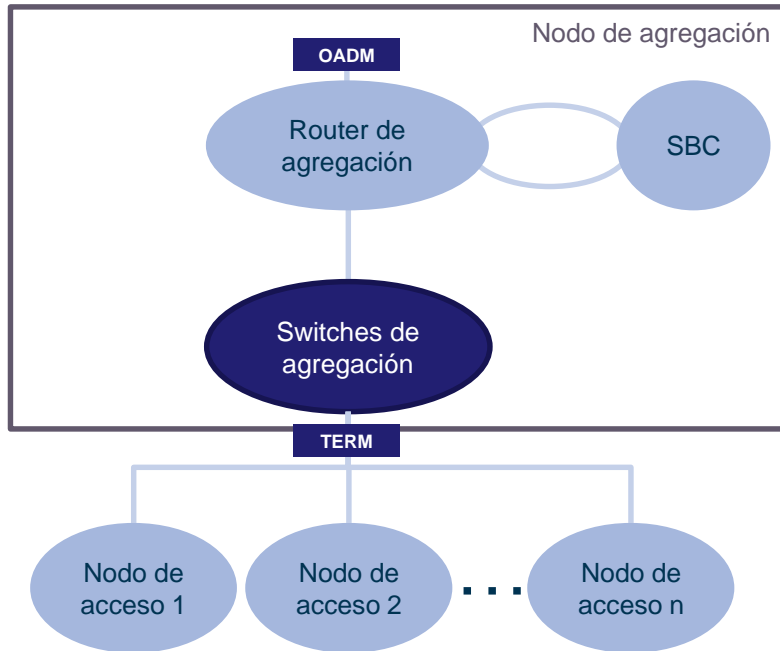


Figura 7.18: Ejemplo de la arquitectura de la red de agregación modelada en el escenario del operador alternativo [Fuente: Analysys Mason, 2012]

En este escenario la arquitectura de la red del operador modelado sólo dispone de una capa en el nivel de agregación ya que el número de nodos de acceso conectados a cada nodo de agregación no es lo suficientemente alto como para hacer necesario disponer de dos capas de agregación. Es decir, el número de centrales de acceso que dependen de cada nodo de agregación es similar al número de nodos de acceso que dependen de cada nodo de agregación L1 en el caso del operador con cobertura de incumbente.

Para mejorar la redundancia de la red, cada nodo de agregación se conecta a dos nodos core.

Dimensionamiento de los switches de agregación

El *switch* de agregación es el encargado de concentrar el tráfico procedente de los nodos de acceso y transmitirlo al *router* de agregación. Adicionalmente, la cabecera de las plataformas de televisión/VoD se conectan al nivel del *switch* de agregación.

En el caso del operador con cobertura similar al incumbente existen *switches* de agregación en todos los nodos de agregación L1 y L2 del operador modelado, mientras que en el escenario del operador alternativo hay al menos un *switch* por cada nodo de agregación activo.

A continuación se muestran los parámetros utilizados para dimensionar los *switches*.

Parámetro	Valor
Número máximo de puertos de transmisión a partir del cual es necesario instalar un <i>switch</i>	2
Número de puertos de 1GbE por tarjeta	48
Número de puertos de 10GbE por tarjeta	12
Factor de utilización de los puertos de 1GbE aplicando la metodología 1 de calidad de servicio	40%
Factor de utilización de los puertos de 1GbE aplicando la metodología 2 de calidad de servicio	42.5%
Factor de utilización de los puertos de 10GbE aplicando la metodología 1 de calidad de servicio	40%
Factor de utilización de los puertos de 10GbE aplicando la metodología 2 de calidad de servicio	42.5%
Número máximo de tarjetas por chassis	6

Figura 7.19: Parámetros utilizados en el dimensionamiento de los *switches* [Fuente: Analysys Mason, 2012]

La metodología empleada para dimensionar este tipo de recursos es similar para los *switches* utilizados en el escenario del operador alternativo y en el escenario del operador con cobertura similar al incumbente, salvo por las siguientes diferencias:

- en el caso de los *switches* de agregación L1 en el caso del operador con cobertura de incumbente y de los *switches* de agregación del operador alternativo, el volumen de tráfico procedente de cada elemento de la red de acceso tiene una capacidad de 1Gbit/s o de 10Gbit/s
- los *switches* ubicados en los nodos de agregación L2 sólo reciben enlaces con una capacidad de 10Gbit/s; esto es debido a que el *switch* L1 ha agregado previamente el tráfico en puertos de 10Gbit/s.

Se utiliza la siguiente fórmula para calcular el número de puertos de transmisión hacia los nodos de nivel superior en los *switches* de agregación L1. El número de puertos necesarios para transportar el tráfico hacia los nodos de agregación L2 se multiplica por dos, evitando así que un fallo en un nodo de nivel superior (agregación L2) afecte al servicio de los usuarios.

$$N^{\circ} \text{ puertos de 10GbE en switch agg. L1} = \text{Roundup} \left(\frac{\text{Tráfico hora cargada}}{\text{Capacidad} * \text{Factor utilización}} \right) * 2$$

El número de puertos de transmisión hacia los nodos de nivel superior en los *switches* de agregación del operador alternativo se calcula en base a la siguiente fórmula:

$$N^{\circ} \text{ puertos 10GbE por nodo} = \text{Roundup} \left(\frac{\text{Tráfico hora cargada por central agregación}}{\text{Capacidad puertos 10GbE} * \text{Factor utilización}} \right)$$

En este caso, el número de puertos obtenidos para transportar el tráfico hacia los nodos de nivel superior no se multiplica por dos. Esto es debido a que los *switches* de agregación modelados en el escenario del operador alternativo se conectan a un *router* de agregación del mismo nodo, sin que dicho enlace esté redundado.

Una vez obtenido el número de puertos de transmisión hacia los nodos de nivel superior, se añade el número de puertos requeridos para soportar los enlaces de 1GbE y de 10GbE procedentes de los nodos de la red de acceso, y se obtiene el número de tarjetas requeridas por nodo:

$$N^{\circ} \text{ tarjetas } 1GbE = \text{Roundup}\left(\frac{N^{\circ} \text{ puertos de entrada } 1GbE}{\text{Capacidad de las tarjetas de puertos de } 1GbE}\right)$$

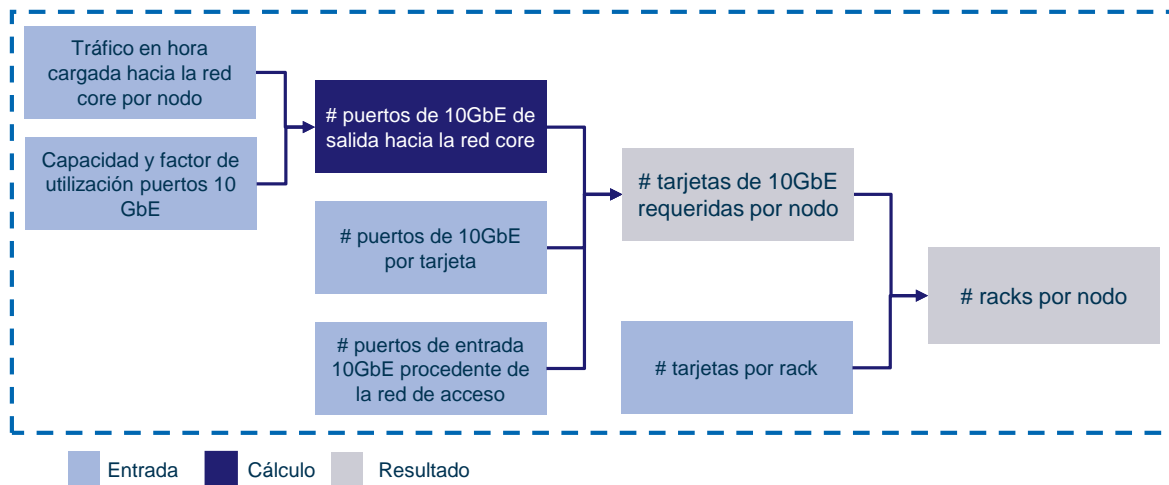
$$N^{\circ} \text{ tarjetas } 10GbE = \text{Roundup}\left(\frac{N^{\circ} \text{ puertos entrada } 10GbE + N^{\circ} \text{ puertos salida } 10GbE}{\text{Capacidad de las tarjetas de puertos de } 10GbE}\right)$$

Finalmente, a partir del número de tarjetas requeridas por central, se calcula el número de racks necesarios para soportar los *switches* en cada uno de los nodos de agregación:

$$N^{\circ} \text{ racks por nodo} = \text{Roundup}\left(\frac{N^{\circ} \text{ tarjetas puertos } 1GbE + N^{\circ} \text{ tarjetas puertos } 10GbE}{\text{Capacidad de los racks}}\right)$$

La Figura 7.20 muestra un esquema de la metodología empleada para dimensionar los *switches* de agregación L2.

Figura 7.20: Esquema de la metodología utilizada para calcular el número de *switches* desplegados en los nodos de agregación L2 [Fuente: Analysys Mason, 2012]



Las fórmulas empleadas para calcular el número de puertos, tarjetas y racks de los *switches* de agregación L2 son las siguientes:

$$N^{\circ} \text{ puertos } 10GbE \text{ por nodo} = \text{Roundup}\left(\frac{\text{Tráfico hora cargada por central agregación}}{\text{Capacidad puertos } 10GbE * \text{Factor utilización}}\right)$$

$$N^{\circ} \text{ tarjetas } 10GbE = \text{Roundup}\left(\frac{N^{\circ} \text{ puertos entrada } 10GbE + N^{\circ} \text{ puertos salida } 10GbE}{\text{Capacidad de las tarjetas de puertos de } 10GbE}\right)$$

$$N^{\circ} \text{ racks por nodo} = \text{Roundup}\left(\frac{N^{\circ} \text{ tarjetas puertos } 10GbE}{\text{Capacidad de los racks}}\right)$$

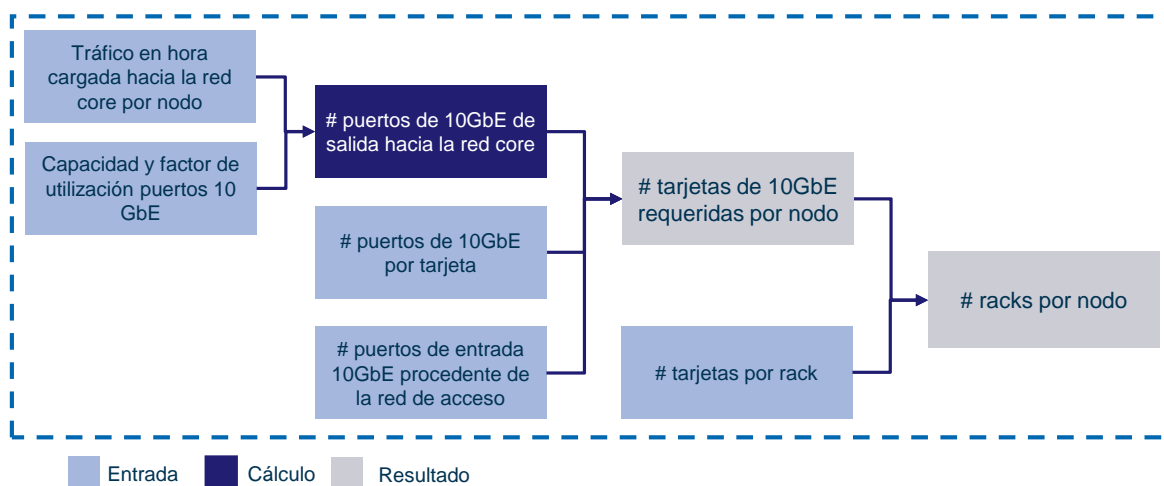
Dimensionamiento de los SBCs de acceso

El SBC desempeña funciones de seguridad, de gestión de la calidad de servicio y de control de la asignación de recursos por llamada (o sesión). Los SBCs se despliegan en los siguientes nodos de la red:

- en cada nodo de agregación en el escenario en el que se modela un operador alternativo
- en cada nodo de agregación L2 en el escenario en el que se modela un operador con cobertura similar al incumbente.

La Figura 7.21 muestra de forma esquemática la metodología empleada para dimensionar los SBCs de acceso.

Figura 7.21: Esquema de la metodología empleada en el dimensionamiento de los SBCs de acceso [Fuente: Analysys Mason, 2012]



En la siguiente tabla se muestran los parámetros utilizados en el dimensionamiento de los SBC de acceso.

Parámetro	Valor
Tipo de puertos utilizados	1Gbit/s
Número de puertos por tarjeta	2
Número de tarjetas por rack	2
Factor de utilización de los puertos aplicando la metodología 1 de calidad de servicio	40%
Factor de utilización de los puertos aplicando la metodología 2 de calidad de servicio	42.5%

Figura 7.22: Parámetros utilizados en el dimensionamiento de los SBCs de acceso [Fuente: Analysys Mason, 2012]

La fórmula empleada para dimensionar el número de puertos requeridos para soportar el volumen de tráfico de voz en la hora cargada por los SBCs de acceso es la siguiente:

$$N^{\circ} \text{ puertos de 1GbE} = \text{Roundup} \left(\frac{\text{Tráfico por los SBC de acceso} * 2}{\text{Capacidad puertos 1GbE} * \text{Factor utilización}} \right)$$

Cómo se muestra en la fórmula, el tráfico se multiplica por 2 para incluir tanto el tráfico recibido como el enviado a los routers de agregación.

Una vez obtenido el número de puertos, se utilizan las siguientes fórmulas para calcular el número de tarjetas y el número de racks necesarios para soportar el tráfico en los SBC de acceso.

$$N^{\circ} \text{ tarjetas } 1GbE = \text{Roundup}\left(\frac{N^{\circ} \text{ puertos } 1GbE}{\text{Capacidad de las tarjetas de puertos de } 1GbE}\right)$$

$$N^{\circ} \text{ racks} = \text{Roundup}\left(\frac{N^{\circ} \text{ tarjetas puertos } 1GbE}{\text{Capacidad de los racks}}\right)$$

Dimensionamiento de los routers de agregación

Los *routers* de agregación son los encargados de enrutar el tráfico procedente de las centrales de acceso hacia:

- la central de acceso a la que el tráfico va destinado, en el caso de que el destinatario de la llamada se encuentre dentro del ámbito de cobertura del mismo nodo de agregación que el emisor de la llamada
- hacia la red core en el resto de las situaciones.

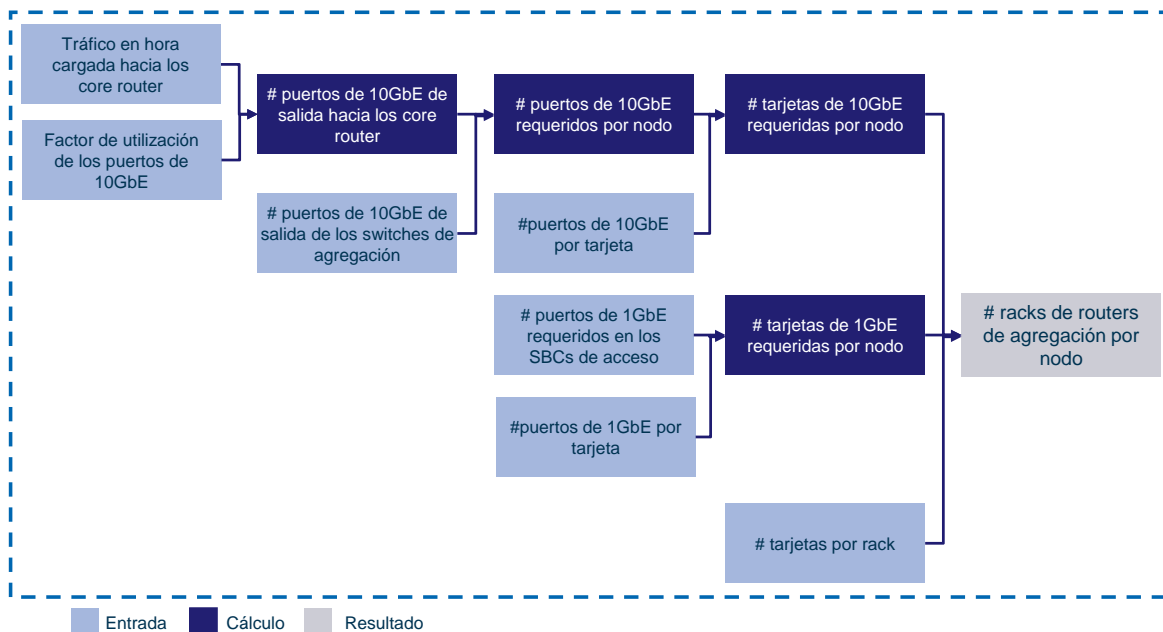
Al igual que los SBCs, los *routers* de agregación se encuentran presentes en cada nodo de agregación en el caso del operador alternativo, y en cada nodo de agregación L2 en el caso de un operador con cobertura similar al incumbente.

El dimensionamiento de los *routers* de agregación viene determinado por los siguientes factores:

- número de puertos de 10Gbit/s necesarios para conectarse con los *switches* de agregación
- número de puertos de 1Gbit/s necesarios para conectarse con el SBC de acceso del mismo nodo
- el volumen de tráfico agregado de todos los servicios que distribuye hacia los *routers* a nivel core.

La Figura 7.23 muestra de manera esquemática la metodología empleada para dimensionar los *routers* de agregación.

Figura 7.23: Esquema de la metodología empleada en el dimensionamiento de los routers de agregación
[Fuente: Analysys Mason, 2012]



Describimos a continuación la metodología empleada para calcular el número de tarjetas y de racks de los routers de agregación por nodo.

► *Cálculo del número de tarjetas de 10GbE por router de agregación*

Se han utilizado los siguientes parámetros para dimensionar las tarjetas de 10GbE de los routers de agregación:

Parámetro	Valor
Número de puertos de 10GbE por tarjeta	2
Factor de utilización de los puertos aplicando la metodología 1 de calidad de servicio	40%
Factor de utilización de los puertos aplicando la metodología 2 de calidad de servicio	42.5%

Figura 7.24: Parámetros utilizados en el dimensionamiento de las tarjetas de 10GbE en los routers de agregación
[Fuente: Analysys Mason, 2012]

A partir del tráfico que circula por los nodos de agregación hacia los nodos core se obtiene el número de puertos de 10GbE de transmisión en cada nodo de agregación. Para ello, se utiliza la siguiente fórmula:

$$N^{\circ} \text{ puertos de 10GbE} = \text{Roundup} \left(\frac{\text{Tráfico hora cargada por router de agregación}}{\text{Capacidad puertos 10GbE} * \text{Factor utilización}} \right) * 2$$

Tal y como se muestra en la fórmula, el número de puertos necesarios para transportar el tráfico hacia los nodos core se multiplica por dos. De este modo, se evita que un fallo en un nodo de nivel superior afecte al servicio de los usuarios.

Al número de puertos de salida hacia los nodos core de 10GbE se añade el número de puertos de 10GbE requeridos para conectar los *router* de agregación a los *switches* de agregación, obteniendo así el número de puertos totales de 10GbE requeridos en cada nodo.

Una vez calculado el número de puertos de 10GbE requeridos por nodo, se obtiene el número de tarjetas que es necesario instalar en los *router* de agregación de cada nodo. Para ello, se aplica la siguiente fórmula.

$$\text{Tarjetas 10GbE} = \text{Roundup} \left(\frac{\text{Puertos 10GbE hacia switch} + \text{Puertos 10GbE hacia core}}{\text{Capacidad tarjetas 10GbE}} \right)$$

► *Cálculo del número de tarjetas de 1GbE por router de agregación*

A continuación se muestran los parámetros utilizados para dimensionar las tarjetas de 1GbE en los *router* de agregación:

Parámetro	Valor
Número de puertos de 1GbE por tarjeta	20
Factor de utilización de los puertos aplicando la metodología 1 de calidad de servicio	40%
Factor de utilización de los puertos aplicando la metodología 2 de calidad de servicio QoS	42.5%

Figura 7.25: Parámetros utilizados en el dimensionamiento de las tarjetas de 1GbE en los *router* de agregación
[Fuente: Analysys Mason, 2012]

El número de puertos de 1GbE requeridos en los *router* de agregación es igual al número de puertos de salida en los SBCs de acceso. De este modo, se utiliza la siguiente fórmula para calcular el número de tarjetas de 1GbE requeridas:

$$\text{Tarjetas 1GbE en routers de agregación} = \text{Roundup} \left(\frac{\text{Puertos 1GbE hacia SBC acceso}}{\text{Capacidad tarjetas 1GbE}} \right)$$

► *Cálculo del número de racks para los router de agregación*

Finalmente se suma el número de tarjetas de 1GbE y de 10GbE requeridas y se dimensiona el número de racks por nodo, teniendo en cuenta que es posible ubicar hasta 12 tarjetas por rack.

Dimensionamiento de los recursos de transmisión

Los nodos de agregación se conectan entre sí a través de anillos DWDM de un máximo de 40 lambdas por anillo de fibra. A continuación se muestra la metodología empleada para modelar los recursos de transmisión.

► *Multiplexadores terminales*

Los multiplexadores terminales se encargan de demultiplexar los flujos de datos recibidos en cada nodo.

A partir del número de puertos de transmisión en las centrales que componen los anillos de acceso, se calcula el número de fibras ópticas activas para cumplir con las previsiones de tráfico en la hora cargada del operador modelado. El número de multiplexadores terminales desplegados en los nodos de agregación coincide con el número de anillos de fibra activos.

En el caso de modelar un operador con cobertura similar al incumbente es necesario calcular el número de multiplexadores terminales en los nodos de agregación L1 y L2 utilizando la misma metodología.

► *Transpondedores*

Los transpondedores permiten adaptar la señal procedente de los *router* de agregación y de los *switches* de agregación L1 a las longitudes de onda requeridas para transmitir la información por anillos DWDM.

Se utilizan dos transpondedores por puerto de *backhaul*, de este modo es posible transmitir la señal a ambos lados del anillo, ofreciendo una mayor redundancia.

► *OADMs*

Se instala un OADM por cada sistema DWDM activo en cada anillo de agregación (tanto a nivel L1 como a nivel L2).

► *Amplificadores ópticos*

Se despliegan amplificadores ópticos cada 80km del anillo DWDM de fibra.

7.3.3 Diseño de la red core

La red core es el nivel de red encargado de gestionar y distribuir el tráfico a nivel nacional.

En la Figura 7.26 se muestra un esquema ilustrativo de la red core del operador modelado, mientras que la tabla que sigue incluye una lista de los tipos de activos modelados en este nivel de red.

Figura 7.26: Esquema ilustrativo de la arquitectura de la red modelada en el nivel core [Fuente: Analysys Mason, 2012]

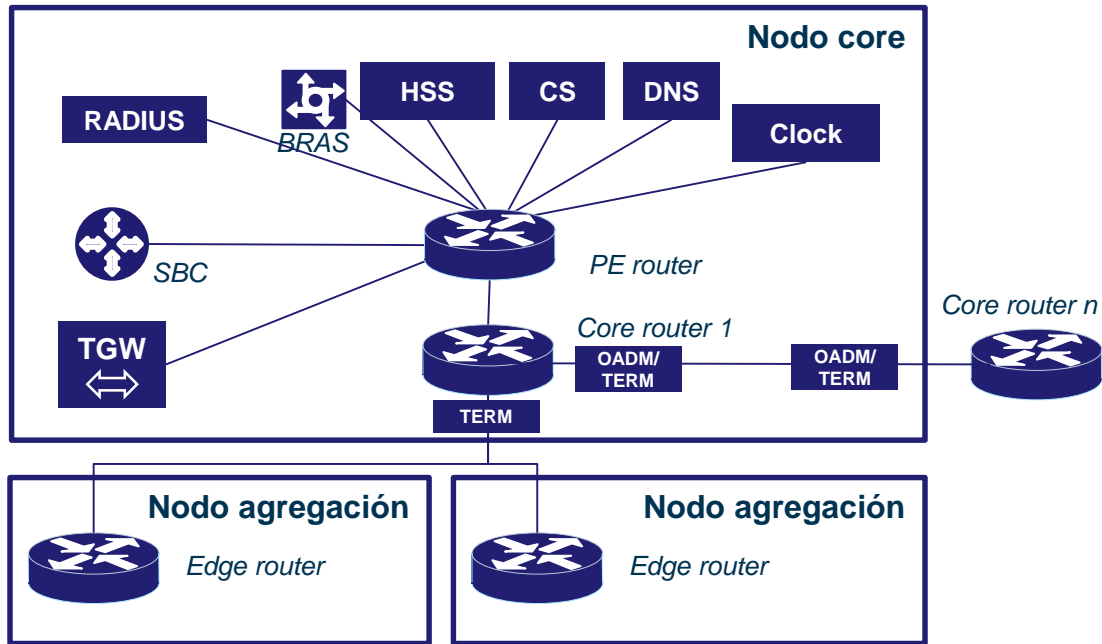


Figura 7.27: Tipos de activos modelados a nivel core [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Activo	Descripción
Core router	Enruta el tráfico que circula entre los nodos de agregación y los nodos core, así como entre los propios nodos core
SBC de interconexión	Se encuentran en los PdIs de voz. Monitoriza el tráfico de interconexión para garantizar los acuerdos de calidad de servicio y SLA
TGW (<i>trunking gateway</i>)	Se encuentran en los PdIs de voz. Convierte el tráfico TDM en tráfico IP, y <i>viceversa</i> para interconexión
PE router	Agrega el tráfico procedente de las plataformas de servicios de datos y de interconexión y lo transmite a la red troncal, y permite crear una VPN/IP entre los elementos NGN y el resto de recursos de la red de voz.
Call server/soft-switch	Controla la señalización y habilita el enrutamiento de las llamadas de voz. Incluye también un conjunto de servicios de gestión (llamada en espera, transferencia de llamada, marcación rápida, etc.).
DNS	Es el encargado de traducir los nombres de dominios en sus correspondientes direcciones IP
RADIUS	Desempeña las funciones de autenticación y autorización
BRAS	Aplica las políticas de calidad de servicio al tráfico de datos
HSS	Contiene la información relativa a los usuarios y sus perfiles
VMS	Ofrece las funcionalidades propias del buzón de voz
AS – plataforma de red inteligente	Plataforma encargada de ofrecer los servicios de valor añadido
Equipos de sincronización	Es el encargado de las tareas de sincronización de los equipos de red
Plataforma de IPTV	Plataforma encargada de ofrecer los servicios de IPTV
Plataforma de VoD	Plataforma encargada de ofrecer los servicios de VoD
OADM	Inserta o extrae lambdas en los nodos que forman parte de estructuras en anillo
Multiplexadores terminals (TERM)	Multiplexa y demultiplexa los flujos de datos recibidos en cada nodo
Transpondedores DWDM	Adapta una señal óptica a la longitud de onda adecuada para que pueda ser transmitida en sistemas DWDM
Amplificadores ópticos	Amplifica la señal óptica recibida

Los elementos NGN representados en el modelo cubren en algunos casos la funcionalidad de más de un recurso propio de una arquitectura IMS, y su coste está incluido en el coste unitario de los dispositivos modelados. Mostramos a continuación un ejemplo de la funcionalidad cubierta por los activos IMS desplegados:

- el AS incluye la función de Media Server y ENUM
- los *distribution server* están incluidos en los *call servers*
- la plataforma de *service assurance* incluye el coste de las sondas, herramientas de telediagnóstico, etc.

A continuación se describe la metodología utilizada en el dimensionamiento de los distintos recursos de red ubicados en los nodos core del operador modelado, en el siguiente orden:

- dimensionamiento de los *core router*
- dimensionamiento de los recursos de interconexión
- dimensionamiento de los *PE routers*
- dimensionamiento de los recursos de transmisión
- dimensionamiento del resto de recursos que conforman la red core.

Dimensionamiento de los *core router*

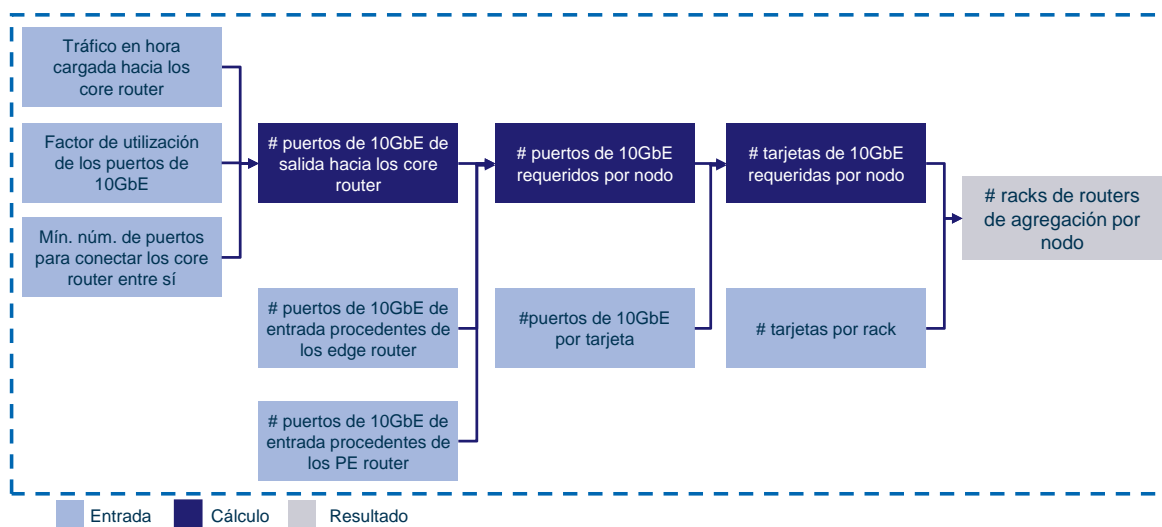
Los *core routers* están desplegados en todos los nodos core y enrutan el tráfico que circula entre los nodos de agregación y los nodos core, así como entre los propios nodos core.

El dimensionamiento de los *core router* viene determinado por los siguientes factores:

- el número de puertos de 10GbE de transmisión que conectan los *router* de agregación a los *core router*
- el número de puertos de 10GbE que conectan los *switches* core a los *core router*
- el número de puertos de 10GbE utilizados para transportar el tráfico hacia otros *core router*.

La Figura 7.28 muestra un esquema de la metodología utilizada para dimensionar los *core router*, mientras que la tabla que sigue incluye los parámetros de diseño utilizados en su dimensionamiento.

Figura 7.28: Metodología empleada para dimensionar los *core router* [Fuente: Analysys Mason, 2012]



Parámetro	Valor
Número de puertos de 10GbE por tarjeta	4
Factor de utilización de los puertos de 10GbE ¹³	40%
Número máximo de tarjetas por rack	8

Figura 7.29: Parámetros utilizados en el dimensionamiento de los core router [Fuente: Analysys Mason, 2012]

El número de puertos de 10GbE requeridos para conectar los *core router* entre sí viene determinado por el tráfico que circula entre los diferentes nodos core. Como los nodos core están conectados entre sí utilizando una estructura totalmente mallada, el número mínimo de puertos de transmisión es igual a $n-1$, siendo n el número de nodos core.

El número de puertos de salida de los *core router* en cada nodo core se calcula utilizando la siguiente fórmula.

$$\text{Puertos hacia core router} = \max(\text{Roundup} \left(\frac{\text{Tráfico hora cargada hacia core router}}{\text{Capacidad puertos} * \text{Factor utilización}} \right) * 2, n - 1)$$

Para mejorar la redundancia de la red core, se multiplica por dos el número de puertos necesarios para transportar el tráfico hacia el resto de nodos core.

Añadiendo a los puertos de salida previamente obtenidos el número de puertos necesarios para conectar los *core router* con los *PE routers* y *edge routers*, se obtiene el número total de puertos de 10GbE por nodo, y consecuentemente el número de tarjetas requeridas en los *core router*.

$$\text{Tarjetas} = \text{Roundup} \left(\frac{\text{Ptos hacia edge router} + \text{Ptos hacia PE router} + \text{Ptos hacia core router}}{\text{Capacidad tarjetas 10GbE}} \right)$$

Finalmente, a partir del número de tarjetas se calcula el número de racks necesarios para albergar los *core router* en cada nodo.

$$\text{Racks} = \text{Roundup} \left(\frac{\text{Nº tarjetas puertos 10GbE}}{\text{Capacidad de los racks}} \right)$$

Dimensionamiento de los recursos de interconexión

Los PdIs con otros operadores para los servicios de voz se encuentran situados a nivel core. El módulo de dimensionamiento permite escoger qué nodos core actúan como PdIs, así como la proporción del tráfico de interconexión IP y la proporción del tráfico de interconexión TDM/SS7.

Se utilizan dos tipos de recursos de red en función del formato del tráfico de interconexión:

¹³ Las dos metodologías empleadas para dimensionar la calidad de servicio utilizan los mismos factores de utilización para dimensionar los recursos a nivel core.

- TGWs para convertir el tráfico TDM/SS7 en tráfico IP y transmitirlo a la red troncal, y *viceversa*. En caso de que todo el tráfico de interconexión fuera IP, no sería necesario desplegar TGWs en la red del operador.
- SBCs de interconexión para monitorizar el tráfico de interconexión IP y gestionar la calidad de servicio en el tráfico de interconexión.

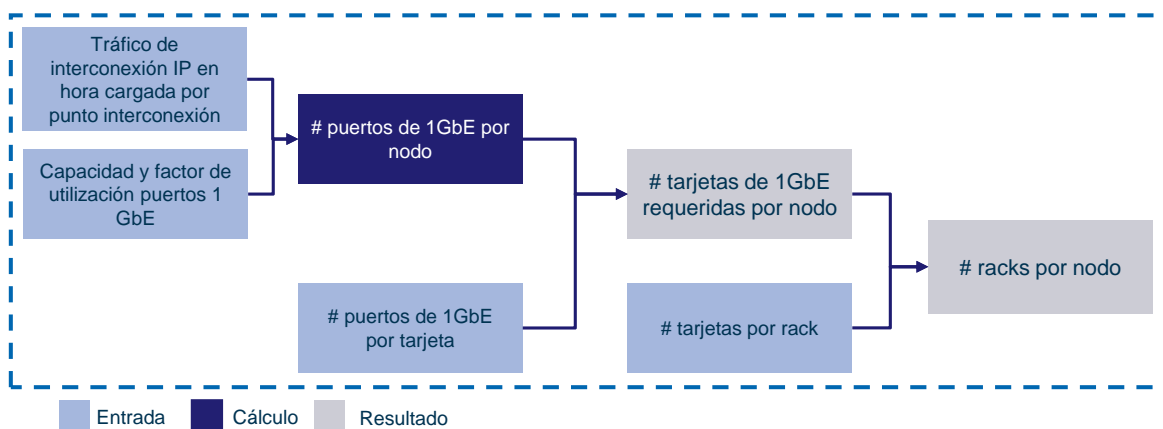
A continuación se muestra en detalle la metodología empleada para dimensionar los SBCs de interconexión y los TGW.

► *SBCs de interconexión*

Los SBCs de interconexión se encuentran en todos los PdIs de voz. Su dimensionamiento viene determinado por el volumen de tráfico de interconexión de voz IP que circula por cada nodo.

La Figura 7.30 muestra un esquema de la metodología empleada en el dimensionamiento de los SBCs de interconexión, mientras que la tabla que sigue incluye los parámetros utilizados en su dimensionamiento.

Figura 7.30: Esquema de la metodología utilizada en el dimensionamiento de los SBC de interconexión [Fuente: Analysys Mason, 2012]



Parámetro	Valor
Tipo de puertos utilizados	1Gbit/s
Número de puertos por tarjeta	2
Número de tarjetas por rack	2
Factor de utilización de los puertos	60% ¹⁴

Figura 7.31: Parámetros utilizados en el dimensionamiento de los SBC de interconexión [Fuente: Analysys Mason, 2012]

A partir del tráfico de interconexión IP en la hora cargada se obtiene el número de puertos de 1GbE requeridos para conectar el SBC de interconexión al *PE router* en cada Pdi de voz.

¹⁴ Se utiliza el mismo factor de utilización para las dos metodologías de calidad de servicio. Esto es debido a que el valor de los pesos de calidad de servicio en la segunda metodología se reduce a nivel core, con lo que el efecto de utilizar una u otra metodología en el dimensionamiento de los recursos de la red core es similar

$$Puertos\ hacia\ PE\ router = Roundup\left(\frac{Tráfico\ IP\ hora\ cargada}{Capacidad\ puertos\ 1GbE * Factor\ utilización}\right)$$

A partir del número de puertos necesarios para conectar el SBC de interconexión al PE router se obtiene el número de tarjetas en cada SBC de interconexión.

$$Num.\ de\ tarjetas = Roundup\left(\frac{Puertos\ hacia\ PE\ router}{Capacidad\ tarjetas\ 1GbE}\right)$$

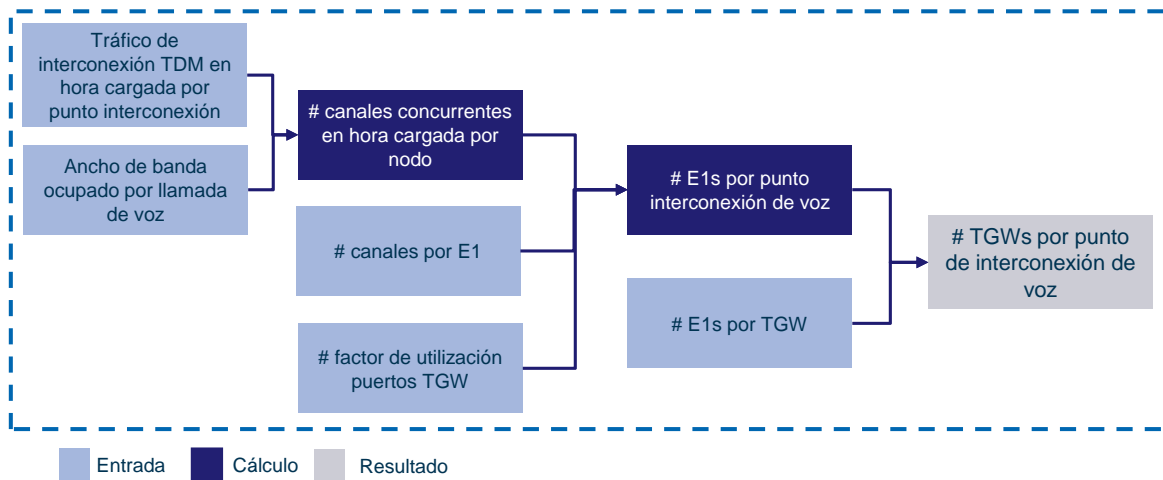
Finalmente, se calcula el número de racks por PDI de voz, teniendo en cuenta que un rack puede albergar un máximo de dos tarjetas de SBC.

► *TGW (trunking gateway)*

El TGW convierte el tráfico TDM/SS7 de voz procedente de otros operadores a tráfico IP para el tránsito en la red troncal del operador, y *viceversa*. En caso de que todo el tráfico de interconexión fuera IP, no sería necesario desplegar TGWs en la red del operador.

La Figura 7.32 muestra un esquema de la metodología utilizada para dimensionar los TGW, mientras que la tabla que sigue incluye los parámetros utilizados en su dimensionamiento.

Figura 7.32: Esquema de la metodología utilizada para dimensionar los TGW [Fuente: Analysys Mason, 2012]



Parámetro	Valor
Número de canales por E1	30
Número de puertos E1 por gateway	63
Factor de utilización de los puertos	60%
Número de puertos necesarios para conectar cada TGW con el SBC de interconexión	1

Figura 7.33: Parámetros utilizados en el dimensionamiento de los TGW de interconexión [Fuente: Analysys Mason, 2012]

El dimensionamiento de los TGW viene determinado por el número de E1s requeridos para soportar el tráfico de interconexión de voz TDM/SS7 en cada nodo. Para ello, primero es necesario calcular el número de canales concurrentes en la hora cargada para soportar el tráfico de interconexión de voz en cada nodo:

$$\text{Número de canales concurrentes} = \text{Roundup} \left(\frac{\text{Tráfico interconexión TDM por nodo}}{\text{Ancho banda llamada voz}} \right)$$

Una vez obtenido el número de canales concurrentes de voz, se calcula el número de E1s necesarios. Para ello, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Número de E1s} = \text{Roundup} \left(\frac{\text{Número de canales de voz concurrentes en hora cargada}}{\text{Número de canales por E1} * \text{Factor de utilización}} \right)$$

Finalmente, teniendo en cuenta que un TGW soporta un máximo de 63 E1s, se obtiene el número de TGWs necesarios para soportar el tráfico de interconexión de voz en cada nodo:

$$\text{Número de TGW por nodo} = \text{Roundup} \left(\frac{\text{Número de E1s}}{\text{Capacidad TGW}} \right)$$

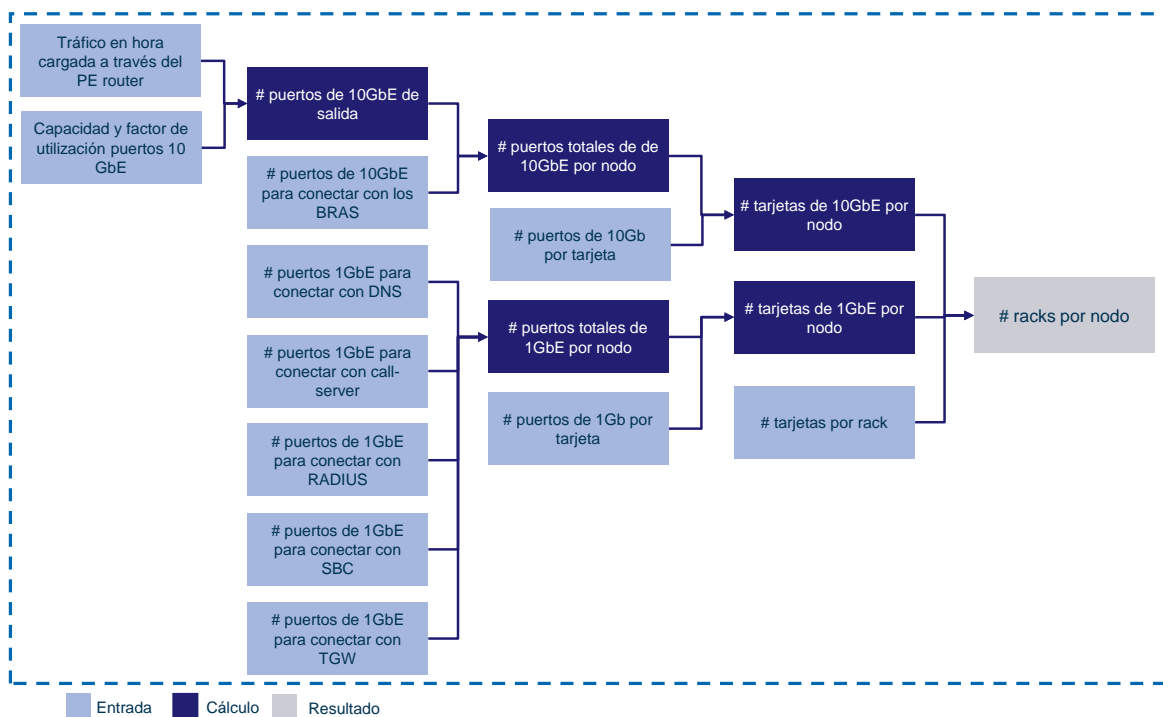
Dimensionamiento de los PE routers

Los *PE routers* se despliegan en todos los nodos core existentes. Su dimensionamiento viene determinado por los siguientes factores:

- el volumen del tráfico que transmite el *PE router* a los *core router*
- el volumen de tráfico transportado hacia las plataformas de servicios de datos.

La Figura 7.34 muestra un esquema de la metodología utilizada para dimensionar los *PE routers*, mientras que la tabla que sigue incluye los parámetros utilizados en su dimensionamiento.

Figura 7.34: Esquema de la metodología utilizada para dimensionar los PE routers [Fuente: Analysys Mason, 2012]



Parámetro	Valor
Factor de utilización de los puertos de 10GbE	40%
Número de puertos por tarjeta de 10GbE	12
Número de puertos por tarjeta de 1GbE	48
Número máximo de tarjetas por rack	6

Figura 7.35: Parámetros utilizados en el dimensionamiento de los PE routers [Fuente: Analysys Mason, 2012]

A partir del tráfico que circula por los *PE routers* se obtiene el número de puertos de 10GbE necesarios para transportar el tráfico entre los *PE routers* y los *core router*.

$$Puertos\ de\ 10Gb = Roundup \left(\frac{Tráfico\ que\ circula\ por\ los\ PE\ router\ de\ cada\ nodo\ core}{Capacidad\ puertos\ de\ 10Gb * Factor\ utilización} \right)$$

A partir de este valor, se obtiene el número de tarjetas de 1GbE y de 10GbE que es necesario desplegar en los *PE routers*. Para ello, hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- es necesario ocupar un puerto de 1GbE para conectar el *PE router* a cada servidor DNS y RADIUS existentes en cada nodo
- es necesario ocupar dos puertos de 1GbE para conectar el *PE router* a cada *call server* existente en cada nodo
- es necesario ocupar puertos de 10GbE en función del tráfico de datos que circula por el *PE router* hacia los BRAS

- es necesario ocupar un puerto de 1GbE por cada puerto del SBC de interconexión utilizado para transportar el tráfico al *PE router*
- es necesario ocupar un puerto de 1GbE por cada puerto del TGW utilizado para transportar el tráfico al *PE router*.

De este modo, aplicando las siguientes fórmulas se obtiene el número de tarjetas de 1Gb y de 10Gb que es necesario desplegar en los *PE routers* de cada nodo.

$$\text{Tarj. 1Gb} = \text{Roundup} \left(\frac{\text{Puertos SBC} + \text{Puertos CS} + \text{Puertos DNS} + \text{Puertos RADIUS} + \text{Puertos TGW}}{\text{Capacidad tarjetas 1GbE}} \right)$$

$$\text{Tarjetas de 10Gb} = \text{Roundup} \left(\frac{\text{Puertos hacia core router} + \text{Puertos hacia BRAS}}{\text{Capacidad tarjetas 10GbE}} \right)$$

Finalmente, se calcula el número de racks por nodo utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Nº racks por nodo} = \text{Roundup} \left(\frac{\text{Nº tarjetas puertos 1GbE} + \text{Nº tarjetas puertos 10GbE}}{\text{Capacidad de los racks}} \right)$$

Dimensionamiento de los recursos de transmisión

Los nodos core se conectan entre sí utilizando una estructura totalmente mallada a nivel lógico. Los enlaces punto a punto que conectan los nodos core entre sí están formados por lambdas de 10GbE multiplexadas mediante DWDM.

► *Multiplexadores terminales*

El dimensionamiento de los multiplexadores terminales utilizados para conectar los nodos core entre sí viene determinado por los siguientes factores:

- número de paths o de rutas existentes a nivel core; el número de paths es igual a $n*(n-1)$ (siendo n el número de nodos core activos)
- número medio de lambdas transmitidas por ruta
- capacidad de los sistemas DWDM; en el módulo de dimensionamiento se asume un máximo de 40 lambdas de 10GbE por fibra.

De este modo, para dimensionar los multiplexadores terminales que se necesitan para conectar los nodos core entre sí se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{TERM para conectar nodos core} = \text{Roundup} \left(\frac{\text{Nº medio lambdas por path} * \text{Nº de paths}}{\text{Número lambdas por sistema DWDM}} \right)$$

Adicionalmente, es necesario desplegar un multiplexador terminal por cada anillo de fibra activo de la red de agregación que termina en un nodo core.

► *Transpondedores*

Se utiliza un transpondedor de 10GbE por cada puerto dimensionado para transportar el tráfico entre los diferentes *core router*.

► *Amplificadores ópticos*

Se despliegan amplificadores ópticos cada 80km del anillo DWDM de fibra.

Dimensionamiento del resto de recursos que conforman la red core

A continuación se explica el dimensionamiento del resto de recursos ubicados en los nodos core.

► *Call server/soft-switch*

Estos activos están ubicados en todos los nodos core y se encargan de controlar la señalización y habilitar el enrutamiento de las llamadas de voz. Este tipo de activos también controla un conjunto de servicios de gestión (llamada en espera, transferencia de llamada, marcación rápida, etc.).

Los *call servers/soft-switches* se dimensionan en base al número de intentos de llamada de todos los servicios de voz en la hora cargada. Para ello, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Número de CS por nodo} = \text{Roundup} \left(\frac{\text{Intentos de llamada en hora cargada por nodo}}{\text{Capacidad del callserver} * \text{Factor utilización}} \right)$$

La capacidad máxima de un *call server* es de 1.000.000 de intentos de llamada en la hora cargada, mientras que el factor de utilización es igual a 40%.

► *BRAS*

Los BRAS están ubicados en todos los nodos core. Entre otras funciones, aseguran el cumplimiento de los requisitos de calidad de servicio para los usuarios de banda ancha.

Los BRAS se dimensionan en función del número de suscriptores de banda ancha que acceden de forma concurrente a la red. Para su dimensionamiento por nodo se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{BRAS} = \text{Roundup} \left(\frac{\text{Suscriptores banda ancha} * \text{Proporción suscriptores concurrente}}{\text{Máxima capacidad del BRAS} * \text{Factor utilización}} \right)$$

En el módulo de dimensionamiento se asume que el 50% de los suscriptores se conectan de forma concurrente en la hora cargada, mientras que la capacidad del BRAS es igual a 48.000 suscriptores concurrentes y el factor de utilización es igual a 40%.

Adicionalmente, se calcula el número de enlaces de 10Gb requeridos para transmitir el tráfico de banda ancha desde el *PE router* a los BRAS. El tráfico se multiplica por 2 para incluir tanto el tráfico recibido como el enviado hacia el *PE router*. Se utiliza la siguiente fórmula para calcular el número de puertos de 10Gb necesarios:

$$\text{Puertos de 10Gb} = \text{Roundup} \left(\frac{\text{Tráfico hacia los BRAS de cada nodo core} * 2}{\text{Capacidad puertos de 10Gb} * \text{Factor utilización}} \right)$$

► *Servidor RADIUS*

Estos servidores están ubicados en todos los nodos core y desempeñan las funciones de autenticación y autorización.

Existe un servidor RADIUS por cada BRAS desplegado en la red.

► *Servidor DNS*

Se despliegan dos servidores DNS en cada uno de los nodos core. Este activo es el encargado de traducir los nombres de dominios en sus correspondientes direcciones IP.

A la hora de calcular el coste unitario de los servidores DNS también se tiene en cuenta el coste asociado a otras plataformas de datos utilizadas por los operadores, como por ejemplo el servidor DHCP (*dynamic host configuration protocol*).

► *Plataformas adicionales localizadas en los nodos core*

En la siguiente tabla se recogen los inductores de dimensionamiento y capacidad del resto de plataformas localizadas en los nodos core.

Plataforma	Inductor de dimensionamiento	Capacidad
Reloj y equipos de sincronización	Número de nodos core	2 unidades por nodo core
VMS	Número de suscriptores	5.000.000 suscriptores (factor de utilización de 80%)
VAS (<i>value-added services</i>), AS	Número de suscriptores	500.000 suscriptores (factor de utilización de 80%)
HSS	Número de suscriptores	500.000 suscriptores (factor de utilización de 80%)

Figura 7.36: Parámetros utilizados en el dimensionamiento del resto de plataformas localizadas en los nodos core [Fuente: Analysys Mason, 2012]

7.3.4 Cálculo del número de activos desplegados por año

Una vez dimensionado el número de elementos de red necesarios para soportar el tráfico en la hora cargada a lo largo del horizonte temporal del modelo, el módulo calcula el número de activos que es necesario desplegar en cada uno de los años considerados en el modelo, tal y como se detalla a continuación.

Determinación de la vida útil de los activos

Las vidas útiles determinan el periodo óptimo de reemplazo de cada uno de los activos existentes a lo largo del horizonte temporal considerado en el modelo. Es decir, en el módulo de dimensionamiento se asume que cuando un activo alcanza el final de su vida útil, éste se reemplaza si sigue siendo necesario tenerlo desplegado en la red.

En el módulo de dimensionamiento se utilizan los valores de vida útil regulados y aprobados por la CMT en su *Resolución sobre las vidas útiles aplicables a la contabilidad de costes de Telefónica de España S.A.U. correspondiente a 2011*.¹⁵ Para aquellos tipos de activos cuya vida útil no está regulada, se han utilizado *benchmarks* de otros modelos similares al presente modelo de costes basados en información provista por operadores y fabricantes.

La siguiente tabla muestra los valores de vida útil de los activos existentes utilizados en el módulo de dimensionamiento.

Vida útil	Activos
4 años	Router y switch
5 años	Tarjetas de puertos de los DSLAM, OLT y SBC, BSS/OSS, sistemas de sincronización, plataformas de televisión/VoD
6 años	VMS, BRAS, RADIUS, DNS, HSS, <i>call server</i> , DSLAM, OLT
8 años	SBC, TGW, IN, multiplexores y transpondedores CWDM y DWDM
18 años	Cables submarinos
20 años	Fibra óptica
30 años	Canalizaciones
40 años	Emplazamientos

Figura 7.37: Vidas útiles de los activos modelados
[Fuente: Analysys Mason, 2012]

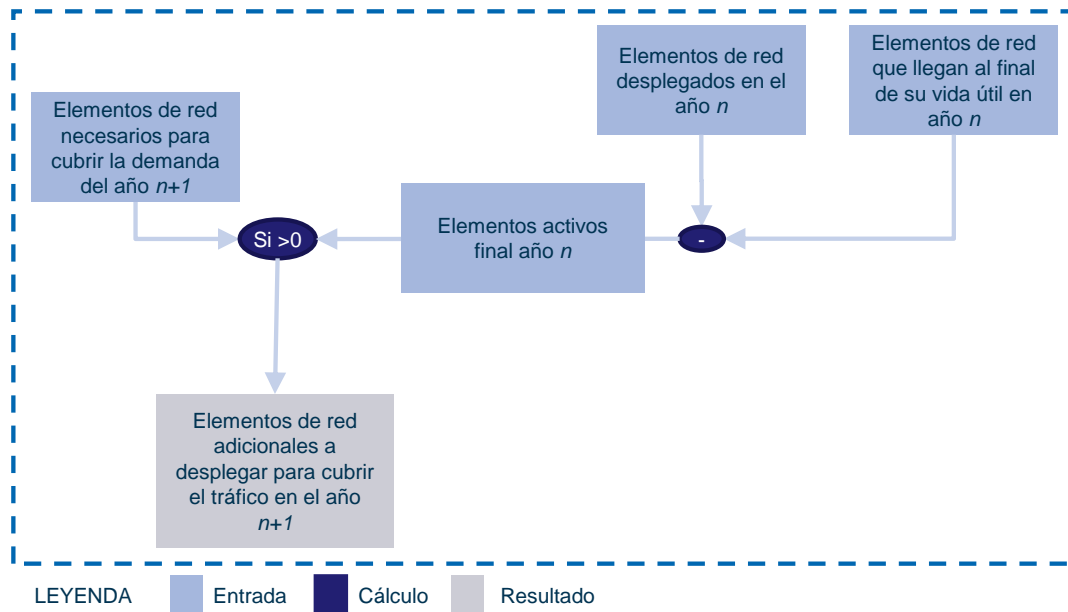
¹⁵

http://www.cmt.es/c/document_library/get_file?uuid=28f5f0d8-91df-41e9-b1ed-60a59a855590&groupId=10138.

Cálculo del número de elementos de red adicionales desplegados anualmente

La Figura 7.38 muestra un esquema de la metodología utilizada para determinar el número de elementos de red adicionales que es necesario activar anualmente.

Figura 7.38: Esquema de la metodología utilizada para calcular el número de elementos de red adicionales desplegados anualmente [Fuente: Analysys Mason, 2012]



Tal y como se observa en la gráfica, primero se calcula el número de elementos de red que son necesarios para soportar el tráfico en la hora cargada en un año concreto respecto al número de elementos de red existentes el año anterior. Si el número de elementos de red en el año n menos los elementos de red que llegan al final de su vida útil es suficiente para gestionar el tráfico generado en el año $n+1$, no se despliegan elementos de red adicionales. En caso contrario, se despliegan los elementos de red estrictamente necesarios para garantizar el transporte del tráfico adicional que se genera en el año $n+1$.

El número de elementos de red que es necesario activar cada año se calcula utilizando la siguiente fórmula.

$$\begin{aligned} \text{Elementos} &= \text{Elementos necesarios año } n + 1 \\ &\quad - (\text{Elementos activos año } n - \text{Elementos retirados final año } n) \end{aligned}$$

Cálculo del año de compra de los activos

Es importante distinguir entre el concepto de activación de un elemento de red y el concepto de adquisición de dicho elemento de red. Un elemento de red se considera activado en el momento en el que empieza a funcionar operativamente dentro de la red del operador modelado. Sin embargo,

el módulo asume que con anterioridad a la fecha de activación de dicho elemento es necesario que transcurra un periodo de planificación, de contacto con fabricantes y de compra, que suele ser de meses. Es decir, aunque una unidad sea necesaria para atender la demanda de un año concreto, no es lógico pensar que los activos van a ser comprados, instalados y activados de forma instantánea, ni pensar que todos los activos son adquiridos en el mismo momento, sino que se van desplegando a lo largo del tiempo.

A través de un algoritmo de periodo de planificación, el módulo permite determinar la compra de los activos con anterioridad a su puesta en servicio. Para cada tipo de activo se define su periodo de planificación en meses, y a partir de este valor se determina cuándo debe ser adquirido. Por ejemplo, en el caso de que el periodo de planificación de un activo sea de 6 meses, el algoritmo estima que la mitad del activo (6/12) es adquirido en el año $n-1$ y la otra mitad en el año n . En este caso, el coste de dicho activo sería igual a la mitad del coste de inversión unitario del año $n-1$ más la mitad del coste de inversión unitario del año n .

En cambio, si la fecha de planificación del activo es de 12 meses, se considera que el activo ha sido adquirido en su totalidad en el año $n-1$. De este modo es posible reflejar los periodos de compra de los activos en periodos anuales.

En la siguiente tabla se muestran los periodos de planificación definidos en el modelo para los diferentes activos:

Periodo de planificación	Activos
3 meses	Tarjetas de puertos, transpondedores CWDM y DWDM
6 meses	AS, VMS, BRAS, RADIUS, DNS, HSS
9 meses	DSLAM, OLT, <i>switch</i> , router y SBC chassis, TGW, call server, multiplexadores CWDM y DWDM, BSS/OSS, plataforma de televisión/VoD, equipos de sincronización
12 meses	Emplazamientos, canalizaciones y fibra óptica, cables submarinos

Figura 7.39: Periodo de planificación de los activos [Fuente: Analysys Mason, 2012]

7.3.5 Datos de salida del módulo

Podemos clasificar los datos de salida del módulo de dimensionamiento de red en dos categorías:

- número de unidades de red, clasificadas por tipo de activo de red y nivel de red si aplica, que se necesitan durante el horizonte temporal del modelo
- número de nuevas unidades que deberán ser adquiridas anualmente, ya sea para nuevos despliegues o para sustituir a unidades que han alcanzado el final de su vida útil.

A continuación se muestran dos ejemplos de los resultados que arroja el módulo de dimensionamiento. En el primer ejemplo se muestra el número y tipo de activos que es necesario tener en funcionamiento durante los años 2008 y 2013, mientras que en el segundo ejemplo se muestra el número de equipos que es necesario adquirir anualmente.

Figura 7.40: Ejemplo del dimensionamiento de los activos de red [Fuente: Analysys Mason, 2012]

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Access nodes: Site acquisition, preparation and maintenance	-	813	813	813	813	813	813
Access: DSLAM racks	-	1,413	2,275	2,246	2,198	2,154	2,109
Access: DSLAM units	-	3,215	5,960	5,894	5,758	5,590	5,454
Access: DSLAM core-facing ports - 1GE ports	-	3,215	5,960	5,894	5,759	5,801	8,842
Access: OLT racks	-	44	44	55	136	147	175
Access: OLT units	-	47	83	172	418	649	834
Access: OLT core-facing ports - 1GE ports	-	47	83	172	594	1,242	1,617
Access: OLT core-facing ports - 10GE ports	-	-	-	-	-	-	-
Access: Switch - chassis	-	34	34	34	34	34	34
Access: Switch - 1GE ports card 48 port	-	36	46	46	46	48	63
Access: Switch - 10GE ports card 12 port	-	-	-	-	-	-	-
Aggregation L1 nodes: Site acquisition, preparation and mainten	-	-	-	-	-	-	-
Aggregation L1: Switch - chassis	-	-	-	-	-	-	-
Aggregation L1: Switch - 1GE ports card 48 port	-	-	-	-	-	-	-
Aggregation L1: Switch - 10GE ports card 12 port	-	-	-	-	-	-	-
Aggregation L2: Site acquisition, preparation and maintenance	-	76	76	76	76	76	76
Aggregation L2: Switch - chassis	-	80	82	82	83	84	88
Aggregation L2: Switch - 1GE ports card 48 port	-	95	127	128	133	140	188
Aggregation L2: Switch - 10GE ports card 12 port	-	80	80	80	80	80	80
Aggregation L2: Edge router - chassis	-	80	80	80	80	80	80
Aggregation L2: Edge router - 1GE ports card 20 port	-	80	80	80	80	80	80
Aggregation L2: Edge router - 10GE ports card 2 port	-	160	174	176	191	203	228
Aggregation L2: SBC - chassis	-	80	80	80	80	80	80
Aggregation L2: SBC - 1GE ports card 2 port	-	80	82	82	82	81	81

Figura 7.41: Ejemplo del número de nuevas unidades que tienen que ser adquiridas anualmente [Fuente: Analysys Mason, 2012]

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Access nodes: Site acquisition, preparation and maintenance	-	813	-	-	-	-	-
Access: DSLAM racks	-	1,413	862	-	-	-	-
Access: DSLAM units	-	3,215	2,745	-	-	-	-
Access: DSLAM core-facing ports - 1GE ports	-	3,215	2,745	-	-	-	6,097
Access: OLT racks	-	44	-	11	81	11	28
Access: OLT units	-	47	36	89	246	231	185
Access: OLT core-facing ports - 1GE ports	-	47	36	89	422	648	422
Access: OLT core-facing ports - 10GE ports	-	-	-	-	-	-	-
Access: Switch - chassis	-	34	-	-	-	34	-
Access: Switch - 1GE ports card 48 port	-	36	10	-	-	38	25
Access: Switch - 10GE ports card 12 port	-	-	-	-	-	-	-
Aggregation L1 nodes: Site acquisition, preparation and mainten	-	-	-	-	-	-	-
Aggregation L1: Switch - chassis	-	-	-	-	-	-	-
Aggregation L1: Switch - 1GE ports card 48 port	-	-	-	-	-	-	-
Aggregation L1: Switch - 10GE ports card 12 port	-	-	-	-	-	-	-
Aggregation L2: Site acquisition, preparation and maintenance	-	76	-	-	-	-	-
Aggregation L2: Switch - chassis	-	80	2	-	1	81	6
Aggregation L2: Switch - 1GE ports card 48 port	-	95	32	1	5	102	80
Aggregation L2: Switch - 10GE ports card 12 port	-	80	-	-	-	80	-
Aggregation L2: Edge router - chassis	-	80	-	-	-	80	-
Aggregation L2: Edge router - 1GE ports card 20 port	-	80	-	-	-	80	-
Aggregation L2: Edge router - 10GE ports card 2 port	-	160	14	2	15	172	39
Aggregation L2: SBC - chassis	-	80	-	-	-	-	-
Aggregation L2: SBC - 1GE ports card 2 port	-	80	2	-	-	-	79

7.4 Ficheros del módulo de dimensionamiento de red

El módulo de dimensionamiento de red está compuesto por los cuatro ficheros en Excel que se enumeran en la siguiente tabla.

Figura 7.42: Ficheros que componen el módulo de dimensionamiento de red [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Nombre del fichero	Descripción
4.1 Network Access.xls	Este fichero dimensiona los recursos de la red de acceso
4.2 Network Agg_Core.xls	Este fichero dimensiona los recursos de las redes de agregación y core
4.3 Network Transmission.xls	Este fichero dimensiona los recursos de la red de transmisión
4.4 Network Results.xls	Este fichero recoge los resultados obtenidos en los tres ficheros anteriores y calcula el número de activos que es necesario desplegar para cada uno de los años considerados en el modelo

8 Módulo de cálculo del opex y de los costes de inversión y gastos de operación de los sistemas BSS/OSS

En este módulo el modelo realiza un cálculo de los costes unitarios asociados al mantenimiento de los activos de la red, así como de los costes unitarios derivados de las operaciones BSS/OSS. Para ello, el módulo dimensiona por un lado la mano de obra que trabaja en el área de red y en el área BSS/OSS, y por otro lado las plataformas necesarias para garantizar las operaciones.

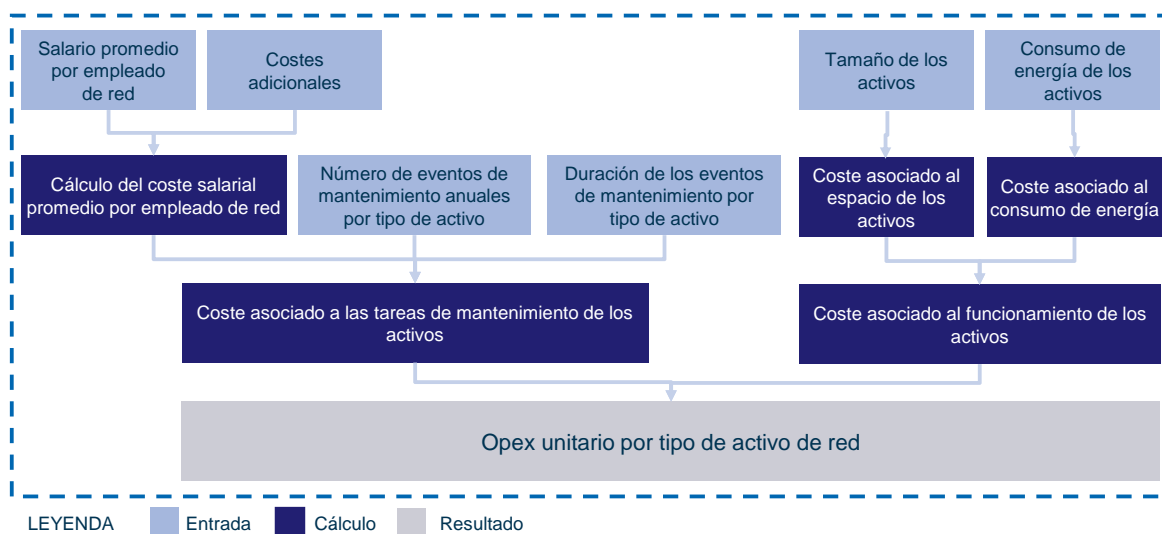
Este módulo se divide en dos partes diferenciadas encargadas de calcular el opex de la red (Sección 8.1) y de los BSS/OSS (Sección 8.2).

8.1 Cálculo del opex de la red

8.1.1 Introducción

La Figura 8.1 muestra un esquema del funcionamiento del módulo del cálculo del opex.

Figura 8.1: Esquema del funcionamiento del módulo de cálculo del opex de la red [Fuente: Analysys Mason, 2012]



El módulo utiliza como datos de entrada el número de empleados en el área de red, su salario medio por hora, así como una estimación del número de eventos de mantenimiento anuales por tipo de activo¹⁶.

¹⁶ Los parámetros definidos en el módulo son configurables y se revisarán en función de las respuestas de los operadores a la consulta pública

A partir de estos datos, se estima el coste asociado a las tareas de mantenimiento por tipo de activo. Para ello, se obtiene el número y duración de los eventos de mantenimiento y se determina el número de empleados de red que trabajan en las tareas de operación y mantenimiento. Para determinar los costes unitarios asociados al mantenimiento de cada activo de red se han utilizado *benchmarks* de otros modelos similares basados en información provista por operadores y fabricantes, los cuales han sido adaptados a la situación del mercado español. Estos datos han sido anonimizados en la versión pública del modelo.

A partir del tamaño medio de cada tipo de elemento de red y su consumo promedio de energía se obtiene el coste asociado al funcionamiento de los activos. De este modo, considerando el coste asociado al funcionamiento de los activos y el coste asociado a las tareas de mantenimiento de cada tipo de activo se obtiene el opex unitario por tipo de activo de red.

8.1.2 Descripción de funcionamiento del módulo

En esta sección se detalla el procedimiento para el cálculo del opex de la red. Esta sección se estructura como sigue:

- cálculo del coste salarial promedio por empleado del departamento de red,
- cálculo del coste asociado a las tareas de mantenimiento de los activos,
- cálculo del coste asociado a la operación de los activos,
- descripción de los datos de salida.

Cálculo del coste salarial promedio por empleado de red

En el modelo se han dividido los empleados del departamento de red en dos categorías:

- mantenimiento de la red: empleados encargados directamente de las tareas propias de operación y mantenimiento
- resto de empleados en el área de red: empleados encargados de la planificación, gestión y logística de las operaciones de mantenimiento.

Los inductores a la hora de determinar el coste promedio por empleado de red son, por un lado el salario promedio de los empleados y, por otro lado, los costes indirectos atribuibles a los empleados (p.ej. personal en funciones de apoyo, gastos asociados a ausencias, herramientas de trabajo), así como el coste de los edificios atribuible a cada empleado de red.

Para obtener los *mark-up* que determinan los costes indirectos por empleado se han utilizado *benchmarks* basados en información proporcionada en operadores de telecomunicaciones fijas, los cuales han sido adaptados al mercado de telecomunicaciones fijas en España. El modelo permite incluir o no incluir estos costes indirectos en el cálculo de los costes incrementales de interconexión.

El coste de los edificios representa el reparto del coste de los edificios distribuido por trabajador y hora. Para obtener este valor se han utilizado datos históricos relativos al coste promedio del alquiler por metro cuadrado en España y se ha estimado el consumo promedio de energía en oficinas, así como el coste debido al mantenimiento de los edificios. Sumando estos tres factores se obtiene el coste anual por metro cuadrado de los edificios:

$$\text{Coste por m}^2 = \text{Renta} + \text{Mantenimiento edificio} + \text{Gasto en energía}$$

En el modelo se estima el espacio promedio en las oficinas por trabajador en 20m², considerando el espacio de trabajo y las zonas comunes. Multiplicando el espacio por trabajador por el coste promedio por metro cuadrado se obtiene el coste de edificios imputable a cada trabajador.

Coste asociado a los gastos de operación y mantenimiento de los activos

A continuación se describen los pasos realizados para obtener el coste asociado al gasto de operación y mantenimiento de cada tipo de activo:

1. En este módulo se realiza una estimación del tiempo que requieren los trabajos de mantenimiento para cada tipo de activo. Se utilizan *benchmarks* basados en la información proporcionada por operadores de telecomunicaciones fijas y fabricantes para estimar el número y duración de los eventos anuales de mantenimiento por tipo de activo.
2. A partir de número y duración de los eventos de mantenimiento, y del número de activos de red del operador modelado, es posible estimar el número de horas requeridas para las tareas de operación y mantenimiento, y, consecuentemente, el número de empleados necesarios en las tareas de operación y mantenimiento del operador modelado. Los resultados obtenidos se han calibrado con la información proporcionada por los operadores, de tal forma que el número de trabajadores necesarios en el área de operación y mantenimiento de red sea coherente con la situación existente en el mercado español.
3. Una vez obtenido el personal encargado de la operación y mantenimiento de la red se ha determinado el resto del personal que trabaja en el área de red. A partir de la información proporcionada por los operadores se ha estimado el número de empleados existentes en el área de red encargados de otras tareas como gestión, planificación, tareas de logística, etc., por cada empleado en las tareas de operación y mantenimiento de red.
4. Finalmente se añade un *mark-up* al coste de personal de red requerido por cada tipo de activo. Este *mark-up* recoge el coste asociado a los contratos de mantenimiento con empresas externas.

Coste asociado al funcionamiento de los activos

Para obtener el coste asociado al funcionamiento de los activos, se considera, por un lado, el coste asociado al espacio que ocupan los activos en los edificios, y por otro lado, el gasto en energía de cada tipo de activo.

► Espacio ocupado por los activos en los edificios

Para calcular el coste del espacio en los edificios utilizado para albergar recursos de red se utilizan los precios de alquiler mensual por m² en la sala de los operadores definidos en la Oferta del Bucle de Abonado (OBA).

A partir de los costes unitarios por m² y del espacio ocupado en los edificios por cada tipo de activo modelado, se obtienen los costes de cada tipo de activo asociado al espacio que ocupan en los edificios. En la siguiente tabla se muestra el espacio ocupado por cada tipo de activo modelado:

Racks ocupados por activo	Activo
1	OLT rack
1	DSLAM rack
0.5	Switch, SBC, DNS, RADIUS, BRAS, VMS, HSS, IN, OADM, TERM
1	TGW, router
1.5	Call-server/soft-switch
5	Plataforma de TV/VoD

Figura 8.2: Espacio asignado a los equipos de red modelados
[Fuente: Analysys Mason, 2012]

El espacio ocupado por rack incluye el espacio que ocupan los activos físicamente y el espacio que es necesario habilitar para poder realizar tareas de operación y mantenimiento. En el modelo se han utilizado los criterios definidos en la OBA para determinar el espacio ocupado por rack.

► Gasto en energía por tipo de activo

A partir del consumo anual de energía por tipo de activo se obtiene el gasto de energía anual de cada activo. Para ello, se considera que el coste por kWh incurrido por el operador modelado es el mismo que el incurrido por el operador incumbente en España.¹⁷

En la Figura 8.3 se muestran los consumos de energía por cada tipo de activo modelado:

¹⁷ Fuente: OBA, Anexo 3-3

Potencia (W)	Activo
670	DSLAM rack/processor, OLT rack/processor
980	DSLAM equipo
1400	SBC, TGW, Call-server
1920	BRAS
2000	DSLAM, DNS, RADIUS, BRAS, VMS, HSS, IN, Plataforma de TV/VoD, switch
2600	OADM, TERM
3350	Router

Figura 8.3: Consumos de energía por tipo de activo modelado [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Adicionalmente se ha estimado que los equipos consumen un 35% de energía adicional debido al aire acondicionado utilizado para refrigerar los activos.

Datos de salida

Considerando el coste asociado al normal funcionamiento de los activos junto al coste asociado a las tareas de mantenimiento se obtiene el coste unitario anual (opex) por activo. El módulo asume que las tendencias de precios del opex unitario es cero en términos reales durante el periodo de modelado.

En la Figura 8.4 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos tras el cálculo del opex de la red. Estos datos son utilizados como datos de entrada por el módulo de costeo:

Assets	EUR Unit opex
Access: DSLAM racks	1,982
Access: DSLAM units	1,751
Access: DSLAM core-facing ports - 1GE ports	181
Access: OLT racks	2,023
Access: OLT units	259
Access: OLT core-facing ports - 1GE ports	181
Access: OLT core-facing ports - 10GE ports	181
Access: Switch - chassis	6,194
Access: Switch - 1GE ports card 48 port	
Access: Switch - 10GE ports card 12 port	

Ejemplo ilustrativo

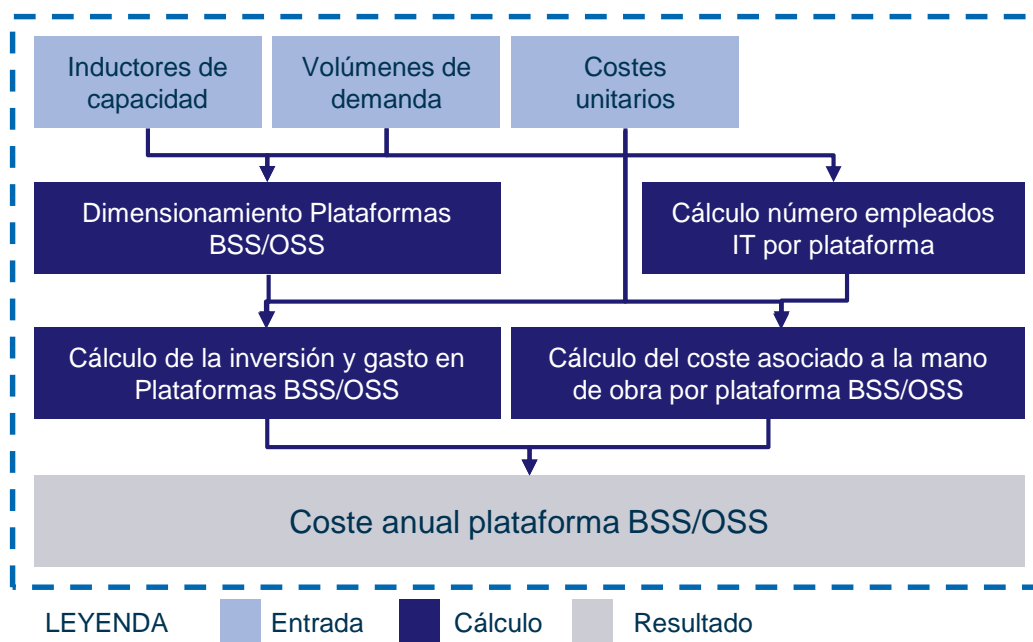
Figura 8.4: Ejemplo de datos de salida del módulo de opex de red [Fuente: Analysys Mason, 2012]

8.2 Cálculo de los costes de inversión y gastos de operación de los sistemas BSS/OSS

8.2.1 Introducción

En la Figura 8.5 se muestra el esquema del funcionamiento del módulo utilizado para obtener los costes de inversión y gastos de operación de los sistemas BSS/OSS.

Figura 8.5: Esquema del funcionamiento del módulo de cálculo de los costes asociados a los sistemas BSS y OSS [Fuente: Analysys Mason, 2012]



El módulo utiliza como datos de entrada los datos de demanda del operador modelado, así como los inductores de capacidad utilizados para dimensionar las plataforma BSS/OSS¹⁸. A partir de estos datos, se dimensiona el número de plataformas y el personal encargado de las tareas de operación y mantenimiento, administración, planificación y desarrollo necesario para soportar los procesos de negocio y operaciones del operador.

Adicionalmente, utilizando datos relativos al coste de inversión unitario de las plataformas BSS/OSS y a los costes salariales unitarios de los empleados en el área de TIC se obtiene el coste anual atribuible a los sistemas BSS/OSS. Estos datos han sido anonimizados en la versión pública del modelo.

¹⁸ Los parámetros definidos en el módulo son configurables y se revisarán en función de las respuestas de los operadores a la consulta pública

El modelo considera que todos los sistemas BSS/OSS pueden agruparse dentro de los cuatro procesos de negocio verticales definidos en la versión 3.2 del *Telecoms Application Map (TAM)* de TeleManagement Forum:¹⁹

- *Planificación, diseño y operaciones de red (operations, support and readiness)* – Sistemas encargados del análisis de las necesidades de recursos de red existentes, y de su posterior diseño, planificación e implementación. Dentro de esta categoría se encuentran, entre otros, los sistemas de planificación, de gestión de proyectos y los inventarios de recursos de red.
- *Provisión (fulfillment)* – Sistemas encargados de asignar los recursos necesarios para soportar los servicios. Dentro de esta categoría se encuentran, entre otros, los sistemas de contratación, los sistemas orquestadores de los procesos de provisión y tramitación, los catálogos de servicios y productos y los sistemas de activación.
- *Aseguramiento de servicio (assurance)* – Sistemas encargados de monitorizar la red para garantizar el correcto funcionamiento de los recursos. Dentro de esta categoría se encuentran, entre otros, los sistemas encargados de la gestión de fallos, gestión del rendimiento, y *trouble ticketing*.
- *Facturación (billing)* – Sistemas encargados de la gestión de la facturación de los servicios. Dentro de esta categoría se encuentran, entre otros, los sistemas de facturación y gestión de cobros (*billing and collection*), sistemas de tarificación, y de gestión de cobros.

Siguiendo la tendencia observable tanto en España como en los mercados internacionales, en los proyectos de implantación de soluciones BSS/OSS se considera que para cada una de las plataformas definidas una empresa integradora de sistemas dimensiona los servidores y licencias software necesarias para atender los volúmenes de tráfico actuales y futuros de un operador. En caso de superarse dichos volúmenes el propio proveedor será el encargado de proporcionar de forma adicional el hardware y licencias software necesarias para soportar el nuevo tráfico. Es decir, el modelo considera el coste asociado al software y hardware de la solución BSS/OSS como parte del coste asociado a los proyectos de implantación y mantenimiento de las plataformas.

¹⁹

<http://www.tmforum.org/ApplicationFramework/2322/home.html>.

8.2.2 Descripción del funcionamiento del módulo

A continuación se detalla el procedimiento para el cálculo de los costes asociados a los sistemas BSS/OSS, siguiendo la estructura siguiente:

- dimensionamiento de las plataformas BSS/OSS
- cálculo del número de empleados por plataforma BSS/OSS
- cálculo del coste asociado a las plataformas BSS/OSS
- descripción de los datos de salida.

Dimensionamiento de las plataformas BSS/OSS

A partir de la información proporcionada por los operadores como respuesta a la petición de datos, se ha determinado el inductor de capacidad para el que se dimensiona cada una de las plataformas BSS/OSS (ver Figura 8.6).

Figura 8.6: Inductores utilizados para dimensionar las plataformas BSS/OSS [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Plataforma	Inductor	Valor a partir del cual se redimensiona la plataforma	Factor de utilización	Número mínimo de plataformas
Planificación, diseño y operaciones de red	Puertos registrados	4.000.000 puertos	70%	2
Provisión	Eventos de provisión diarios	25.000 eventos diarios	40%	2
Aseguramiento de servicio	Número de tickets diarios creados	10.000 tickets diarios	40%	2
Facturación	Número de CDRs diarios	12.000.000 CDRs diarios	75%	2

En función del tamaño del operador modelado, es decir, de su número de eventos de provisión diarios, número de CDRs diarios, etc. y de los inductores de capacidad asociados a cada sistema, el módulo dimensiona el número de plataformas necesarias para garantizar las operaciones BSS/OSS. Por ejemplo, un incremento en el número de CDRs diarios puede conllevar un redimensionamiento del sistema de facturación, mientras que un incremento en el número de procesos de provisión diarios puede requerir un redimensionamiento del sistema de provisión.

Uno de los inductores utilizados por los operadores a la hora de dimensionar las plataformas de planificación, diseño y operaciones de red es el número de recursos inventariados. Debido a la imposibilidad de contabilizar todos los recursos existentes en el operador modelado (número de racks, estantes, equipos, tarjetas, circuitos, emplazamientos, etc.), se ha definido el inductor de dimensionamiento como el número de puertos existentes en todos los recursos de red. De este modo se simplifica la complejidad del modelo y se utiliza un inductor que permite reflejar de manera similar a las prácticas reales de los operadores cómo un crecimiento en el número de

activos de red, y consecuentemente en el número de puertos, afecta al dimensionamiento de la plataforma de planificación, diseño y operaciones de red.

Para estimar el número de eventos de provisión y el número de *trouble tickets* diarios generados en la red del operador modelado se ha utilizado la información proporcionada por los operadores como respuesta a la petición de datos.

Adicionalmente, en el caso del sistema de aseguramiento de servicio se considera que el número de *trouble tickets* generados es proporcional al número de recursos de red desplegados por el operador modelado. Debido a ello, para estimar cómo se reduce el número de *trouble tickets* con y sin tráfico incremental, se considera que el número de *trouble tickets* generados sin tráfico incremental decrece de forma proporcional a la reducción en la inversión requerida para soportar el tráfico sin incremento.

Cálculo del número de empleados por plataforma BSS/OSS

Para dimensionar el número de empleados que participan en la operación y mantenimiento de las plataformas se utilizan los mismos inductores que los determinados en la Figura 8.6. Así, por ejemplo, un aumento en el número de suscriptores conlleva un aumento en el número de ticket diarios generados, lo que conllevará a su vez un mayor número de empleados en el mantenimiento de las plataformas de aseguramiento de servicio.

En la siguiente tabla se muestran las reglas de diseño utilizadas para dimensionar el número de empleados de red por plataforma BSS/OSS. A partir de los datos proporcionados por los operadores como respuesta a la petición de datos se han calibrado el número de empleados trabajando en cada plataforma BSS/OSS para que sean coherentes con la situación del mercado de telecomunicaciones fijo español.

Figura 8.7: Reglas utilizadas para dimensionar el número de empleados por plataforma [Fuente: Analysys Mason, 2012]

Plataforma	Número mínimo de empleados por plataforma	Valor a partir del cual se requiere un empleado adicional
Planificación, diseño y operaciones de red	4	750 000 puertos
Provisión	4	2 500 eventos diarios
Aseguramiento de servicio	4	1 000 tickets diarios
Facturación	4	4 000 000 CDRs diarios

Cálculo del coste asociado a las plataformas BSS/OSS

A partir del número de trabajadores requeridos en el mantenimiento, administración, planificación y gestión de las plataformas BSS/OSS, el módulo calcula el gasto anual imputable a la mano de obra. Para ello, se utiliza la misma metodología que la detallada previamente para obtener el coste unitario de los empleados en el área de red (ver Sección 8.1.2).

Se utilizan datos de entrada basados en la información proporcionada por fabricantes y operadores adaptada a la situación del mercado de telecomunicaciones fijas español para estimar los costes unitarios por cada plataforma BSS/OSS, y así poder obtener el coste anual asociado a los sistemas.

Sumando el coste asociado a los trabajadores en el mantenimiento, administración, planificación y gestión de las plataformas BSS/OSS al coste de los sistemas se obtiene el coste anual imputable a las plataformas BSS/OSS.

Datos de salida

El módulo devuelve como datos de salida el dimensionamiento y coste de inversión y gastos de mantenimiento atribuible a las plataformas BSS/OSS. El módulo asume que la tendencia de precios del opex unitario es cero en términos reales.

La Figura 8.8 muestra un ejemplo de los datos de salida del módulo del cálculo del coste de los sistemas BSS/OSS. Los datos de salida serán utilizados como datos de entrada del módulo de coste.

Figura 8.8: Ejemplo de los resultados en los gastos de operación y mantenimiento anuales asociados a las plataformas BSS/OSS [Fuente: Analysys Mason, 2012]

	Units	2,008	2,009	2,010	2,011	2,012
Operations, support and readiness systems	EUR	0	1,427,361	1,696,230	1,988,888	1,705,853
Assurance systems	EUR	0	2,016,230	3,673,969		
Fulfillment systems	EUR	0	2,125,099	3,661,330		
Wholesale billing sytems	EUR	0	937,738	1,316,984		

Ejemplo ilustrativo

8.3 Ficheros del módulo de cálculo del opex y de los costes de inversión y gastos de operación de los sistemas BSS/OSS

El módulo de cálculo del opex y de los costes de inversión y gastos de operación de los sistemas BSS/OSS está incluido en el fichero *5.1 Opex - IT.xlsx*.

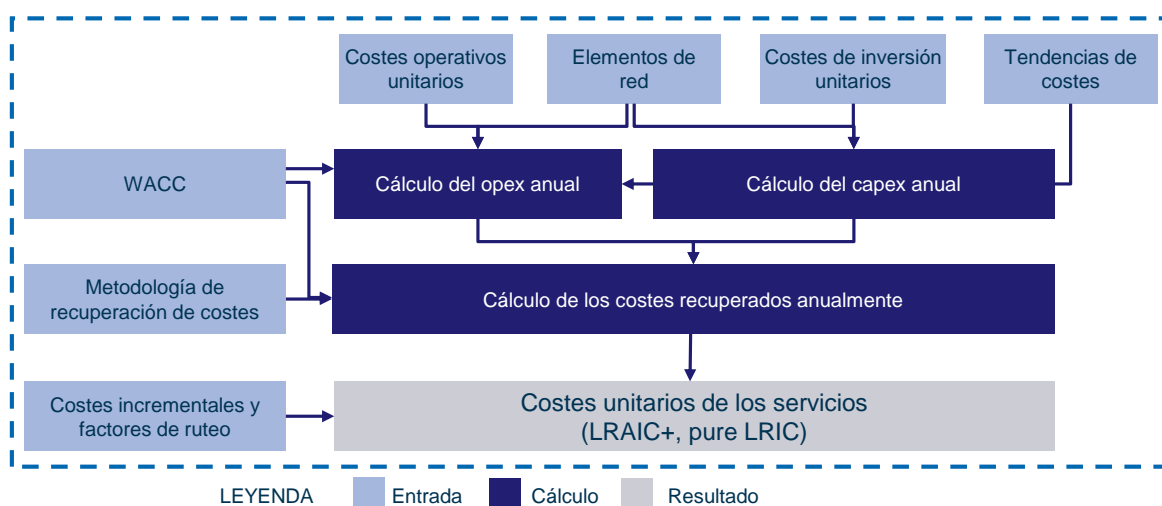
9 Módulo de costeo

El módulo de costeo calcula los precios unitarios de los servicios de red utilizando las metodologías de cálculo de costes LRAIC+ y LRIC puro. Para ello, obtiene en un primer paso el capex y opex anual de los activos desplegados en la red, y calcula la recuperación de costes anual de los activos en base a diferentes metodologías, entre las que se encuentra la depreciación económica.

9.1 Introducción

La Figura 9.1 muestra un esquema del funcionamiento del módulo de costeo.

Figura 9.1: Esquema del funcionamiento del módulo de costeo [Fuente: Analysys Mason, 2012]



Este módulo calcula la inversión y gastos operativos anuales de red del operador modelado para la totalidad del horizonte temporal considerado en el modelo. Para ello, utiliza los datos de capex y opex unitario por tipo de activo y año, así como el número de activos adquiridos y desplegados en la red anualmente.

A partir de los costes unitarios de capex y opex en términos reales del año 2012 y de las tendencias de costes, es decir la variación en los capex y opex unitarios en cada año con respecto al año base 2012, recibidas como datos de entrada, el módulo calcula los costes unitarios de los activos para la totalidad del horizonte temporal considerado en el modelo.

Aplicando el capex unitario al número de activos adquiridos cada año se obtiene el valor de la inversión del operador de la red de telecomunicaciones. En base al número de activos desplegados y operativos cada año y aplicando el opex unitario para cada uno de ellos se obtienen los gastos de red anuales del operador.

Una vez calculado el opex y capex anual del operador, el módulo aplica los algoritmos de recuperación de costes. El caso base se ejecutará con un algoritmo de depreciación económica.

Adicionalmente el modelo aporta flexibilidad para utilizar otras metodologías de recuperación de costes: el capex se puede recuperar también siguiendo una convención de amortización lineal (más coste de capital), anualidad estándar y *tilted annuity*.

Finalmente, aplicando las metodologías LRAIC+ y LRIC puro se obtienen los costes unitarios anuales por servicio en base a la metodología de recuperación de costes considerada.

9.2 Descripción funcional del módulo

En esta sección detallamos la metodología empleada para calcular los costes del operador modelado:

- Sección 9.2.1: describe cómo se definen los costes unitarios y las tendencias de costes de los activos en el modelo
- Sección 9.2.2: detalla el cálculo del capex y opex anual
- Sección 9.2.3: detalla cómo se han calculado los costes utilizando la metodología LRAIC+
- Sección 9.2.4: describe cómo se han calculado los costes utilizando la metodología LRIC puro
- Sección 9.2.5: presenta los datos de salida del módulo de costeo.

9.2.1 Precios unitarios de los activos y tendencias de precios

Este módulo utiliza como datos de entrada los costes unitarios anuales tanto de opex como de capex para cada tipo de elemento de red existente.

Los costes de inversión unitarios utilizados en el modelo se basan en información recabada durante la construcción de otros modelos similares realizados por Analysys Mason. Las fuentes originales han sido operadores de telecomunicaciones y fabricantes de equipos de telecomunicaciones. Los costes de inversión unitarios de los diferentes elementos de red reflejan el coste de adquisición, incluyendo todos los posibles costes asociados como puede ser la gestión del proyecto, costes de instalación y/o despliegue, etc. Como se ha indicado anteriormente, los costes de inversión unitarios utilizados en el modelo se corresponden al año 2012.

Para calcular el coste unitario de inversión de cada activo durante el horizonte temporal del modelo, los activos se agrupan en categorías y se asigna a cada una de ellas una tendencia de costes que refleja los siguientes aspectos:

- la evolución anual media esperada de sus costes de adquisición, planificación, despliegue, etc. en términos reales, es decir sin incluir el efecto de la inflación
- el incremento de las prestaciones de los equipos de telecomunicaciones. En efecto, a la hora de definir las tendencias en los costes unitarios de los elementos de red se tiene en cuenta que se tenderá a desarrollar activos de mayores prestaciones (como pueden ser incrementos de capacidad) en los próximos años. Esto es así ya que las redes modeladas se construyen con equipos con prestaciones (capacidades unitarias) constantes a lo largo del periodo modelado.

La siguiente tabla muestra las categorías de activos definidas, y la variación anual en términos reales de los costes de inversión unitarios.

Categoría	Tendencia de costes
Port_cards	-8%
Chassis	-5%
Active_transmission_equipment	-5%
Passive_transmission_equipment	0%
Service_platforms	-5%
BSS_OSS	-5%
Sites	2%
Trench_civil_works	2%
TV_Platforms	-5%

Figura 9.2: Variaciones en los precios unitarios reales de grupos de activos [Fuente: Analysys Mason, 2012]

La Figura 9.3 muestra la relación entre los activos modelados y los grupos de activos para los que se han definido las tendencias de costes.

Figura 9.3: Principales elementos de red y sus grupos de activos correspondientes [Fuente: Analysys Mason]

Equipo	Grupos de activos	Equipo	Grupos de activos
DSLAM	Port_cards	BRAS	Service_platforms
OLT	Chassis		
SBC	Port_cards Chassis	RADIUS	Service_platforms
Switches (regionales y core)	Port_cards Chassis	DNS	Service_platforms
Routers (regionales y core)	Port_cards Chassis	Equipos de reloj y sincronización	BSS_OSS
Call server	Service_platforms	Billing systems	BSS_OSS
MGW	Port_cards Chassis	VMS	Service_platforms
Enlaces de fibra	Active_transmission_equipment	VAS, IN	Service_platforms
Enlaces de fibra oscura	Passive_transmission_equipment	Fulfillment systems	BSS_OSS
Obra civil	Trench_civil_works	Assurance systems	BSS_OSS
Emplazamientos	Sites	Operations systems	BSS_OSS

El usuario del modelo puede cambiar manualmente las tendencias de costes unitarios para cada año si así lo desea.

Los datos de costes operacionales unitarios de cada activo se han calculado en el módulo de cálculo de opex en función de los gastos derivados del mantenimiento y soporte de los activos, así como de los gastos requeridos para garantizar el funcionamiento de los activos, es decir, gastos correspondientes a electricidad, etc., tal y como se ha descrito en la sección anterior. Para mayor detalle, consultar la Sección 8.

En el caso de los precios unitarios de opex, tal y como se describió en la sección anterior, se considera que la tendencia de precios del opex unitario en términos reales es cero.

9.2.2 Anualización de los costes de inversión y gastos operacionales

Este módulo calcula el coste total anual de capex y opex a partir del número y tipo de elementos de red obtenidos en el módulo de dimensionamiento de la red y de los precios y gastos unitarios por activo durante el periodo modelado. Se obtiene así el coste total asociado a la explotación de red del operador en términos reales para cada año de operación.

Recuperación de costes

El módulo de costeo calcula los costes anualizados del operador utilizando los siguientes datos de entrada:

- el capex anual por tipo de activo
- el opex anual por tipo de activo
- el WACC del operador en términos reales (es decir sin incluir el efecto de la inflación); el WACC utilizado en el modelo será proporcionado por la CMT.

El modelo ofrece diferentes opciones para la anualización y recuperación de los costes de los elementos de red. El caso base asume la utilización de un algoritmo de depreciación económica para calcular los costes unitarios de los servicios de interconexión en línea con lo especificado en la Recomendación de la Comisión Europea²⁰ de mayo de 2009

Adicionalmente, a título ilustrativo, el modelo aporta flexibilidad a la hora de entender el perfil de recuperación de costes siguiendo otras metodologías de recuperación de costes.

A continuación pasamos a describir los siguientes métodos de recuperación de costes utilizadas en el modelo:

- depreciación económica
- depreciación lineal²¹
- anualidad simple
- amortización variable (*tilted annuity*).

²⁰ Commission Recommendation of 7 May 2009 on the Regulatory Treatment of Fixed and Mobile Termination Rates in the EU (2009/396/EC)

²¹ En el caso de la depreciación lineal, la anualidad simple y *tilted annuity*, se ha considerado que el periodo de planificación de todos los activos es igual a un año. De este modo, se simplifica la complejidad asociada a la implementación de estos métodos de recuperación de costes en el modelo.

► *Depreciación económica*

La depreciación económica asegura la recuperación de todos los costes al verificar que el valor presente (VP) de todos los gastos incurridos es igual al valor presente de todos los costes económicos recuperados.

$$VP(\text{gastos incurridos}) = VP(\text{costes recuperados}) = VP(\text{producción} \times \text{costes unitarios})$$

El cálculo del valor presente de los costes anuales recuperados permite reflejar la recuperación del coste futuro en términos actuales. Cualquier coste recuperado en los años posteriores a la adquisición de un elemento de red tiene que ser descontado por una cantidad equivalente al WACC, de esta forma se refleja el coste de oportunidad de aplazar un pago o ingreso.

Para reflejar las variaciones en los costes unitarios de los activos, el valor de los costes económicos recuperados se modela como:

$$\text{Producción} \times \text{coste unitario año } 1 \times \text{índice de precio MEA (modern equivalent asset)}$$

Donde:

- *producción* representa el volumen del servicio transportado por el elemento de red
- *índice de precio MEA* representa la tendencia de precio acumulada para un elemento de red que determina la tendencia en la recuperación de coste unitario a lo largo del tiempo.

Esto resulta en las ecuaciones generales siguientes:

$$\text{Recuperación de costes (año } n) = \text{coste unitario en año } 1 \times \text{producción} \times \text{índice de precio MEA}$$

Aplicando valores presentes, la ecuación anterior es equivalente a:

$$VP(\text{gastos incurridos}) = VP(\text{coste unitario en año } 1 \times \text{producción} \times \text{índice de precio MEA})$$

Esta ecuación se puede reorganizar como:

$$\text{Coste unitario en año } 1 = VP(\text{gastos incurridos}) / VP(\text{producción} \times \text{índice de precio MEA})$$

De este modo, para obtener la recuperación de costes en el año n se utiliza la siguiente fórmula:

$$\underline{\text{Coste anual a lo largo del tiempo}} = \text{coste unitario en año } 1 \times \text{índice de precio MEA}$$

El cálculo de los costes anuales recuperados utilizando la depreciación económica se realiza tanto para el capex como para el opex incurridos por el operador modelado.

En el módulo de costeado se adoptado una forma clara y concisa de depreciación económica que considera:

- series temporales completas de gastos incurridos eficientemente
- un perfil de recuperación de costes que refleje el cambio en precios de los MEA
- el perfil del tráfico a lo largo del tiempo, que refleje el nivel de demanda que cada operador ha conseguido (y que se proyecta que consiga) a lo largo del tiempo.

► *Depreciación lineal*

Para calcular los costes recuperados utilizando la depreciación lineal se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Costes anualizados} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Vida útil}} + \text{VNC} * \text{WACC} + \text{Opex}$$

En este tipo de depreciación, el gasto de capital registrado en el *fixed asset register* (registro de activos fijos del operador) se deprecia a lo largo de la vida útil contable del activo a una tasa constante. Es decir, la depreciación lineal distribuye los costes de adquisición de forma uniforme a lo largo de la vida útil del activo. En efecto, para cada año el cargo de depreciación será:

$$\text{Depreciación} = \text{Inversión} / \text{Vida Útil}$$

En la depreciación lineal el valor neto contable (VNC) de los activos decrece de forma lineal a lo largo de la vida útil de los activos, y el correspondiente coste de capital anual también decrece de forma lineal:

$$\text{Coste de capital} = \text{Valor Neto Contable} * \text{WACC}$$

Finalmente, para recuperar todos los costes anuales incurridos por el operador, hay que añadir los costes operacionales (opex) al cálculo de coste de capital y depreciación obtenido previamente.

► *Depreciación por anualidad estándar*

Para calcular la depreciación por anualidad estándar se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Costes de inversión anuales recuperados} = \text{Inversión} * \frac{\text{WACC}}{1 + (1 + \text{WACC})^{-\text{Vida útil}}}$$

La anualidad estándar obtiene costes anualizados constantes a lo largo de la vida útil de los activos. De forma similar al resto de metodologías descritas, una vez descontados los costes anuales obtenidos, se recuperan totalmente la inversión y el coste de capital.

Finalmente, se añade el opex a los costes anuales de la inversión de los activos recuperados anualmente.

► *Depreciación por amortización variable (tilted annuities)*

En el caso de la depreciación por amortización variable se emplea la siguiente fórmula para calcular los costes recuperados anualmente:

$$\text{Costes anualizados} = \frac{\text{WACC} - \text{MEApriceChange}}{1 - \left(\frac{1 + \text{MEApriceChange}}{1 + \text{WACC}} \right)^{\text{lifetime}}} \times \text{GRC}$$

En este tipo de depreciación la recuperación anual de costes de inversión y de coste de capital tiene en cuenta las variaciones en el precio unitario de los activos a lo largo del tiempo.

Una vez obtenidos los costes anualizados debido a la inversión y coste de capital, se añade el opex anual.

9.2.3 Cálculo de los resultados del modelo por LRAIC+

El modelo calcula los costes unitarios de todos los servicios en base a la metodología LRAIC+. Éstos se calculan como el coste incremental promedio de largo plazo (LRAIC o CITLP) al que se le añade un gran incremento de forma que todos los servicios que son suministrados se tratan juntos y de igual manera. Es decir, los costes de tráfico se definen como un agregado y después son distribuidos a los diferentes servicios de tráfico mediante factores de enrutamiento. Los servicios se benefician de las economías de escala promedio y no por un mayor o menor grado en estas economías.

La denominación Plus utilizada implica la inclusión de costes comunes, p.ej. costes de la red que son comunes a todo el tráfico como puede ser el personal en funciones de apoyo (*business overheads* en inglés).

En el modelo los costes considerados como comunes han sido previamente incluidos en el cálculo del gasto operativo anual por tipo de activo. Es decir, se han tenido en cuenta a la hora de calcular el coste unitario de los empleados encargados de las tareas de mantenimiento y operación. De este modo, los costes comunes asignados a cada tipo de activo (es decir, costes asociados al personal en funciones de apoyo), dependen directamente del número horas de los empleados requeridas para garantizar el buen funcionamiento de los activos.

En cualquier caso, el modelo permite añadir otros costes comunes adicionales a través de una tabla en la que se especifica para cada elemento de red definido en el modelo si se considera su coste como común o incremental. En dicho caso, el modelo utiliza el mecanismo de margen adicional equi-proporcional (EPMU, por sus siglas en inglés) para distribuir los costes comunes. Mediante este método, los costes comunes se recuperan en proporción al coste incremental asignado a los distintos servicios producidos. Su aplicación es sencilla, y resulta en un tratamiento uniforme de todos los servicios del negocio y no necesita parámetros adicionales.

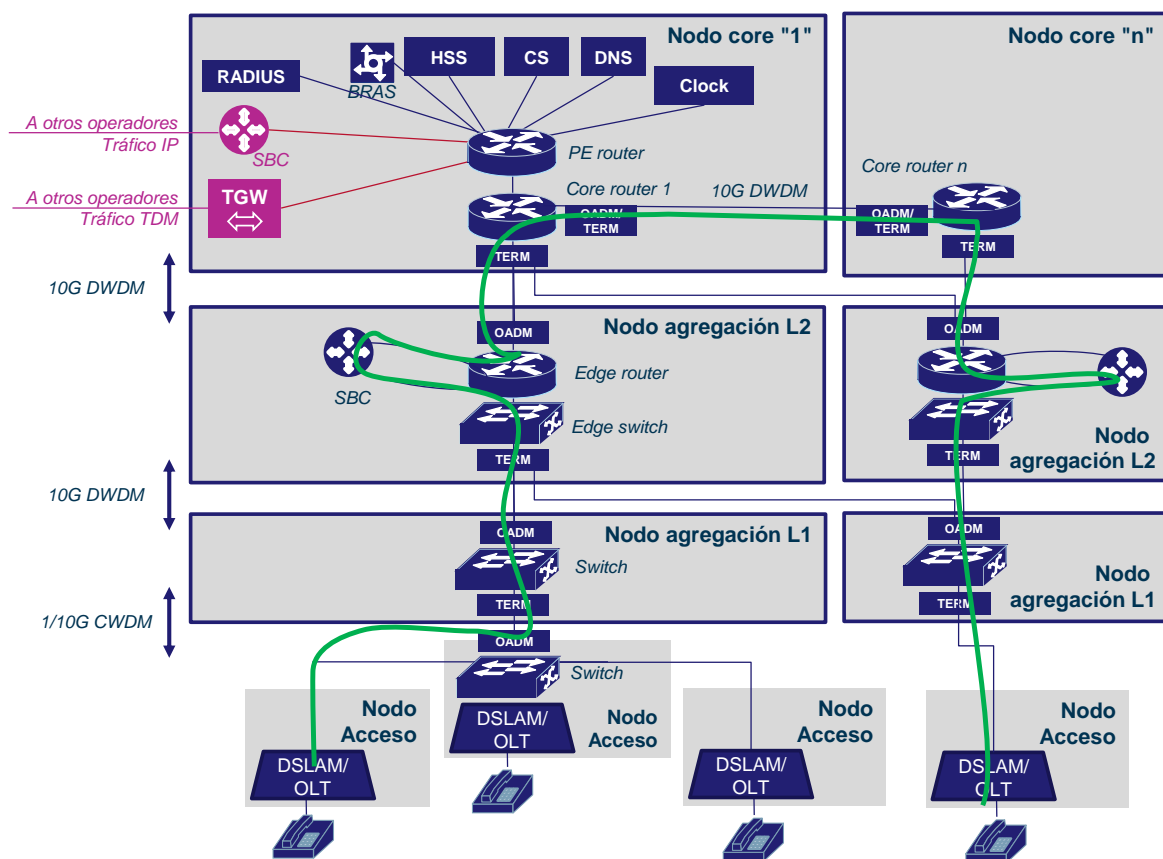
En el Anexo A se ofrece información adicional sobre los diferentes tipos de incremento que se consideran en el modelo.

Utilización de los factores de enrutamiento

Como ya explicamos en la Sección 6, la matriz de enrutamiento indica la utilización que cada servicio de red hace de cada elemento de red. Los factores de enrutamiento definidos anteriormente en el modelo, se utilizan en este módulo para asignar los costes de los activos a cada uno de los servicios incluidos en el modelo en base al grado de utilización que hace cada servicio de los diferentes elementos de red.

Por ejemplo, en la siguiente figura se muestran los elementos de red por los que circula una llamada de voz on-net nacional multi-nodo en el caso del escenario de un operador con cobertura similar al incumbente. Tal y como muestra la línea verde en la figura, la llamada hace uso dos veces (ya que sigue un camino de subida y otro de bajada) de los recursos de la red de acceso, switch de agregación L2, SBC, edge router, core router y SBC de interconexión.

Figura 9.4: Esquema gráfico del flujo de una llamada de voz on-net nacional multi-nodo en un operador con cobertura similar al incumbente [Fuente: Analysys Mason, 2012]



Adicionalmente, una llamada de este tipo utiliza otro tipo de elementos de red relacionados con la señalización necesaria. Entre estos elementos se incluyen el call server, el VMS (ya que una parte de las llamadas de este tipo pueden ser desviadas al buzón de voz) y la plataforma de red inteligente (IN). Adicionalmente y, en común con el resto de los servicios prestados por el operador, los sistemas de reloj y sincronía, así como los sistemas de operaciones y soporte están involucrados en el desarrollo de este tipo de llamadas.

En la siguiente tabla se muestran los factores de enrutamiento que se han definido para este tipo de llamada. En este ejemplo, dado que este tipo de llamadas sólo transita por un nodo core, el factor de enrutamiento asociado a los enlaces entre los nodos core es igual a 0.

	Factor de enrutamiento
Acceso	2
Enlaces entre red de acceso y agregación L1	2
Switch de agregación L1	2
Enlaces entre agregación L1 y agregación L2	2
Switch de agregación L2	2
SBC	2
Edge router	2
Core router	2
Interconexión SBC	0
Enlaces entre nodos core	1
PE router	0
Call server	1
VMS	1
IN platform	2
Clock and synchronisation equipment	1
Operations, support and readiness system	1

Figura 9.5: Factores de enrutamiento para el caso de una llamada off-net intra-nodo [Fuente: Analysys Mason, 2012]

9.2.4 Cálculo de los resultados del modelo por LRIC puro

El modelo calcula el coste unitario de los servicios de terminación, originación y originación a números no geográfico utilizando la metodología LRIC puro (*pure LRIC* en inglés). La utilización de este incremento es consistente con la recomendación de la Comisión Europea para el tratamiento regulatorio de terminación fija y móvil. Dicha recomendación considera el incremento como el tráfico de un único servicio, como por ejemplo el tráfico de terminación de voz.

Para el cálculo del LRIC puro, se calcula el coste incremental ejecutando el modelo *con* y *sin* el incremento que se quiera costear. Los costes unitarios son entonces determinados como el cociente entre este coste incremental y el volumen de tráfico incremental del servicio (ver Figura 9.6).

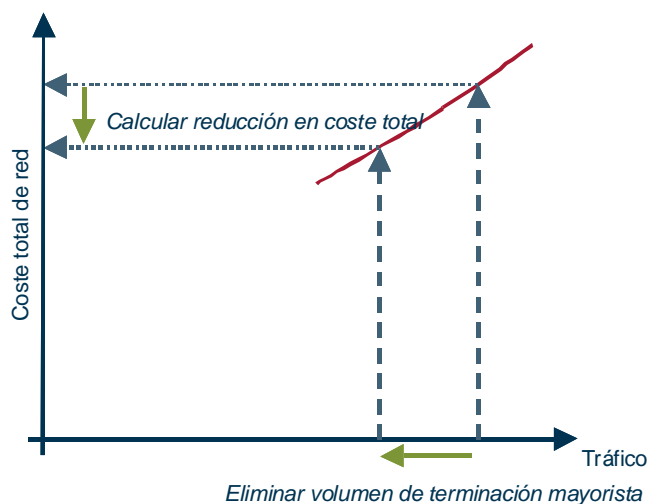
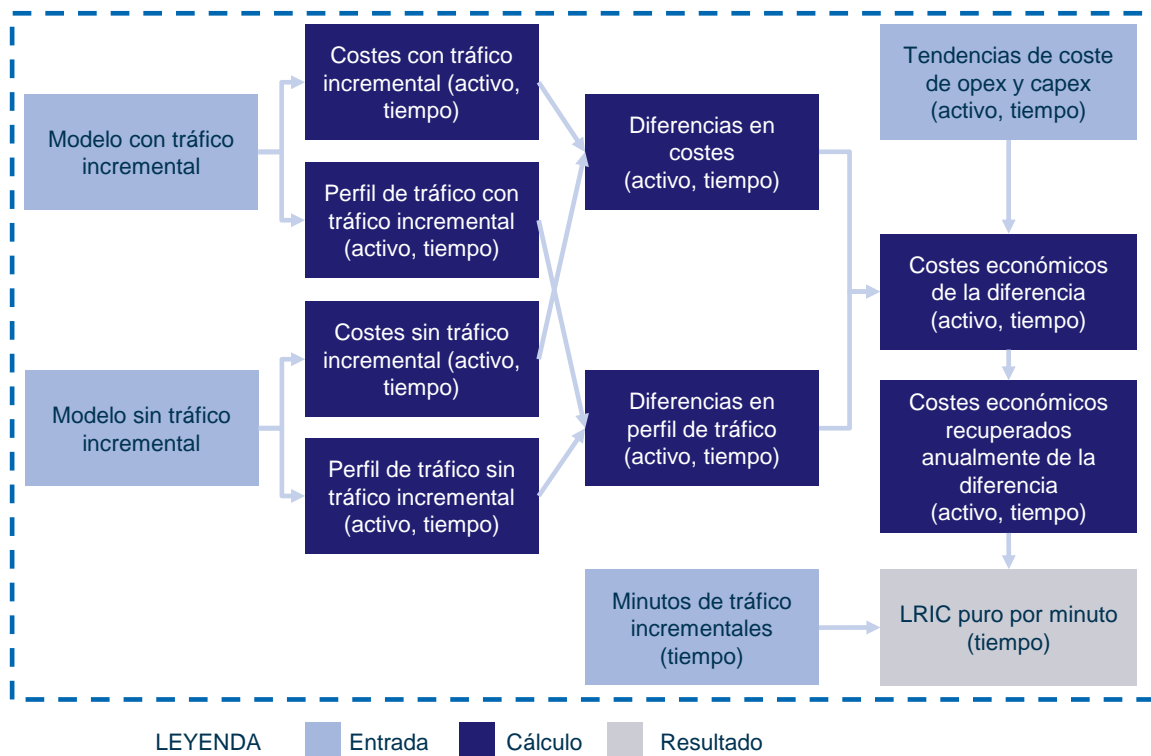


Figura 9.6: Cálculo del coste incremental del tráfico de terminación [Fuente: Analysys Mason]

El cálculo de los resultados obtenidos al aplicar la metodología pure LRIC se basa en una macro en Excel que efectúa los siguientes pasos (ver Figura 9.7):

- ejecuta el modelo y calcula los costes de la red completa del operador, *sin* el incremento del servicio considerado (tráfico de originación, tráfico de originación a números no geográficos o terminación de otras redes)
- ejecuta el modelo y calcula los costes de la red completa del operador, *con* el incremento del servicio considerado (tráfico de originación, tráfico de originación a números no geográficos o terminación de otras redes)
- obtiene la diferencia en costes entre los dos cálculos obtenidos y anualiza esta diferencia en base a la metodología de depreciación económica
- divide el coste anualizado total por el número de minutos incrementales del servicio considerado (originación, tráfico de originación a números no geográficos o terminación de otras redes) para obtener el coste del minuto incremental.

Figura 9.7: Etapas efectuadas por la macro del modelo para el cálculo del LRIC puro [Fuente: Analysys Mason, 2012]



Cálculos del coste unitario LRIC puro de los servicios de terminación y acceso indirecto

El modelo también es capaz de calcular los resultados del coste unitario LRIC puro de los servicios de terminación y acceso indirecto en base a los métodos de recuperación de costes (o depreciaciones) adicionales incluidos en el modelo (depreciación lineal, anualidad simple y amortización variable). Dichas depreciaciones se calculan utilizando una metodología ligeramente diferente a la anterior: se calcula directamente la diferencia de los costes recuperados tras aplicar el

mecanismo de depreciación correspondiente al capex y opex de la red totalmente cargada de tráfico y el capex y opex de la red cargada con todo el tráfico excepto de los servicios que se costean (en vez de considerar la diferencia en costes de capex y opex en los escenarios con la red totalmente cargada de tráfico y la red cargada con todo el tráfico excepto de los servicios que se costean, y aplicar una depreciación económica sobre esta).

A título meramente informativo, se ha añadido el cálculo de la depreciación económica con la metodología modificada en aras de la exhaustividad en lo que respecta a los resultados del modelo.

En el Anexo A se ofrece información adicional sobre los diferentes tipos de incremento que se consideran en el modelo.

9.2.5 Datos de salida del módulo

El módulo de costeo devuelve los costes unitarios de los servicios costeados utilizando la metodología LRIC puro para originación, originación a números no geográficos y terminación de voz fija, y utilizando la metodología LRAIC+ para todos los servicios considerados.

El modelo calcula los costes unitarios de los diferentes servicios según las metodologías LRAIC+ y LRIC puro (tal y como se ha explicado en las secciones precedentes). Adicionalmente, el modelo presenta estos costes unitarios de dos maneras:

- Un coste unitario por unidad de tráfico de cada servicio – Para los servicios de voz, el resultado sería el coste unitario por minuto.
- Un coste por capacidad – En este caso, el coste unitario se expresa en Mbit/s, (o E1, GigEthe, etc.) y representa el coste asociado a reservar una determinada capacidad en la red en la hora cargada de cada tipo de servicio. En el caso de los servicios de interconexión de voz, este resultado por capacidad también representa el coste de reservar durante todo el tiempo capacidad en la hora cargada independientemente de la utilización de dicha capacidad fuera de la hora cargada.

El modelo presenta los resultados de costes unitarios de los servicios tanto en términos reales como en términos nominales durante el horizonte temporal considerado en el modelo. Para ello, el modelo incorpora como parámetro configurable por el usuario la tasa de inflación anual para cada año dentro del periodo de tiempo modelado.

El modelo contempla la posibilidad de realizar la interconexión de los servicios de voz por IP y/o TDM. Los costes unitarios se calculan para los dos tipos de interconexión en función del tráfico cursado de cada tipo, así como de forma global para las dos tecnologías de interconexión en conjunto.

Finalmente, el modelo también obtiene el coste de transferir la llamada de terminación, originación u originación a números no geográficos a un punto de conexión virtual situado a nivel de capa de agregación. Para ello, se tienen en cuenta los costes recuperados anualmente de los activos de la red utilizados para distribuir la llamada al punto de interconexión virtual.

La Figura 9.8 muestra un ejemplo de los datos de salida del módulo de costeo:

Figura 9.8: Ejemplo ilustrativo de los resultados que arroja el módulo de costeo [Fuente: Analysys Mason, 2012]

		2008	2009	2010	2011	2012
Cost per minute, real 2012 EUR cents						
Regional on-net calls (retail)	EUR cents	0.0000	1.4771	1.4209	1.3679	1.3179
National intra-node on-net calls (retail)	EUR cents	0.0000	1.6431	1.5795	1.5196	1.4631
National multi-node on-net calls (retail)	EUR cents	0.0000	1.7077	1.6415	1.5792	1.5205
National intra-node outgoing calls (retail)	EUR cents	0.0000	1.4310	1.3704	1.3136	1.2603
National multi-node outgoing calls (retail)	EUR cents	0.0000	1.4955	1.4324	1.3732	1.3177
National intra-node incoming calls (wholesale)	EUR cents	0.0000	1.6992	1.6255	1.5564	1.4914
National multi-node incoming calls (wholesale)	EUR cents	0.0000	1.7637	1.6875	1.6160	1.5487
Incoming calls to non-geographic numbers	EUR cents	0.0000	1.0760	1.0258	0.9787	0.9344
National intra-node outgoing calls (wholesale, Incumbent)	EUR cents	0.0000	1.4310	1.3704	1.3136	1.2603
National multi-node outgoing calls (wholesale, Incumbent)	EUR cents	0.0000	1.4955	1.4324	1.3732	1.3177
National intra-node outgoing calls to non-geographic numbers (wholesale)	EUR cents	0.0000	1.4310			
National multi-node outgoing calls to non-geographic numbers (wholesale)	EUR cents	0.0000	1.4955			
National intra-node transit calls (wholesale)	EUR cents	0.0000	1.4208			
National multi-node transit calls (wholesale)	EUR cents	0.0000	1.4853			

Ejemplo ilustrativo

9.3 Ficheros del módulo de costeo

El módulo de costeo está incluido en el fichero *6.1 Service costing.xlsx*.

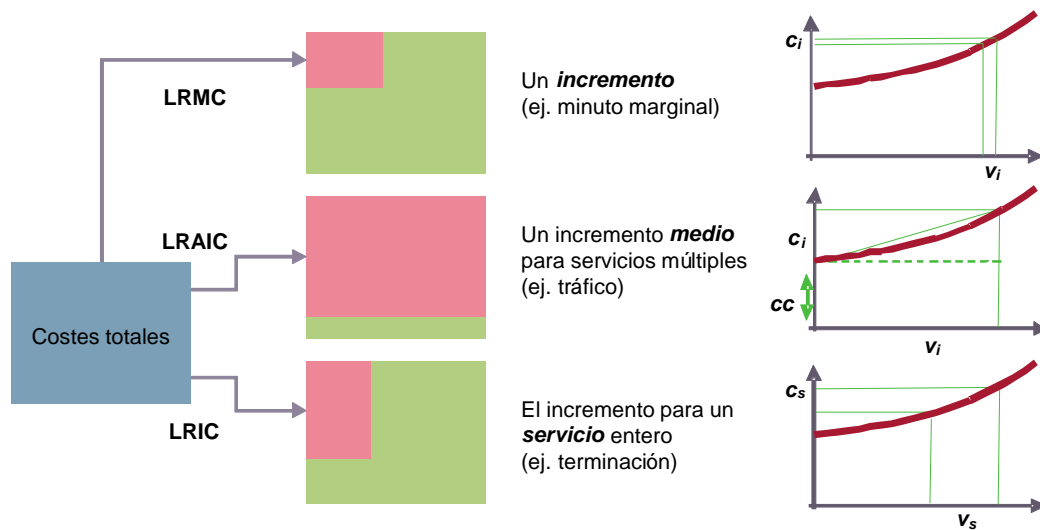
Anexo A Tipos de incrementos utilizados en los modelos de costes

Por un lado, el coste incremental es el coste que incurre un operador para satisfacer el incremento en la demanda de uno de sus servicios, bajo el supuesto de que la demanda de los otros servicios que ofrece el operador no sufre cambios. Por otro lado, es el coste es el coste total que evitaría el operador si cesara la provisión de ese servicio particular. Los incrementos toman la forma de un servicio, o conjunto de servicios, al que se distribuyen los costes, ya sea de forma directa (en el caso de los costes incrementales) o mediante un *mark-up* (si se incluyen los costes comunes). El tamaño y número del incremento afecta la complejidad²² de los resultados y la magnitud²³ de los costes resultantes.

Enfoques genéricos

Durante los últimos diez años, ha evolucionado el enfoque adoptado para definir el incremento, tanto en redes de telefonía móvil como (en menor medida) en redes de telefonía fija. A continuación se presentan tres ejemplos gráficos de enfoques comunes de costes incrementales.

Figura A.1: Enfoques para definir el incremento [Fuente: Analysys Mason]



²² Entre más incrementos, más cálculos se necesitan en el modelo y más costes comunes (o agregado de costes comunes) tienen que ser distribuidos como *mark-up*.

²³ Por las economías de escala y el mecanismo de márgenes adicionales.

Primeramente se observa el coste marginal a futuro (LRMC) representa un enfoque extremo donde solamente los costes incrementales de un minuto adicional de tráfico son considerados. Obviamente este enfoque no es práctico para definir precios regulatorios, ya que implicaría que cada minuto adicional entregado por los operadores tendría su propio coste específico (asumiendo que la relación coste volumen no es lineal).

Después está el coste incremental promedio de largo plazo (LRAIC) que es más consistente con el costeo “promedio” aplicado actualmente en la mayoría de la regulación fija. Este puede ser descrito como como un enfoque de grandes incrementos – todos los servicios que contribuyen a las economías de escala en la red se suman en un gran incremento; los costes de servicios individuales se identifican mediante la repartición del gran coste incremental (tráfico) de acuerdo con los factores de enrutamiento del uso de recursos promedio. La adopción de un gran incremento – en general alguna forma de “tráfico” agregado – significa que todos los servicios que son suministrados se tratan juntos y con *igualdad*. Cuando uno de estos servicios es regulado, es beneficiado por las economías de escala promedio y no por un mayor o menor grado en estas economías. El uso de un gran incremento también limita los costes comunes a una evaluación del mínimo despliegue de red necesario para ofrecer el servicio.

Por último, el costeo incremental de largo plazo puro (LRIC) es consistente con la recomendación de la Comisión Europea para el tratamiento regulatorio de terminación fija.

En nuestra interpretación de la Recomendación de la Comisión Europea 2009/396/CE, el coste incremental de sólo el volumen de terminación mayorista se evalúa ‘al margen’ de la función de coste. Al construir un modelo de costes ascendente que contenga algoritmos de diseño de red, es posible usar el modelo para calcular el coste incremental: ejecutándolo *con* y *sin* el incremento de que se trate (véase la Figura A.2). Los costes unitarios de terminación de voz son entonces determinados como el cociente entre este coste y el volumen total de servicio.

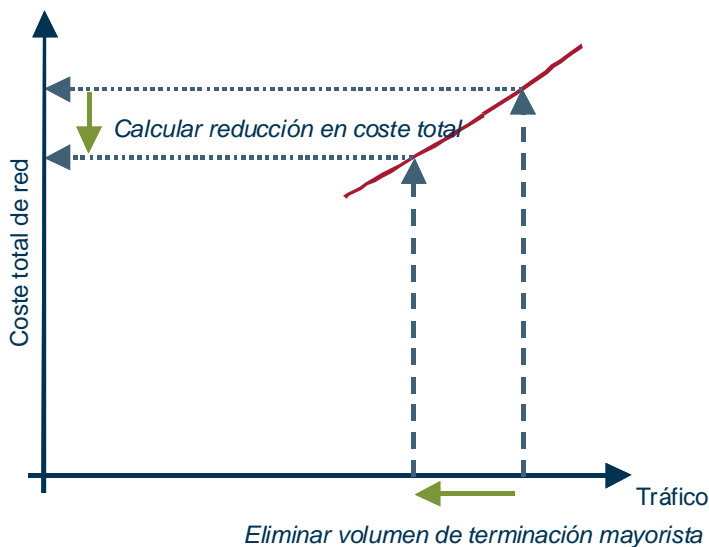


Figura A.2: Cálculo del coste incremental del tráfico de terminación
[Fuente: Analysys Mason]

Tamaño del incremento y costes comunes

El modelo de costes puede usarse para calcular los costes incrementales y comunes de otros servicios que no son de terminación. El tamaño del incremento afecta a la cantidad de costes comunes.

Por ejemplo, la utilización de incrementos grandes significa que las economías de escala generadas a lo largo del negocio se incorporan al coste incremental. Esto maximiza el coste incremental y minimiza los costes comunes. Asimismo, la definición propuesta por la Comisión Europea es el uso de incrementos menores generando una alta proporción de costes comunes. La Figura A.3 ilustra el impacto que el tamaño del incremento tiene sobre los costes comunes.

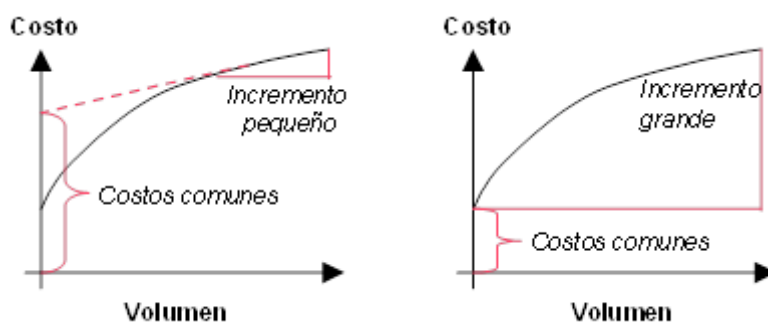


Figura A.3: Incrementos grandes y pequeños
[Fuente: Analysys Mason]

Enfoque LRAIC plus

Este enfoque es consistente con las prácticas históricas de la mayor parte de los reguladores europeos y con los lineamientos de la CMT. Como se mencionó anteriormente, los costes de tráfico se definen como un agregado y después son distribuidos a los diferentes servicios de tráfico mediante factores de ruteo. Esto implica que se requerirá una matriz de factores de ruteo promedio para cada modelo.

La denominación Plus utilizada implica la inclusión de costes comunes, p.ej. costes de la red que son comunes a todo el tráfico como pueden ser cobertura, licencias y gastos generales. El uso de un incremento grande implica que los costes comunes para los servicios de tráfico son automáticamente incluidos en el incremento.

Es también necesario identificar un incremento de usuarios que capture los costes que varían con el volumen de usuarios (no por cambios en volumen). El incremento de usuarios, que capturará estos costes, debe ser definido con cuidado para ser consistente y transparente. Estos costes son definidos como los costes promedio incrementales cuando nuevos usuarios son agregados a la red. En una red fija, un nuevo usuario requerirá ser conectado a la tarjeta del conmutador, o equivalente en una red de nueva generación, mediante cobre/cable/fibra que vaya del usuario al punto de concentración.

Se propone que este “servicio incremental de usuario” sea definido sencillamente como el derecho a unirse a la red de usuarios. Cualquier otro coste, incluyendo costes requeridos para establecer una red operacional pero sólo con capacidad mínima, son recuperados mediante los incrementos de uso. Por consiguiente, todo el equipo para usuarios será también excluido (p.ej. teléfonos, módems, etc.).

En la siguiente figura se encuentran rellenos los costes a incluirse siguiendo este método.

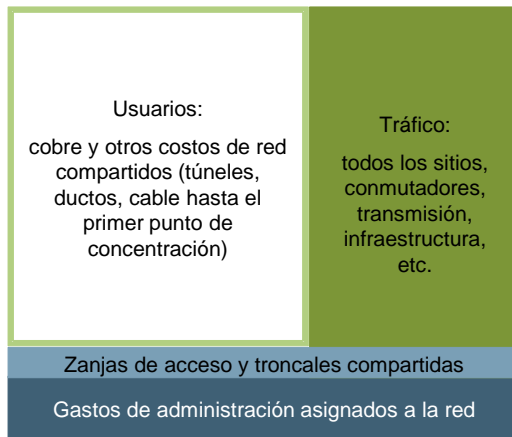


Figura A.4: Distribución de costes usando LRIC plus [Fuente: Analysys Mason]

Enfoque LRIC puro

El enfoque *LRIC Puro* es consistente con la Recomendación de la CE, que especifica la siguiente metodología para el cálculo del coste incremental de los servicios de terminación fija mayoristas:

- El incremento relevante es el servicio de terminación de voz, que incluye únicamente los costes evitables. Estos costes se determinan calculando la diferencia entre los costes totales a largo plazo de un operador que provee el abanico total de servicios y los costes totales a largo plazo de un operador que ofrece todos los servicios salvo el de terminación de voz.
- Los costes no relacionados con el tráfico, como los relacionados con los suscriptores, se ignoran.
- Los costes comunes como los costes comunes de red o costes generales no son asignados al incremento de terminación mayorista.

En el siguiente diagrama se encuentran rellenos los costes a incluirse siguiendo este método.

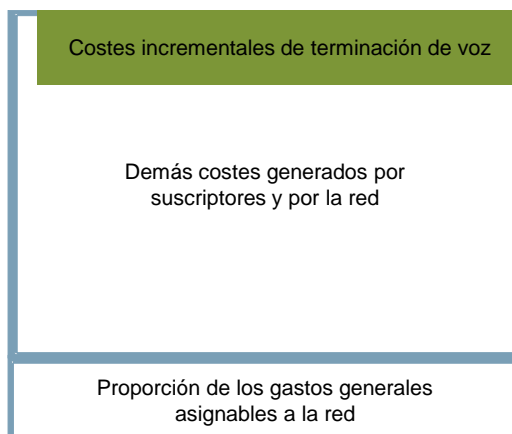


Figura A.5: Distribución de costes usando LRIC puro [Fuente: Analysys Mason]

Anexo B Glosario

AGI	Acuerdo General de Interconexión
AS	Application server
ATM	Asynchronous transfer mode
BRAS	Broadband remote access server
BSS	Business support system
CDN	Content delivery network
CDR	Call detail record
CWDM	Coarse wavelength division multiplexing
DHCP	Dynamic host configuration protocol
DNS	Domain name server
DSLAM	Digital subscriber line access multiplexers
EPMU	Equi proportionate mark-up
GPON	Gigabit passive optical network
HD	High definition
HSS	Home subscriber server
IMS	Information management system
IN	Intelligent network
IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol television
ISP	Internet service provider
MEA	Modern equivalent asset
MPLS	Multi-protocol label switching
NGA	Next generation access
NGN	Next generation network
NPV	Net present value
OADM	Optical add-drop multiplexer
OBA	Oferta de Bucle de Abonado
OIR	Oferta de Interconexión de Referencia
OLT	Optical line terminal
OSS	Operating support system
OTT	Over the top
P2P	Point to point
PdI	Punto de interconexión
PRT	Punto de terminación de red
PSTN	Public switched telephone network
RADIUS	Remote authentication dial-in user server
RDSI	Red digital de servicios integrados
SBC	Session border controller
SD	Standard definition

SHD	Synchronous digital hierarchy
SLA	Service level agreement
TDM	Time división duplexing
TERM	Multiplexadores terminals
TSP	Travelling salesman problem
VAS	Value added service
VMS	Voice Main system
VNC	Valor neto contable
VoD	Video on demand
VP	Valor presente
VPN	Virtual private network