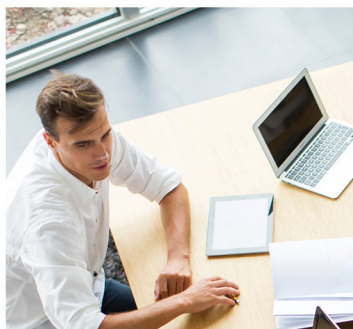


# Conjunto de herramientas de planificación empresarial de infraestructuras de TIC

## Redes 5G





# Conjunto de herramientas de planificación empresarial de infraestructuras de TIC

Redes 5G

2023



## Agradecimiento

El presente informe ha sido elaborado por Tiago Sousa Prado, Priscila Honório Evagelista y Abraão Balbino e Silva, expertos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), así como por varios expertos de la Oficina de Desarrollo de las Telecomunicaciones (BDT) de la UIT.

## Descargo de responsabilidad

Las denominaciones empleadas y la presentación del contenido en esta publicación no conllevan la expresión de opinión alguna de la UIT y la Secretaría de la Unión en relación con la situación jurídica de ningún país, territorio, ciudad o zona, ni de sus autoridades, ni con respecto a la delimitación de sus fronteras o límites territoriales.

La mención de empresas específicas o de productos de determinados fabricantes no implica que la UIT los apruebe o recomiende de forma preferente con respecto a otros análogos que no se mencionen. Salvo error u omisión, las denominaciones de productos patentados se distinguen mediante iniciales en mayúsculas.

La UIT ha tomado todas las precauciones razonables para verificar la información que figura en la presente publicación. No obstante, ésta se distribuye sin garantía de ningún tipo, ni tácita ni implícita. La responsabilidad de la interpretación y utilización de la publicación recae exclusivamente en el lector.

Las opiniones, los resultados y las conclusiones que figuran en esta publicación no reflejan necesariamente la opinión de la UIT o de sus Miembros.

## ISBN

978-92-61-36513-4 (Versión electrónica)

978-92-61-36523-3 (Versión EPUB)

978-92-61-36533-2 (Versión MOBI)



Antes de imprimir este informe, piense en el medio ambiente.

© ITU 2023

Algunos derechos reservados. Esta obra está licenciada al público a través de una licencia Creative Commons Attribution-Non Commercial- Share Alike 3.0 IGO (CC BY-NC-SA 3.0 OIG).

Con arreglo a los términos de esta licencia, usted puede copiar, redistribuir y adaptar la obra para fines no comerciales, siempre que la obra sea citada apropiadamente. Cualquiera que sea la utilización de esta obra, no debe sugerirse que la UIT respalde a ninguna organización, producto o servicio específico. No se permite la utilización no autorizada de los nombres o logotipos de la UIT. Si adapta la obra, deberá conceder una licencia para su uso bajo la misma licencia Creative Commons o una equivalente. Si realiza una traducción de esta obra, debe añadir el siguiente descargo de responsabilidad junto con la cita sugerida: "Esta traducción no fue realizada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). La UIT no se responsabiliza del contenido o la exactitud de esta traducción. La edición original en inglés será la edición vinculante y auténtica". Para más información, sírvase consultar la página <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/>

# Prólogo



El despliegue de Internet de banda ancha en localidades y ciudades de gran tamaño se lleva a cabo de forma muy sencilla. No obstante, el despliegue de esas redes en zonas rurales distantes es mucho más complejo. Habida cuenta de la existencia de obstáculos de índole económica, geográfica o demográfica, muchas personas siguen sin conexión digital.

Según se desprende de datos estadísticos de la UIT, dos terceras partes de la población mundial utilizan Internet. Pese a que esa proporción es alentadora, cabe señalar que nadie debe carecer de conexión a Internet.

El establecimiento de mecanismos técnicos y económicos adecuados, así como la realización de una planificación empresarial sostenible a fin de fomentar el despliegue de infraestructuras, en particular en zonas rurales distantes, son primordiales para promover el acceso universal a servicios digitales de forma rápida, eficaz y asequible.

La UIT publicó por primera vez su conjunto de herramientas de planificación empresarial de infraestructuras de TIC en 2019, con objeto de abordar retos de planificación empresarial relativos a las redes móviles 4G y de fibra óptica; dichas herramientas siguen ofreciendo una metodología clara y práctica para llevar a cabo una evaluación económica precisa de la planificación de la instalación y el despliegue de infraestructuras de banda ancha.

En la presente edición revisada se aborda asimismo el diseño de redes para facilitar el despliegue sostenible de la tecnología 5G. Las redes 5G permiten ampliar la conectividad de alta velocidad, si bien su implantación sigue siendo compleja en muchos países en desarrollo. En este conjunto de herramientas se examinan varios mecanismos de evaluación de la sostenibilidad de proyectos 5G.

La metodología del conjunto de herramientas ya se ha utilizado de forma eficaz en actividades de formación de la Academia de la UIT en África y Europa. La información proporcionada por usuarios de las herramientas, así como por participantes en dichas actividades de formación y por varios expertos, han puesto de relieve la acuciante necesidad de ampliar la capacidad y las competencias relativas a la planificación del despliegue de redes 5G a escala nacional, en particular en lo concerniente a proyectos en los que se presta servicio a zonas de escaso interés económico.

Mediante este conjunto de herramientas y su correspondiente formación específica se brinda orientación especializada, a fin de facilitar la elaboración de planes empresariales pertinentes, coherentes y sostenibles, adaptables a una gran variedad de proyectos de despliegue de infraestructuras de banda ancha.

Espero que esta nueva versión del conjunto de herramientas de planificación empresarial siga constituyendo un manual muy útil para los encargados de la formulación de políticas sobre las TIC, los organismos de reglamentación y diversas partes interesadas de todo el mundo, y que apoye su labor encaminada a facilitar el acceso de todas las personas a las redes de banda ancha.



Cosmas Luckyson Zavazava  
Director de la Oficina de Desarrollo de las Telecomunicaciones (BDT)  
Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)

# Índice

Agradecimiento.....	ii
Prólogo .....	iii
<b>1 Planificación empresarial de la banda ancha .....</b>	<b>1</b>
1.1 Elaboración de un plan empresarial .....	6
1.2 Retos en materia de elaboración de planes empresariales .....	9
1.3 La planificación empresarial como herramienta de política pública .....	11
<b>2 Estimación de la demanda de servicios de banda ancha .....</b>	<b>13</b>
2.1 Estimación de la demanda mediante métodos econométricos.....	16
2.2 Estimación de la demanda mediante el método Delphi .....	18
2.3 Desglose de la demanda en segmentos .....	19
2.4 Estimación de la demanda de servicios 5G.....	21
2.5 Estimación de la cuota de mercado de nuevos operadores .....	23
<b>3 Estimación de ingresos por prestación de servicios de banda ancha .....</b>	<b>25</b>
3.1 Estimación de ingresos en proyectos de banda ancha móvil.....	25
3.2 Estimación de ingresos en proyectos de banda ancha fija .....	26
3.3 Estimación de ingresos de nuevos servicios comerciales relacionados con la tecnología 5G (URLLC y mMTC).....	27
3.4 Estimación de ingresos en proyectos de redes de transporte .....	29
3.5 Evolución de los ingresos a lo largo del proyecto .....	29
<b>4 Estimación de inversiones en redes de banda ancha: gastos de capital (CAPEX) ....</b>	<b>30</b>
4.1 Redes de acceso de banda ancha móvil 4G.....	31
4.2 Redes de acceso de banda ancha fija y móvil 5G .....	37
4.2.1 CAPEX de redes troncales 5G .....	38
4.2.2 CAPEX de redes de acceso 5G.....	39
4.2.3 Gastos de capital para la prestación de servicios especializados 5G en nichos de mercado.....	41
4.3 Redes de acceso de banda ancha fija .....	41
4.4 Redes de transporte .....	52
<b>5 Estimación de los costes operacionales (OPEX) de la prestación de servicios de banda ancha .....</b>	<b>54</b>
5.1 Aplicación de modelos de costes para estimar el OPEX.....	54

5.2	Utilización de valores de costes y gastos anteriores para estimar el OPEX .....	57
5.3	Utilización de valores de referencia para estimar el OPEX.....	58
<b>6</b>	<b>Estimación del coste medio ponderado del capital .....</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>Mecanismos de financiación para facilitar la implantación de proyectos de infraestructuras de banda ancha .....</b>	<b>72</b>
7.1	Mecanismos de financiación de proyectos y licencias.....	73
7.2	Mecanismos de financiación del despliegue de infraestructuras .....	73
7.3	Mecanismos de financiación de la prestación de servicios.....	74
<b>8</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>76</b>
	<b>Siglas.....</b>	<b>78</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>80</b>

## Figuras, recuadros y cuadros

### Figuras

Figura 1:	Mapa de banda ancha de la UIT: principales líneas de transmisión de información terrenales (diciembre de 2022).....	2
Figura 2:	Curva de regresión (penetración de la banda ancha con respecto al PIB por habitante).....	16
Figura 3:	Ejemplo de desglose de demanda de banda ancha móvil.....	20
Figura 4:	Ejemplo de desglose de demanda de banda ancha fija .....	21
Figura 5:	Casos de utilización de las redes IMT-2020 .....	22
Figura 6:	Estimación de ingresos netos.....	25
Figura 7:	Previsión de ingresos de operadores móviles de redes 5G para 2020 y 2030.....	28
Figura 8:	Red LTE de características diversas .....	31
Figura 9:	Topología de red FTTH .....	42
Figura 10:	Modelo geométrico SSL .....	46
Figura 11:	Desglose de los costes totales .....	55
Figura 12:	Relación entre gastos e ingresos netos .....	55
Figura 13:	Relación entre valores anteriores de gastos e ingresos netos .....	57
Figura 14:	Relación entre CAPEX y OPEX .....	58
Figura 15:	OPEX unitario.....	59
Figura 16:	Etapas 1 a 4 del cálculo del VAN .....	67
Figura 17:	Etapas 5 y 6 del cálculo del VAN .....	67
Figura 18:	Ejemplo de VAN 1 y posible interpretación.....	70
Figura 19:	Ejemplo de VAN 2 y posible interpretación .....	70
Figura 20:	Ejemplo de VAN 3 y posible interpretación.....	71



Figura 21: Ejemplo de VAN 4 y posible interpretación.....	71
Figura 22: Desglose de mecanismos de financiación habituales para proyectos de infraestructuras .....	72

## Recuadros

Estimación de la cuota de mercado de un posible nuevo operador.....	24
Estimación de ingresos en proyectos de banda ancha fija .....	26
Macrocélulas .....	33
Células de pequeño tamaño .....	36
Terminales de línea óptica.....	44
Cálculos sobre fibra óptica (capa de divisores).....	45
Cálculo sobre fibra óptica (hogares con cobertura de servicio).....	50
Aplicación de modelos de costes para estimar el OPEX.....	57
Utilización de valores de costes y gastos anteriores para estimar el OPEX .....	59
Estimación del WACC mediante un método CAPM a escala internacional .....	65
Cálculo del valor actual neto (VAN).....	69

## Cuadros

Cuadro 1: Análisis del grado de penetración de la banda ancha y de la población con acceso a conexiones de fibra óptica en 2021 .....	2
Cuadro 2: Ejemplos de preguntas de un cuestionario sobre la metodología Delphi.....	19
Cuadro 3: Costes operacionales y de mantenimiento.....	56
Cuadro 4: Estimación del OPEX total mediante un modelo de costes.....	56
Cuadro 5: Estimación del OPEX total mediante valores anteriores de costes y gastos .....	58
Cuadro 6: Estimación del OPEX total mediante valores de referencia .....	59
Cuadro 7: Ventajas e inconvenientes del CAPM escala local con respecto al CAPM a escala internacional .....	63



# 1 Planificación empresarial de la banda ancha

## Introducción

La ampliación del acceso a Internet de banda ancha para abarcar poblaciones desatendidas o insuficientemente atendidas, con objeto de fomentar la conectividad universal y facilitar el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, constituye un elemento fundamental de la labor de la UIT y sus miembros. La revisión del presente conjunto de herramientas tiene por objeto actualizar esas herramientas para facilitar el despliegue sostenible de redes 5G.

El desarrollo y despliegue de redes de banda ancha requiere inversiones muy elevadas. Habida cuenta de la gran diversidad de entornos físicos y económicos en los que deben operar los proveedores de servicios, gran parte de esas inversiones, incluidas las orientadas a actividades de investigación y desarrollo (I+D) y a la financiación de equipos especializados con capacidad para funcionar en condiciones extremas, se destinan a facilitar el despliegue y la explotación satisfactoria de infraestructuras de redes de TIC en mercados de todo el mundo.

En zonas de interés económico, en particular las localidades y ciudades de gran tamaño, la implantación de infraestructuras se lleva a cabo de forma casi natural, puesto que las fuerzas de mercado intervienen para satisfacer la demanda. Sin embargo, la situación real suele ser muy distinta, en particular en zonas rurales distantes, debido a la existencia de obstáculos de índole económica, geográfica o demográfica que restringen el acceso a la infraestructura de redes de banda ancha, que provocan que muchas personas sigan sin conexión en el plano digital.

El presente conjunto de herramientas se destina a los Estados Miembros de la UIT interesados en recibir orientación sobre la forma de elaborar planes empresariales pertinentes, coherentes y bien fundamentados para ampliar la cobertura de red y garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

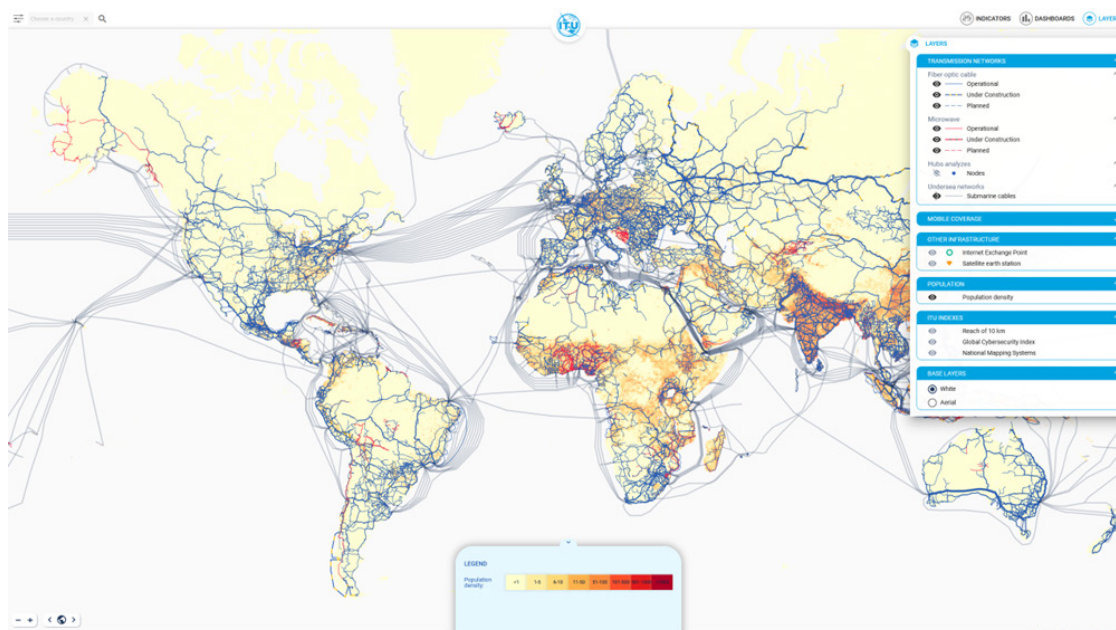
Los encargados de la formulación de políticas y los organismos de reglamentación han buscado mecanismos para ampliar la cobertura de las redes de banda ancha mediante diversas estrategias, en particular fondos públicos, fondos de servicio universal, asociaciones público-privadas y disminución del precio de reserva del espectro de radiofrecuencias, entre otros mecanismos de subvención. Por lo general, esos objetivos hacen hincapié en la puesta en marcha y provisión de redes en zonas de poco interés económico, en las que las fuerzas de mercado por sí solas no permiten prestar servicio sin algún tipo de subvención que incentive las inversiones.

## Brecha digital

Pese a que existen tecnologías que permiten prestar servicios en zonas distantes y aisladas, y actualmente se desarrollan tecnologías incipientes para atender de forma específica esas necesidades, la provisión de conexión a la mitad de la población mundial ha seguido constituyendo un problema irresoluble, habida cuenta de determinados retos subyacentes fundamentales; el Mapa de banda ancha de la UIT relativo a 2022<sup>1</sup> pone de manifiesto el número insuficiente de redes troncales de alta velocidad en gran parte del mundo.

<sup>1</sup> Mapa de la UIT sobre infraestructuras de TIC para facilitar el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, disponible en: <https://bbmaps.itu.int/app>

Figura 1: Mapa de banda ancha de la UIT: principales líneas de transmisión de información terrenales (diciembre de 2022)<sup>2</sup>



Fuente: UIT

Por otro lado, del análisis del grado de penetración de la banda ancha y de la población con acceso a conexiones de fibra óptica se desprende que miles de millones de personas viven en países y regiones que aún carecen de conexión a redes de transmisión terrenal de esas características a escala mundial.

Cuadro 1: Análisis del grado de penetración de la banda ancha y de la población con acceso a conexiones de fibra óptica en 2021

	África	Américas	Estados árabes	Asia-Pacífico	CEI	Europa
<b>Abonos de telefonía fija</b>	49,2	91,5	69,9	96,2	90,9	98,7
<b>Anchura de banda internacional</b>	59,7	216,0	172,0	154,4	101,1	340,2
<b>Hogares con acceso a Internet*</b>	22,7	75,9	62,4	64,1	81,7	87,6
<b>Personas que utilizan Internet</b>	32,8	81,4	66,3	60,6	82,3	87,2

\*Datos de 2021

Fuente: Datos clave de la UIT sobre las TIC en 2021 (<https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/stat/default.aspx>)

De los resultados de varios estudios de la UIT sobre redes de transmisión terrenales, y habida cuenta de una población mundial de alrededor de 7.900 millones de habitantes<sup>3</sup>, se desprende que 2.300 millones de personas (29,3 por ciento) viven a menos de 10 km de un nodo de fibra óptica, 4.500 millones (57,9 por ciento) a menos de 25 km, 6.000 millones (77,4 por ciento) a menos de 50 km y 7.100 millones (90,5 por ciento) a menos de 100 km de un nodo de red de fibra óptica operativo.

Las políticas públicas en materia de acceso a redes de banda ancha no han de limitarse a la identificación de infraestructuras insuficientes y a la obligación de prestar servicios; en particular, deben hacer hincapié en la determinación de fuentes de financiación más adecuadas y de estrategias más eficaces para fomentar y facilitar la prestación de servicios.

<sup>2</sup> Fuente: UIT: <https://itu.int/go/Maps>

<sup>3</sup> Datos de diciembre de 2021.

Pese a los amplios debates mantenidos al respecto, incluidas la elaboración de una gran cantidad de estudios y la formulación de varias propuestas sobre metodologías de referencia relativas al análisis de nuevas políticas públicas destinadas a promover el desarrollo de la banda ancha, la estrategia idónea siempre pasa por poseer un conocimiento en profundidad de cada proyecto. Por ejemplo, si se desea prestar servicios de banda ancha a una población rural concreta, cabe preguntar qué enfoque es el más adecuado, poner en marcha de infraestructuras terrenales o por satélite. O qué metodología es la más eficaz para determinar la viabilidad económica del despliegue de una red troncal de fibra óptica en una ciudad determinada.

Habida cuenta de ello, existe una clara necesidad de identificar, analizar y comparar de forma objetiva cada proyecto de infraestructuras, con el fin de examinar una política pública específica sobre la base de sólidos parámetros técnicos. No obstante, en muchos países, los organismos de reglamentación y los encargados de la formulación de políticas suelen desconocer las metodologías específicas necesarias para tal fin, y en consecuencia, aplican mecanismos que no son necesariamente los más eficaces para realizar ese tipo de análisis, lo que en última instancia puede dar lugar a la implantación de infraestructuras deficientes o insuficientes, o a una sobreestimación de las mismas, en zonas determinadas.

## Tecnologías 5G

El auge de las tecnologías 5G ha conllevado la posibilidad de propiciar una profunda transformación del entorno de las telecomunicaciones, en el marco de un nuevo ecosistema susceptible de modificar sustancialmente el vínculo que existe entre la sociedad y la tecnología.

El Proyecto de Asociación de Tercera Generación (3GPP)<sup>4</sup> ha desarrollado nuevas normas internacionales sobre comunicaciones inalámbricas para redes de banda ancha. Las normas para las redes móviles de quinta generación (5G) abarcan un nuevo tipo de red diseñada para conectar de forma virtual a todas las personas y cosas mutuamente, incluidas máquinas, objetos y dispositivos.

El Sector de Radiocomunicaciones de la UIT ha elaborado las especificaciones IMT-2020 (5G)<sup>5</sup>, aplicables a otras tecnologías de banda ancha que comprenden asimismo la mejora de sistemas de banda ancha móvil ya implantados y la utilización de la tecnología 5G también para comunicaciones de fiabilidad muy elevada y baja latencia, y comunicaciones masivas tipo máquina, de conformidad con la descripción que figura en la Recomendación UIT-R M.2083-0 sobre concepción de las IMT, en la que se recogen los objetivos generales relativos al desarrollo futuro de las IMT para 2020 y en adelante<sup>6</sup>.

Las IMT-2020 (5G) constituyen una evolución de las redes móviles de banda ancha y facilitarán nuevas funciones exclusivas en materia de redes y servicios. También garantizarán la calidad percibida por el usuario de forma adecuada en situaciones complejas, en particular si se requiere gran movilidad (por ejemplo, en trenes), en zonas de gran densidad de población o

<sup>4</sup> <https://www.3gpp.org>

<sup>5</sup> Las IMT (Telecomunicaciones Móviles Internacionales) comprenden las IMT-2000, IMT-Avanzadas e IMT-2020. El Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R) elabora reglamentos internacionales y normas de alcance mundial, cuya aplicación facilita la armonización e implantación de redes móviles de banda ancha, por lo general denominadas 3G, 4G y 5G.

<sup>6</sup> Recomendación UIT-R M.2083-0 (09/2015), *Concepción de las IMT - Marco y objetivos generales del futuro desarrollo de las IMT para 2020 y en adelante*, disponible en <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.2083>. Puede ampliarse información a través de la página web del Grupo de Trabajo 5D del UIT-R (GT-5D) - Sistemas IMT: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/Pages/default.aspx>

escasamente pobladas y en trayectos en los que se presta servicio mediante tecnologías de distinto tipo. Por otro lado, las IMT-2020 (5G) serán un factor habilitador clave de la Internet de las Cosas (IoT) al proporcionar una plataforma de conexión de gran cantidad de sensores.

La tecnología 5G está diseñada para ser sostenible y ampliable. Se prevé que el sector de las telecomunicaciones y las TIC conjugue un enorme desarrollo de sus aplicaciones con una sustancial reducción del consumo de energía y un mejor acceso a la misma. Por otro lado, la disminución de costes que conllevará la automatización de tareas humanas y la optimización de los soportes físicos necesarios permitirán a las partes interesadas en las TIC fomentar modelos empresariales sostenibles.

Habida cuenta de ello, conviene comprender la forma de identificar y analizar cuantitativamente los proyectos de instalación y despliegue de redes 5G, puesto que serán los factores que determinen en mayor medida las políticas y las actividades de reglamentación públicas en el futuro en relación con las telecomunicaciones y las TIC.

### Conjunto de herramientas de planificación empresarial

El presente conjunto de herramientas ofrece a los organismos de reglamentación y a los encargados de la formulación de políticas una metodología que permite realizar una evaluación económica precisa de propuestas de proyectos de banda ancha. Como herramienta práctica, tiene por objeto facilitar una evaluación pormenorizada de los planes de despliegue e instalación de infraestructuras.

El conjunto de herramientas abarca una serie de principios teóricos y directrices prácticas sobre la forma de determinar el valor actual neto (VAN) de un proyecto. En particular, permite abordar los mecanismos de análisis de demanda relativos a un proyecto, costes de explotación y mantenimiento, ingresos previstos, inversión requerida y los costes de capital necesarios.

Los conceptos económicos y contables de esta metodología están ampliamente aceptados y documentados, de ahí que no se proponga su análisis pormenorizado ni un debate en mayor profundidad de los mismos. Se han utilizado para elaborar una guía práctica que permita formular una estrategia para la puesta en marcha de infraestructuras de banda ancha y la evaluación de planes empresariales de potenciales operadores, sobre la base de la siguiente información:

- 1) los tipos de datos que deben utilizarse;
- 2) la forma de evaluar la demanda, la inversión y los costes operacionales, entre otras variables;
- 3) la metodología de estimación del costo del capital en relación con cada elemento del proyecto.

Con objeto de facilitar la comprensión de esa información, se proporcionan varios ejemplos de proyectos habituales, en particular la puesta en marcha de proyectos de redes troncales de fibra óptica, redes inalámbricas de banda ancha (incluida las redes 5G) y redes de acceso de fibra hasta el hogar (FTTH).

El conjunto de herramientas se desglosa en las secciones siguientes, a fin de lograr una mayor claridad:

- 1) Principios de planificación empresarial de la banda ancha.
- 2) Estimación de la demanda de servicios de banda ancha.

- 3) Estimación de los ingresos obtenidos mediante la prestación de servicios de banda ancha.
- 4) Estimación de las necesidades de inversión en redes de banda ancha, en particular, gastos de capital (CAPEX).
- 5) Estimación de los gastos operacionales (OPEX) asociados a la prestación de servicios de banda ancha.
- 6) Estimación del coste medio ponderado del capital (WACC).
- 7) Mecanismos de financiación para facilitar los proyectos de infraestructuras de banda ancha.
- 8) Conclusiones.

En la primera sección se esbozan los principios teóricos y la metodología necesarios para determinar el valor actual neto de un proyecto. Se presentan como la base de cualquier plan empresarial a los efectos de prestación de servicios de banda ancha. En dicha sección se abordan asimismo las razones por las que los organismos de reglamentación y los encargados de la formulación de políticas puede adoptar esta metodología para evaluar en el plano económico varios tipos de proyectos de banda ancha.

En la segunda sección se examinan los modelos y las técnicas de estimación de la demanda de servicios de banda ancha, así como los tipos de datos primarios que pueden utilizarse. Entre las cuestiones que se formulan en dicha sección cabe destacar las siguientes: ¿Cómo pueden estimar los encargados de la formulación de políticas la demanda de un servicio específico? ¿Qué evolución temporal puede registrar esa demanda? ¿Cómo puede satisfacerse dicha demanda en un entorno de competencia determinado?

En la tercera sección se aborda la manera de estimar los ingresos obtenidos en el marco de un proyecto específico. Esta variable es fundamental, puesto que permite definir cuándo y cómo se tienen en cuenta los insumos relativos a un proyecto de infraestructuras. En dicha sección se proporcionan varios ejemplos sobre la forma de evaluar los citados ingresos, la manera de ajustarlos a la demanda estimada y su posible evolución temporal.

La cuarta sección trata del establecimiento de modelos de gastos de capital. Esta variable es primordial para todo el ecosistema, y en ella se apoyará el modelo de infraestructuras del proyecto de que se trate, habida cuenta de sus tipos de equipos, bases teóricas y propuestas prácticas sobre establecimiento de modelos de inversiones a lo largo del tiempo para diversos tipos de proyectos.

En la quinta sección se examinan los gastos operacionales. En particular, se analizan las variables que revisten importancia al establecer un modelo de red de banda ancha, las fuentes de información al respecto y el enfoque idóneo que pueden adoptar los organismos de reglamentación y los encargados de la formulación de políticas para establecer modelos de costes operacionales en un proyecto.

En la sexta sección se aborda el coste medio ponderado del capital, que representa la tasa de descuento del proyecto objeto de estudio. Se analiza el significado de dicha tasa de descuento, los motivos por los que reviste importancia, y la forma de estimarla si no se dispone de datos específicos. En esta sección se ofrece orientación práctica para determinar esta variable compleja.

La séptima sección relativa al conjunto de herramientas constituye un resumen orientativo sobre la combinación de todas las variables en una única herramienta, con objeto de estimar el valor actual neto del proyecto, y en ella se analizan los mecanismos de financiación y alternativas

viabiles al respecto. En la octava y última sección se presentan las conclusiones sobre el conjunto de herramientas.

El presente conjunto de herramientas constituye un manual práctico de gran interés para los organismos de reglamentación y los encargados de la formulación de políticas en su labor encaminada al despliegue de redes de banda ancha, incluido el acceso a las mismas. Los operadores de redes de TIC también pueden utilizar, de forma complementaria, sus propias herramientas de evaluación de proyectos a tenor de necesidades específicas en materia de gestión o accionariado empresariales, si bien el presente conjunto de herramientas es de utilidad en todos los casos como guía fundamental de fácil comprensión para elaborar un plan empresarial pertinente y coherente, adaptable a una gran variedad de proyectos de infraestructuras de banda ancha.

## 1.1 Elaboración de un plan empresarial

En un plan empresarial se presentan y organizan las principales variables que hay que tener en cuenta para la puesta en marcha y el funcionamiento de una empresa. No existe una estructura única, invariable y específica para elaborar un plan empresarial. Sin embargo, para dicha elaboración conviene analizar todos los elementos fundamentales de la actividad de que se trate.

Los objetivos por los que se rige la aplicación de un plan empresarial a los efectos de instalación y despliegue de la banda ancha deben incluir la realización de una evaluación precisa de las variables clave en el plano empresarial. Habida cuenta de ello (sin tener en cuenta factores específicos, en particular baremos de tributación, que vendrán dados por los instrumentos jurídicos pertinentes de cada país), variables empresariales como la demanda, los ingresos, la inversión, los gastos y el coste del capital pueden y deben analizarse y estimarse de forma que el resultado definitivo ponga de manifiesto el valor del proyecto objeto de estudio.

Por otro lado, conviene recalcar la importancia que reviste el análisis del entorno de competencia en el que se explotará la empresa, puesto que influirá notablemente en la demanda y los ingresos relativos al proyecto, entre otros aspectos.

El enfoque más utilizado para evaluar el valor económico de un activo de telecomunicaciones se basa en el análisis del flujo de caja. Con arreglo a este enfoque, el precio del activo (por ejemplo, las radiofrecuencias) debe ser proporcional al resultado económico que obtendrá la empresa al utilizar dicho activo por un periodo de tiempo establecido de antemano.

El cálculo del valor actual neto (VAN) del flujo de caja libre (FCL) es una metodología que se utiliza para evaluar empresas y proyectos específicos. La utilizan ampliamente bancos de inversión, consultorías y empresas para determinar el valor de una organización, o de una de sus empresas, ya sea con fines internos, para efectuar análisis de inversión o llevar a cabo fusiones y adquisiciones.

Con arreglo a esta metodología, el valor de una empresa se determina mediante el flujo de caja descontado con respecto a una tasa proporcional al riesgo inherente a la inversión. Al establecer un criterio idóneo para la toma de decisiones de inversión, el modelo VAN se rige por los tres principios fundamentales siguientes:

- i) la valoración de la inversión se realiza sobre la base de los flujos de caja de explotación;



- ii) el riesgo se asocia a la evaluación económica de la inversión, a tenor de las preferencias del inversor en cuanto a riesgo y rentabilidad;
- iii) el resultado de dicha valoración permite determinar el valor actual de los activos en función de la tasa de descuento adecuada con el fin de remunerar a los propietarios del capital.

De conformidad con ese marco analítico, los organismos de reglamentación pueden utilizar un conjunto normalizado de herramientas financieras para calcular el valor de un proyecto determinado en función de las condiciones del mercado.

El valor actual neto, determinado mediante el método del flujo de caja descontado, refleja los ingresos obtenidos en un determinado proyecto por una empresa, superiores al coste de la inversión que haya realizado, que le permiten obtener beneficios con arreglo a una determinada tasa de rentabilidad en función del coste de oportunidad del capital. Es decir, el valor actual neto constituye el beneficio que la empresa podría obtener con arreglo a un coste de oportunidad descontado y la consiguiente rentabilidad que podría haber logrado al llevar a cabo otras actividades.<sup>7</sup>

En el cálculo del VAN se tienen en cuenta todos los ingresos y gastos empresariales anuales estimados para toda la duración del proyecto, así como la inversión total necesaria para poner en marcha un servicio.

A tal efecto, cabe utilizar la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{t=0}^T \frac{FCF_t}{(1+r)^t}$$

siendo:

*VAN* = valor actual neto

*FCF<sub>t</sub>* = flujo de caja libre para el periodo *t*

*r* = Tasa de descuento (WACC)

*t* = número de periodos

A continuación se establece un modelo general para el cálculo del flujo de caja libre para un periodo de tiempo determinado:

$$FCF = \{[(EBIT(1-\text{tipo impositivo})] + De + Am\} - CAPEX$$

<sup>7</sup> Cabe destacar la existencia de otras metodologías financieras de interés para evaluar empresas y proyectos empresariales. La amortización, la tasa interna de rentabilidad (TIR) o el rendimiento de la inversión (ROI), entre otros indicadores, también los utilizan empresas para evaluar proyectos. Con respecto al presente conjunto de herramientas, concebido como guía práctica para organismos de reglamentación y encargados de la formulación de políticas, conviene entender la metodología como un concepto fundamental para comparar proyectos de infraestructuras de banda ancha.

y

$$EBIT^8 = \text{ingresos} - OPEX$$

siendo:

*De* = depreciación

*Am* = amortización

*Tipo impositivo* = tipos impositivos aplicados

*CAPEX* = gastos de capital

*OPEX* = gastos operacionales

A continuación se sintetiza el significado de esas variables, y en las secciones siguientes se presenta un método práctico pormenorizado para estimarlas.

### Demanda

La variable *demanda* reviste particular importancia en todos los planes empresariales, puesto que determina los aspectos de mercado relativos a la propuesta de proyecto empresarial. La determinación de otras variables, en particular las que guardan relación con la inversión, los ingresos y los gastos, está estrechamente relacionada con la previsión de demanda.

Conviene poner de relieve que el análisis de la evolución de la demanda corresponde a un periodo de tiempo determinado que comprende el plazo del proyecto. En consecuencia, un organismo de reglamentación no sólo debe conocer de forma precisa la empresa que prevé prestar el servicio de que se trate, sino también el número de usuarios potenciales del servicio y la posible evolución temporal de esa cantidad de usuarios.

Habida cuenta de ello, los datos estadísticos sobre ingresos, predisposición al gasto y condiciones socioeconómicas del público al que se orienta la actividad empresarial serán fundamentales para establecer un modelo preciso de estimación de demanda. Dichos datos son las fuentes utilizadas por los interesados en una evaluación del potencial empresarial, y cuanto más preciso sea el establecimiento de modelos, más fidedigna será la evaluación final.

### Ingresos

Al estimar los potenciales ingresos empresariales, es primordial tener un conocimiento cabal de las condiciones de prestación de servicio. El análisis comparativo de otros mercados, así como la consideración de productos sustitutivos (productos que constituirán una competencia directa frente a la propuesta de nueva empresa) serán esenciales para la realización de análisis precisos.

La estimación de ingresos final debe incluir toda la cartera de productos, en particular servicios telefónicos y de datos. A tal efecto, es necesario disponer de información previa sobre los ingresos medios por usuario (ARPU), a fin de elaborar un modelo coherente, sobre todo si en el proyecto se propone un servicio que ya se presta. El análisis deberá estar en consonancia con las condiciones socioeconómicas de la zona objeto de análisis, de ahí que convenga tener en cuenta estudios demográficos sobre gasto realizados previamente.

---

<sup>8</sup> EBIT: beneficios antes de intereses e impuestos.

### Gastos operacionales (OPEX)

Esta variable corresponde al conjunto de gastos operacionales, denominados OPEX, de la empresa sobre la que se realiza el modelo. El cálculo de esta variable es complejo para los organismos de reglamentación, puesto que por lo general no se dispone de datos públicos pormenorizados que faciliten su medición.

A falta de datos, dichos organismos deben apoyarse en estudios empresariales específicos conexos, y tener en cuenta las principales tecnologías disponibles para la implantación de la infraestructura prevista, así como el balance contable de empresas que prestan servicios análogos, por ejemplo operadores móviles que explotan otras bandas de frecuencias.

Por otro lado, los organismos de reglamentación pueden utilizar datos contables de proveedores de servicios a escala local a fin de completar el análisis del desglose de este tipo de gastos.

También conviene tener en cuenta la evolución de los gastos a lo largo del periodo de vigencia de las licencias. Puesto que la nueva empresa que se propone aún no se encuentra en fase operacional, el estudio tendrá en cuenta un bajo nivel de demanda inicial para el nuevo proveedor, demanda que aumentará paulatinamente con el transcurso de los años. En consecuencia, la evolución de la curva de gastos será proporcional a la demanda estimada.

No obstante, la evolución de determinados factores, en particular los gastos de comercialización, suele ajustarse a la curva de inversión, puesto que vienen determinados por la disponibilidad empresarial en un lugar específico.

### Inversión (CAPEX)

La realización de inversiones constituye uno de los elementos fundamentales del plan empresarial de todo proyecto. Esta variable, denominada habitualmente CAPEX (gastos de capital), abarca esencialmente las inversiones en infraestructuras de redes y sistemas necesarias a los efectos de prestación de servicio. De ahí que sea importante que el organismo de reglamentación posea los conocimientos tecnológicos adecuados para solicitar a los proveedores presupuestados que comprendan las tecnologías y los equipos pertinentes, a fin de simular la puesta en marcha de una hipotética red con capacidad para satisfacer la demanda prevista en el plan empresarial.

Por último, a efectos de establecimiento de modelos, conviene tener en cuenta que la infraestructura propuesta deberá ajustarse a la evolución temporal de la demanda, por lo que será necesario considerar aspectos como la reinversión y la sustitución tecnológica.

## 1.2 Retos en materia de elaboración de planes empresariales

La cuestión fundamental para los organismos de reglamentación y los encargados de la formulación de políticas al formular un plan de evaluación de proyectos con arreglo a esta metodología es determinar la forma de estimar cada una de las variables señaladas anteriormente. Ya sea debido a la disparidad de información o a la incertidumbre sobre la evolución futura de una empresa específica, la realización de estudios que permitan estimar con precisión esas variables no es una tarea sencilla.

La cantidad de variables que intervienen y su evolución temporal puede dificultar en gran medida el establecimiento de modelos, y el cálculo preciso de los costes del proyecto puede

llegar a ser una tarea inviable si no se apoya en una base metodológica sólida y en datos suficientemente desglosados.

Puesto que los organismos de reglamentación y los encargados de la formulación de políticas suelen tener un conocimiento insuficiente de las variables y los datos anteriormente citados, el enfoque que se aplica habitualmente consiste en realizar estimaciones aproximadas de cada variable mediante metodologías de predicción estadística o econométrica de eficiencia probada.

De ahí surge la cuestión fundamental de determinar el grado de fiabilidad de un estudio basado en predicciones cuyo objetivo es establecer si una política pública específica es viable. La respuesta a dicha cuestión viene dada por el hecho de que, por lo general, la parte que aplique dicha política utilizará la misma metodología para realizar sus propias estimaciones, por lo que existen enfoques que permiten encontrar una solución armonizada al respecto. Con objeto de disminuir la disparidad de información entre el organismo de reglamentación y el sector privado pueden aplicarse tres estrategias diferentes, a saber:

- i) comparación o análisis de información contable empresarial que posee el organismo de reglamentación (ARPU, minutos de utilización (MOU) o ingresos por minuto (RPM), entre otros datos) con respecto a la información contable de base de la empresa de que se trate;
- ii) utilización de documentos de subasta pública, habida cuenta de que el organismo de reglamentación puede fijar un precio de referencia, pero el precio definitivo tras la licitación puede poner de manifiesto información dispar;
- iii) publicación del proyecto (mediante consultas públicas u otros métodos) para que todo el mundo pueda contribuir al modelo basado en predicciones propuesto por el organismo público.

Corresponde al organismo de reglamentación llevar a cabo una pormenorizada evaluación metodológica para evitar que el estudio en el que se basa el plan empresarial del proyecto contenga información dispar.

La necesidad de *auditabilidad* constituye asimismo un aspecto fundamental. Los organismos de reglamentación y los encargados de la formulación de políticas están sujetos en todo momento a la supervisión de diversas autoridades, organizaciones de consumidores y medios de comunicación. Con objeto de facilitar la transparencia y la auditabilidad, cada plan empresarial debe ir acompañado de información transparente y sólidos modelos teóricos para evitar críticas o controversias basadas en la percepción de una adopción arbitraria de valores cuestionables de variables discrecionales.

Cabe distinguir las partes privadas, que conocen sus costes, objetivos de ingresos y proyectos, de la parte pública. Al elaborar un plan empresarial, las primeras tienen pleno conocimiento de las variables pertinentes y pueden comunicarlas a los accionistas, en su caso, sin necesidad de garantizar un determinado nivel de solidez o auditabilidad de algunas de esas variables.

Por otro lado, al estimar el flujo de caja de una determinada empresa, la parte pública, además de contar con información dispar para estimar el proyecto, debe ser lo suficientemente neutral y auditable como para garantizar los niveles de fiabilidad y transparencia que requiere el proceso.

En función del marco institucional y jurídico del país de que se trate, es frecuente que las políticas públicas deban presentarlas, evaluarlas y auditarlas órganos de control, en particular tribunales de cuentas o auditores externos, o en algunos casos, el sistema judicial. De ahí que

sea necesario que los planes empresariales del organismo de reglamentación o del encargado de la formulación de políticas sean lo suficientemente sólidos, no sólo para ser objeto de aprobación, sino para servir de referencia en los planos social y jurídico en el futuro.

Habida cuenta de ello, cabe extraer varias recomendaciones destacadas. El organismo de reglamentación o el encargado de la formulación de políticas que realice el estudio deberá:

- **Determinar el nivel de rentabilidad de forma clara:** todo plan empresarial se basa en un umbral de rentabilidad específico. La definición de esa rentabilidad es fundamental para que el proyecto llegue a buen término. La identificación del funcionamiento de la empresa en el futuro, incluidos los tipos y las formas de ingresos, constituye el elemento fundamental de la planificación empresarial.
- **Utilizar datos abiertos en la medida de lo posible:** la utilización de datos abiertos fomenta la transparencia, y facilita el análisis y la comprensión de las estimaciones.
- **Basar los estudios en fuentes fidedignas:** todo plan empresarial se apoya en fuentes de información. De ahí que la credibilidad de estas fuentes sea fundamental. Si la información, los datos y los análisis proceden de organizaciones o entidades internacionales o de autores reconocidos, el plan empresarial será más sólido.
- **Utilizar herramientas auditables:** el conjunto de variables mutuamente relacionadas que influyen en un plan empresarial es muy amplio. Por ello, es primordial que los modelos se elaboren de forma que permitan su análisis retrospectivo, a fin de subsanar posibles deficiencias. Un leve error no detectado de forma adecuada puede provocar que un proyecto viable no llegue a buen término, o viceversa.
- **Realizar estimaciones de forma conservadora:** todo plan empresarial posee un determinado grado de incertidumbre. Ya sea debido a información dispar o a la realización de un número necesariamente elevado de previsiones, con frecuencia se dan casos que dan lugar a resultados de índole muy diversa. Habida cuenta de ello, conviene tomar decisiones de forma conservadora, a fin de tener en cuenta un cierto margen de error sin menoscabar los elementos fundamentales del proyecto.

### 1.3 La planificación empresarial como herramienta de política pública

Si un proyecto es rentable en el plano económico (con VAN positivo), cabe esperar que se lleve a cabo de forma oportuna sin necesidad de acción o intervención gubernamental alguna, por ejemplo, subvenciones. No obstante, los encargados de la formulación de políticas y los organismos de reglamentación pueden estudiar la necesidad de proponer incentivos gubernamentales para fomentar el despliegue de redes y la prestación de servicios en regiones desatendidas.

Esa decisión se apoya en la hipótesis de que los encargados de la formulación de políticas y los organismos de reglamentación deben fomentar la prestación de servicios sin que exista rentabilidad económica, para reflejar la necesidad de que una empresa obtenga un rendimiento justo por su capital invertido con respecto al coste medio del capital en el mercado.

A tal efecto suelen aplicarse dos estrategias, a saber, el fomento de la competencia y la reglamentación de los precios. En mercados competitivos, los precios suelen propiciar de forma natural la eficiencia económica. Si no existe competencia, la intervención reguladora en la fijación de precios puede reproducir los resultados que se darían en un entorno competitivo.

Por otro lado, los proyectos que no sean rentables en el plano económico parten de una situación de inviabilidad económica, y en función del grado de inviabilidad suele establecerse la necesidad y el alcance de la intervención pública si los encargados de la formulación de políticas consideran necesario el proyecto.

Por lo general, las partes privadas escogen sus proyectos en función del potencial económico de los mismos. Priorizan los proyectos de forma estratégica sobre la base de los resultados del análisis de las propuestas de planes empresariales, y no suelen implantar proyectos cuyo VAN sea negativo, puesto que conllevarían pérdidas empresariales globales. En consecuencia, los proyectos con VAN negativo tienden a no implantarse, y las zonas geográficas que se ven afectadas por esa decisión, en particular las comunidades rurales y distantes, suelen quedar desatendidas debido a la inviabilidad económica de los proyectos y a la falta de rentabilidad de los mismos.

Habida cuenta de ello, el presente conjunto de herramientas tiene por objeto brindar asistencia a los organismos de reglamentación y a los encargados de la formulación de políticas para evaluar el valor global, en el plano social, de proyectos que no son rentables a corto plazo en el plano económico. Puesto que una política pública constituye al fin y al cabo una iniciativa de lo que el público decide (o no) hacer, la mera decisión de estudiar la viabilidad de un proyecto de infraestructuras de banda ancha que no es rentable económicamente por sí mismo conlleva que ese proyecto se considere de interés público. Posteriormente, el análisis del *alcance* de la inviabilidad del proyecto pasa a ser una cuestión esencial, ya que el resultado de ese análisis puede condicionar su ejecución, o en su caso, impedirla.

En esa fase, muchos organismos de reglamentación y encargados de la formulación de políticas precisan información adicional con objeto de facilitar la plena comprensión de determinados conceptos técnicos. En particular, se suele realizar la hipótesis de que la decisión de invertir en un determinado proyecto debe basarse únicamente en la estimación de los costes de inversión y los gastos de capital (CAPEX) que conlleva un proyecto. Por ejemplo, si la cobertura de una zona determinada mediante acceso a infraestructuras inalámbricas 4G LTE y 5G es viable con un CAPEX de 10 millones de dólares de Estados Unidos, se entiende habitualmente que esa es la cuantía exacta que tendría que financiar el promotor de la política. En el plano financiero, se trata de un gran error, habida cuenta de que:

- i) únicamente se tiene en cuenta una variable empresarial, y se ignoran otros aspectos fundamentales;
- ii) no se realiza un análisis empresarial a lo largo del tiempo.

Con objeto de realizar una evaluación eficaz y precisa de la viabilidad económica de una inversión, es necesario tener en cuenta todas las variables de cada proyecto. Por ejemplo, un proyecto puede ser inviable en el plano económico, no sólo porque sus costes de inversión son elevados, sino porque los ingresos previstos son insuficientes para recuperar los costes totales. O, por otro lado, pueden preverse suficientes ingresos, pero la suma de los costes de explotación y de mantenimiento podría provocar que el proyecto sea económicamente inviable.

Habida cuenta de ello, el mecanismo idóneo para evaluar el grado de viabilidad económica de un proyecto es el análisis de su VAN, puesto que permite analizar con precisión todas las variables empresariales con respecto al tiempo y determinar el margen de rentabilidad económica del proyecto y, en consecuencia, ofrecer a los organismos de reglamentación información íntegra sobre los factores que impiden la viabilidad económica del proyecto.

La realización de una evaluación precisa de un proyecto de política pública sobre infraestructuras de banda ancha requiere la elaboración de un plan empresarial cuyo plazo de ejecución facilite el desarrollo de la actividad empresarial y el análisis de su evolución temporal.

En las secciones siguientes del presente conjunto de herramientas se analiza en profundidad cada variable empresarial.

## 2 Estimación de la demanda de servicios de banda ancha

La estimación de la demanda de los servicios que se prevé prestar constituye un elemento primordial de todo plan empresarial. Si no se utilizan instrumentos eficaces de estimación de la demanda, los encargados de la formulación de políticas corren el riesgo de aplicar una política pública que no se ajuste a las necesidades reales de la población. Por ejemplo, un gobierno podría decidir invertir en una red de transporte óptico en una localidad para satisfacer el aumento de demanda de redes de acceso de banda ultra ancha constatado en el mismo. No obstante, a raíz de diversos factores de índole socioeconómica, podría suceder que la localidad no identificara una demanda suficiente para justificar la implantación de una red de transporte de fibra óptica. Si se hubiera estimado mejor el nivel de demanda, el encargado de la formulación de políticas podría haber elegido un proyecto que reflejara las necesidades de la localidad.

La comprensión de los factores que determinan la demanda es primordial para estimar dicha demanda de forma satisfactoria. Los métodos de estimación de demanda suelen arrojar resultados precisos en la planificación empresarial a corto plazo. La estimación de la demanda a largo plazo constituye un reto más complejo, habida cuenta de la existencia de muchos factores imprevistos que, de forma inevitable, influyen en la demanda a lo largo del tiempo, en particular en el sector de las telecomunicaciones, que evoluciona a un ritmo muy rápido. Por ejemplo, la estimación de la demanda puede no tener en cuenta los servicios incipientes que permiten prestar las nuevas tecnologías. La recesión económica y las fluctuaciones políticas, así como otro tipo de problemas financieros, pueden influir asimismo en la demanda. Con objeto de prever ésta a largo plazo, los encargados de la formulación de políticas deben tener en cuenta datos sociales, políticos y económicos de su país y conocer en profundidad los factores que determinan la demanda. En ocasiones, disponer de esa información puede determinar el éxito de un proyecto.

Por otro lado, la estimación precisa de la demanda no garantiza por sí misma el éxito de un proyecto. Pero si no se realiza ninguna estimación, las decisiones en cuanto a inversión, costes operacionales, ingresos y asignación de recursos adicionales pueden verse influenciadas por hipótesis infundadas e incoherentes, que en ocasiones pueden resultar erróneas. La evaluación precisa de la demanda comercial permite controlar mejor los principales factores que afectan al proyecto. Por otro lado, dicha estimación requiere que los encargados de la formulación de políticas se replanteen y analicen el entorno de mercado en el que se aplicará la política pública, al tiempo que facilita la formulación de una política pública que se ajuste mejor a las necesidades de la evolución del tamaño de la población.

Cabe destacar la existencia de varias técnicas de estimación de demanda. Los datos históricos, los métodos econométricos y la realización de entrevistas y ensayos se utilizan habitualmente para estimar la demanda potencial de un servicio.

En mercados estables, la demanda suele preverse mediante modelos econométricos que hacen hincapié en la estimación de la elasticidad de los precios. En el sector de las telecomunicaciones, se entiende por mercado estable el relativo a los servicios se prestan desde hace muchos años.

Existen muchas publicaciones académicas sobre estimación de la demanda de servicios de telecomunicaciones, tanto fijos como móviles. Por lo general, se estima la demanda agregada

de un servicio mediante modelos basados en datos de series temporales o datos transversales. Los principales factores que se utilizan para estimar la demanda son los siguientes:

- precio de los servicios de telecomunicaciones;
- ingresos en términos de producto interior bruto (PIB) o PIB por habitante;
- paridad de poder adquisitivo;
- teledensidad (abonos por 100 habitantes);
- demografía de los hogares, referida a datos estadísticos socioeconómicos, en particular sobre empleo, educación e ingresos.

En la estimación de la demanda de acceso y utilización de servicios se tienen en cuenta fundamentalmente el precio y los ingresos como factores determinantes de dicha demanda. Este tipo de modelo de demanda es aplicable a varios países, siempre y cuando se utilicen datos de variables independientes del país de que se trate. Es probable que la estimación de la elasticidad de los precios venga determinada por el nivel de ingresos, pautas comerciales específicas y aspectos culturales determinados de un país. De ahí que la estimación de la elasticidad de precios siempre dependa del país de que se trate.

En el sitio web de datos abiertos del Banco Mundial<sup>9</sup> figuran varias bases de datos de perfiles de países, indicadores de desarrollo mundial, PIB, paridad de poder adquisitivo y estimaciones de población. En el portal web *DataHub* de la UIT<sup>10</sup> pueden consultarse diversos indicadores y datos estadísticos sobre tecnologías de la información y la comunicación (TIC). A través de dicho portal se centraliza la consulta de indicadores y datos estadísticos de telecomunicaciones y TIC, información sobre reglamentación y políticas, políticas de tarificación a escala nacional y metodologías de cálculo de costes. Por otro lado, la UIT lleva a cabo diversos estudios en los planos técnico, económico, político y reglamentario y recopila datos sobre la evolución del desarrollo y la utilización compartida de infraestructuras en todo el mundo; esa información figura en el portal de desarrollo de infraestructuras de la UIT.<sup>11</sup>

La estimación de la demanda de nuevos servicios plantea un reto mayor. Los nuevos servicios conllevan nuevas aplicaciones y requieren asimismo nuevos equipos y tecnologías. Aunque, en principio, la previsión de nuevos servicios de telecomunicaciones no difiere de la de otros sectores, la dificultad de prever la evolución de mercados desconocidos ha llevado a la mayoría de los pronosticadores académicos a no abordar esa actividad.

En el caso de los nuevos servicios, tanto antes como después de su puesta en marcha es necesario resolver dos problemas clave, que revisten igual importancia, en materia de previsión, a saber, la estimación del potencial comercial de cada generación de servicios y la evolución de su difusión, es decir, el ritmo y el momento en que se adopta el nuevo producto, que a su vez determina el volumen de ventas en cada periodo<sup>12</sup>. Para muchas aplicaciones también será necesario determinar el índice de utilización de la nueva tecnología aplicada. Antes de su lanzamiento comercial, el análisis del potencial de mercado y de nuevos proveedores es primordial para lograr un resultado satisfactorio, si bien conforme transcurre el tiempo cobran más importancia la tasa de pérdida de clientes (que rige la evolución con respecto a tecnologías y competidores), la tasa de abandono y la tasa de utilización.

<sup>9</sup> Sitio web de datos abiertos del Banco Mundial: <https://data.worldbank.org/data-catalog>

<sup>10</sup> Puede accederse al portal web *DataHub* de la UIT a través de la dirección web <https://datahub.itu.int/>

<sup>11</sup> Portal de desarrollo de infraestructuras de la UIT: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regulatory-Market/Pages/InfrastructurePortal.aspx>

<sup>12</sup> Fildes y Kumar (2002).



Los principales elementos que se utilizan para estimar la demanda de un nuevo servicio son las encuestas de intención, la evaluación de las características del servicio, los modelos de elección, los ensayos comerciales y el establecimiento de analogías con otros productos u otros países.

Los datos que se utilizan para estimar la demanda de un nuevo servicio se recaban mediante métodos de encuesta o (en ocasiones) por medio de experimentos. Se puede considerar una gama de servicios alternativos o sencillamente preguntar si el encuestado tiene intención de adquirir un servicio específico. También puede remitirse un cuestionario a un grupo de expertos para recabar opiniones profesionales sobre el nuevo servicio. A tal efecto, un método destacado es la aplicación del método Delphi<sup>13</sup>.

La mayoría de los servicios de telecomunicaciones conllevan una utilización genérica, por lo que las nuevas generaciones de tecnología soportan servicios existentes al tiempo que amplían la gama de posibles aplicaciones; por ejemplo, la tecnología móvil 4G LTE soporta los mismos servicios que la tecnología 3G. En este caso, los servicios de telefonía que soporta la tecnología 3G pasan a soportarse mediante la nueva tecnología, al tiempo que se amplía la utilización de los mismos mediante aplicaciones de datos más avanzadas.

La puesta en marcha de la tecnología 5G ha constituido una notable excepción al respecto, a raíz de su elevado grado de evolución y las características técnicas innovadoras que incorpora con respecto a las generaciones tecnológicas de comunicaciones móviles anteriores.

En relación con la prestación de servicios, su principal diferencia radica en la posibilidad de utilizar la misma infraestructura de red. Habida cuenta de ello, cabe esperar que la tecnología 5G soporte servicios que reemplacen servicios tradicionales de banda ancha móviles y fijos. Además de propiciar la conectividad, el tráfico y la compartición de redes mediante soluciones de extremo a extremo, la tecnología 5G puede facilitar el desarrollo de productos nicho para promover la transformación digital de varios sectores económicos, en particular los sectores agroindustrial, minero, logístico, industrial y de transportes.

En consecuencia, a diferencia de la prestación de servicios mediante las tecnologías 3G y 4G, los modelos empresariales relativos a la tecnología 5G se basarán en la explotación de los cuatro tipos de servicio siguientes: servicios de banda ancha móvil, que constituyen la banda ancha móvil mejorada (eMBB); servicios de banda ancha fija mediante tecnología de acceso inalámbrico fijo (FWA); nuevas actividades empresariales (aplicaciones de empresa a empresa (B2B) o de empresa a consumidor (B2C)), cuya evolución se prevé que tenga lugar por medio de comunicaciones ultra fiables de baja latencia (URLLC); y comunicaciones masivas de tipo máquina (mMTC).

Habida cuenta de ello, el potencial comercial puede estimarse al analizarse de forma conjunta el mercado existente y el nuevo mercado que se obtiene al ofrecer un conjunto de aplicaciones más amplio. Se pueden utilizar modelos econométricos para estimar la demanda agregada de los servicios, al tiempo que el método Delphi puede ser útil para desglosar dicha demanda en función del interés que suscite cada generación tecnológica.

---

<sup>13</sup> El método de estimación Delphi se basa en la consulta a un grupo de expertos sobre un evento futuro mediante un cuestionario que se entrega en varias ocasiones, hasta que se alcanza un consenso; en la página 29 se proporciona un análisis pormenorizado al respecto. Para ampliar información, véase Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004) *The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications*, *Information & management*, Volumen 42, edición 1, 15-29.

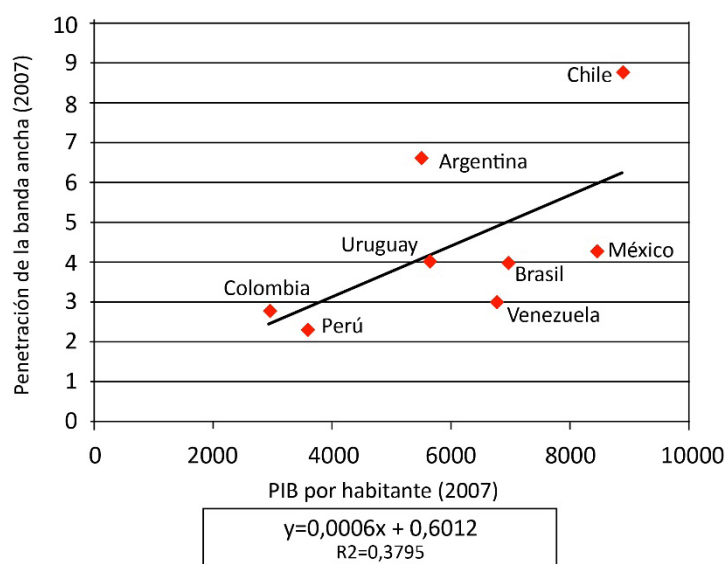
Conviene señalar que la realización de hipótesis inexactas no obedecen a la falta de técnicas de previsión. El análisis de regresión, el estudio de la evolución registrada en el pasado, la aplicación del método Delphi o la solicitud de opinión de expertos, la evaluación de características y la realización de ensayos comerciales, entre otras metodologías, están al alcance de todo el mundo. La mayoría de las previsiones de demanda inexactas se deben a la hipótesis errónea de que las complejas relaciones que fomentaron la demanda en el pasado seguirán invariables. Los encargados de la formulación de políticas deben tener presente en todo momento que regirse por los datos históricos puede ser ineficaz, a raíz del surgimiento de nuevas tecnologías, la modificación de las preferencias de los consumidores y la evolución de los sectores industriales y de las metodologías de reglamentación.

## 2.1 Estimación de la demanda mediante métodos econométricos

Con objeto de estimar las necesidades de banda ancha en una región determinada puede desarrollarse un modelo de regresión simple (análogo a los modelos originales de teledensidad) basado en el tamaño de la economía. Dicho modelo de regresión se basa en los niveles de penetración de banda ancha más recientes en un grupo de países y el producto interior bruto (PIB) de cada país.

Dicho modelo fue utilizado por Katz (2009)<sup>14</sup> para estimar la demanda de banda ancha en América Latina. Según el modelo, existe una relación directamente proporcional entre el PIB y la penetración de la banda ancha, puesto que cabe esperar que los países más ricos en términos de PIB por habitante tengan una mayor proporción de población con abonos de banda ancha.

Figura 2: Curva de regresión (penetración de la banda ancha con respecto al PIB por habitante)<sup>15</sup>



Fuente: UIT

<sup>14</sup> Katz, Raul L. (2009) *Estimating broadband demand and its economic impact in Latin America*, Actas de la 3ª Conferencia ACORN-REDECOM, Ciudad de México.

<sup>15</sup> Katz (2009).

La OCDE desarrolló un método adicional de fácil utilización, publicado en 2008<sup>16</sup>. Dicho método se basa en un modelo transversal y en datos de países de la OCDE. De los resultados de la labor de la OCDE se desprende que el modelo idóneo para estimar la demanda de banda ancha se fundamenta en valores logarítmicos sobre penetración, precio, PIB por habitante (PIBPH) y número de años transcurridos desde el lanzamiento comercial de servicios de línea digital de abonado (DSL).

Una característica útil del citado modelo es que el valor de los coeficientes logarítmicos  $\log$  (precio) y  $\log$  (PIBPH) puede interpretarse como el valor de la elasticidad:

$$\log(\text{PEN}) = \alpha + \beta \log(\text{PRECIO}) + \gamma \log(\text{PIBPH}) + \delta \text{YSL} + \theta \text{YSL}^2 + \varepsilon$$

De conformidad con el modelo de la OCDE:

- a) La elasticidad de la demanda a largo plazo con respecto al precio se sitúa en el intervalo de inelasticidad. El coeficiente -0,43 indica que una disminución del uno por ciento del precio daría lugar a un aumento de la demanda del 0,43 por ciento a largo plazo. Podría deducirse que el precio no influye en gran medida en la demanda. No obstante, dicho valor de elasticidad corresponde aproximadamente al valor extremo de la elasticidad habitual de la demanda con respecto al precio en relación con el arrendamiento de líneas telefónicas y la realización de llamadas locales o de larga distancia en los países desarrollados.
- b) La elasticidad de la demanda con respecto a los ingresos a largo plazo, cuyo valor mide el producto interior bruto por habitante (PIBPH), es algo superior. Por ejemplo, un aumento de la riqueza del uno por ciento daría lugar a un aumento de la demanda del 0,78 por ciento. Ello está en consonancia con los resultados de otros estudios sobre la elasticidad de la demanda con respecto a los ingresos, en los que se señala que los países con mayores ingresos tendrían un coeficiente inferior a uno.
- c) Los coeficientes YSL e YSL2 indican que el aumento de la demanda de banda ancha no es lineal y que corresponde a una fase de gran aumento. Como cabe esperar, el coeficiente de YSL2 es negativo.

Este modelo transversal puede aplicarse para estimar la penetración del servicio en un país determinado o para estimar un nuevo modelo basado en las características de los países de una región específica o de países que presenten analogías con el país objeto de estudio, por ejemplo, en cuanto a indicadores socioeconómicos o geográficos.

Pese a que los modelos presentados anteriormente se desarrollaron para estimar la demanda de servicios de banda ancha fija, también pueden utilizarse para estimar la demanda de servicios de banda ancha móvil si se sustituyen los valores relativos a la penetración de la banda ancha fija y los precios de abonos del servicio fijo por los de penetración del servicio móvil y los precios de abonos del servicio móvil.

Los organismos de reglamentación con acceso a datos pertinentes también pueden estimar la demanda de servicios mediante modelos de datos de expertos. Hausman y Ros (2013)<sup>17</sup> estimaron modelos de demanda de servicios de telecomunicaciones móviles y fijos mediante datos de expertos relativos a países análogos a México, por medio de la selección de una muestra de países comparables sobre la base de su nivel de ingresos (PIB por habitante). Aunque en el estudio de Hausman y Ros se utilizaron tipos de cambio de mercado para

<sup>16</sup> Cadman, R. y Dineen, C. (2008) *Price and income elasticity of demand for broadband subscriptions: A cross-sectional model of OECD countries*, SPC Network 19, 03-08.

<sup>17</sup> Hausman, J. A., y Ros, A. J., (2013) *An econometric assessment of telecommunications prices and consumer surplus in Mexico using panel data*, Journal of Regulatory Economics. Volumen 43 Número 3.

establecer una clasificación, la muestra de países análogos no varía con respecto al índice de paridad de poder adquisitivo. Se seleccionó una muestra de países justo por encima y justo por debajo del nivel relativo a México en la clasificación del PIB por habitante. Los criterios de selección fueron países con PIB por habitante similar al de México y que dispusieran de datos sobre precios de servicios de telecomunicaciones móviles. En consecuencia, los modelos econométricos sobre demanda de servicios móviles y fijación de precios de los mismos de muestras de 17 países permitieron determinar la elasticidad de la demanda con respecto al precio y con respecto al PIB por habitante de servicios móviles en México.

Se adoptó un enfoque de estimación con efectos invariables, a fin de evitar estimaciones sesgadas o incoherentes. Tanto la estimación de la elasticidad de la demanda con respecto al precio, de aproximadamente -0,50, como la de la elasticidad de la demanda con respecto al PIB por habitante, de en torno a 0,45, resultaron precisas (estadísticamente significativas), lo que pone de manifiesto que las variables económicas repercuten en gran medida en los abonos del servicio móvil.

Los modelos resultantes demostraron que tanto el precio como el PIB por habitante son factores determinantes destacados de la demanda en el servicio móvil.

## 2.2 Estimación de la demanda mediante el método Delphi

La metodología de estimación Delphi consiste en consultar a un grupo de expertos sobre un evento futuro mediante un cuestionario que se proporciona en varias etapas hasta que se alcanza un consenso. Dicha metodología, aplicada desde hace más de 50 años, se considera una de las mejores herramientas de previsión a largo plazo y se utiliza ampliamente para la elaboración de políticas públicas en varios países.

En la primera fase, las preguntas se envían a un grupo específico de expertos del sector de las telecomunicaciones. Dichos expertos se escogen en operadores que prestan servicio a escala nacional, proveedores de equipos, instituciones académicas, centros de investigación, prensa comercial especializada, asociaciones del sector y autoridades de reglamentación.

Posteriormente, se refunden y analizan las respuestas de la primera fase. Las respuestas que muestran mayor disparidad (entre los valores medio y la mediano de las respuestas obtenidas) se seleccionan para la segunda fase. En esta fase, los valores promedio y mediano, así como la respuesta proporcionada en la primera fase, se muestran a todos los expertos, a los que se pregunta si desean mantener su respuesta inicial, o modificarla.

Tras la segunda fase se refunden los resultados y se escoge para cada pregunta el indicador de tendencia central que se utilizará en la previsión de la demanda, a saber, el valor promedio o mediano. Para cada pregunta se especifica el indicador elegido, el criterio de selección y los resultados obtenidos. Si los resultados siguen siendo dispares, pueden iniciarse nuevas fases del método. El objetivo es reducir el rango de respuestas e intentar alcanzar un consenso de los expertos.

En el cuestionario pueden formularse preguntas sobre teledensidad, utilización y uso de un nuevo servicio o tecnología y la evolución prevista de las nuevas generaciones de tecnologías. Pueden estimarse valores para periodos de cinco o diez años, por ejemplo, 2020, 2025, 2030, 2040 y 2050.

## Cuadro 2: Ejemplos de preguntas de un cuestionario sobre la metodología Delphi

Pregunta	Valor constatado				Valor estimado			
	2014	2015	2016	2017	2020	2025	2030	2050
1. Abonos a servicios de telefonía móvil por cada 100 habitantes	44%	50%	55%	65%				
2. Acceso a Internet de las Cosas (IoT) o a servicios <i>Máquina a máquina</i> (M2M) por cada 100 habitantes			0,02	0,03				
3. Minutos de utilización (MoU) por abonado móvil	82	91	86	109	115			
4. Utilización de datos móviles por abono de banda ancha móvil			15	35	59			
5. Evolución de generaciones de tecnología móvil:								
2G	99%	94%	90%					
3G	1%	6%	10%					
4G	0%	0%	0%					
5G	0%	0%	0%					
6. Abonos de banda ancha fija (alámbrica) por cada 100 habitantes								
7. Proporción de fibra óptica en las tecnologías acceso fijo residencial	< 1%	< 1%	< 1%	< 1%				
8. Proporción de fibra óptica en las tecnologías de acceso fijo no residencial	< 1%	< 1%	< 1%	< 1%				
9. Velocidad promedio (en Mbps) por acceso de banda ancha			170%	180%				

Fuente: UIT

Sobre la base de los resultados refundidos para los años estimados, se pueden estimar los valores para los demás años mediante interpolación lineal o una evolución con arreglo a modelos de curva en S.

Esta metodología tiene por objeto aprovechar de forma eficaz decisiones intuitivas fundadas para previsiones a largo plazo y es idónea para estimar la demanda a largo plazo y la demanda de nuevos servicios y tecnologías.

### 2.3 Desglose de la demanda en segmentos

Tras la estimación de la demanda agregada, la siguiente etapa consiste en desglosar la demanda total con respecto a sus principales elementos, a fin de analizarlos de forma independiente. Los resultados del método Delphi también pueden ser útiles para tal fin.

Cabe tener en cuenta dos criterios diferentes al escoger segmentos de mercado, a saber, que cada categoría sea suficientemente pequeña y uniforme para que los factores determinantes de la demanda se apliquen de forma coherente con respecto a todos sus elementos, y que cada una de ellas sea lo suficientemente grande como para que el análisis justifique los esfuerzos desplegados.

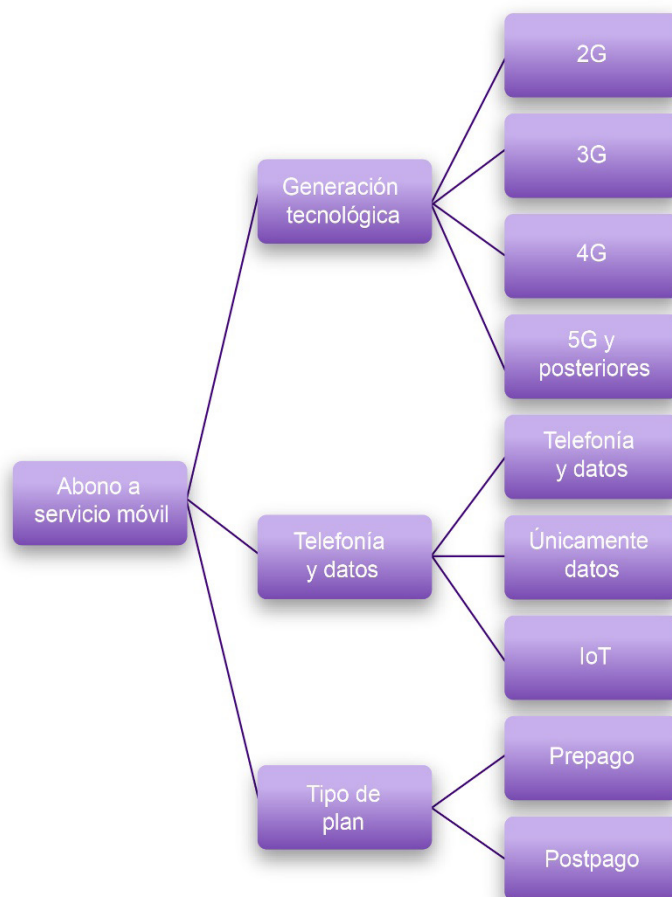
Al tomar esa decisión puede ser útil tener en cuenta otros criterios de segmentación, por ejemplo, con respecto a grupos de clientes finales (residenciales o no residenciales) o al tipo de adquisición (planes de prepago o pospago). Posteriormente han de formularse hipótesis sobre los principales factores que determinan la demanda para cada segmento y decidir el grado de detalle necesario para reflejar la situación real. Conforme avanza el proceso de evaluación, esta etapa puede revisarse y volverse a examinar para comprobar si las decisiones adoptadas inicialmente siguen siendo aceptables.

Con respecto al grado de segmentación de la demanda, es necesario decidir si se utilizan datos existentes sobre el tamaño de los segmentos, o se acometen nuevos estudios para realizar una estimación independiente. En el portal web *DataHub* de la UIT<sup>18</sup> figura una gran cantidad de información pública sobre la evolución histórica de la demanda por segmentos en muchos países. Algunos organismos de reglamentación a escala nacional también proporcionan una amplia gama de datos estadísticos e indicadores sobre su sector de telecomunicaciones, algo que también resulta de gran utilidad.

Aun si se poseen fuentes de datos fidedignas, la información disponible puede que no se haya segmentado previamente con respecto a las categorías más apropiadas, a fin de facilitar un análisis pormenorizado. En esos casos, conviene decidir si se realizan previsiones sobre la base de datos históricos disponibles, o se comienza una nueva fase de trabajo para recabar la opinión de expertos, si bien ello podría requerir mucho tiempo y resultar costoso.

En la Figura 3 se proporciona un ejemplo de desglose de demanda agregada del servicio móvil.

**Figura 3: Ejemplo de desglose de demanda de banda ancha móvil**

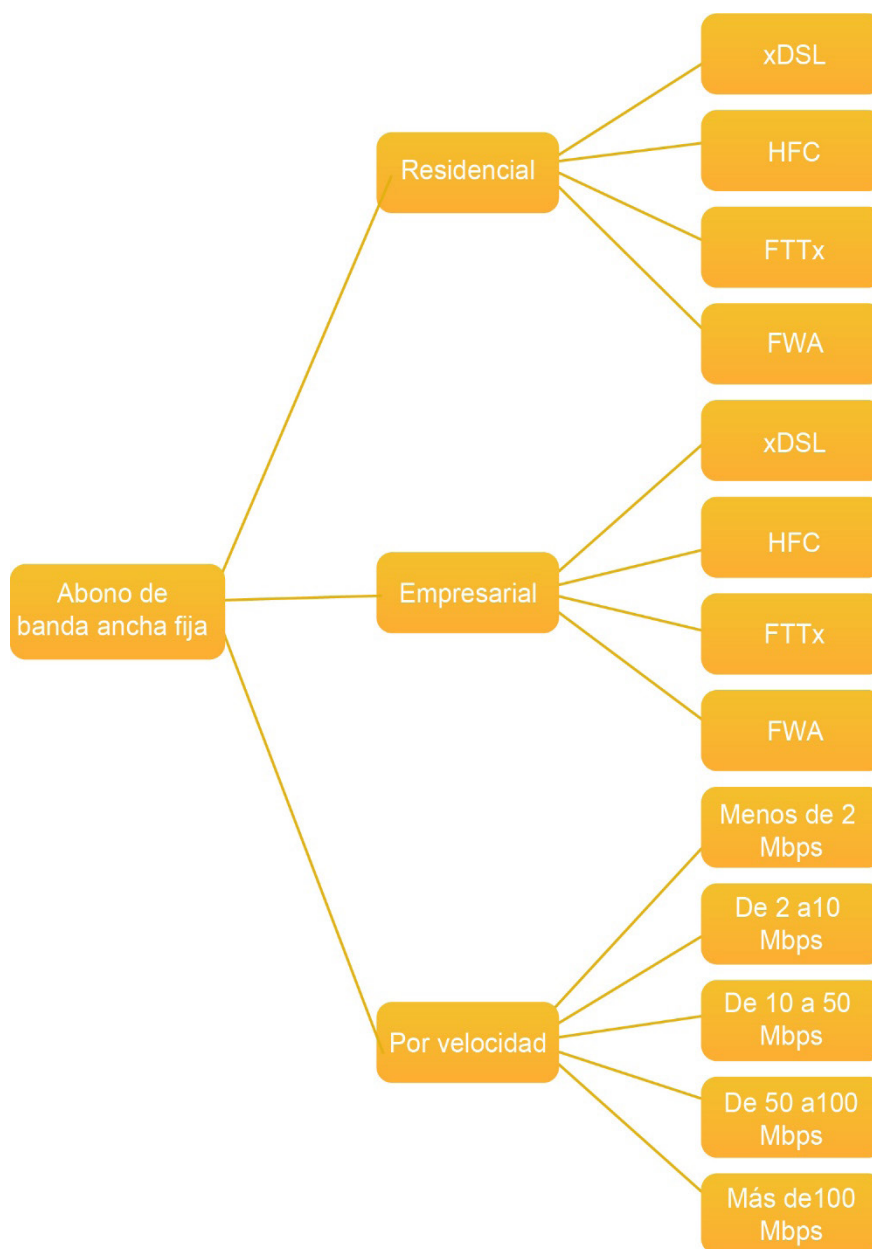


Fuente: Elaboración basada en información de Fields y Kumar (2002)

El desglose de la demanda agregada de banda ancha fija podría ajustarse a la estructura que se representa en la Figura 4.

<sup>18</sup> El portal *DataHub* de la UIT figura en la dirección web <https://datahub.itu.int/>

Figura 4: Ejemplo de desglose de demanda de banda ancha fija



Fuente: Elaboración basada en información de Fields y Kumar (2002)

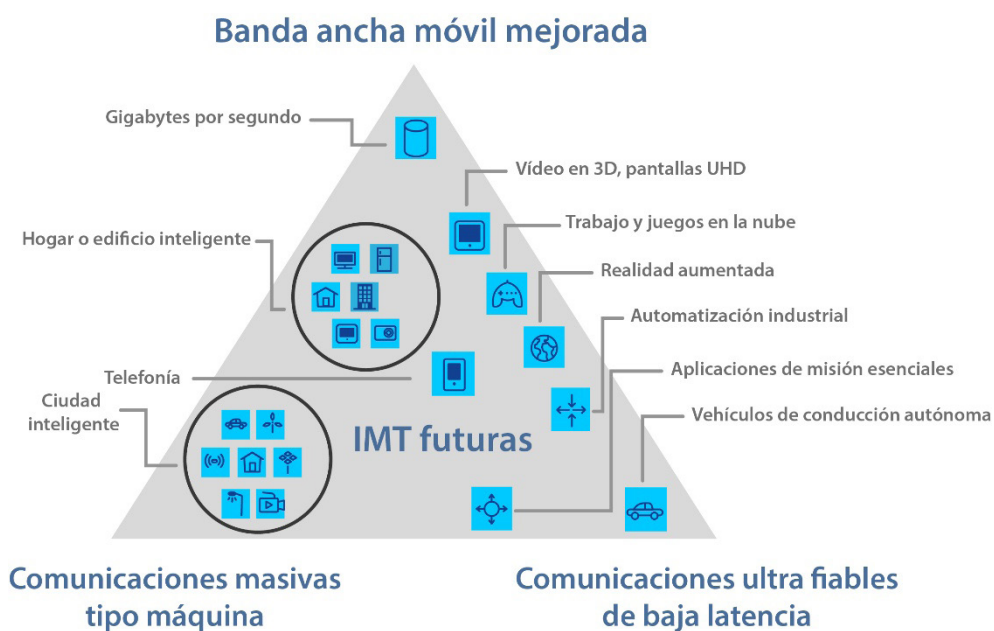
Al desglosar la demanda agregada, conviene que los encargados de la formulación de políticas tengan presente el objetivo de política pública que prevén alcanzar, con objeto de especificar todo lo posible el plan empresarial, habida cuenta de los datos disponibles.

## 2.4 Estimación de la demanda de servicios 5G

En la Figura 5 se pone de manifiesto que las redes IMT-2020 (5G) conllevarán una gran evolución de los modelos empresariales relativos a las telecomunicaciones tradicionales, puesto que cabe prever que soporten los tres tipos de servicios siguientes:

- a) banda ancha móvil mejorada (eMBB);
- b) comunicaciones ultra fiables de baja latencia (URLLC)
- c) comunicaciones masivas tipo máquina (mMTC).

Figura 5: Casos de utilización de las redes IMT-2020



Fuente: Rec. M.2083 del UIT-R - Concepción de las IMT - Marco y objetivos generales del futuro desarrollo de las IMT para 2020 y en adelante.<sup>19</sup>

La estimación de demanda relativa a la prestación de servicios de banda ancha móvil mejorada (eMBB) debe regirse por los principios que se aplican a la estimación de la demanda de servicios móviles. La puesta en marcha de la tecnología 5G permitirá a los proveedores prestar servicios de telefonía, banda ancha móvil y aplicaciones de velocidad, anchura de banda y latencia más elevadas.

Por otro lado, se pueden consultar para cada mercado perfiles de aumento y disminución de la adopción de varias tecnologías (pendiente de las curvas), así como los plazos de adopción para establecer las curvas de previsión de cada tecnología. La demanda del ciclo tecnológico 5G debe estimarse para cada mercado, y si se realiza la hipótesis de que el ciclo 5G se ajustará a las curvas de demanda relacionadas con tecnologías móviles anteriores, será necesario aplicar perfiles de aumento de la adopción tecnológica análogos para cada mercado. También conviene señalar que en los primeros años de adopción de una nueva tecnología, la proporción de abonos rebasa los datos relativos a las curvas correspondientes a tecnologías anteriores. Ese periodo se denomina "tiempo de adopción de la tecnología". La evolución que se produce pone asimismo de manifiesto que, tras cada aumento de la adopción tecnológica, la proporción de abonados a la nueva tecnología se estabiliza hasta que se produce el lanzamiento de otra nueva tecnología.

Los servicios de banda ancha fija por medio de acceso inalámbrico fijo (FWA) son el segundo tipo de servicios que se presta a través de redes 5G. Ello es posible debido a la disponibilidad de recursos de red móvil para prestar servicios eMBB. También cabe considerar un modelo en el que comiencen a prestarse servicios eMBB y FWA de forma simultánea. Ello viene justificado por la capacidad de la tecnología 5G para prestar varios servicios y por las elevadas tarifas habituales de la nueva tecnología, al no ser necesario invertir en una red de acceso (fibra óptica) para conectar a los usuarios.

<sup>19</sup> Rec. M.2083 <https://www.itu.int/rec/R-REC-M.2083>.



Para estimar la demanda relacionada con la prestación de servicios FWA, es necesario analizar el mercado de banda ancha fija. Puesto que los servicios FWA poseen características análogas a las de un servicio de banda ancha fija, la demanda de FWA formará parte de la demanda total estimada de servicios de banda ancha fija.

Al tratarse de un método de análisis reciente utilizado por diversos proveedores de servicios móviles, en lugar de estimar la demanda en ese segmento, se pueden estimar de forma directa los ingresos obtenidos mediante la tecnología 5G sobre la base de estudios y previsiones que se han llevado a cabo en el sector de las telecomunicaciones (véase la sección 3.3).

La demanda que fomentará las inversiones para poner en marcha la tecnología 5G vendrá determinada por las previsiones relativas a los tres tipos de servicios que soportará la infraestructura de la nueva generación de comunicaciones móviles, a saber, servicios móviles, servicios de banda ancha fija y aplicaciones URLLC y mMTC.

## 2.5 Estimación de la cuota de mercado de nuevos operadores

Tras determinar la demanda de servicios, la etapa siguiente consiste en establecer modelos sobre la forma de desglosar el mercado en lo concerniente a posibles nuevos operadores o empresas ya establecidas a los efectos de aplicación de los objetivos de política pública en el entorno competitivo de que se trate.

En los modelos de mercado se deben tener siempre en cuenta las normas y los criterios reglamentarios en vigor en relación con la concesión de servicios, la limitación de espectro, la disposición de canales en bandas de radiofrecuencia y la evolución de la situación del mercado.

Al fomentar la cuota de mercado de un posible operador de banda ancha fija, debe tenerse en cuenta la situación de las partes integrantes del mercado, así como la existencia de disposiciones en materia de reglamentación destinadas a fomentar la competencia y susceptibles de repercutir en el entorno competitivo a medio plazo. Si se considera que la situación en curso puede mantenerse, sencillamente puede reproducirse la cuota de mercado que ya poseen los operadores establecidos, con pequeñas variaciones hasta el final del proyecto.

Pero si a largo plazo se prevé una evolución favorable del entorno de competencia, cabe esperar que la cuota de mercado de los operadores establecidos varíe con respecto al tiempo, y que los nuevos operadores adquieran una mayor cuota de mercado. Se puede emplear en ese caso un modelo de curva en S para prever cómo evolucionará dicha cuota de mercado hasta el final del proyecto.

Al estimar la cuota de mercado de un posible operador de banda ancha móvil, además de considerar los aspectos anteriormente citados, es necesario tener en cuenta las normas en vigor en cuanto a limitación de espectro, así como toda disposición reglamentaria referente a los operadores de redes móviles virtuales o a la compartición de redes de acceso radioeléctrico. Esa información permitirá establecer modelos sobre la posible evolución del entorno competitivo

a lo largo del proyecto y estimar la cuota de mercado del operador que lo implante, también por medio de la aplicación de modelos de curva en S<sup>20</sup>.

### Estimación de la cuota de mercado de un posible nuevo operador

Caso hipotético: proyecto de banda ancha fija de quince años de duración que prevé poner en marcha un nuevo operador. A tal efecto, la autoridad de reglamentación de las telecomunicaciones promueve varias medidas encaminadas a fomentar la competencia, a fin de lograr un grado de competencia a largo plazo que permita a los operadores alcanzar casi la misma cuota de mercado. El mercado de banda ancha fija ya cuenta con cinco operadores, y el nuevo operador será el sexto. Su curva de adquisición de cuota de mercado empezará con un valor cercano a cero, si bien a lo largo del proyecto esa cuota evolucionará hasta alcanzar el valor final previsto por el organismo de reglamentación. Cabe utilizar modelos de curva en S para describir la evolución de la cuota de mercado del nuevo operador a lo largo del proyecto.

Cuota de mercado inicial	1%
Cuota de mercado final prevista	16,67%

#### CUOTA DE MERCADO DEL NUEVO OPERADOR

A01	0,0093	1
A02	0,0167	2
A03	0,0287	3
A04	0,0468	4
A05	0,0704	5
A06	0,0963	6
A07	0,1199	7
A08	0,1380	8
A09	0,1500	9
A10	0,1573	10
A11	0,1616	11
A12	0,1639	12
A13	0,1652	13
A14	0,1659	14
A15	0,1662	15



Fuente: UIT

Nota: Los valores utilizados son hipotéticos.

<sup>20</sup> Los modelos de curva en S pueden utilizarse en el sector de las telecomunicaciones y las TIC para describir la evolución de un nuevo servicio en el mercado. Un modelo de curva en S se caracteriza por tener una representación con pendiente casi plana de la etapa inicial del servicio, en la que únicamente los primeros usuarios y varios nichos de mercado utilizan el servicio. Posteriormente, la pendiente de la curva aumenta bruscamente, a medida que el nuevo servicio registra un rápido desarrollo y adquiere una posición de mercado dominante. Tras ese periodo de gran desarrollo, el nivel de utilización del servicio se mantiene elevado, pero con poco aumento, lo que suele poner de manifiesto un mercado maduro pero saturado.

### 3 Estimación de ingresos por prestación de servicios de banda ancha

Esta etapa consiste en estimar los ingresos asociados a la demanda prevista. La forma más sencilla de estimar los ingresos netos es calcular los ingresos medios por usuario (ARPU) de los servicios o segmentos de servicio que se prevé prestar en el marco del plan empresarial.

Tras calcular el ARPU, se multiplica por la demanda estimada con objeto de obtener los ingresos netos, como se muestra en la Figura 6.

Figura 6: Estimación de ingresos netos



Fuente: UIT

No obstante, no siempre es posible calcular el ARPU relativo al servicio específico que se prevé poner en marcha, por lo que puede ser necesario realizar algunos ajustes, en particular basarse en el ARPU de un servicio análogo. Por otro lado, no es habitual que el ARPU se mantenga invariable a lo largo de todo el proyecto, por lo que será necesario realizar algunas hipótesis para prever su evolución durante el mismo.

A continuación se enumeran varias opciones para estimar los ingresos en proyectos de banda ancha, así como una propuesta de metodología para determinar la evolución de los ingresos a lo largo del proyecto.

#### 3.1 Estimación de ingresos en proyectos de banda ancha móvil

En primer lugar, cabe señalar que pese a que el proyecto que se prevé poner en marcha sea una red de acceso de banda ancha móvil, con respecto al usuario final se trata, en última instancia, de un proyecto de prestación de servicios de comunicaciones móviles, que abarcan la telefonía móvil y los datos móviles. En consecuencia, conviene que la estimación del ARPU para el proyecto se base en el ARPU de los servicios móviles que se prevé poner en marcha.

Por otro lado, varios análisis ponen de manifiesto que pese a la evolución de las tecnologías móviles (2G, 3G, 4G y 5G), no se han producido variaciones sustanciales del ARPU relativo a esas nuevas generaciones de tecnología. Por lo general, el valor de los planes de servicio del usuario final se ha mantenido prácticamente invariable; es decir, aunque el servicio haya mejorado en términos de volumen y calidad de datos ofrecidos, el precio abonado por cada usuario casi no ha variado. Habida cuenta de ello, a lo largo de los últimos años los usuarios se han venido beneficiando, por el mismo precio, de mayores volúmenes de llamadas telefónicas, mensajes y datos, y de una mayor velocidad de transmisión, y en determinados casos, de servicios de valor añadido adicionales. A los efectos de establecimiento de modelos, ello conlleva que los datos históricos de ARPU del servicio móvil puedan utilizarse para estimar los ingresos de los nuevos servicios de banda ancha móvil.

Si se dispone de los datos necesarios y es posible segmentar la demanda, el desglose del ARPU para abonos de prepago o pospago puede aumentar la precisión de las proyecciones.

## 3.2 Estimación de ingresos en proyectos de banda ancha fija

Para estimar los ingresos en proyectos de banda ancha fija, conviene considerar el ARPU de los servicios de banda ancha fija. Por lo general, los proveedores de servicios en el mercado de banda ancha fija ofrecen al menos dos tipos de planes principales: planes de baja velocidad y planes de elevada velocidad. En la actualidad, los planes de baja velocidad ofrecen velocidades de transmisión de hasta 20-25 Mbps, al tiempo que los planes de alta velocidad ofrecen velocidades de transmisión de alrededor de 25 Mbps o más.

También en este caso, si se dispone de los datos necesarios y es posible segmentar la demanda, el desglose del ARPU para planes de baja y alta velocidad puede aumentar la precisión de las proyecciones.

### Estimación de ingresos en proyectos de banda ancha fija

Considérese el caso hipotético de un país W que prevé desplegar un proyecto de banda ancha fija a lo largo de diez años. Los operadores del país W proponen, por lo general, dos tipos principales de oferta de banda ancha: servicios de baja velocidad y servicios de alta velocidad.

El ARPU correspondiente al país W es el siguiente:

- tarifa de acceso de baja velocidad: 22 USD;
- tarifa de acceso de alta velocidad: 48 USD.

En los últimos cinco años, el ARPU ha disminuido paulatinamente a un ritmo del 0,5 por ciento anual. Cabe esperar que esa evolución se mantenga durante los diez años del proyecto. Tras calcular el ARPU total para todos los años del proyecto, los ingresos totales pueden determinarse multiplicando la demanda de un año por el ARPU total para dicho año.

Nótese que en el primer año de explotación conviene tener en cuenta ingresos únicamente para un periodo de seis meses, puesto que conviene dejar transcurrir un periodo de tiempo entre el despliegue de la red y la comercialización de los servicios.

Evolución del valor de ARPU para la banda ancha fija			
Tarifa	Baja velocidad	Alta velocidad	
A01	\$ 22,00	\$ 48,00	
A02	\$ 21,89	\$ 47,76	
A03	\$ 21,78	\$ 47,52	
A04	\$ 21,67	\$ 47,28	
A05	\$ 21,56	\$ 47,05	
A06	\$ 21,46	\$ 46,81	
A07	\$ 21,36	\$ 46,58	
A08	\$ 21,24	\$ 46,34	
A09	\$ 21,14	\$ 46,11	
A10	\$ 21,03	\$ 45,88	
Demanda estimada de banda ancha fija			
Tarifa	Baja velocidad	Alta velocidad	
A01	25.650	1.350	
A02	43.200	4.800	
A03	90.100	15.900	
A04	132.000	33.000	
A05	183.000	61.000	
A06	221.900	95.100	
A07	248.950	134.050	
A08	243.200	188.800	
A09	319.000	261.000	
A10	368.500	368.500	
Ingresos totales			
Tarifa	Baja velocidad	Alta velocidad	INGRESOS TOTALES
A01	\$ 3.385.800	\$ 388.800	\$ 3.774.600
A02	\$ 11.347.776	\$ 2.750.976	\$ 14.098.752
A03	\$ 23.549.131	\$ 9.067.045	\$ 32.616.176
A04	\$ 34.327.889	\$ 18.724.303	\$ 53.052.192
A05	\$ 47.352.983	\$ 34.438.533	\$ 81.791.516
A06	\$ 57.131.632	\$ 53.421.786	\$ 110.553.418
A07	\$ 63.775.598	\$ 74.925.178	\$ 138.700.777
A08	\$ 72.186.958	\$ 104.999.212	\$ 177.186.170
A09	\$ 80.905.725	\$ 144.426.749	\$ 225.332.475
A10	\$ 92.992.762	\$ 202.893.298	\$ 295.886.060

Nota - Los valores utilizados son hipotéticos.

### 3.3 Estimación de ingresos de nuevos servicios comerciales relacionados con la tecnología 5G (URLLC y mMTC)

Las nuevas oportunidades empresariales sin precedentes que brindan las redes 5G constituyen un gran reto para el establecimiento de modelos sobre previsión de ingresos, y no existen casos específicos relativos a países en los que ya se ha puesto en marcha la tecnología 5G cuyos resultados puedan generalizarse.

Existe un escaso consenso, de haberlo, sobre la necesidad de explotar los recursos que brinda la tecnología 5G en el marco de servicios empresariales verticales<sup>21</sup>. Habida cuenta del potencial que brindan los sectores industriales verticales, se entiende que dichos servicios constituyen soluciones de extremo a extremo, de empresa a empresa o de empresa al consumidor, que utilizan la infraestructura y las características de la tecnología 5G como soporte, pero que van más allá del modelo comercial de las telecomunicaciones tradicionales. Puesto que los operadores de redes 5G prestarán servicios que no sólo abarcan las telecomunicaciones,

<sup>21</sup> Los sectores verticales que se benefician del sector de las TIC son los sectores agroindustrial y minero, así como los del transporte, la logística y la producción.

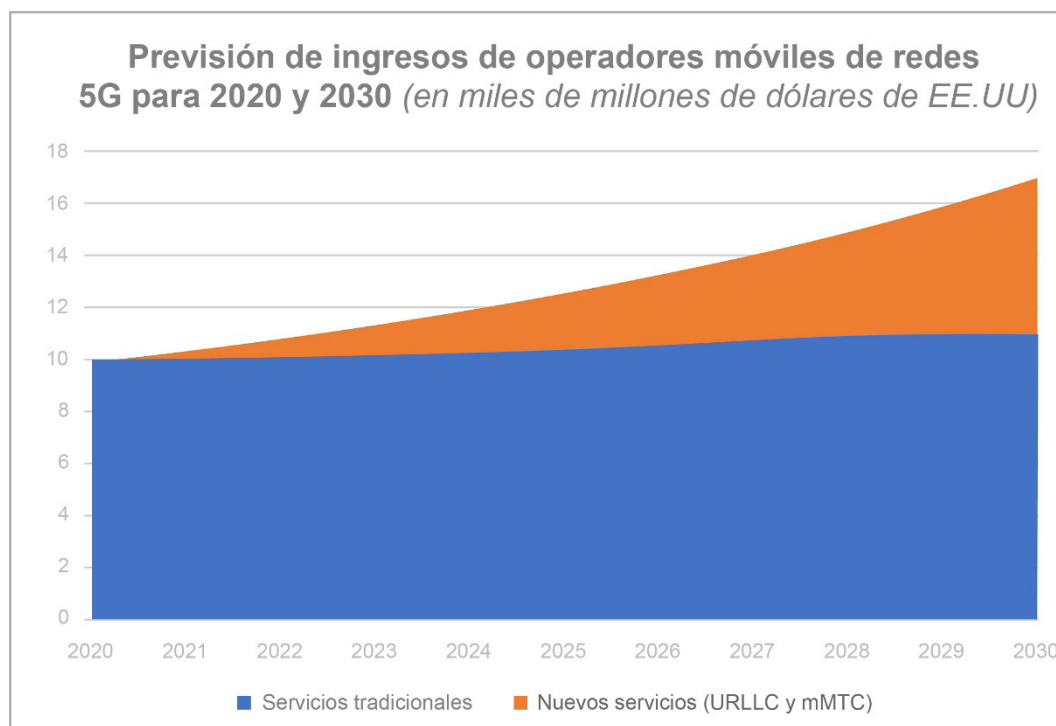
esos nuevos servicios puede considerarse de índole corporativa, destinada a la provisión de infraestructuras y conectividad.

Con respecto al análisis de ingresos, por lo general se lleva a cabo una evaluación cuantitativa de la incidencia de los sectores verticales en el mercado de las telecomunicaciones, tomando como referencia una proporción de los ingresos relativos a las comunicaciones móviles con 5G en segmentos establecidos, en particular con respecto a los servicios eMBB y FWA. Por ejemplo, según Ericsson (2019), "el aprovechamiento de esas oportunidades permitiría a los proveedores de servicios beneficiarse de un aumento del 35 por ciento de su flujo de ingresos, además de sus ingresos previstos para 2030". Por otro lado, en un informe publicado por Huawei (2019) se estima que las soluciones 5G aumentarán en unos 1,4 billones de dólares el PIB mundial para 2030. GSMA (2018) señala que las nuevas oportunidades en cuanto a aumento de ingresos por la prestación de servicios 5G corresponderán al segmento empresarial o industrial, y que existen muchos otros informes que respaldan esta opinión

Con objeto de estimar los ingresos relativos a esos nuevos servicios, es necesario evaluar tanto la incidencia de los sectores verticales en el modelo empresarial de las redes 5G como las principales características del mercado local, a fin de determinar la evolución comercial de los servicios URLLC y mMTC con respecto a los servicios comerciales 5G en su conjunto.

En la Figura 7 se tienen en cuenta las previsiones de Ericsson (2019) con objeto de poner de manifiesto que, para 2030, el 35 por ciento de los ingresos totales de los operadores de redes móviles se generarán en el marco de la prestación de nuevos servicios comerciales relativos a la tecnología 5G (URLLC y mMTC).

**Figura 7: Previsión de ingresos de operadores móviles de redes 5G para 2020 y 2030 y 2030**



Fuente: Referencia de Ericsson (2019)

Nota: Los valores utilizados son hipotéticos.

### 3.4 Estimación de ingresos en proyectos de redes de transporte

En la medida en que los proyectos de redes de transporte estén estrechamente relacionados con los servicios de telecomunicaciones al por mayor, se recomienda estimar los ingresos netos de esos proyectos tomando como referencia la oferta pública de servicios de líneas arrendadas del operador tradicional (o del proveedor de servicios con capacidad para influir significativamente en el mercado).

En los casos en los que el país de que se trate no disponga de ninguna oferta pública relacionada con dicho tipo de servicios al por mayor, puede consultarse el sitio web de otras autoridades de reglamentación, a fin de utilizar datos de referencia fidedignos en materia de líneas arrendadas y conectividad. Posteriormente puede tenerse en cuenta un índice de paridad de poder adquisitivo, con el fin de suprimir toda diferencia de precios en cuanto a tipos de cambio. Los precios utilizados como referencia deben excluir impuestos y valores de inflación.

### 3.5 Evolución de los ingresos a lo largo del proyecto

El valor del ARPU inicial del proyecto debe reflejar los valores más recientes calculados. La evolución del ARPU a lo largo de todo el plan empresarial puede estimarse sobre la base de sus datos recientes. Si no se dispone de información sobre ARPU, éste puede aproximarse mediante el ARPU de un país que posea un perfil socioeconómico análogo. Esa información puede obtenerse, por ejemplo, en el sitio web de otras autoridades nacionales de reglamentación de las telecomunicaciones, o de bancos de inversión.

Otra estrategia eficaz a tal efecto es la utilización de la Cesta de precios de las TIC de la UIT (CPT)<sup>22</sup>, a fin de estimar los ingresos netos. Esta base de datos contiene información sobre los servicios fijo, móvil y de banda ancha de unos 165 países. Conviene recordar que es necesario deducir los efectos fiscales en la estimación de los ingresos netos. Al analizar la evolución histórica del ARPU, deben excluirse asimismo de la estimación los efectos inflacionistas, a fin de garantizar en todos los casos la utilización de valores reales en el plan empresarial.

Sobre la base de la estimación de las previsiones de ARPU y de la demanda prevista, se obtienen los ingresos previstos por año en función del servicio específico que soporte la red implantada.

Nótese que en el primer año de explotación conviene tener en cuenta ingresos únicamente para un periodo de seis meses, puesto que conviene dejar transcurrir un periodo de tiempo entre el despliegue de la red y la comercialización de los servicios.

<sup>22</sup> La Cesta de precios de las TIC figura en el portal *DataHub* de la UIT (Asequibilidad - Precios de las TIC <https://datahub.itu.int/indicators/>).

## 4 Estimación de inversiones en redes de banda ancha: gastos de capital (CAPEX)

La determinación del gasto de capital (CAPEX) necesario para colmar lagunas de infraestructuras de red en un país determinado constituye uno de los mayores retos que afrontan los gobiernos interesados en aplicar políticas públicas sostenibles en el plano económico para fomentar la inversión en la expansión de redes de banda ancha.

La información sobre la inversión necesaria es primordial para que los encargados de la formulación de políticas elaboren un plan coherente, eficaz y fiable para evaluar el interés y la sostenibilidad a largo plazo de la hipotética implantación de un servicio de telecomunicaciones en regiones geográficas desatendidas.

Por otro lado, la gran variedad de casos de utilización de las redes 5G para soportar aplicaciones de latencia ultra baja, en particular las relativas a los vehículos autónomos, los drones y la automatización de plantas industriales, ha aumentado la incertidumbre sobre el CAPEX necesario.

Los principales datos que se precisan para la estimación del CAPEX son los siguientes:

- la previsión de la demanda de servicios de banda ancha móvil y fija, así como información detallada sobre lagunas de infraestructuras, por ejemplo, una lista de localidades sin cobertura de redes de transporte óptico;
- la demanda prevista (en cuanto a número de usuarios, tráfico o Mbps) de redes de banda ancha móvil o fija para los años sucesivos, por localidad; esa información reviste importancia tanto para la toma de decisiones de diseño de redes como para la estimación de las inversiones necesarias.

Sobre la base de esos datos, el CAPEX necesario para colmar las lagunas de infraestructuras identificadas dependerá del servicio y la tecnología de que se trate. Por ejemplo, los encargados de la formulación de políticas interesados en encontrar una solución rápida ante la falta de servicios de banda ancha en una región determinada, pueden optar por modelizar el despliegue de redes de acceso de banda ancha móvil rentables y de rápido despliegue (3G, 4G, 5G o 5G FWA, entre otras), al tiempo que los que deseen realizar una planificación a largo plazo pueden modelizar el despliegue de redes de acceso de fibra hasta el hogar (FTTH). Con respecto al despliegue de redes de transporte troncales o de conexión al núcleo de red, la decisión de modelizar redes de microondas comunes normalizadas o redes de fibra óptica de nueva generación vendrá dada por los objetivos de las políticas públicas y la demanda de tráfico prevista en cada localidad o región, y puede repercutir directamente en la inversión necesaria.

Con el fin de proporcionar una orientación útil sobre la forma de estimar el CAPEX necesario para satisfacer las necesidades de infraestructuras de banda ancha, habida cuenta de la inevitable disparidad de información inherente a todo análisis que efectúan los encargados de la formulación de políticas, en las secciones de este conjunto de herramientas que siguen a continuación se proporcionan varios ejemplos de enfoques eficaces destinados a los gobiernos interesados en fomentar el despliegue de redes de banda ancha inalámbricas 4G y 5G, redes FTTH de banda ancha fija y redes de transporte de microondas y fibra óptica de banda ancha, habida cuenta de que esas tecnologías son las más utilizadas a los efectos de ampliación de redes de banda ancha.



## 4.1 Redes de acceso de banda ancha móvil 4G

El objetivo de este modelo es estimar la infraestructura de red necesaria para satisfacer las necesidades en materia de cobertura y capacidad (Mbps) de posibles usuarios de servicios de banda ancha móvil 4G LTE en localidades o regiones aún no atendidas, con el fin de evaluar la viabilidad económica de esas inversiones.

A tal efecto, se realiza la hipótesis de un operador tipo que dispone de un único bloque de radiofrecuencias para utilizarlo en nodos B mejorados (*e-NodeB*) 4G LTE tradicionales (en adelante, macrocélulas), mediante una solución basada en células de menor tamaño, menos costosa y más adaptada, a fin de satisfacer la demanda cada vez mayor de capacidad de transmisión de datos que se prevé implantar en localidades en las que la demanda de capacidad supere la de las macrocélulas.

Esta solución simplificada, basada en células de pequeño tamaño, incorpora un sistema de antenas sectoriales y un punto de acceso WiFi utilizado para la descarga de tráfico directamente a través de la red de transporte fija. En la Figura 6 se muestra la topología de red de acceso de banda ancha móvil prevista.

Figura 8: Red LTE de características diversas



Cabe destacar que el aumento de capacidad que ofrece este enfoque es considerable y que se reduce la necesidad de ampliaciones de red en el futuro únicamente por motivos de capacidad, lo que conlleva asimismo que los operadores deban invertir en menor medida a lo largo de breves periodos, y facilita la capitalización de su infraestructura. La solución modelizada para el despliegue de una infraestructura híbrida integrada por macrocélulas, células de pequeño tamaño y puntos de acceso WiFi es habitual a escala mundial en redes de diversas características de banda ancha inalámbrica 4G LTE, habida cuenta de la necesidad de reducir el CAPEX necesario para satisfacer la gran demanda de banda ancha móvil<sup>23</sup>. Esa estrategia híbrida brinda la triple ventaja de satisfacer la necesidad de cobertura, facilitar la movilidad de los usuarios y atender a la demanda de capacidad, al tiempo que facilita inversiones escalonadas y la asignación de las mismas durante varios años de explotación.

<sup>23</sup> Fuente: Cisco Visual Networking Index Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>

### Cálculo de la inversión para el despliegue en la zona de cobertura (macrocélulas)

Con objeto de calcular el número de macrocélulas necesarias para proporcionar cobertura en localidades desatendidas, se divide la zona a la que se prevé prestar servicio por la zona máxima que abarca un nodo B mejorado (e-NodeB) habitual, con arreglo a la ecuación siguiente:

en la que:

$$N_{\text{macrocélulas}} = \frac{A_t}{A_{eNb_{avg}}}$$

$N_{\text{macrocélulas}}$  es el número de macrocélulas que deben ser objeto de estimación

$A_t$  es la superficie total, en km<sup>2</sup>, de la zona en la que se prevé prestar servicio

$A_{eNb_{avg}}$  es la zona máxima que abarca un e-NodeB habitual.

Para estimar  $A_{eNb_{avg}}$  puede tomarse como referencia el radio de cobertura promedio de los emplazamientos de redes inalámbricas de banda ancha 4G LTE desplegados en localidades que ya cuentan con cobertura de redes 4G LTE para el mismo espectro. También pueden utilizarse referencias internacionales relativas al despliegue de redes de banda ancha inalámbrica 4G LTE en otros países.

Tras calcular el número de emplazamientos a los que ha de proporcionarse cobertura, es necesario determinar el coste unitario para cada emplazamiento, a fin de estimar la inversión necesaria. Dicho coste unitario puede variar sustancialmente de un país a otro, de ahí que, con objeto de lograr una mayor precisión, sea necesario determinar ese coste por medio de información suministrada por operadores locales de banda ancha móvil establecidos o proveedores de redes locales.

Por último, es necesario aprovechar la infraestructura pasiva (torres, etc.) que puede compartirse, a fin de facilitar un despliegue 4G de forma rentable, habida cuenta de que la compartición puede propiciar un sustancial ahorro de costes a los efectos de despliegue de macrocélulas.

## Macrocelulas

En el ejemplo siguiente se muestra la forma de estimar el número de elementos de infraestructura pasivos y activos necesarios en el despliegue de macrocelulas.

**Estimación sobre macrocelulas 4G**

---

Ciudad: ejemplo 1

Torres compartidas = 7 (2G, 3G, etc).

$A_t = 137 \text{ Km}^2$

$A_{eNbavg} = 7,5 \text{ Km}^2$

$N_{\text{macrocelulas}} = 19$

$$N_{\text{macrocelulas}} = \frac{A_t}{A_{eNbavg}}$$

Infraestructura pasiva (torres, etc.) =  $19 - 7 = 12$

Infraestructura activa (e-NodeB, etc.) = 19

Fuente: UIT

Nota: Los valores utilizados son hipotéticos.

## Cálculo de la inversión necesaria para el despliegue de células de pequeño tamaño y puntos de acceso WiFi

Después de determinar las necesidades de infraestructura para proporcionar cobertura en emplazamientos específicos (mediante macrocelulas), cabe evaluar la estrategia idónea para afrontar el reto de poner en marcha una red que posea suficiente capacidad (Mbps) para satisfacer la demanda de tráfico de redes inalámbricas 4G LTE, sobre la base de la utilización más eficaz posible del CAPEX.

La primera etapa consiste en determinar la demanda de tráfico prevista en cada localidad para los años sucesivos<sup>24</sup>, con respecto a la demanda de los usuarios de redes inalámbricas 4G LTE para varios diversos perfiles, en particular usuarios de abonos de prepago o postpago de telefonía y datos, así como usuarios que únicamente generan tráfico de datos mediante la utilización de módems.

Con objeto de transformar la demanda de los usuarios en la capacidad de tráfico máxima necesaria (Mbps) de la forma más eficaz posible a los efectos de planificación de red, es necesario elaborar una matriz de valores de velocidad para cada perfil de usuario, a fin de prever la evolución a lo largo de años sucesivos, habida cuenta del habitual aumento escalonado de la eficiencia espectral (bit/s/Hz) de las redes LTE comerciales.

Sobre la base de esa metodología y las estimaciones de demanda de los usuarios de redes inalámbricas 4G LTE por localidad para cada tipo de perfil de usuario, así como la matriz estimada de valores de velocidad que se prevé ofrecer en los planes de datos de dichas redes

<sup>24</sup> El número de años viene dado por el periodo de tiempo establecido para el cálculo del valor actual neto (VAN). Por ejemplo, en Brasil se ha aplicado una previsión de demanda a 10 años para calcular el VAN de un proyecto de banda ancha fija específico.

inalámbricas 4G LTE, se puede estimar la capacidad de tráfico que deberá soportar la red de acceso inalámbrico 4G LTE desplegada en cada localidad a la que se prestará servicio.

Una vez que se ha determinado la demanda de tráfico (Mbps) y la demanda que se satisfará de forma escalonada en cada año de explotación, se puede calcular el número de células de pequeño tamaño y de puntos de acceso WiFi que será necesario desplegar anualmente con objeto de atender la demanda que rebasa la capacidad que ya hayan satisfecho las macrocélulas. El número de células de pequeño tamaño necesarias en cada año de prestación del servicio en cada localidad puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$N_{\text{células de pequeño tamaño}} = \frac{\text{máx}\{[D_{T_A} \cdot (1 - F_{\text{descarga}}) \cdot F_s] - (N_{\text{macrocélulas}} \cdot C_{\text{macrocélula}}); 0\}}{C_{\text{célula de pequeño tamaño}}}$$

en la que:

$D_{T_A}$  es la demanda de tráfico (Mbps) de todos los usuarios de la localidad para un año determinado A

$F_s$  es el factor de compartición de red, por lo general denominado *coeficiente de contención*

$C_{\text{macrocélula}}$  y  $C_{\text{célula de pequeño tamaño}}$  representan la capacidad (en Mbps) que proporciona cada macrocélula (e-NodeB tradicionales con tres sectores) o célula de pequeño tamaño (un solo sector). Dicha capacidad se calcula multiplicando la cantidad de espectro (MHz) disponible para redes 4G LTE en la localidad para el año A ( $B_A$ ) la eficiencia espectral (bit/s/Hz) de las redes comerciales 4G LTE para el año A ( $\eta_A$ ) y el número de sectores por emplazamiento de red 4G LTE (S)

$F_{\text{descarga}}$  es el factor de descarga del tráfico de redes 4G LTE a través de redes WiFi, o proporción del tráfico cursado mediante una célula de pequeño tamaño que se descarga al punto de acceso WiFi.

Tras la presentación de la ecuación utilizada para calcular el número de células de pequeño tamaño y los puntos de acceso WiFi que han de ponerse en marcha en cada localidad en un año determinado, se abordarán las hipótesis realizadas para definir el valor de cada variable de la ecuación.

Como se ha señalado anteriormente,  $D_{T_A}$  es la demanda en el año A, a saber, la demanda de tráfico (Mbps) existente en el año A en una localidad determinada. En la sección relativa a las células de pequeño tamaño que figura a continuación se aborda la aplicación de dicha fórmula.

La utilización del factor de descarga  $F_{\text{off-load}}$  se fundamenta en la hipótesis de que, a raíz del rápido aumento del tráfico como consecuencia de la generalización de los terminales de redes móviles 4G LTE, las redes WiFi suelen utilizarse en todo el mundo para descargar parte de este tráfico<sup>25</sup>, en particular en zonas urbanas de alta densidad. Por otro lado, el factor de descarga guarda relación con el grado de eficiencia del despliegue de redes, puesto que la capacidad de determinadas zonas (por ejemplo, microcentros urbanos, centros comerciales y aeropuertos) cuya concentración de demanda es elevada puede satisfacerse en gran medida mediante puntos de acceso WiFi.

<sup>25</sup> Véase: <http://docplayer.net/13989507-Smartphone-use-transforming-with-the-rise-of-4g-and-wi-fi.html>. Smartphone use transforming with the rise of 4G and Wi-Fi, 2014 Informa UK Ltd.

Según se desprende de estimaciones recientes<sup>26</sup>, se prevé que el 63 por ciento del tráfico de la banda ancha móvil se curse a través de redes WiFi, lo que reducirá el valor de la demanda que debe tenerse en cuenta al establecer el tamaño de una red móvil cuyas frecuencias se utilicen en el marco de la concesión de una licencia. Ello permitirá asimismo optimizar el CAPEX de forma sustancial.

El factor de compartición de red  $F_s$ , o relación de contención, como se denomina en el sector de las telecomunicaciones, es un parámetro que habitualmente se tiene en cuenta en el diseño de redes de conmutación de paquetes, como en redes de datos inalámbricas 4G LTE. En las ecuaciones de dimensionamiento de redes, este parámetro se utiliza para prever la frecuente necesidad de los usuarios de recursos de red (envío y recepción de paquetes de datos) en determinados casos. Puesto que no todos los usuarios utilizan la capacidad de la red móvil de forma simultánea, no es eficaz que una red soporte el valor de pico del tráfico total de datos previsto, puesto que nunca será necesario. En lugar de ello cabe aplicar un factor de compartición de red (relación de contención), a fin de indicar el número de usuarios que la red debe ser capaz de soportar simultáneamente. Dicho factor puede variar en cada país y en ocasiones viene establecido en el marco de la reglamentación a escala nacional sobre calidad del servicio. Un valor habitual que se tiene en cuenta a los efectos de dimensionamiento de redes de banda ancha (fijas o móviles) es 1:20 (5 por ciento), es decir, por cada 20 Mbps de capacidad contratada la red únicamente necesita proporcionar 1 Mbps, ya que habitualmente sólo el 5 por ciento de los usuarios utilizará la red de forma simultánea.<sup>27</sup>

La eficiencia espectral  $\eta_{A'}$ , en (bit/s/Hz) de las redes LTE comerciales para el año A puede determinarse mediante la información proporcionada por operadores locales y proveedores de redes; por lo general, 4 bit/s/Hz es el valor de referencia en el caso de las redes que utilizan modulación 256 QAM. Además, se puede prever la evolución de la eficiencia espectral por medio de la evolución temporal de la curva de aumento de la eficiencia espectral para las tecnologías de transmisión de datos en redes móviles, desde la puesta en marcha de las tecnologías de tercera generación (en particular, WCDMA -Acceso múltiple por división de código de banda ancha- y HSPA -Acceso de alta velocidad por paquetes) hasta el surgimiento de las redes LTE, incluidas las posteriores actualizaciones (*versiones*) del Foro 3GPP. Sobre esa base, puede determinarse una curva de eficiencia espectral creciente para años sucesivos, hasta alcanzar la madurez de las redes LTE y la puesta en marcha comercial de tecnologías de redes móviles más avanzadas (en particular las redes 5G).

La última variable,  $B_{A'}$ , es la cantidad de espectro (MHz) disponible para redes LTE en cada localidad para un año A determinado; variará en función de cada país y es un valor que suelen conocer los organismos de reglamentación.

La comprensión de todas las variables utilizadas para determinar el número de células de pequeño tamaño necesarias para cada año A, a fin de satisfacer la demanda de tráfico de datos en cada localidad, permite establecer la infraestructura que deberá desplegarse a tenor de las necesidades de cobertura y de capacidad a fin de satisfacer la demanda de banda ancha móvil.

<sup>26</sup> Fuente: Cisco Visual Networking Index Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>.

<sup>27</sup> Véase: <http://businessdocbox.com/Logistics/66514074-Lte-network-design-from-a-techno-economic-perspective.html>. Diseño de redes LTE con respecto a aspectos tecnoeconómicos.

## Células de pequeño tamaño

En el cuadro siguiente se estima el número de células de pequeño tamaño necesarias para el despliegue de una red 4G LTE determinada cada año, habida cuenta del caso hipotético siguiente:

- i) Necesidad de proporcionar cobertura mediante 19 macrocélulas;
- ii) La previsión de demanda agregada oscila entre 100 Gbps en el primer año de explotación y 520 Gbps en el décimo;
- iii) El factor de descarga WiFi es del 67 por ciento;
- iv) La relación de contención es del 5 por ciento;
- v) La eficiencia espectral de la red 4G LTE es invariable y su valor es 3 bit/s/Hz por célula de pequeño tamaño.

Estimación relativa a las células de pequeño tamaño en redes 4G											
Capacidad que debe soportar la red					Capacidad que deben soportar las macrocélulas						
Año	$D_{T_i}$	$(1 - F_{descarga})$	$F_{s_i}$	$[D_{T_i}(1 - F_{descarga}) F_{s_i}]$	Año	$N_{macrocélulas}$	$B_A$	$\eta_A$	$S$	$C_{macrocélulas}$	$N_{macrocélulas} \cdot C_{macrocélulas}$
1	100 Gbps	37%	5%	1,85 Gbps	1	19	20MHz	3 bps/Hz	3	0,13 Gbps	3,42 Gbps
2	120 Gbps	37%	5%	2,22 Gbps	2	19	20MHz	3 bps/Hz	3	0,13 Gbps	3,42 Gbps
3	150 Gbps	37%	5%	2,78 Gbps	3	19	20MHz	3 bps/Hz	3	0,13 Gbps	3,42 Gbps
4	175 Gbps	37%	5%	3,24 Gbps	4	19	20MHz	3 bps/Hz	3	0,13 Gbps	3,42 Gbps
5	210 Gbps	37%	5%	3,89 Gbps	5	19	20MHz	3 bps/Hz	3	0,13 Gbps	3,42 Gbps
6	250 Gbps	37%	5%	4,63 Gbps	6	19	20MHz	3 bps/Hz	3	0,13 Gbps	3,42 Gbps
7	300 Gbps	37%	5%	5,55 Gbps	7	19	20MHz	3 bps/Hz	3	0,13 Gbps	3,42 Gbps
8	360 Gbps	37%	5%	6,66 Gbps	8	19	20MHz	3 bps/Hz	3	0,13 Gbps	3,42 Gbps
9	430 Gbps	37%	5%	7,95 Gbps	9	19	20MHz	3 bps/Hz	3	0,13 Gbps	3,42 Gbps
10	520 Gbps	37%	5%	9,62 Gbps	10	19	20MHz	3 bps/Hz	3	0,13 Gbps	3,42 Gbps
Capacidad que deben soportar las células de pequeño tamaño					Capacidad de las células de pequeño tamaño						
Año	$\max\{[D_{T_i}(1 - F_{descarga}) F_{s_i}] - (N_{macrocélulas} \cdot C_{macrocélulas}), 0\}$				Año	$B_A$	$\eta_A$	$S$	$C_{microcélulas}$		
1	0				1	20MHz	3 bps/Hz	1	0,06 Gbps		
2	0				2	20MHz	3 bps/Hz	1	0,06 Gbps		
3	0				3	20MHz	3 bps/Hz	1	0,06 Gbps		
4	0				4	20MHz	3 bps/Hz	1	0,06 Gbps		
5	1,85 Gbps				5	20MHz	3 bps/Hz	1	0,06 Gbps		
6	1,21 Gbps				6	20MHz	3 bps/Hz	1	0,06 Gbps		
7	2,13 Gbps				7	20MHz	3 bps/Hz	1	0,06 Gbps		
8	3,24 Gbps				8	20MHz	3 bps/Hz	1	0,06 Gbps		
9	4,84 Gbps				9	20MHz	3 bps/Hz	1	0,06 Gbps		
10	6,2 Gbps				10	20MHz	3 bps/Hz	1	0,06 Gbps		
Número de células de pequeño tamaño											
Año	$\frac{\max\{[D_{T_i}(1 - F_{descarga}) F_{s_i}] - (N_{macrocélulas} \cdot C_{macrocélulas}), 0\}}{C_{microcélulas}}$										
1	0										
2	0										
3	0										
4	0										
5	8										
6	21										
7	36										
8	54										
9	76										
10	104										

Con arreglo a esta hipótesis, únicamente sería necesario ampliar la capacidad de red inalámbrica en el quinto año. Al final del proyecto se desplegarían un total de 104 células de pequeño tamaño.

Fuente: UIT

Nota: Los valores utilizados son hipotéticos.

## Costes unitarios de infraestructura

Tras definir el número de emplazamientos de la red de banda ancha inalámbrica 4G LTE en los que se va a efectuar el despliegue, la siguiente etapa para estimar el CAPEX será determinar los costes unitarios que conlleva el despliegue para cada emplazamiento.

Con objeto de tener una comprensión más cabal del enfoque de fijación de precios relativo a las macrocélulas, cabe clasificar los elementos de red en tres categorías:

- i) infraestructuras pasivas (en particular torres), cuyo coste puede reducirse (a veces de forma sustancial) mediante la compartición de estructuras previamente instaladas;
- ii) nodos B mejorados LTE, que comprenden el conjunto de equipos que integran el controlador, el transmisor y el sistema radioeléctrico;
- iii) redes de transporte de datos en sentido ascendente, que comprenden los elementos de transporte (por lo general de tipo óptico) desde el emplazamiento LTE hasta la red del operador. Los costes unitarios de cada uno de esos elementos de red pueden obtenerse por medio de información suministrada por operadores locales y proveedores de red.

Tras determinar el precio relativo a las macrocélulas, su valor puede utilizarse como referencia para estimar el coste relativo a las células de pequeño tamaño. Según varios estudios de mercado<sup>28</sup>, el coste de un emplazamiento habitual para células de pequeño tamaño y un punto de acceso WiFi puede estimarse en un 21 por ciento del coste de la macrocélula. Pese a que ese valor porcentual únicamente es orientativo, a los efectos de planificación real ha de utilizarse siempre la información de precios obtenida de operadores locales y proveedores de red.

## Resultados de la estimación del CAPEX

Tras determinar el número total de emplazamientos de red de banda ancha inalámbrica 4G LTE (macrocélulas, células de pequeño tamaño y puntos de acceso WiFi) que deben instalarse anualmente en cada una de las localidades en las que se prevé prestar servicio, y una vez obtenidos los costes unitarios de los elementos de la infraestructura de la red de acceso, se puede calcular la inversión anual total (CAPEX) requerida.<sup>29</sup>

La matriz CAPEX que se elabore permitirá definir el valor actual neto de la inversión en redes de banda ancha inalámbricas 4G LTE y constituirá uno de los factores determinantes al valorar la inclusión de las zonas insuficientemente atendidas en políticas públicas destinadas a fomentar la puesta en marcha de infraestructuras de banda ancha móvil.

## 4.2 Redes de acceso de banda ancha fija y móvil 5G

La tecnología 5G ofrece seis opciones de despliegue, que abarcan los casos de migración de redes móviles 4G a redes 5G, incluida la posibilidad de realizar un despliegue de redes 5G que coexista con el de redes previamente implantadas, denominadas redes no autónomas y redes autónomas, respectivamente. La opción de redes autónomas brinda la ventaja de incorporar de forma directa las nuevas características de la tecnología 5G, en particular su menor latencia y un control de la calidad de servicio más riguroso que en el caso de las redes no autónomas. En la estimación del CAPEX realizada en esta sección se ha tenido en cuenta la estrategia de red autónoma, habida cuenta de las ventajas que brinda a un nuevo operador llevar a cabo su labor en zonas urbanas a fin de prestar servicios de alta capacidad y baja latencia, y ofrecer acceso inalámbrico fijo (FWA) en zonas suburbanas o rurales. Puesto que se supone que el operador al que se refiere el modelo acaba de entrar en el mercado, no cabe esperar que

<sup>28</sup> Fuente: Paolini, M. (2012), *The economics of small cells and Wi-Fi offload*, Senza Fili Consulting, página 2.

<sup>29</sup> La necesidad de invertir en equipos de base de red inalámbrica 4G LTE no se ha determinado en este caso, al realizarse la hipótesis de que en el modelo se tiene cuenta la explotación previa de redes 4G LTE en las regiones de mayor interés económico del país, y en consecuencia, ya se dispone de dichos equipos.

disponga de redes 4G LTE, por lo que no es aplicable una situación de migración de redes 4G LTE a redes 5G.

A tenor de la hipótesis referida anteriormente, un nuevo operador deberá ofrecer banda ancha móvil de alta velocidad a la población (con acceso mediante teléfonos inteligentes), así como servicios especializados para nichos de mercado (en particular el sector automovilístico, plantas industriales y agricultura de precisión) con objeto de ser competitivo.

Las inversiones en redes pueden destinarse a redes troncales o a redes de acceso. Las redes troncales desempeñan varias funciones de red, que incluyen el control de movilidad y el establecimiento de sesiones de usuario, el transporte del tráfico de datos entre la red de acceso radioeléctrico y los puntos de interfaz entre la red 5G y redes externas, el control de la calidad del servicio (QoS), el almacenamiento y la gestión de perfiles de usuario, y la realización de funciones de autenticación y facturación. La mayor parte del CAPEX de las redes 5G se destina a la red de acceso radioeléctrico (RAN), o la red de acceso, cuyas funciones más destacadas son las de modulación y demodulación de señales, control de los medios de acceso (espectro de radiofrecuencias), atribución de redes de recursos para los usuarios, y movilidad.

En consecuencia, el nuevo operador deberá invertir en elementos de la red troncal y de la red acceso al poner en marcha una red 5G de banda ancha.

#### 4.2.1 CAPEX de redes troncales 5G

La estimación del CAPEX de redes troncales es más compleja que la del CAPEX de redes de acceso, puesto que los elementos de red necesarios varían mucho en función de los requisitos de diseño y las características que decida atribuir cada operador a su red, así como del número de usuarios y casos de utilización de la red. Por otro lado, en el caso de las redes 5G, se tiende a aproximar algunos elementos principales a las estaciones base de la red de acceso, con objeto de lograr comunicaciones de muy baja latencia, de 1 a 4 milisegundos aproximadamente, para la banda ancha 5G.

El elemento principal de las redes 2G, 3G y 4G suele estar geográficamente centralizado. Algunos operadores despliegan elementos de red principales a escala regional y crean redundancias para optimizar el coste de gestión de la red. En las redes 5G, pese a que esa posibilidad siga existiendo, los operadores deben organizar su arquitectura de red troncal de forma diferente, y esa arquitectura puede variar de un operador a otro en función de sus decisiones estratégicas y su oferta de servicios.

No obstante, a los efectos de modelización, es inviable abordar las especificaciones de la red troncal, puesto que cada fabricante posee un perfil de implantación diferente, lo que da lugar a valores de CAPEX dispares. Un planteamiento más adecuado consiste en estimar el CAPEX de la red troncal con respecto a un valor hipotético del CAPEX de la red de acceso, que en promedio constituye el 10 por ciento del CAPEX total.<sup>30</sup> Por otro lado, según diversas estimaciones, los costes relativos a la infraestructura de la red troncal son de alrededor del 10 por ciento del CAPEX total, aun considerando configuraciones de implantación diferentes.<sup>31</sup>

<sup>30</sup> Véase Zahid Ghadialy "Understanding the TCO of a Mobile Network": <https://blog.3g4g.co.uk/2020/10/understanding-tco-of-mobile-network.html>.

<sup>31</sup> En el reciente informe de la GSMA "5G-era Mobile Network Cost Evolution study" se confirma ese valor de referencia. [https://www.gsma-com.translate.google/futurenetworks/wiki/5g-era-mobile-network-cost-evolution/? x tr sl=pt& x tr tl=en& x tr hl=pt-BR& x tr\\_pto=nui](https://www.gsma-com.translate.google/futurenetworks/wiki/5g-era-mobile-network-cost-evolution/? x tr sl=pt& x tr tl=en& x tr hl=pt-BR& x tr_pto=nui).



Habida cuenta de ello, los costes de la infraestructura de acceso se calculan como una proporción de los costes de inversión en la red troncal, que ya incluyen los costes de explotación, transporte de datos y equipos de la red de radiocomunicaciones. Tras calcular el CAPEX de la red troncal, el CAPEX de la red de acceso puede determinarse mediante la ecuación siguiente:

$$\text{CAPEX troncal} = [\text{CAPEX acceso} / (1-p)] \times p$$

en la que:

CAPEX troncal = CAPEX de la red troncal.

CAPEX acceso = CAPEX de la red de acceso.

$p$  = proporción del CAPEX total de la red troncal, de alrededor del 10 por ciento.

## 4.2.2 CAPEX de redes de acceso 5G

Las redes de acceso 5G se ajustan a una infraestructura de diversas características integrada por macrocélulas y células de pequeño tamaño, análoga al enfoque utilizado para las redes móviles 4G (véase la sección 4.1). Esas características diversas se consideran primordiales en el sector para la implantación de redes 5G, puesto que la tecnología 5G requiere disminuir el exceso de CAPEX que se necesita para satisfacer la enorme demanda de capacidad y conectividad de millones de dispositivos.

Por otro lado, puesto que la propagación de ondas en las bandas de espectro utilizadas para el despliegue de redes 5G suele ser limitada (por ejemplo, en la banda de 3,5 GHz y ondas milimétricas), es posible que la cobertura que proporcionan las macrocélulas se vea mermada en zonas de sombra, en particular en centros urbanos de gran densidad y regiones en las que las ondas radioeléctricas deben traspasar edificios de hormigón, de ahí que la implantación de células de pequeño tamaño sea primordial para subsanar esas deficiencias. Habida cuenta de ello, con objeto de atender a la necesidad de contar con la cobertura necesaria para facilitar la movilidad de los usuarios y satisfacer la demanda de capacidad, se debe formular una estrategia de diversas características a fin de propiciar una inversión más escalonada y mejor asignada (con tramos de CAPEX más pequeños).

Con arreglo a ese enfoque, las redes de acceso 5G incorporan dos tipos principales de elementos de red, que deben dimensionarse para estimar el CAPEX necesario que permite satisfacer los requisitos de cobertura y demanda:

- **Macrocélulas:** estaciones base de radiocomunicaciones de gran tamaño que propagan ondas electromagnéticas de gran potencia y se utilizan generalmente para satisfacer las necesidades de cobertura y demanda de tráfico, en particular en zonas poco pobladas.
- **Células de pequeño tamaño o femtocélulas:** estaciones base de radiocomunicaciones que operan en entornos muy congestionados, con mucho tráfico de usuarios y cobertura insuficiente (en ocasiones en interiores). Las células de pequeño tamaño emiten con un nivel de potencia sustancialmente menor que el de las macrocélulas, permiten satisfacer la demanda de tráfico de datos y facilitan la conectividad de regiones específicas, en particular en zonas urbanas muy pobladas, centros comerciales, terminales de autobuses, oficinas y hospitales.<sup>32</sup>

<sup>32</sup> En el artículo "*The Backbone of 5G Networks: A Guide to Small Cell Technology*" se proporciona información pormenorizada sobre las características de las células de pequeño tamaño y su utilización para el despliegue de redes 5G.

En este caso, con objeto de cumplir los requisitos de cobertura y demanda de tráfico relacionados con el despliegue de redes 5G, cabe aplicar la estrategia formulada a continuación.

En primer lugar, el número total de macrocélulas 5G necesarias para proporcionar cobertura se calcula dividiendo la zona en macrocélulas 5G habituales, de forma análoga a la estrategia aplicada para las macrocélulas 4G (véase el apartado 4.1). En los países en los que las redes 4G se utilizan ampliamente, cabe aplicar un enfoque escalonado. En primer lugar, puede proporcionarse cobertura a zonas urbanas de alta densidad, seguidas de zonas suburbanas, aldeas de zonas rurales y autopistas. Los encargados de la formulación de políticas deben tener en cuenta diversos casos de ampliación de la cobertura (por ejemplo, de forma rápida, racional o lenta) y evaluar la repercusión de cada uno de ellos en el CAPEX de cada año del proyecto y en el VAN total.

El alcance de cada macrocélula 5G no suele rebasar un kilómetro en zonas urbanas de alta densidad, en función de la banda espectral que se utilice. Puesto que los despliegues 5G en los que se utilizan bajas frecuencias del espectro (700 MHz o 3,5 GHz, entre otras) para proporcionar cobertura son muy recientes, los encargados de la formulación de políticas deben obtener datos recientes de redes 5G desplegadas en su región con objeto de definir casos hipotéticos razonables sobre alcance de macrocélulas 5G.

Posteriormente, para cada año del proyecto, dichos encargados de la formulación de políticas deben comprobar que la capacidad de tráfico de las macrocélulas prevista, basada en los requisitos de cobertura, permite satisfacer la demanda de tráfico de los usuarios finales. Para satisfacer la demanda de tráfico que no pueden atender las macrocélulas pueden utilizarse células de pequeño tamaño o femtocélulas. Con objeto de realizar un análisis al respecto, la demanda total de tráfico puede calcularse de forma análoga a la utilizada para redes 4G, si bien incluyendo en este caso la demanda de tráfico de las redes móviles 5G, los usuarios de teléfonos inteligentes y los usuarios de banda ancha fija 5G-FWA.

El número de usuarios de red previsto debe expresarse en demanda de tráfico (Mbps) para cada perfil de utilización (por ejemplo, planes de datos del servicio móvil o del servicio fijo) sobre la base de información de referencia de otras redes 5G, o tendencias históricas de redes 4G mediante factores de corrección para el caso de las redes 5G.<sup>33</sup>

La última etapa del proceso consiste en calcular el número de emplazamientos necesarios para satisfacer la demanda de tráfico, de forma análoga al enfoque utilizado para las redes 4G, si bien existen otras metodologías, aunque éstas suelen requerir más información geográfica sobre el tráfico en curso y su distribución temporal.<sup>34</sup> Con objeto de calcular la capacidad de tráfico de cada microcélula y célula de pequeño tamaño de la red 5G se utilizan los parámetros técnicos habituales enumerados a continuación:

- a) tres sectores por estación en el caso de las macrocélulas y dos sectores por estación en el caso de las células de pequeño tamaño;
- b) proporción de recursos radioeléctricos de 3:1, con un 75 por ciento para el enlace descendente y un 25 por ciento para el enlace ascendente;
- c) eficiencia espectral de 4 bit/s/Hz, con incrementos anuales.

<sup>33</sup> Según un artículo publicado por *OpenSignal* en septiembre de 2020, los usuarios de redes 5G utilizan en promedio 2,7 veces más datos que los de redes 4G.

<sup>34</sup> En el documento "*Mobile broadband with HSPA and LTE - capacity and cost aspects*", disponible en <https://docplayer.net/11419069-White-paper-mobile-broadband-with-hspa-and-lte-capacity-and-cost-aspects.html>, se proporciona un ejemplo de metodología alternativa.

Tras determinar el número total de emplazamientos, el CAPEX total asociado a una red de acceso 5G puede calcularse multiplicando esos valores previstos por los costes unitarios de un emplazamiento 5G habitual (microcélula, célula de pequeño tamaño o femtocélula).

### 4.2.3 Gastos de capital para la prestación de servicios especializados 5G en nichos de mercado

Cabe esperar que la tecnología 5G facilite la prestación de servicios especializados en nichos de mercado, en particular el sector automovilístico, las plantas industriales y la agricultura de precisión. No obstante, en los países que ya han puesto en marcha la tecnología 5G, esa nueva oferta de servicios de los operadores de redes 5G aún no ha alcanzado una situación estable.

Por otro lado, con respecto al CAPEX necesario para analizar la prestación de esos nuevos servicios, no es razonable estudiar el CAPEX sobre la base de los mismos enfoques de ingeniería aplicados a las redes trocales y las redes de acceso. Ello es así porque la demanda de servicios especializados posee características específicas de cada aplicación, tanto a nivel geográfico como en términos de equipamiento y requisitos de calidad de servicio, que no vienen determinadas necesariamente por requisitos de cobertura y capacidad de tráfico, sino por parámetros de latencia, fluctuación de fase y privacidad.

Habida cuenta de ello, es necesario estimar el CAPEX relativo a este tipo de actividad mediante un enfoque financiero, basado en la estimación de ingresos por la prestación de dichos servicios especializados. Por ejemplo, un enfoque razonable consiste en calcular la proporción entre CAPEX e ingresos para la explotación 5G sin considerar los ingresos devengados por la prestación de servicios especializados, y aplicar esa proporción a los ingresos estimados para la oferta de dichos servicios especializados. Cabe destacar asimismo que a lo largo de los próximos años debería disponerse de referencias adicionales sobre casos reales de implantación, que podrían utilizar los encargados de la formulación de políticas y los organismos de reglamentación que elaboran planes empresariales sobre redes 5G.

## 4.3 Redes de acceso de banda ancha fija

La modelización que aplican los organismos de reglamentación para estimar la inversión que requiere la puesta en marcha de redes FTTH puede apoyarse en referencias aceptadas a escala internacional en materia de arquitectura de redes y técnicas de estimación de costes de equipos y fibra óptica. Tras determinar los equipos y el cableado necesarios, así como su coste unitario, se puede obtener el CAPEX total del despliegue de red.

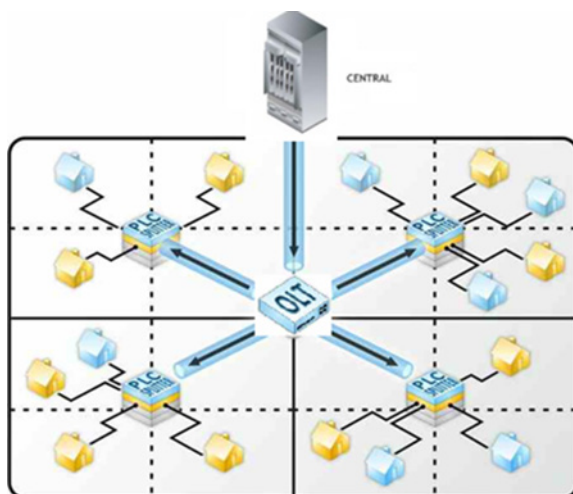
En primer lugar, debe escogerse la tecnología de red FTTH que se utilizará como referencia para el dimensionamiento de red. Tras evaluar varias tecnologías existentes en el mercado, en el marco del presente ejercicio se ha escogido la tecnología GPON (Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits, Recomendación UIT-T de las series G.984.1-G.984.6), habida cuenta de su amplia utilización en todo el mundo.

Las redes GPON, según la Recomendación UIT-T G.984.1<sup>35</sup>, se caracterizan por incorporar sistemas de terminación de línea óptica y terminaciones de red óptica, con una red de distribución óptica pasiva integrada por divisores que conectan los terminales de línea óptica y los terminales de red óptica.

<sup>35</sup> <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/en>.

A los efectos del presente análisis, el enfoque más sencillo es modelizar la puesta en marcha de la infraestructura de red con arreglo a una topología en estrella, la más habitual para las redes FTTH. En consecuencia, el dimensionamiento de la red en el presente ejercicio conlleva la existencia de una central FTTH local en cada localidad, con terminales de línea óptica y divisores instalados en función del número de hogares que se desee abarcar en cada localidad. En la Figura 9 se ilustra la topología de red propuesta.

Figura 9: Topología de red FTTH



Fuente: UIT

Una vez que se ha establecido la citada topología, la etapa siguiente consiste en estimar el número de terminales de línea óptica, divisores, terminales de red óptica y longitud en kilómetros de cable de fibra óptica para las capas de agregación<sup>36</sup> y acceso<sup>37</sup> que se necesitan para implantar la FTTH y prestar servicios de banda ultra ancha.

### Terminales de línea óptica (OLT)

Con objeto de dimensionar la cantidad de terminales de línea óptica necesarios, conviene tener en cuenta la Recomendación UIT-T G.984.1 "Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits (GPON): Características generales", en la que se señala un índice máximo de división óptica de 1:128. Ello significa que se pueden conectar 128 usuarios, como máximo, a cada puerto óptico de un OLT. La decisión relativa a la capacidad del OLT (en términos de número de puertos) constituye una opción de diseño, habida cuenta de la existencia de soluciones comerciales OLT de 16 puertos. Teniendo en cuenta el citado índice de división óptica máxima y la capacidad máxima del OLT, se podrán conectar hasta 2048 usuarios por OLT. En consecuencia, en la mayoría de los casos el número de OLT que es necesario instalar en una red FTTH vendrá dado por la fórmula siguiente:

$$N_{OLT-p} = \frac{N_{hp}}{K_{OLT} \times S_R}$$

<sup>36</sup> La capa de agregación comprende la red entre la central FTTH local y los divisores instalados en la vía pública.

<sup>37</sup> La capa de acceso comprende la red entre los divisores instalados en la vía pública y el hogar de los abonados.

en la que:

$N_{OLT_p}$  es el número de OLT que cabe estimar en función del número de puertos necesarios

$N_{hp}$  es el número de hogares que se prevé abarcar

$K_{OLT}$  es el número de puertos del OLT escogido

$S_R$  es el índice de división óptica utilizado

No obstante, teniendo en cuenta que la capacidad del flujo de tráfico agregado habitual de un OLT suele limitarse a 10 Gbps, cuanto mayor sea el número de puertos (y, en consecuencia, el número de usuarios conectados a un único OLT), menor será la posibilidad de ofrecer conexiones de banda ancha de mayor velocidad.

Por ejemplo, un OLT con un número máximo de usuarios conectados, una capacidad de tráfico agregada de 10 Gbps y un factor de compartición de red habitual del 5 por ciento (1:20) podría ofrecer una velocidad de transmisión de (aproximadamente) 100 Mbps al usuario final. Sin embargo, para aumentar aún más dicho valor de velocidad sería necesario aumentar el número de OLT, a fin de satisfacer la demanda para el mismo número de usuarios. La siguiente ecuación permite calcular la cantidad de OLT con respecto a la velocidad de conexión ofrecida:

$$N_{OLT_s} = \frac{N_{hp} \times Tx_u \times F_S}{C_{OLT}}$$

en la que:

$N_{OLT_s}$  es el número de OLT que hay que estimar en función de la velocidad de conexión que se ofrecerá a los abonados

$N_{hp}$  es el número de hogares que se prevé abarcar

$Tx_u$  es la velocidad de conexión ofrecida a un abonado FTTH habitual, en Mbps

$F_S$  es el factor de compartición de red

$C_{OLT}$  es la capacidad de transmisión de datos de un OLT en Mbps.

De forma análoga, el factor de compartición de red  $F_S$  (relación de contención) para dicho cálculo es un parámetro que se tiene habitualmente en cuenta en el diseño de redes de conmutación por paquetes, al igual que en las redes de banda ancha fija. Como se ha señalado previamente, así como en la sección 6, este elemento permite tener en cuenta en la ecuación de dimensionamiento de red el hecho de que no todos los abonados acceden a Internet de forma simultánea, y en consecuencia, aumentar la eficiencia al evitar una sobreasignación de capacidad. Al igual que en el caso de las redes de banda ancha móvil anteriormente abordado, el valor típico relativo a las redes de banda ancha fija es 1:20 ( $F_S = 5$  por ciento).

## Terminales de línea óptica

Habida cuenta de los dos enfoques para calcular el número de terminales de línea óptica (OLT) necesarios en la red FTTH que se prevé desplegar, el primero de ellos basado en el número de puertos físicos necesarios para conectar todos los hogares que se desea abarcar, y el segundo basado en la velocidad que se ofrecerá a los abonados, el cálculo final del número de OLT se efectúa tomando en consideración el mayor de los valores que arrojen ambos enfoques, como se detalla en el ejemplo siguiente.

Estimación de OLT	
$N_{OLT\_p} = \frac{N_{hp}}{K_{OLT} \cdot S_R}$	$N_{OLT\_s} = \frac{N_{hp} \cdot T_{Xu} \cdot F_s}{C_{OLT}}$
$N_{hp} = 50,000$ hogares con cobertura	$N_{hp} = 50,000$ hogares con cobertura
$K_{OLT} = 16$ puertos	$T_{Xu} = 80$ Mbps
$S_R = 128$	$F_s = 5\%$
$N_{OLT\_p} = 25$	$C_{OLT} = 10,000$ Mbps
	$N_{OLT\_s} = 20$
$N_{OLT} = \max(N_{OLT\_p}; N_{OLT\_s}) = 25$	

Fuente: UIT

Nota: Los valores utilizados son hipotéticos.

## Divisores

Determinar la cantidad de divisores que deben instalarse en cada localidad para prestar servicio al número previsto de hogares constituye, en gran medida, una opción de diseño que dependerá de las características de la zona urbana abarcada y de la demanda de usuarios esperada. Habida cuenta de la necesidad de conectar hasta 128 usuarios por puerto de un OLT habitual, pueden escogerse varias configuraciones de divisores, por ejemplo 1:2, 1:4, 1:8 ó 1:16. Si se tiene en cuenta el despliegue de una sola capa de divisores 1:16, se necesitarían ocho divisores para conectar cada puerto OLT a 128 usuarios. Por lo general, para calcular el número de divisores necesarios en una red con una sola capa de divisores cabe aplicar la fórmula siguiente:

$$N_{divisores} = \frac{N_{hp}}{K_{divisor}}$$

en la que:

$N_{divisores}$  es el número de divisores necesarios en la red

$N_{hp}$  es el número de hogares con cobertura de servicio

$K_{divisor}$  es el número de puertos disponibles con arreglo al tipo de divisor escogido, a saber, el número máximo de usuarios por divisor.

## Cálculos sobre fibra óptica (capa de divisores)

En el siguiente ejemplo se estima el número de divisores necesarios para un despliegue FTTH específico.

### Estimación de divisores

$$N_{\text{Divisores}} = \frac{N_{hp}}{K_{\text{Divisor}}}$$

$$N_{hp} = 50.000 \text{ hogares con cobertura de servicio}$$

$$K_{\text{divisor}} = 16 \text{ puertos}$$

$$N_{\text{divisores}} = 3.125 \text{ divisores}$$

Fuente: UIT

Nota: Los valores utilizados son hipotéticos.

## Establecimiento de modelos matemáticos para el dimensionamiento de cables de fibra óptica

Una vez que se ha determinado la cantidad de divisores y OLT necesarios con respecto al número de hogares con cobertura de servicio, la siguiente etapa del proceso de modelización de la inversión que debe realizarse es determinar la longitud necesaria de fibra óptica, en kilómetros, para conectar todos los elementos de la topología jerárquica en estrella con la central FTTH. Tras evaluar las metodologías más utilizadas para determinar la longitud de fibra óptica, en kilómetros, que se precisa para implantar redes FTTH, cabe aplicar dos tipos de enfoques: el espacial y el geométrico.

El **enfoque espacial** se basa en datos geoespaciales de la zona urbana en la que se prevé a prestar servicio, con información sobre el perfil de distribución de hogares, redes de vías públicas y geolocalización de elementos de telecomunicación implantados, entre otros datos. Sobre la base de esa pormenorizada información se determina la posición geográfica idónea de la central FTTH local, los divisores y los OLT, a tenor del número de hogares con cobertura de servicio, al tiempo que se reduce todo lo posible el número de kilómetros de cable necesarios para conectar entre sí los equipos necesarios. Si bien este modelo arroja resultados precisos, su inconveniente es precisamente la necesidad de información geoespacial exhaustiva que, en la mayoría de los casos, no está disponible.

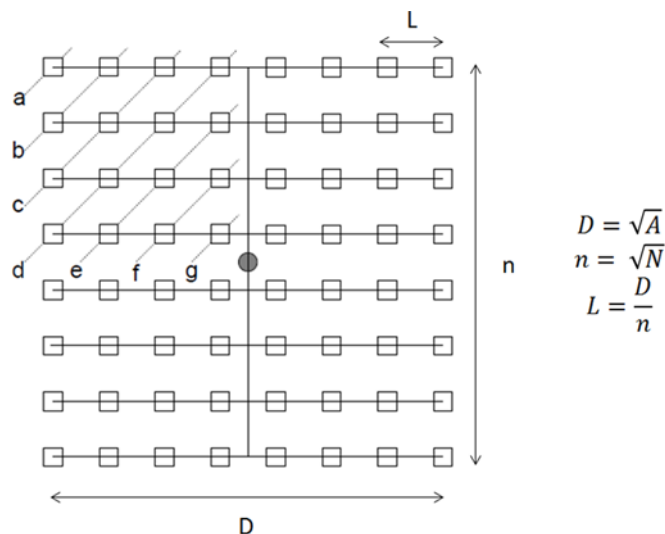
Por otro lado, para el **enfoque geométrico** se utilizan modelos matemáticos para calcular la cantidad de fibra óptica necesaria mediante simplificación de las condiciones geoespaciales, el relieve geográfico, las redes de vías públicas y la distribución de los hogares. Aunque es menos preciso que el enfoque espacial, este modelo permite estimar adecuadamente la cantidad de fibra óptica necesaria aun sin disponer de información geoespacial, y constituye un medio rápido y razonablemente preciso de dimensionamiento de red.

En el documento *Geometric versus Geographic Models for the Estimation of an FTTH Deployment*<sup>38</sup> se realiza un análisis comparativo de un modelo de cálculo espacial y dos modelos de cálculo geométrico, el Modelo triangular (TM) y el Modelo de longitud de calle simplificado (SSL). El resultado de este análisis comparativo pone de manifiesto que el modelo geométrico SSL arroja resultados más precisos que el modelo triangular, si bien es mucho menos preciso que el modelo espacial. Por otro lado, se señala que los resultados dispares de los modelos geométricos con respecto al modelo espacial obedecen en gran medida a imperfecciones no detectadas del relieve geográfico, así como a la distribución espacial de los hogares. También se proponen varios factores correctivos que cabe aplicar a los resultados del modelo geométrico con objeto de lograr resultados más precisos.

Habida cuenta de ello, en los casos en los que la falta de datos geoespaciales relativos a las comunidades con cobertura de servicio impida la aplicación del modelo espacial, se propone aplicar el modelo geométrico SSL corregido que se indica en el documento anteriormente citado, a fin de calcular la cantidad de cable de fibra óptica necesario para interconectar los elementos de la red óptica.

En el modelo SSL se realiza la hipótesis de base de una distribución uniforme de los elementos que requieren conectarse mediante fibra óptica en una zona de forma cuadrada, en la que cada elemento de la capa superior, al que se conectan todos los demás, se sitúa en el centro del cuadrado, tal y como se representa en la Figura 10.

Figura 10: Modelo geométrico SSL



Fuente: UIT

En las fórmulas anteriores:

$A$  es la superficie de la zona cuadrada en  $\text{km}^2$

$D$  es la longitud en kilómetros de un lado de la zona cuadrada

$L$  es la distancia en kilómetros entre cada elemento

$N$  es el número de elementos incluidos en la zona cuadrada

$n$  es el número de elementos situados a lo largo de un lado de la zona cuadrada.

<sup>38</sup> Artículo académico publicado por el IEEE en 2013: <https://biblio.ugent.be/publication/4402261>.



En este caso hipotético, habida cuenta de la restricción habitual de desplegar fibra óptica a lo largo de vías y trayectos públicos existentes (representados en el modelo SSL mediante líneas horizontales y verticales), el principal reto consiste en calcular la distancia desde cada elemento hasta el centro del cuadrado, distancia que viene determinada intrínsecamente por la separación entre elementos uniformemente distribuidos y la cantidad de dichos elementos que contiene el cuadrado. Por otro lado, un factor adicional que ha de tenerse en cuenta a los efectos de cálculo es la existencia de dos o más elementos contiguos en la misma posición. Ese efecto se modeliza mediante la variable  $K$ , que es el número promedio de elementos situados en la misma posición en el citado cuadrado.

Un aspecto importante que conviene destacar en relación con esta representación geométrica es que si se divide el cuadrado en cuatro partes, también con forma cuadrada y de igual tamaño, y se agrupan en la misma categoría todos los elementos situados en la misma diagonal de una de esas cuatro partes, todos los elementos de la misma categoría estarán a la misma distancia del centro del cuadrado original. Por ejemplo, si se clasifican los elementos en categorías de  $a$  a  $g$ , como muestra en la Figura 10, la distancia de cada elemento al centro del cuadrado será  $a = (n-1) \cdot L$ ;  $b = (n-2) \cdot L$ ;  $c = (n-3) \cdot L$ ; ...;  $g = L$ .

De este modo, si se multiplica la distancia de un elemento habitual de cada categoría por el número de elementos de dicha categoría, se obtendrá la distancia total de todos los elementos de cada categoría al centro del cuadrado mayor. Al sumar las distancias totales de todas las categorías, se obtendrá la distancia total de todos los elementos desde una de las cuatro partes cuadradas hasta el centro del cuadrado mayor. Posteriormente, para calcular la distancia total de todos los elementos incluidos en el cuadrado, bastará con multiplicar por cuatro la distancia calculada para una de las cuatro partes (al haber cuatro partes en total) y, por último, multiplicar ese valor por el factor  $K$ , puesto que cada elemento debe estar conectado mediante fibra óptica con el centro del cuadrado, aunque sea contiguo a otro elemento.

La fórmula siguiente sintetiza el cálculo de la cantidad de fibra óptica ( $L_{fo}$ ) necesaria para unir todos los elementos al centro del cuadrado.

$$L_{fo} = 4xKxLx \sum_{i=1}^{n-1} [\text{mín}(i, n - i)x(n - i)]$$

Una vez que se ha realizado este cálculo, la siguiente etapa es definir los valores de las variables  $K$ ,  $L$  y  $n$  para cada localidad y cada capa de red, como se describe a continuación.

### Cálculos sobre fibra óptica

Con objeto de calcular el número de kilómetros de fibra óptica a través del modelo geométrico SSL, es necesario definir los elementos de red y los valores de las variables del modelo  $A$ ,  $D$ ,  $L$ ,  $N$ ,  $n$  y  $K$ . Habida cuenta de que la central FTTH local debe conectarse mediante fibra óptica con varios OLT, divisores y hogares en cada localidad, será necesario realizar el cálculo en varias etapas.

En la primera etapa, se calculará la cantidad de fibra óptica necesaria para conectar los OLT de cada localidad con la central FTTH local. A tal efecto, se asigna a la variable  $A$  el valor de la zona urbana a la que se prevé prestar servicio, y a la variable  $N$  el número de OLT que se prevé instalar. Mediante esas dos variables se calcula el valor de  $n$ ,  $D$  y  $L$ , y para  $K = 1$  (distribución uniforme de OLT en la zona urbana abarcada), se puede estimar la cantidad de fibra óptica

necesaria para conectar todos los OLT con la central FTTH local mediante la fórmula del modelo geométrico SSL.

Tras calcular el número de kilómetros de cable de fibra óptica necesarios para conectar los OLT con la central FTTH local en cada localidad por medio de la aplicación del modelo SSL, el resultado se divide por el factor de corrección del 55,5 por ciento, anteriormente mencionado, a fin de compensar posibles subestimaciones resultantes del modelo geométrico SSL.

En la segunda etapa, se calculará el número de kilómetros de fibra óptica necesarios para conectar los divisores de primera capa con los OLT. El cálculo se realizará para cada OLT y sus divisores, y el resultado se multiplicará por la cantidad de OLT que se prevé instalar.

En esta segunda etapa se asigna a la variable  $A$  el valor de la misma zona urbana considerada en la primera etapa, pero dividido por el número de OLT para aplicarlo a la zona urbana correspondiente a un solo OLT. El número de divisores por OLT que se prevé instalar se asigna a la variable  $N$ . Estas dos variables permiten obtener los valores de  $n$ ,  $D$  y  $L$ , y para  $K = 1$  (distribución uniforme de divisores en la zona urbana de un OLT), se puede estimar la cantidad de fibra óptica necesaria para conectar todos los divisores con su OLT correspondiente por medio de la ecuación del modelo SSL y la aplicación del mismo factor correctivo del 55,5 por ciento al resultado. Si se prevé más de una capa de divisores entre los OLT y los abonados, debe repetirse el cálculo para las demás capas de divisores que se modelen.

Por último, se debe calcular el número de kilómetros de fibra óptica necesarios para conectar los abonados a los divisores en cada localidad. El cálculo se realiza para un único divisor y sus respectivos abonados, y los resultados se multiplicarán posteriormente por el número de divisores que se prevé instalar.

El valor de la misma zona urbana considerada en la primera etapa, pero dividido por el número de divisores que se prevé instalar, se asigna a la variable  $A$ . El número de hogares abarcados por cada divisor se asigna a la variable  $N$ . Estas dos variables permiten obtener los valores de  $n$ ,  $D$  y  $L$ , y para  $K = 1$  (distribución uniforme<sup>39</sup> de hogares en toda la zona urbana abarcada por cada divisor), se puede calcular la cantidad de fibra óptica necesaria para conectar todos los hogares abarcados con su respectivo divisor, mediante la aplicación de la ecuación del modelo SSL y al dividir su resultado por un factor de corrección, en esta ocasión del 67 por ciento<sup>40</sup>, con el fin de ajustar la subestimación resultante de la utilización del modelo geométrico simplificado.

El cálculo realizado hasta esta etapa es adecuado. No obstante, no todos los hogares abarcados pasarán a estar conectados. Habida cuenta de ello, el número de hogares conectados debería oscilar entre cero y el número de hogares abarcados, por lo que en los cálculos sobre fibra óptica únicamente se tendrán en cuenta los hogares conectados. A tal efecto, puesto que no se sabe qué hogares abarcados pasarán a estar conectados (por ejemplo, los más cercanos o los más alejados del divisor), una aproximación razonable es calcular el número promedio de kilómetros de fibra óptica para conectar un hogar abarcado con su respectivo divisor en cada localidad, y multiplicar ese valor por el valor total anual estimado de nuevos hogares

<sup>39</sup> Simplificación que obedece a la falta de disponibilidad habitual de información sobre el grado de verticalización de los hogares.

<sup>40</sup> Proporción promedio de subestimación relativa a la capa de acceso en zonas de elevada densidad; véase "Geometric versus geographic models for the estimation of an FTTH deployment", *Telecommunication Systems*", volumen 54, página 21.

conectados. Ese cálculo permitirá determinar la cantidad total de cable de fibra óptica necesario para proporcionar conexión a todos los hogares conectados en cada localidad cada año.

Conviene destacar asimismo que la tasa de pérdida de abonados es un factor que debe tenerse en cuenta en el cálculo del número total de hogares conectados. Dicha tasa permite determinar el índice de sustitución de abonados de un operador, y en la práctica, representa la proporción de clientes que anulan su abono a un servicio específico en un periodo determinado.

Habida cuenta de la tasa de pérdida de abonados, el número de nuevas instalaciones que se realizan cada año será superior a la variación neta del número de abonados de un operador. Es decir, si un determinado operador posee 1 000 abonados y esa cifra aumenta hasta 1 100 en el año siguiente, debido a la tasa de pérdida de abonados, el número de nuevos servicios contratados en ese periodo habrá sido superior a 100. Ello obedece sencillamente al hecho de que si la tasa de pérdida de abonados para ese año ha sido del 5 por ciento, de los 1 000 abonados iniciales, 50 habrán anulado su contrato, y 150 nuevos abonados habrán contratado el servicio, por lo que el número total de nuevos abonados será 1 100.

El citado efecto de renovación paulatina del número de abonados repercute en gran medida en el CAPEX de un proyecto de red FTTH. Al realizar la instalación cada año hay que tener en cuenta la variación neta de demanda y la tasa de pérdida de abonados, multiplicadas por el número total de abonados al final del año anterior. De ahí que se precise una mayor cantidad de cable de fibra óptica y de sistemas de encaminadores de usuario final (CPE), incluido el encaminador propiamente dicho y el terminal de red óptica (ONT) que se instalarán en el hogar del abonado. Conviene que la mayor parte de los CPE y ONT previamente instalados en el hogar de abonados que anularon su contrato se reutilicen, de ser posible, en el hogar de los nuevos abonados; a tal efecto, el índice de reutilización vendrá determinado por aspectos logísticas de almacenamiento y transporte.

A continuación se presentan las ecuaciones necesarias para calcular el número de kilómetros de cable de fibra óptica necesarios para conectar los hogares con conexión a sus respectivos divisores, así como para calcular el número de sistemas CPE necesarios:

$$Fiber\_HC_{total\_t} = Fiber\_HC_{avg} \cdot [N_{hct} - N_{hct-1} \cdot (1 - \text{tasa de abandono})]$$

$$N_{Pct\_CPE\_t} = N_{hct} - N_{hct-1} [1 - \text{tasa de abandono} \cdot (1 - F_t)]$$

en las que:

$Fiber\_HC_{total\_t}$  es la longitud total de fibra óptica (en km) que debe instalarse en un año  $t$  determinado para conectar los hogares con conexión a sus respectivos divisores;

$Fiber\_HC_{avg}$  es el valor promedio de la longitud total de fibra óptica (en km) necesaria para conectar un hogar con cobertura de servicio a su respectivo divisor;

$N_{hct}$  es el número de abonados (hogares conectados) en un año determinado  $t$ ;

$N_{hct-1}$  es el número de abonados (hogares conectados) en un año determinado  $t-1$ ;

*tasa de abandono* es la proporción de abonados en el año  $t-1$  que anularon su abono en el año  $t$ ;

$N_{Pct\_CPE\_t}$  es el número de sistemas CPE que se prevé instalar en un determinado año  $t$ ;

$F_r$  es el índice de reutilización de ONT retirados de hogares de los abonados que anulaban su abono en el año  $t$ .

Cabe tener en cuenta que la tasa de pérdida de abonados y la proporción de reutilización de CPE y ONT pueden variar sustancialmente de un país a otro, por lo que conviene que los organismos de reglamentación obtengan valores exactos al respecto por medio de los operadores locales. Sin embargo, si no es posible obtener esa información, la hipótesis de una tasa de pérdida de clientes del 5 por ciento anual y una proporción de reutilización del 80 por ciento suele considerarse razonable a los efectos de dimensionamiento de red.

## Cálculo sobre fibra óptica (hogares con cobertura de servicio)

Primera etapa:

**Cálculo sobre fibra óptica - Capa de OLT**

$A = 100 \text{ km}^2$	$K = 1$	$L_{fo} = 4 \cdot K \cdot L \cdot \sum_{i=1}^{n-1} [\min(i, n-i) \cdot (n-i)]$
$N = 25 \text{ OLT}$	$n = \sqrt{A} = 5$	$L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 2 \cdot \sum_{i=1}^4 [\min(i, 5-i) \cdot (5-i)]$
$D = \sqrt{A} = 10 \text{ km}$	$L = \frac{D}{n} = 2 \text{ km}$	$L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 2 \cdot [(1 \cdot 4) + (2 \cdot 3) + (2 \cdot 3) + (1 \cdot 1)]$
		$L_{fo} = 136 \text{ km}$
$L_{fo\_corrected} = \frac{136}{0,555} \cong 245 \text{ km}$		

Segunda etapa si se realiza la hipótesis de una capa de divisores:

**Cálculo sobre fibra óptica - Capa de divisores**

$A = \frac{100 \text{ km}^2}{25 \text{ OLT}} = 4 \text{ km}^2/\text{OLT}$		$L_{fo} = 4 \cdot K \cdot L \cdot \sum_{i=1}^{n-1} [\min(i, n-i) \cdot (n-i)]$
$N = \frac{3,125 \text{ divisores}}{25 \text{ OLT}} = 125 \text{ divisores/OLT}$		$L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 0,18 \cdot \sum_{i=1}^{10} [\min(i, 11-i) \cdot (11-i)]$
$n = \sqrt{N} \cong 11$	$K = 1$	$L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 0,18 \cdot [10 + 18 + 24 + 28 + 30 + 25]$
$D = \sqrt{A} = 2 \text{ km}$	$L = \frac{D}{n} \cong 0,18 \text{ km}$	$L_{fo} = 118,8 \text{ km por OLT}$
$L_{fo\_corrected} = \frac{118,8}{0,555} \cong 214 \text{ km por OLT}$		

Cálculo de la longitud total de fibra óptica total (en kilómetros) que ha de instalarse en un año determinado  $t=1$  para conectar hogares a sus respectivos divisores, y del número total de sistemas CPE que deben instalarse ese mismo año en una ciudad determinada.

**Cálculo sobre fibra óptica - Capa de hogares con cobertura de servicio (HP)**

$A = \frac{4 \text{ km}^2/\text{OLT}}{125 \text{ divisores}/\text{OLT}} = 0,032 \text{ km}^2/\text{divisor}$	$L_{fo} = 4 \cdot K \cdot L \cdot \sum_{i=1}^{n-1} [\min(i, n-i) \cdot (n-i)]$
$N = \frac{50,000 \text{ HP}}{3.125 \text{ divisores}} = 16 \text{ HP}/\text{divisor}$	$L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 0,045 \cdot \sum_{i=1}^3 [\min(i, 4-i) \cdot (4-i)]$
$n = \sqrt{N} \cong 4$	$K = 1$
$D = \sqrt{A} \cong 0,18 \text{ km}$	$L = \frac{D}{n} \cong 0,045 \text{ km}$
	$L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 0,045 \cdot [(1 \cdot 3) + (2 \cdot 2) + (1 \cdot 1)]$
	$L_{fo} = 1,44 \text{ km por divisor}$
<hr/>	
$L_{fo\_corrected} = \frac{1,44}{0,67} \cong 2,15 \text{ km por divisor}$	
$Fiber\_HC_{avg} = \frac{2,15 \text{ km/divisor}}{16 \text{ HP/divisor}} = 0,135 \text{ km/HP}$	
Considerando: $N_{nct} = 10.000$ $N_{nc} = 1.000$ Tasa de abandono= 5% $F_c=80\%$	
y:	
$Fiber\_HC_{total,t} = Fiber\_HC_{avg} \cdot [N_{nct} - N_{nct-1} \cdot (1-tasa \text{ de abandono})]$	
$N_{pct\_CPE,t} = N_{nct} - N_{nct-1} \cdot [1-tasa \text{ de abandono} \cdot (1-tasa \text{ de abandono} \cdot (1 - F_c))]$	
resulta:	
$Fiber\_HC_{total,t} = 0,135 \cdot (10.000 - 1.000 \cdot (1 - 0,05)) = 0,135 \cdot 9.050 \cong 1.222 \text{ km}$	
$N_{pct\_CPE,t} = 10.000 - 1.000 \cdot [1 - 0,05 \cdot (1 - 0,8)] = 10.000 - 990 = 9.010_{pct\_CPE}$	

Fuente: UIT

Nota: Los valores utilizados son hipotéticos.

**Costes unitarios de la red FTTH**

El modelo de red FTTH presentado hasta ahora abarca centrales FTTH locales que encaminan el tráfico local a la red troncal del operador, OLT, divisores y, por último, cables de fibra óptica y paquetes CPE. Cabe señalar que puede utilizarse cable de fibra óptica de menor capacidad (de menor coste) para conectar los divisores y los hogares conectados, al tiempo que la fibra óptica de mayor capacidad (de mayor coste) puede reservarse para interconectar los divisores, OLT y la central FTTH local.

Como se ha señalado anteriormente, los costes unitarios de cada uno de estos elementos de red deben obtenerse directamente de los operadores locales y los proveedores de red.

**Resultados de la estimación del CAPEX**

Una vez que se ha calculado el número de centrales locales FTTH, OLT, divisores y paquetes CPE, así como los kilómetros de fibra óptica necesarios para el despliegue de la red FTTH en cada localidad, y los costes unitarios de ese equipo, se puede determinar la inversión total (CAPEX) necesaria por año.<sup>41</sup>

Conviene destacar al respecto que la repercusión de la estimación de la inversión en el flujo de caja de la operación modelizada vendrá dada por el plazo fijado para la instalación de la infraestructura, por lo general, en los primeros años de explotación. En los años siguientes sólo

<sup>41</sup> No se ha tenido en cuenta el CAPEX necesario para encaminar el tráfico de datos fuera de las localidades (antes de la central de conmutación FTTH local), con arreglo a la hipótesis de que exista una red troncal nacional establecida que conecte mutuamente todas las localidades abarcadas en el proyecto FTTH.

existirá el CAPEX relativo al tendido de los cables de fibra óptica necesarios para interconectar los nuevos abonados a los divisores, así como el coste de adquisición de paquetes CPE y su distribución a los abonados, necesidades de infraestructura que variarán en función de la evolución de la demanda de abonados FTTH a lo largo de los años.

#### 4.4 Redes de transporte

Habida cuenta de la demanda cada vez mayor de redes de acceso de banda ultra ancha, muchos países carecen de una infraestructura de red de transporte capaz de encaminar todo el tráfico de datos de llegada y de salida entre localidades o regiones, y la red troncal del operador.

Los encargados de la formulación de políticas deben afrontar con frecuencia el reto de facilitar el despliegue de redes ópticas de transporte mediante políticas públicas que ofrezcan condiciones propicias para atraer inversión privada, a fin de subsanar ese déficit de infraestructuras. A tal efecto, suele ser útil realizar una estimación del CAPEX relativo al despliegue de redes de transporte de fibra óptica, con objeto de desarrollar o evaluar proyectos de despliegue de infraestructuras económicamente sostenibles.

Para simplificar el proyecto y la estimación del CAPEX, en el marco del presente ejercicio cabe considerar una red de transporte de fibra óptica un conjunto de enlaces de fibra óptica con transmisores y amplificadores de jerarquía digital síncrona (SDH) en sus extremos, conectados por cables de fibra óptica soterrados, con varios repetidores de fibra óptica situados a lo largo de los cables. Por otro lado, con el fin de integrar el tráfico de datos en la red troncal nacional, es necesario contar con diversos elementos de red, en particular multiplexores ópticos de incorporación y extracción reconfigurables basados en multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM ROADM) y repartidores ópticos (ODF).

Tanto el número de elementos de red necesarios como su capacidad dependen en gran medida del caudal mínimo requerido (demanda de tráfico agregada en la localidad o la región de que se trate) y de la distancia entre la localidad o la región y la conexión troncal del operador más cercano. Una vez que se determinan esos dos parámetros primordiales para todos los enlaces de transporte necesarios, puede calcularse el CAPEX total.

En el caso de los equipos de red en el punto extremo, en particular, los transmisores, el número de elementos necesarios dependerá de la demanda de cada localidad. Es decir, se considera la utilización de equipos con arreglo a una capacidad de transmisión de datos concreta (Mbps) y, en función de la demanda de datos, se estima la cantidad de equipos necesaria.

Los equipos de red troncal, sin embargo, deberán determinarse en función de los ajustes de red necesarios para soportar la demanda de localidades específicas. La conexión de una nueva localidad a la red troncal puede requerir la ampliación de la capacidad de algunos elementos de la red. En ese caso, será necesario determinar para cada localidad el grado de mejora necesario de los elementos de red troncal a nivel cuantitativo.

El último grupo de elementos de red guarda relación con la longitud total de la red. En una red de fibra óptica, la cantidad de fibra óptica y el número de conductos y zanjas necesarios dependen directamente de la longitud de la red, con repetidores instalados a determinadas distancias, en función de su alcance. El alcance de los repetidores de fibra óptica varía en función del proveedor de red y cabe esperar que sea cada vez mayor con el transcurso del

tiempo; sin embargo, la instalación de repetidores cada 70 km es habitual en los diseños de redes de transporte de fibra óptica.

Para calcular el coste de ese conjunto de elementos de red es necesario definir la longitud de cada enlace de red que debe ponerse en marcha. A tal efecto puede tomarse como referencia la menor distancia por carretera entre la localidad que se desea conectar y la red troncal nacional de fibra óptica, puesto que el tendido de fibra óptica a lo largo de autovías y carreteras entre varias localidades suele reducir los costes y el tiempo de despliegue.

Cabe señalar que esa estrategia de cálculo se basa en un despliegue de red con arreglo a una topología en estrella (conexión punto a punto sin optimización). Sin embargo, puesto que más de una localidad podría conectarse al mismo punto de la red troncal nacional, debe estudiarse la posibilidad de implantar partes de la red con arreglo a una topología en anillo, en la que las localidades estén conectadas mutuamente y compartan el mismo punto de flujo de tráfico con respecto a la red troncal nacional. Ese enfoque híbrido reduce sustancialmente el número de kilómetros de fibra óptica necesarios, si bien requiere que los organismos de reglamentación definan en primer lugar la topología física de la red que se va a desplegar.

Por último, una vez que se ha determinado la cantidad de equipos y cables de fibra óptica necesarios, el valor resultante se multiplica por el coste unitario de dichos equipos, que proporcionarán directamente, en la medida de lo posible, los fabricantes y proveedores que ya operen en el país de que se trate. El resultado final de todos esos cálculos permitirá estimar el valor total del CAPEX del proyecto.

## 5 Estimación de los costes operacionales (OPEX) de la prestación de servicios de banda ancha

En la presente sección se aborda la estimación de los costes y gastos de explotación (OPEX) de un proyecto de banda ancha, con el fin de determinar exactamente el flujo de caja necesario para la elaboración del plan empresarial. A tal efecto, cabe considerar tres enfoques principales:

- aplicación de modelos de costes;
- utilización de valores de costes y gastos establecidos previamente;
- utilización de valores de referencia.

La decisión que adopten los encargados de la formulación de políticas en relación con la aplicación del método más adecuado vendrá dada por la disponibilidad de datos.

### 5.1 Aplicación de modelos de costes para estimar el OPEX

El valor de los gastos al calcular el VAN del proyecto puede estimarse mediante la información obtenida a través de un modelo de costes en los casos en que los organismos de reglamentación de las telecomunicaciones estén sujetos a los requisitos normativos de regirse por un modelo contable específico y de presentar modelos de costes a los efectos de reglamentación de las tarifas al por mayor.

Pese a que esos requisitos normativos guardan relación con la estimación de los costes de productos al por mayor, los datos relativos a la citada contabilidad en cuanto a costes proporcionan información útil para estimar el OPEX de proyectos de banda ancha.

Un método de interés a tal efecto es la utilización de datos sobre costes íntegramente asignados (FAC), enfoque descendente<sup>42</sup> que permite estimar los costes operacionales relativos a la prestación de servicios de banda ancha. Con arreglo a dicho enfoque, el coste total de un servicio prestado por el operador comprende todos los costes contables de la empresa al prestar dicho servicio, incluidos los costes de capital. Habida cuenta de ello, el coste total de un producto puede determinarse mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Coste total del producto (CT)} = \text{gastos} + \text{coste del capital}$$

$$\text{Coste del capital (CC)} = \text{capital utilizado para el producto} \times \text{WACC}$$

siendo:

*Los gastos* la suma del coste del servicio, las ventas, los gastos generales y administrativos y los gastos financieros asociados de forma directa o indirecta a la producción del producto;

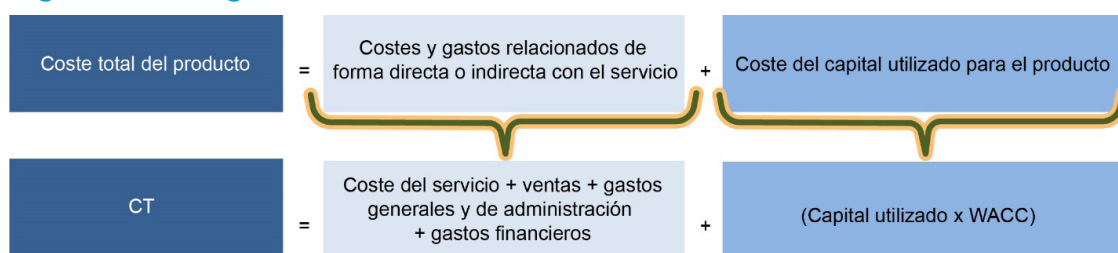
*El coste del capital (CC)* la remuneración hipotética que el proveedor tendría que obtener por mantener el capital invertido en sus activos;

*WACC* el coste medio ponderado del capital.

<sup>42</sup> Con arreglo a este enfoque, el cálculo da comienzo con la información contable real de los operadores y se asigna a cada servicio de forma específica.



Figura 11: Desglose de los costes totales



Fuente: UIT

También cabe tener en cuenta que algunos servicios de telecomunicaciones prestados por los propios operadores utilizan otros servicios que se producen internamente, de ahí que el coste total del producto deba abarcar los gastos relacionados con esas transferencias internas, de haberlas.

Las transferencias internas pueden determinarse de las dos maneras siguientes:

- i) si el producto posee comercialización externa, el precio de transferencia interna debe ser el mismo que el aplicado a otros proveedores de servicios de telecomunicaciones;
- ii) si no existe comercialización externa, el precio de transferencia interna se basa en el coste total del producto, calculado mediante la ecuación pertinente (Figura 12) con respecto al coste total del producto (CT).

Sobre la base de la información presentada por los proveedores con arreglo a sus disposiciones en materia de contabilidad específica y la metodología elaborada por el organismo de reglamentación según el modelo de costes descendente, se puede determinar el desglose del coste total para cada servicio prestado.

El OPEX necesario para calcular el VAN del proyecto de banda ancha puede estimarse mediante el cociente de la suma de los gastos asociados a la prestación de un conjunto de servicios prestados por un proveedor o un grupo de proveedores, y la suma de los ingresos netos operacionales de dicho conjunto de servicios.

Figura 12: Relación entre gastos e ingresos netos



Fuente: UIT

La proporción resultante entre costes y gastos totales e ingresos netos debe aplicarse a los ingresos estimados cada año en el plan empresarial, a fin de estimar parcialmente el OPEX.

Al analizar el grupo de atribuciones de gastos que abarcan la categoría "coste de los servicios", se pueden clasificar (en función de sus características) en las dos subcategorías siguientes: a) costes operacionales y de mantenimiento; y b) compensaciones abonadas a otros prestadores (por ejemplo, gastos de interconexión o arrendamiento de redes, entre otros gastos similares).

Posteriormente, sólo quedará estimar la parte de los gastos relacionada con los costes operacionales y de mantenimiento (OPEX y explotación y mantenimiento) previamente excluida del cálculo de los costes del servicio por depender intrínsecamente del CAPEX del proyecto.

Para estimar esta parte del OPEX, se puede utilizar la información sobre el OPEX unitario anual de cada uno de los elementos de red necesarios para la puesta en marcha de la red.

### Cuadro 3: Costes operacionales y de mantenimiento

Elementos de red	CAPEX	OPEX
Elemento 1	X	% de X
Elemento 2	Z	% de Z
Elemento 3	Y	% de Y
		Operación y mantenimiento (OAM)

Puesto que el cálculo de los costes operacionales y de mantenimiento guarda una estrecha relación con el CAPEX aplicable, los costes relacionados con esta subcategoría de gastos pueden calcularse con arreglo a un valor porcentual relativo a la metodología de estimación del CAPEX, en lugar de utilizar valores medios obtenidos sobre la base de datos existentes del proveedor de servicios.

### Cuadro 4: Estimación del OPEX total mediante un modelo de costes

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	...
Ingresos netos	X	Z	Y	W	...
Relación entre gastos e ingresos	r%	r%	r%	r%	r%
OPEX 1	X . r%	Z . r%	Y . r%	X . r%	...
Operación y mantenimiento (OAM)	Gastos OAM	Gastos OAM	Gastos OAM	Gastos OAM	
OPEX total	(X . r%) + gastos OAM	(Z . r%) + gastos OAM	(Y . r%) + gastos OAM	(Y . r%) + gastos OAM	

## Aplicación de modelos de costes para estimar el OPEX

Caso hipotético: operador móvil que prevé poner en marcha un proyecto de red de banda ancha inalámbrica 4G LTE. Para estimar el OPEX del nuevo proyecto, uno de los enfoques posibles es utilizar modelos de costes elaborados o aplicados previamente por el organismo de reglamentación para otros servicios móviles.

**Modelos de costes**

**COSTES TOTALES E INGRESOS DE PRODUCTOS RELATIVOS A SERVICIOS MÓVILES**

<b>Ingresos operacionales</b>	<b>255.432.605</b>
<b>Costes y gastos + coste del capital utilizado</b>	<b>127.568.537</b>
<i>Coste de los servicios</i>	<i>43.845.976</i>
<i>Gastos comerciales</i>	<i>51.119.948</i>
<i>Gastos administrativos y generales</i>	<i>32.602.613</i>

Relación (entre gastos e ingresos) **0,50**

	INGRESOS TOTALES	Relación (entre gastos e ingresos)	OPEX 1	VOLUMEN	OPEX 2 TOTAL	OPEX TOTAL
A01	\$ 3.774.600	0,50	\$ 1.885.116	100	\$ 2.249.750	\$ 4.134.866
A02	\$ 14.098.752	0,50	\$ 7.041.220	200	\$ 4.499.500	\$ 11.540.720
A03	\$ 32.616.176	0,50	\$ 16.289.220	300	\$ 6.749.250	\$ 23.038.470
A04	\$ 53.052.192	0,50	\$ 26.495.406	400	\$ 8.999.000	\$ 35.494.406
A05	\$ 81.791.516	0,50	\$ 40.848.442	500	\$ 11.248.750	\$ 52.097.192

Elementos de red	CAPEX	% OPEX	OPEX 2, UNIDAD
<b>Elemento 1</b>	\$ 23.750	11%	\$ 2.613
<b>Elemento 2</b>	\$ 222.500	7%	\$ 15.575
<b>Elemento 3</b>	\$ 142.500	3%	\$ 4.275
<b>Elemento 4</b>	\$ 3.500	1%	\$ 35
<i>Total</i>			\$ 22.498

Fuente: UIT

Nota: Los valores utilizados son hipotéticos.

## 5.2 Utilización de valores de costes y gastos anteriores para estimar el OPEX

A falta de un modelo de costes suficientemente ensayado para estimar el OPEX del producto que se va a poner en marcha, pueden utilizarse datos de balances contables de empresas establecidas en el país que hayan prestado un servicio equiparable (o muy similar) al propuesto en el plan empresarial.

El enfoque recomendado consiste en evaluar la evolución previa de los gastos operacionales en función de los ingresos netos. Una vez que se haya determinado un valor estable para la relación entre ambas variables, dicha relación podrá utilizarse para estimar el OPEX.

Figura 13: Relación entre valores anteriores de gastos e ingresos netos



Fuente: UIT

En los casos en los que no se pueda determinar un valor estable para la relación entre ingresos y gastos, la mejor estrategia es revisar la contabilidad analítica y suprimir posibles sesgos, de modo que pueda aplicarse una estimación estable con respecto a todo el flujo de caja.

Una vez que se ha determinado la relación entre gastos operacionales (incluidos el coste de servicio y los gastos generales, administrativos y de ventas) e ingresos netos, dicha relación debe tenerse en cuenta para los ingresos anuales totales estimados en el flujo de caja. Ello arrojará como resultado el OPEX anual.

**Cuadro 5: Estimación del OPEX total mediante valores anteriores de costes y gastos**

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	...
Ingresos netos	X	Z	Y	W	...
Relación entre gastos e ingresos	r%	r%	r%	r%	r%
OPEX total	X . r%	Z . r%	Y . r%	X . r%	...

Fuente: UIT

### 5.3 Utilización de valores de referencia para estimar el OPEX

En los casos en los que un servicio sea relativamente nuevo y no existan operaciones comerciales suficientemente desarrolladas en el país de que se trate, a fin de estimar el OPEX mediante datos reales de balances contables, la utilización de valores de referencia brinda un método alternativo razonable.

En diversas publicaciones especializadas figuran muchos modelos para determinar los gastos totales de un plan empresarial, incluido el análisis de la evolución de empresas que ofrecen un servicio innovador (y quizás no probado previamente). Uno de los métodos de referencia más generalizados se refiere a la relación entre CAPEX y OPEX por medio de la relación CAPEX/TCO<sup>43</sup> en proyectos en los que se prevea utilizar nuevas tecnologías. A tal efecto, conviene seleccionar al menos tres referencias comerciales diferentes y posteriormente fijar un valor de referencia aplicable al plan empresarial.

Con arreglo a esa metodología, el OPEX total se calcula mediante la relación directa con el CAPEX total, como se muestra en la Figura 14.

**Figura 14: Relación entre CAPEX y OPEX**



Fuente: UIT

No obstante, puesto que los costes y los gastos suelen guardar una estrecha relación con el número de usuarios activos en la red, para estimar el OPEX anual puede dividirse el OPEX total, determinado con respecto al CAPEX total, por la suma de usuarios en cada año del plan empresarial, y posteriormente multiplicar el valor resultante por el número total de usuarios

<sup>43</sup> TCO (coste total de propiedad) = CAPEX + OPEX.

previstos cada año, a fin de establecer una evolución anual del OPEX en función de la demanda de los usuarios.

**Figura 15: OPEX unitario**



Fuente: UIT

**Cuadro 6: Estimación del OPEX total mediante valores de referencia**

	Año 1	Año 2	...	Año n	TOTAL
Demanda	X	Z	...	W	Demanda total
OPEX unitario	u	u	u	u	U
OPEX	X . u	Z . u	Y . u	W . u	OPEX total

Fuente: UIT

### Utilización de valores de costes y gastos anteriores para estimar el OPEX

Caso hipotético: un operador de banda ancha fija que prevé poner en marcha un proyecto de FTTH en un país, además de otros operadores que ya prestan ese servicio. Para estimar el OPEX del nuevo proyecto, un posible método consiste en utilizar datos de balances contables de operadores establecidos en el país de que se trate, que han venido prestando un servicio equiparable (o muy similar) al que se va a poner en marcha.

Este ejemplo muestra un balance contable hipotético de un operador establecido. Para estimar la relación entre gastos e ingresos es necesario excluir los costes de depreciación y amortización, puesto que dicha relación se calculará directamente por medio del CAPEX. La relación estimada se aplicará a los ingresos estimados con objeto de determinar el OPEX.

**Balance contable**

	A03	A04	A05
<b>Ingresos operacionales</b>	<b>297.912.913</b>	<b>325.137.496</b>	<b>340.544.845</b>
<b>Costes y gastos operacionales</b>	<b>262.441.526</b>	<b>286.267.393</b>	<b>307.163.411</b>
<i>Coste de ventas y servicios</i>	<i>151.754.644</i>	<i>159.353.526</i>	<i>165.445.249</i>
<i>Gastos comerciales, administrativos y generales</i>	<i>67.120.319</i>	<i>76.033.705</i>	<i>80.211.477</i>
<i>Otros gastos</i>	<i>1.661.652</i>	<i>1.371.521</i>	<i>8.115.038</i>
<i>Depreciación y amortización</i>	<i>41.904.912</i>	<i>49.508.640</i>	<i>53.391.647</i>
<b>Relación (entre gastos e ingresos)</b>	<b>0,74</b>	<b>0,73</b>	<b>0,75</b>

	INGRESOS TOTALES	Relación (entre ingresos y gastos)	OPEX total
A01	\$ 3.774.600	0,74	\$ 2.785.209
A02	\$ 14.098.752	0,74	\$ 10.403.215
A03	\$ 32.616.176	0,74	\$ 24.066.887
A04	\$ 53.052.192	0,74	\$ 39.146.256
A05	\$ 81.791.516	0,74	\$ 60.352.483
A06	\$ 110.553.418	0,74	\$ 81.575.373
A07	\$ 138.700.777	0,74	\$ 102.344.801
A08	\$ 177.186.170	0,74	\$ 130.742.478
A09	\$ 225.332.475	0,74	\$ 166.268.767
A10	\$ 295.886.060	0,74	\$ 218.328.985

Fuente: UIT

Nota: Los valores utilizados son hipotéticos.

## 6 Estimación del coste medio ponderado del capital

La determinación del coste medio ponderado del capital (WACC) constituye una etapa fundamental del proceso de fijación de precios en el sector de las telecomunicaciones y repercute en gran medida en los modelos de subasta de servicios de telecomunicaciones y en los modelos de determinación de precios del espectro. Si el valor del WACC se fija demasiado bajo, puede desalentar las inversiones y dar lugar a precios que estén por debajo de costes eficientes. Por otro lado, si se fija un valor demasiado elevado, puede fomentar la sobreinversión y dar lugar a precios demasiado altos.

Por lo general, el WACC corresponde a la proporción porcentual equivalente a la media ponderada de los costes de oportunidad de las fuentes de financiación permanente de los proveedores. Los parámetros para su cálculo vienen dados mediante la fórmula siguiente, que se obtiene a través del modelo de valoración de activos financieros (CAPM):

$$WACC_j^{\text{después de impuestos}} = K_d(1 - \tau)(D|D + E) + K_e^j(E|D + E)$$

siendo:

$K_d$  el coste de la deuda

$\tau$  el tipo impositivo

$(D|D + E)$  el porcentaje de capital correspondiente a deuda

$K_e^j$  el coste de los fondos propios

$(E|D + E)$  la proporción de capital social

Cabe señalar que en determinados países el endeudamiento real de los proveedores de servicios de telecomunicaciones puede variar sustancialmente, en particular en el caso de los proveedores nacionales y los que poseen su sede en otro país, que pueden beneficiarse de una capitalización tanto externa como interna con respecto al grupo.

Habida cuenta de una variedad tan amplia de posibilidades de endeudamiento, los organismos de reglamentación pueden fijar el nivel de endeudamiento sobre la base del nivel promedio de endeudamiento adoptado por bancos de inversión, organismos de reglamentación de otros países y el valor promedio correspondiente a empresas que desarrollan su actividad a escala internacional.

### Estimación del coste de la deuda

El coste de la deuda se determina mediante la ecuación siguiente:

$$K_d = rd_f^T(1 + \text{diferencial de riesgo})$$

siendo:

$rd_f^T$  el valor del bono exento de riesgo

*Diferencial de riesgo* es el índice de riesgo crediticio correspondiente a la tasa de riesgo promedio abonada por todos los proveedores de telecomunicaciones en el mercado de que se trate

### Estimación del coste de los fondos propios

El coste de los fondos propios se determina mediante la ecuación siguiente:

$$K_e^j = (re_f^T + \beta_j MRP + CRP) \times ((1 + \pi_{local}) | (1 + \pi_{US}))$$

siendo:

$re_f^T$  el índice exento de riesgo, sobre la base del concepto general de rendimiento de un bono basado en activos con rendimiento al vencimiento de al menos cinco años;

$\beta_j$  el capital beta. Se puede calcular en función de la cotización de la acción del proveedor de telecomunicaciones con respecto al mercado de valores en su conjunto, o mediante un valor de referencia internacional. En cualquiera de esos casos debe utilizarse un valor de beta no incrementado, que se aumentará con arreglo a la estructura de capital idónea determinada mediante la estructura de capital de los operadores locales de telecomunicaciones;

$CRP$  la prima de riesgo del país;

Si el coste de los fondos propios se estima por medio de un enfoque internacional, es necesario añadir a la ecuación  $K_e^j$  el valor  $CRP$  y la diferencia entre la inflación local y la de Estados Unidos

$MRP$  la prima de riesgo del mercado.

### Estimación de la prima de riesgo de mercado

La prima de riesgo de mercado (MRP) se determina mediante la ecuación siguiente:

$$MRP = \frac{1}{P} \sum_{h=1}^p (r_m^{T-h} - re_f^{T-h})$$

siendo:

$re_f^{T-h}$  el índice exento de riesgo

$r_m^{T-h}$  la rentabilidad del índice de mercado

La escala temporal de los datos anteriores utilizados para determinar la prima de riesgo de mercado no debe ser inferior a cinco años. Por otro lado, deben descartarse los periodos que correspondan a situaciones de mercado anómalas.

### CAPM a escala local o internacional

Cabe destacar la existencia de dos metodologías principales para determinar el coste de los fondos propios, a saber, un modelo de valoración de activos financieros (CAPM) a escala



internacional o un CAPM a escala local. El CAPM a escala internacional lo aplican habitualmente los bancos, al tiempo que el CAPM a escala local lo aplican frecuentemente los organismos de reglamentación (por ejemplo, ANTT, el organismo de reglamentación de transportes de Brasil; ARCEP (Francia); CMT (España); ComReg (Irlanda); Ofcom (Reino Unido) y PTS (Suecia)). La estimación CAPM mediante parámetros locales vendrá dada por la disponibilidad de datos estables. Pese a que ambas metodologías presentan ventajas e inconvenientes, se recomienda utilizar el CAPM a escala local en los casos en los que se disponga de datos, puesto que es más transparente y se ajusta mejor al mercado local.

El CAPM a escala internacional tiene por objeto reflejar la situación del país por medio de la utilización de datos internacionales. Se recomienda su aplicación en casos de disponibilidad limitada de información sobre el mercado nacional o de información sobre activos de telecomunicaciones cotizados en el mercado bursátil del país de que se trate.

Una posible manera de determinar riesgos no valorados es añadir al CAPM a escala internacional otros factores susceptibles de reflejar riesgos políticos, normativos o de otro tipo; no obstante, este tipo de modelos se encuentra en fase experimental actualmente. En Internet puede consultarse información de índole muy diversa para facilitar el cálculo del CAPM<sup>44</sup>, por ejemplo, la que figura en el Cuadro 7.

**Cuadro 7: Ventajas e inconvenientes del CAPM escala local con respecto al CAPM a escala internacional**

	CAPM a escala LOCAL	CAPM a escala internacional
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Transparencia.</li> <li>- Reflejo de la situación del mercado local.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Independencia de la disponibilidad de bases de datos locales. Utilización de valores de referencia.</li> <li>- Utilización de datos económicos constatados.</li> </ul>
Inconvenientes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dependencia de la disponibilidad de bases de datos.</li> <li>- Necesidad de una coyuntura macroeconómica estable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comparabilidad de los valores de referencia.</li> <li>- Utilización de valores de riesgo del país muy variables.</li> <li>- Inexactitud del proceso de aumento o reducción de valores con respecto a varios países.</li> </ul>

Fuente: UIT

El CAPM a escala local requiere datos internos. Las principales ventajas de aplicar dicho CAPM local son la transparencia que brinda la aceptación generalizada de esta metodología por la comunidad académica y los mercados, así como la visión precisa que ofrece del mercado local. Por otro lado, entre sus inconvenientes cabe destacar la indisponibilidad de bases de datos y la inexistencia de una coyuntura macroeconómica estable a escala nacional.

En países económicamente estables a largo plazo, con índices financieros a largo plazo y activos estables, se recomienda aplicar la metodología CAPM a escala local.

<sup>44</sup> En la página web siguiente se proporciona información de interés al respecto: [http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New\\_Home\\_Page/home.htm](http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New_Home_Page/home.htm).

### Transformación de WACC nominal en WACC real

Una vez que se ha determinado el valor nominal del WACC, debe descontarse el valor inflacionario del periodo correspondiente para obtener el valor del indicador en términos reales por medio de la ecuación siguiente, denominada ecuación de Fisher:

$$WACC_{Real} = \frac{(1+WACC_{Nominal})}{(1+\pi)} - 1$$

siendo:

$WACC_{Real}$  el WACC real

$WACC_{Nominal}$  el WACC nominal

$\pi$  la tasa de inflación

La mera substracción del valor de la inflación del valor del WACC nominal no arrojará el resultado correcto, puesto que ello sobreestimaré el índice real, si bien el error será pequeño en los casos en los que los tipos de interés y la inflación sean relativamente bajos.

Se recomienda llevar a cabo estimaciones de inflación prospectivas, de ser posible estimaciones que correspondan a un periodo de tiempo coincidente con el del vencimiento del bono exento de riesgo, aunque en la práctica ello no siempre sea posible debido al limitado periodo de tiempo de las previsiones de inflación.

## Estimación del WACC mediante un método CAPM a escala internacional

<b>Coste del capital (Ke)</b>	
Prima de riesgo de país:	<b>2,63%</b>
Índice exento de riesgo:	<b>2,66%</b>
Beta:	<b>0,99%</b>
Prima de riesgo de mercado (MRP):	<b>8,49%</b>
Coste de la estimación del capital (Ke):	<b>13,92%</b>
<b>Coste de la deuda (Kd)</b>	
Bono exento de riesgo:	<b>6,40%</b>
Diferencial:	<b>2,89%</b>
Coste de la estimación de la deuda:	<b>0,84%</b>
Tipo impositivo empresarial:	<b>34%</b>
Estimación del coste de la deuda "después de impuestos":	<b>4,51%</b>
<b>D/(D+E)</b>	
D/(D+E):	<b>30%</b>
E/(D+E):	<b>70%</b>
TOTAL:	<b>100%</b>
<b>Tasa de inflación</b>	
Objetivo de inflación en EE.UU:	<b>2,0%</b>
Objetivo de inflación local:	<b>4,0%</b>
<b>WACC</b>	
Coste medio ponderado del capital:	<b>9,74%</b>
Coste ponderado de la deuda:	<b>1,35%</b>
WACC nominal:	<b>11,10%</b>
<b>WACC real:</b>	<b>6,82%</b>

<b>Prima de riesgo de país:</b>	Prima de riesgo de país del 2,63% para Damodaran					
<b>Tasa exenta de riesgo:</b>	Rentabilidad del bono de EE.UU a 10 años					
<b>Beta:</b>						
	<b>E/(D+E)</b>	<b>D/(D+E)</b>	<b>TOTAL</b>	<b>Impuestos</b>	<b>Beta sin incrementar</b>	<b>Beta incrementada</b>
	70%	30%	100%	34,0%	0,768	0,985
	Beta sin incrementar: Beta, beta sin incrementar y otras mediciones de riesgo Mercados emergentes de Damodaran					
<b>Prima de riesgo de mercado (MRP)</b>						
Prima de riesgo de mercado histórica	<b>S&amp;P500</b>	<b>EE.UU, 10A</b>	<b>MRP</b>			
15 años (2004 - 2018)	8,52%	0,97%	8,49%			
<b>Bono exento de riesgo:</b>	6.40%: rentabilidad de un bono de país exento de riesgo para una fecha determinada					
<b>Diferencial de riesgo, 28/01/2019</b>						
	<b>Bonos</b>	<b>Volumen</b>	<b>Valor</b>	<b>Diferencial de riesgo específico</b>	<b>Diferencial de riesgo</b>	
	Operador A	151.500	10.000	4,3%	<b>6.89%</b>	
	Operador B	110.000	10.000	4,0%		
	Operador C	523.525	1.000	13,4%		
	Operador D	100.000	10.000	3,2%		
	Operador A	1.500.000	1.000	2,9%		
	Operador B	100.000	10.000	3,9%		
	Operador C	2.000	10.000	40,0%		
	Operador D	150.000	1.000	11,5%		
	Operador A	200.000	10.000	8,3%		
	Operador B	2.720	234.700	26,1%		

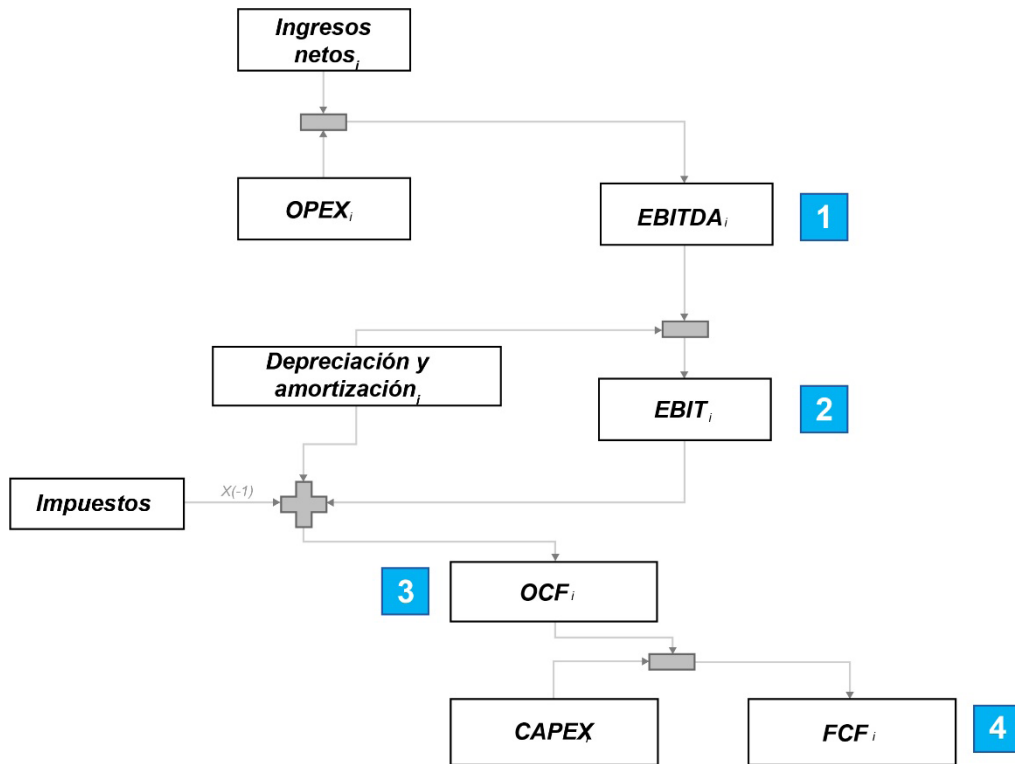
Fuente: UIT  
Nota: Los valores utilizados son hipotéticos.

## Estimación del valor actual neto de proyectos de infraestructuras de banda ancha

Como se especifica en la sección sobre principios de planificación empresarial, el cálculo del valor actual neto (VAN) constituye el resultado más destacado del proceso de planificación empresarial para los organismos de reglamentación y los encargados de la formulación de políticas. Dicho cálculo permite determinar el CAPEX, el OPEX, los ingresos y el flujo de caja a lo largo de los años que abarque el periodo de despliegue de la red y la prestación de servicio, por medio de una ecuación económica cuyo objetivo es facilitar la evaluación de forma precisa de la sostenibilidad económica y del interés de un proyecto de infraestructuras, así como la cuantificación de las necesidades de infraestructura de banda ancha a escala nacional.

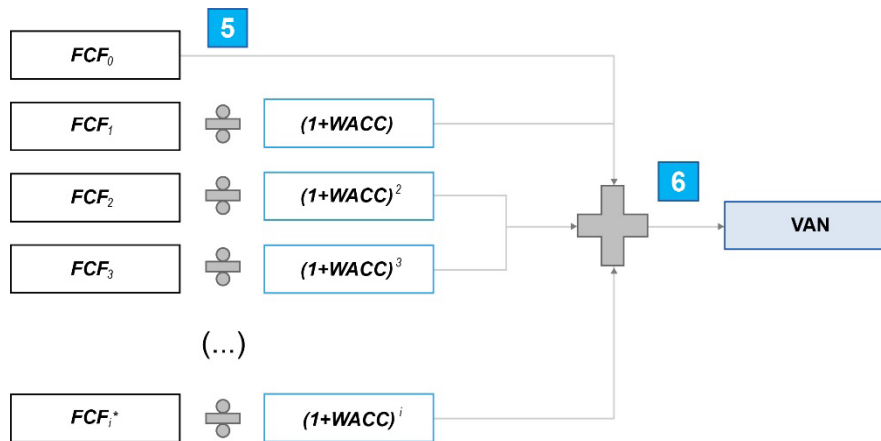
Con objeto de tener una comprensión más cabal de la manera de calcular el VAN de un proyecto de infraestructuras, en los diagramas de las figuras 16 y 17 se desglosa el citado cálculo en seis etapas.

Figura 16: Etapas 1 a 4 del cálculo del VAN



Fuente: UIT

Figura 17: Etapas 5 y 6 del cálculo del VAN



\*Cálculo con valor residual, sin depreciación

Fuente: UIT

La primera etapa del proceso de cálculo del VAN de un proyecto de infraestructuras consiste en estimar los *beneficios antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización* (EBITDA) para cada año de explotación. Ello puede determinarse mediante la diferencia entre los ingresos netos y el OPEX anual estimado, según las metodologías anteriormente presentadas en este conjunto de herramientas.

La segunda etapa consiste en calcular *los beneficios antes de intereses e impuestos* (EBIT), a cuyo efecto deben excluirse del EBITDA<sup>45</sup> la depreciación y la amortización (DA) estimadas. El cálculo de la depreciación y la amortización para un determinado año *i* de explotación puede realizarse mediante la siguiente fórmula:

$$DA_i = \begin{cases} \sum_{k=1}^i \frac{CAPEX_k}{t} & ,if i \leq t \\ \sum_{k=i-t+1}^i \frac{CAPEX_k}{t} & ,if i > t \end{cases}$$

siendo:

$DA_i$  la depreciación y amortización para un año *i* de explotación determinado

$CAPEX_k$  el CAPEX estimado para un año *k* de explotación determinado

*t* la duración promedio (en años) de los activos (CAPEX) o el número de años de amortización establecido en virtud de la normativa contable local

*i* un año de explotación determinado, por ejemplo, año 1, 2, 3, etc.

La tercera etapa del cálculo del VAN consiste en estimar el flujo de caja operacional para cada año, con arreglo a la diferencia entre el valor EBITDA y la suma de impuestos estimada para cada año en el que el valor de EBIT sea positivo. El cálculo de la suma de impuestos anuales puede efectuarse mediante la fórmula siguiente:

$$T_i = \text{Máx}(0; EBIT_i \times TR_{local})$$

siendo:

$T_i$  la suma total de impuestos que debe tenerse en cuenta para el FCF de un determinado año *i*

$EBIT_i$  el beneficio antes de intereses e impuestos para un año *i*

$TR_{local}$  el tipo impositivo local con el que se gravan los beneficios del operador cuyo plan es objeto de análisis.

La cuarta etapa del cálculo del VAN de un proyecto de infraestructuras consiste en obtener el resultado del flujo de caja libre (FCF) para cada año de explotación mediante la determinación de la diferencia entre el flujo de caja operacional (OCF) y el CAPEX total invertido en un año *i* determinado.

Una vez que se ha obtenido el resultado del FCF para cada año de explotación, las etapas quinta y sexta consisten en calcular el VAN de los resultados del FCF para cada año de explotación y, por último, sumarlos para obtener el VAN total del proyecto de infraestructuras. Estas dos últimas etapas pueden llevarse a cabo mediante la aplicación de la fórmula siguiente:

<sup>45</sup> El valor porcentual y el periodo de depreciación y amortización pueden variar en cada país.

$$VAN = \sum_1^z \frac{FCF_i}{(1 + WACC)^i}$$

siendo:

$VAN$  el valor actual neto total del proyecto de infraestructuras

$FCF_i$  el resultado del flujo de caja libre para un determinado año  $i^{46}$

$WACC$  el coste medio ponderado del capital

$z$  el número total de años de explotación que se tienen en cuenta en la evaluación del proyecto de infraestructuras.

### Cálculo del valor actual neto (VAN)

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo del valor actual neto de un determinado proyecto de infraestructuras.

Cálculo del valor actual neto (VAN)										
Año	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
Ingresos netos	\$ 90.958	\$ 1.320.680	\$ 4.347.379	\$ 7.672.031	\$ 9.287.107	\$ 10.152.234	\$ 10.807.641	\$ 11.537.279	\$ 12.356.41	\$ 13.264.945
OPEX	\$ 556.799	\$ 1.265.662	\$ 3.026.254	\$ 4.956.718	\$ 5.948.765	\$ 6.388.380	\$ 6.764.155	\$ 7.182.756	\$ 7.653.129	\$ 8.174.287
CAPEX	\$ 13.626.755	\$ 991.972	\$ 2.640.051	\$ 2.977.650	\$ 1.688.348	\$ 936.385	\$ 867.603	\$ 948.811	\$ 1.044.085	\$ 1.139.274
EBITDA	\$ -465.841	\$ 55.018	\$ 1.321.125	\$ 2.715.314	\$ 3.438.343	\$ 3.763.854	\$ 4.043.486	\$ 4.354.523	\$ 4.703.712	\$ 5.090.658
Depreciación (p.ej. 5 años)	\$ 2.725.351	\$ 2.923.745	\$ 3.451.756	\$ 4.047.285	\$ 4.384.955	\$ 1.846.881	\$ 1.822.007	\$ 1.483.759	\$ 1.097.046	\$ 987.232
EBIT	\$ -3.191.192	\$ -2.868.727	\$ -2.130.631	\$ -1.331.972	\$ -946.612	\$ 1.916.973	\$ 2.221.479	\$ 2.870.764	\$ 3.606.666	\$ 4.103.426
Impuestos (p.ej. 25% de EBIT)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 479.243	\$ 555.370	\$ 717.691	\$ 901.666	\$ 1.025.857
OCF	\$ -465.841	\$ 55.018	\$ 1.321.125	\$ 2.715.314	\$ 3.438.343	\$ 3.284.611	\$ 3.488.116	\$ 3.636.832	\$ 3.802.046	\$ 4.064.801
FCF	\$ -14.092.596	\$ -936.954	\$ -1.318.926	\$ -262.336	\$ 1.749.995	\$ 2.348.226	\$ 2.620.513	\$ 2.688.021	\$ 2.757.961	\$ 2.925.527
VAN (p. ej. 5% de WACC)	\$ -14.092.596	\$ -892.337	\$ -1.196.305	\$ -226.616	\$ 1.439.725	\$ 1.839.896	\$ 1.955.467	\$ 1.910.326	\$ 1.866.696	\$ 1.885.821
VAN total	(5.509.921)									

Fuente: UIT

Nota: Los valores utilizados son hipotéticos.

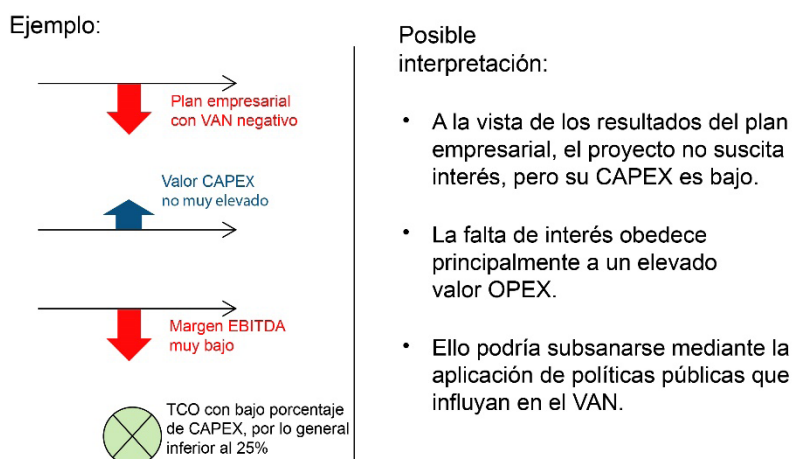
Una vez que se ha concluido un plan empresarial, es fundamental saber interpretar sus resultados. A tal efecto, cabe destacar diversas variables clave:

- Signo del VAN: valor del VAN positivo o no;
- Márgenes de EBITDA: suele reflejar los márgenes de beneficio del proyecto;
- Coste total de propiedad (TCO): suma de los valores CAPEX y OPEX;
- Comparación entre los valores OPEX, CAPEX y VAN;
- Otros indicadores aplicables, en particular los parámetros ROI y el ROIC.

El análisis de la evolución de todas las variables constituye otra interpretación adecuada. Por ejemplo, en los casos en los que se da un VAN negativo con un margen EBITDA negativo y un bajo valor CAPEX (Figura 18). Por lo general, este resultado conllevará que el principal motivo de la falta de interés en el proyecto viene determinado por un valor OPEX elevado. Las políticas públicas que influyen en el VAN contribuyen a evitar ese desequilibrio y a colmar lagunas en el proyecto.

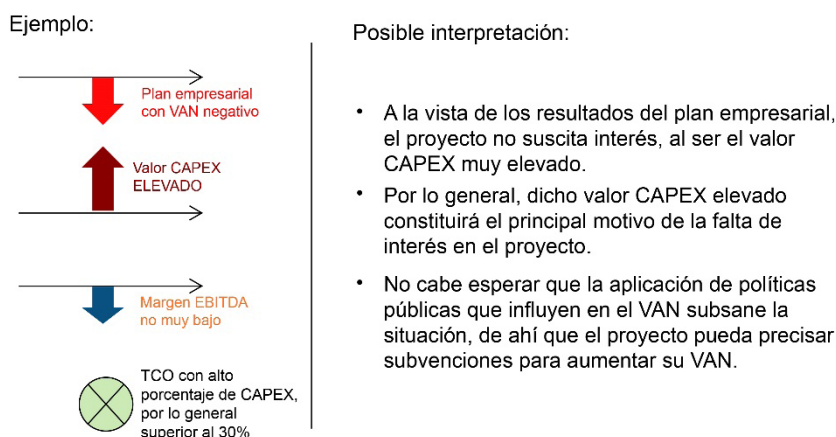
<sup>46</sup> El remanente de activos no amortizados debe añadirse al FCF correspondiente al último año de explotación; puede calcularse mediante la diferencia entre la suma del CAPEX y la suma de los valores de depreciación y amortización calculada a lo largo del año de explotación.

Figura 18: Ejemplo de VAN 1 y posible interpretación



Otro posible ejemplo es el caso hipotético de VAN negativo con margen EBITDA negativo y un elevado valor CAPEX (Figura 19). Por lo general, ese valor CAPEX elevado constituirá el principal motivo de la falta de interés en el proyecto. Puesto que es posible que la aplicación de políticas públicas que influyen en el VAN no subsanen la situación, el proyecto podría precisar subvenciones para aumentar su VAN.

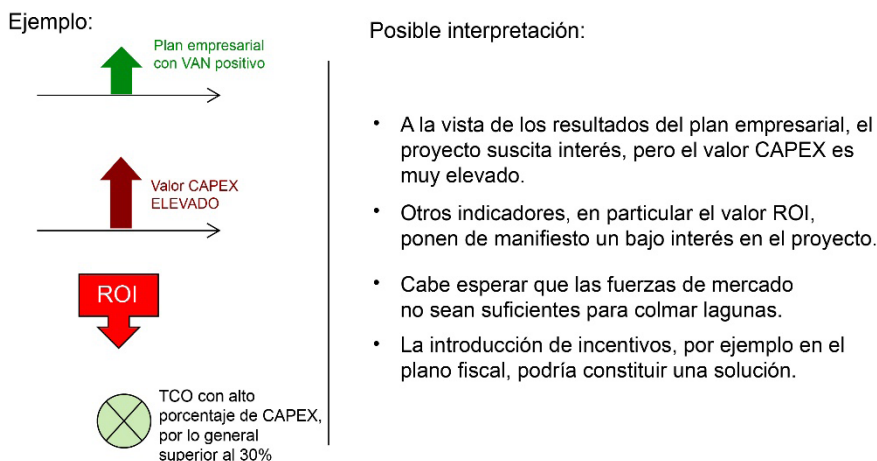
Figura 19: Ejemplo de VAN 2 y posible interpretación



Un tercer ejemplo guarda relación con el caso hipotético de un plan empresarial con VAN positivo (véase la representación de la Figura 20), un valor CAPEX muy elevado y un bajo valor de ROI. El plan empresarial pone de manifiesto que el proyecto suscita interés, si bien las fuerzas de mercado probablemente no serán suficientes para colmar lagunas, habida cuenta de que en el sector privado las inversiones se determinan con arreglo al valor de ROI. En ese caso, la introducción de incentivos, por ejemplo en el plano fiscal, podría constituir una solución.

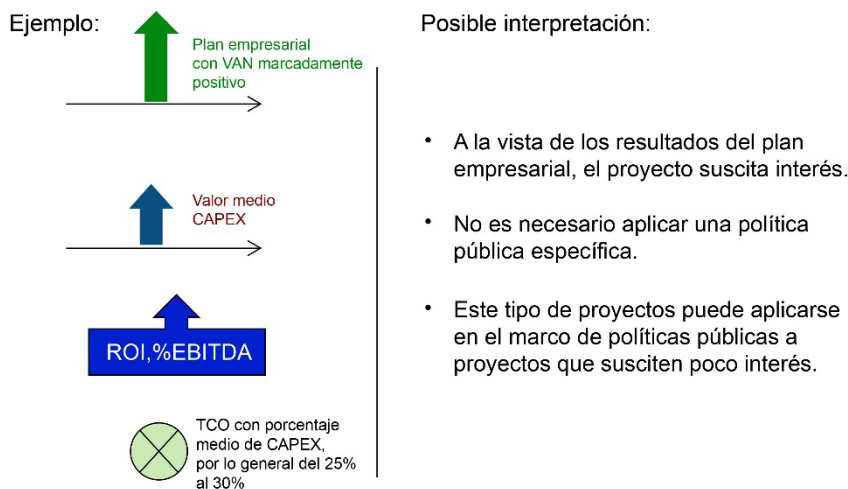


Figura 20: Ejemplo de VAN 3 y posible interpretación



Por último, se proporciona un ejemplo correspondiente al caso hipotético idóneo (véase la Figura 21), en el que el valor de todas las variables, a saber, VAN, EBITDA y ROI, es positivo. Esa situación se da en los casos en los que el valor CAPEX es razonable y las fuerzas del mercado permiten colmar lagunas. El plan empresarial de este tipo de proyectos puede aplicarse en el marco de políticas públicas a proyectos que susciten menos interés.

Figura 21: Ejemplo de VAN 4 y posible interpretación



## 7 Mecanismos de financiación para facilitar la implantación de proyectos de infraestructuras de banda ancha

Los encargados de la formulación de políticas que deseen implantar proyectos de infraestructuras de banda ancha (que precisan amplias inversiones para sufragar costes de desarrollo, concesión de licencias, despliegue de red y actividades administrativas y operacionales) deben llevar a cabo un estudio en profundidad sobre las posibilidades de financiación gubernamental y la disponibilidad de crédito privado a escala nacional, así como sobre las condiciones necesarias para fomentar el interés económico en el proyecto y propiciar inversiones de otros países.

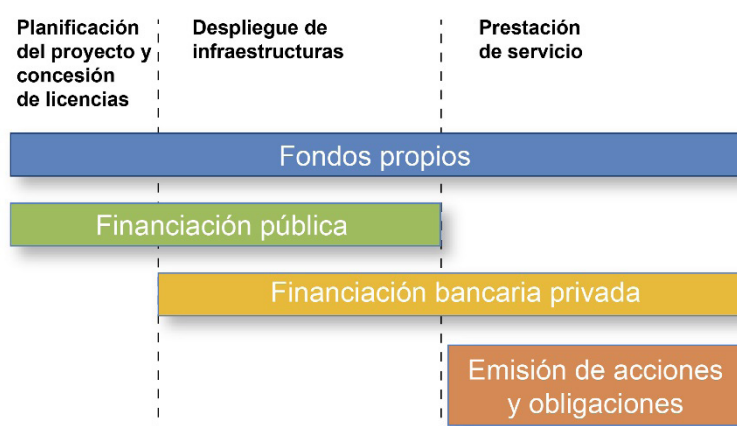
Tener una clara idea de las posibilidades de financiación existentes es clave para evaluar la aplicación de una política pública determinada, en particular en los casos en los que el VAN estimado de un proyecto de infraestructuras ponga de relieve un menor interés en el despliegue de redes y la prestación de servicio en zonas en las que el gobierno haya priorizado la inversión en infraestructuras de telecomunicaciones.

Con objeto de tener una comprensión más cabal de los mecanismos de financiación relacionados con la implantación de grandes proyectos de infraestructuras de banda ancha y determinar las principales partes interesadas y las condiciones de inversión necesarias, conviene desglosar el proceso de cálculo de costes de un proyecto habitual de telecomunicaciones en las tres etapas siguientes:

- i) planificación del proyecto y concesión de licencias para el mismo;
- ii) despliegue de infraestructuras;
- iii) prestación de servicio.

Para cada una de esas etapas, se considerarán los mecanismos habituales de financiación de proyectos de infraestructuras, en particular fondos propios, financiación pública y privada y emisión de acciones y obligaciones.

**Figura 22: Desglose de mecanismos de financiación habituales para proyectos de infraestructuras**



Fuente: UIT

## 7.1 Mecanismos de financiación de proyectos y licencias

La primera etapa del cálculo de costes de un proyecto de infraestructuras de banda ancha desde el punto de vista empresarial conlleva la realización de exhaustivos estudios de mercado, actividades de planificación empresarial, el diseño y dimensionamiento de red, y la obtención de las licencias gubernamentales necesarias para prestar servicio; en función del proyecto de que se trate, ello podría requerir la participación en subastas públicas para adquirir costosas licencias (de acceso al espectro y explotación del mismo bajo licencia, por ejemplo).

Esta etapa del cálculo de costes, en la que no se genera flujo de caja ni se despliega ninguna infraestructura de red, suele financiarse mediante fondos propios o financiación pública, debido a la dificultad de acceder a créditos por medio de los canales de financiación habituales, habida cuenta del elevado nivel de riesgo que ello conlleva. Todo operador interesado en prestar servicios de banda ancha en regiones que son objeto de aplicación de iniciativas políticas públicas puede realizar estudios comerciales que le faciliten la toma de decisiones fundadas sobre la sostenibilidad económica de un determinado proyecto de infraestructuras gubernamental. A tal efecto, el gobierno podría incluso contratar la realización de dichos estudios y publicar sus resultados, a fin de fomentar el interés y atraer al mayor número posible de operadores interesados.

Como se ha puesto de manifiesto en muchos mercados, la adquisición de licencias de espectro para redes de banda ancha inalámbricas suele costar millones o miles de millones de dólares de Estados Unidos. El pago de estos cánones de licencia solía sufragarse anteriormente mediante fondos propios, pero con objeto de destinar dichos fondos a la inversión en infraestructuras de red, no al pago íntegro inicial de cánones, la financiación pública de los cánones de licencia (que deben abonarse a lo largo de los años de explotación del servicio con bajos tipos de interés) permite un enfoque alternativo, que resulta de interés no sólo para los grandes operadores establecidos a escala nacional, sino también para empresas de menor tamaño que deseen acceder al mercado de banda ancha móvil.

La disponibilidad de este tipo de financiación pública constituye un obstáculo de entrada menor y fomenta el interés económico en proyectos de infraestructuras de telecomunicaciones. Por otro lado, la previsión de un único pago anual de cánones de licencia por todo un año de explotación puede liberar fondos de las empresas interesadas para que éstas los destinen a una mayor inversión en despliegue de redes.

Por último, pese a que el coste crediticio en esta primera etapa del cálculo de costes suele ser más elevado, los operadores establecidos en el mercado de telecomunicaciones local que mantienen una estrecha relación con el mercado bancario privado pueden obtener créditos a tipos de interés razonables.

## 7.2 Mecanismos de financiación del despliegue de infraestructuras

La etapa de cálculo de los costes de despliegue de infraestructuras de red es la que requiere más capital en los proyectos de banda ancha. Habida cuenta de ello, cabe utilizar un conjunto de mecanismos de financiación para facilitar el despliegue de instalaciones de infraestructuras pasivas y activas en las localidades a las que se destinan las políticas públicas.

La utilización de fondos propios en esta etapa de cálculo constituye una mera opción, pero de forma sorprendente, quizá sea menos frecuente que otros mecanismos de financiación.

Por lo general, ello obedece al mayor coste de los fondos propios con respecto a los tipos de interés de la financiación mediante créditos públicos o privados para invertir en proyectos de infraestructuras. Por ejemplo, la mayoría de los gobiernos conceden incentivos fiscales a los créditos a la inversión, lo que permite al mercado bancario privado ofrecer créditos a la inversión a tipos de interés más bajos. Los propios gobiernos ofrecen créditos a la inversión a tipos de interés subvencionados, a través de bancos de desarrollo con objeto de fomentar la puesta en marcha de infraestructuras a escala nacional.

Por esos motivos, el crédito a la inversión ofrecido en el mercado bancario público o privado constituye el mecanismo de financiación más destacado para facilitar la costosa etapa del despliegue de red, aunque ese tipo de mecanismo de financiación favorece de forma inevitable los proyectos de infraestructuras económicamente sostenibles a largo plazo. El acceso al mercado privado de crédito a la inversión suele requerir una planificación empresarial exhaustiva y meticulosa que demuestre la viabilidad económica del proyecto de infraestructuras que se prevé financiar.

No obstante, muchos proyectos de infraestructuras incluidos en iniciativas de política pública no suscitan interés alguno, por sus propias características, en el plano económico, ya que, de lo contrario, su inclusión produciría efectos de exclusión no deseados, es decir, dificultaría la inversión privada al sustituir dicha inversión por inversión pública. Para estos proyectos de infraestructuras de escaso interés económico, las subvenciones gubernamentales pueden constituir el mecanismo de financiación más eficaz. Dichas subvenciones pueden aplicarse de forma directa o indirecta al mercado de telecomunicaciones a escala local con objeto de suscitar mayor interés en esos proyectos.

Las subvenciones directas pueden facilitarse, por ejemplo, a través de fondos de obligación de servicio universal constituidos específicamente para fomentar el desarrollo de las telecomunicaciones, o mediante exenciones fiscales específicas aplicables a los operadores que se comprometan a participar en el proyecto. Las subvenciones indirectas pueden obtenerse, por ejemplo, mediante la reducción de los cánones para la concesión de licencias espectro, a cambio de un compromiso para el despliegue y prestación de servicios en zonas de escaso interés, o por medio de la transformación del aplazamiento de la imposición de sanciones a operadores en obligaciones de despliegue y prestación de servicios de banda ancha en regiones de escaso interés.

Por último, determinados operadores pueden aprovechar su participación en nuevos proyectos de banda ancha para mejorar sus expectativas comerciales y, en consecuencia, obtener financiación mediante la emisión de acciones y obligaciones, si bien este mecanismo de financiación es más habitual en la etapa de cálculo de costes de la prestación del servicio, por los motivos que se reseñan en la sección 7.3.

### **7.3 Mecanismos de financiación de la prestación de servicios**

La etapa final del cálculo de costes de un proyecto de banda ancha, y la que más tiempo requiere, da comienzo con las actividades de explotación de red y de prestación de servicio. Esta etapa se caracteriza por una intensa generación de fondos y la necesidad de capital circulante para sufragar costes administrativos, operacionales y de mantenimiento, así como la inversión continuada en la ampliación y modernización de la red.

Puesto que el costo del capital circulante suele ser elevado en los mercados crediticios, la utilización de fondos propios con este fin es muy habitual. Por otro lado, el coste de oportunidad de la utilización de fondos propios para fomentar el flujo de caja de una operación a largo plazo tiende a aumentar a un ritmo muy rápido, de ahí que otros mecanismos de financiación, en particular la emisión de acciones y obligaciones, constituyan alternativas de financiación a largo plazo más adecuadas.

Una explotación rentable que genere ingresos sólidos cada vez mayores puede resultar del interés de inversores que deseen obtener una remuneración justa a largo plazo mediante bonos de deuda. Habida cuenta de ello, cuanto más rentable sea el flujo de caja de la explotación, mayor será el interés de una empresa para obtener financiación mediante la emisión de acciones y obligaciones, puesto que la sostenibilidad económica de la explotación dará lugar a una mayor valoración de las acciones y a menores tipos de interés aplicados a los bonos de deuda.

Pese a que, por lo general, es costoso obtener financiación bancaria privada para aumentar el capital circulante necesario en esta etapa, determinados operadores multinacionales pueden acceder al mercado crediticio internacional con tipos de interés más bajos a fin de financiar la prestación de servicios. Pero en la mayoría de los casos, atraer capital internacional para el despliegue de la banda ancha constituirá una gran dificultad, debido al gran riesgo que ello conlleva, en particular riesgo de aumento de los costes financieros, disminución de demanda o fluctuación de los tipos de cambio.

Podría ser útil que los gobiernos que deseen promover el despliegue de redes de banda ancha en zonas insuficientemente atendidas ofrezcan algún mecanismo para mitigar el riesgo de la demanda, por ejemplo proponer garantías financieras al operador para contrarrestar una disminución de ingresos en caso de reducción imprevista de la demanda, o vincular el cobro de cánones anuales en concepto de licencia a la capacidad anual de generación de ingresos del operador.

El riesgo de fluctuación de los tipos de cambio se produce en los casos en los que la divisa en la que se ha obtenido la financiación (ya sea el capital propio del operador, o el de terceros) difiere de la divisa en la que deben sufragarse los costes del proyecto empresarial. Un mecanismo que los gobiernos suelen utilizar para reducir ese riesgo es la contratación de un seguro con cobertura frente a tipos de cambio, con el fin de mitigar los efectos de una fluctuación sustancial de los tipos de cambio en el plan empresarial del operador.

El riesgo de aumento de los costes financieros a lo largo del proyecto obedece a los efectos de la amplia variación de los tipos de interés económico en el tipo de interés relativo a la financiación contratada en el país. Una forma que tienen los gobiernos de mitigar ese riesgo es contratar permutas financieras de tipos de interés, a fin de suscitar mayor interés económico en el proyecto empresarial con respecto a inversiones de otros países.

## 8 Conclusiones

En la presente revisión del conjunto de herramientas de infraestructuras de TIC se han tenido en cuenta nuevos aspectos relativos a las tecnologías 5G, sobre la base de la serie de eventos de formación de la Academia de la UIT en varias regiones<sup>47</sup>. La demanda de los participantes en la formación de todas las regiones puso de manifiesto la acuciante necesidad de contar con la capacidad necesaria para planificar el despliegue de redes 5G a escala nacional.

Con objeto de abordar todos los aspectos clave de la tecnología 5G, o cualquier otra red inalámbrica o fija, en el conjunto de herramientas de planificación empresarial se examinan los mecanismos de prácticas idóneas en materia de planificación, la estimación de costes, demanda e ingresos, y la evaluación de opciones de financiación, en particular con respecto a los proyectos que prestan servicio a zonas de escaso interés económico.

Entender la manera de formular y analizar cuantitativamente los proyectos de instalación y despliegue relacionados con redes 5G, habida cuenta de que cabe esperar que constituyan el principal factor determinante de la política pública sobre telecomunicaciones y TIC a lo largo de los próximos años, reviste suma importancia.

El establecimiento de un plan empresarial para implantar redes de TIC en zonas desatendidas, distantes o rurales es primordial para los encargados de la formulación de políticas, que deberán tener en cuenta aspectos referentes a la instalación, explotación, migración y sostenibilidad de infraestructuras a escalas nacional e internacional, así como los costes relativos asociados a la instalación y al despliegue de redes, y las estrategias idóneas para financiar las inversiones necesarias.

El presente conjunto de herramientas proporciona a los encargados de la formulación de políticas y a los organismos de reglamentación técnicas avanzadas para determinar con precisión el grado de viabilidad económica de un proyecto mediante el cálculo de su valor actual neto (VAN).

Como se detalla en el conjunto de herramientas, los encargados del diseño de redes TIC que deseen poner en marcha proyectos de infraestructuras de banda ancha, que requieren por lo general una gran inversión, deberían realizar un estudio en profundidad de las posibles opciones de financiación gubernamental, así como de la disponibilidad de crédito privado en el mercado nacional, con el fin de comprender claramente las condiciones que contribuyen a fomentar el interés económico de un proyecto con respecto a la inversión de capital de otros países. Ello reviste particular importancia en los casos en los que el VAN estimado del proyecto pone de manifiesto una falta de interés económico en el despliegue de red y la prestación de

---

<sup>47</sup> Actividades de formación de la Academia de la UIT sobre planificación empresarial para el desarrollo de infraestructuras de TIC:

- Escala internacional (octubre-noviembre de 2020): Formación de la UIT sobre planificación empresarial para el desarrollo de infraestructuras de TIC;
- Europa (marzo-mayo de 2021): Actividades de formación en Europa sobre planificación empresarial para el desarrollo de infraestructuras, Academia de la UIT;
- África (inglés) (mayo-junio 2021): Actividades de formación en África sobre planificación empresarial para el desarrollo de infraestructuras de TIC, Academia de la UIT;
- África (francés) (octubre-diciembre de 2021): Formation en ligne de l'UIT pour l'Afrique sur la Planification des activités pour le développement des infrastructures TIC (Formación en línea de la UIT para África sobre planificación de actividades para el desarrollo de infraestructuras de TIC, Academia de la UIT).

servicio en zonas consideradas prioritarias a nivel gubernamental para promover la inversión en infraestructuras de telecomunicaciones.

A tal efecto, cabe destacar los cuatro principios enumerados a continuación, por los que debería regirse todo plan empresarial de política pública:

- 1) Fomento de la producción, el mantenimiento y la utilización de tanta información abierta como sea posible.
- 2) Utilización de estudios de fuentes fidedignas internacionales reconocidas.
- 3) Aplicación de herramientas auditables.
- 4) Realización de estimaciones conservadoras.

Estas recomendaciones son primordiales para aumentar la credibilidad y precisión de todo el proceso de planificación empresarial.

Habida cuenta de las amplias lagunas en materia de infraestructuras de TIC que siguen existiendo en muchos países, la UIT seguirá brindando apoyo para facilitar la conectividad de todos y el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas mediante la provisión de herramientas y programas de formación eficaces que permitan formular de manera idónea planes empresariales de infraestructuras de TIC para el despliegue de redes, en particular en zonas rurales distantes.

## Siglas

ARPU	Ingresos medios por usuario
CAPM	Modelo de valoración de activos financieros
CAPEX	Gastos de capital
CPE	Equipos en las instalaciones del cliente
CRP	Prima de riesgo de país
DWDM	Multiplexación por división de longitud de onda densa
DSL	Línea digital de abonado
EBIT	Beneficios antes de intereses e impuestos
EBITDA	Beneficios antes de intereses, impuestos, depreciación y amortización
EMBB	Banda ancha móvil mejorada
FTTH	Fibra hasta el hogar
FTTO	Fibra hasta la central
FWA	Acceso inalámbrico fijo
4G	Norma de cuarta generación
5G	Norma de quinta generación
FCF	Flujo de caja libre
FAC	Coste íntegramente asignado
FWA	Acceso inalámbrico fijo
HC	Hogar conectado
HP	Hogar con cobertura de servicio
HFC	Sistema híbrido de fibra óptica y cable coaxial
HSPA	Acceso de alta velocidad por paquetes
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
IoT	Internet de las Cosas
IMT	Telecomunicaciones móviles internacionales
IPB	Cesta de precios de las TIC de la UIT
I+D	Investigación y desarrollo
LTE	Evolución a largo plazo
MOU	Minutos de utilización
MRP	Prima de riesgo de mercado



(continuación)

mMTC	Comunicaciones masivas de tipo máquina
M2M	Máquina a máquina
NA	Sistema autónomo
NSA	Sistema no autónomo
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OCF	Flujo de caja operacional
ODN	Red de distribución óptica
OLT	Terminal de línea óptica
ONT	Terminal de red óptica
OPEX	Gastos operacionales
PIB	Producto interior bruto
PIBPH	Producto interior bruto por habitante
PPP	Asociación público-privada
QAM	Modulación de amplitud en cuadratura
RAN	Red de acceso radioeléctrico
ROI	Rentabilidad de la inversión
RPM	Ingresos por minuto
SDH	Jerarquía digital síncrona
SMP	Capacidad para influir ampliamente en el mercado
3G	Norma de tercera generación
TCO	Coste total de explotación
TIC	Tecnologías de la información y la comunicación
TIR	Tasa interna de rentabilidad
URLLC	Comunicaciones ultra fiables de baja latencia
USF	Fondo de servicio universal
VAN	Valor actual neto
WACC	Coste medio ponderado del capital
WCDMA	Acceso múltiple por división de código de banda ancha

## Bibliografía

Berk, J., DeMarzo, P. & Stangeland, D. (2015) *Corporate Finance* (3rd Canadian ed.), Pearson Canada (Toronto) ISBN 978-0133552683, p. 64.

Blume, M. (1979) *Betas and Their Regression Tendencies: Some Further Evidence*, Journal of Finance, volumen 34, número 1, 265-67.

Brown, S.J & Warner, J.B. (1980) *Measuring Security Price Performance*, Journal of Financial Economics, volumen 8, número 3, 205-58.

Brown, S.J & Warner, J.B. (1985) *Using Daily Stock Returns: The Case of Event Studies*, Journal of Financial Economics, volumen 14, número 1, 3-31.

Bruner, R.F., Eades, K.M., Harris, R.S. & Higgins, R.C. (1998) *Best Practices in Estimating the Cost of Capital: Survey and Synthesis*, Financial Practice and Education, primavera y verano, 13-28.

Cadman, R. y Dineen, C. (2008) *Price and income elasticity of demand for broadband subscriptions: A cross-sectional model of OECD countries*, SPC Network, [https://spcnetwork.eu/uploads/Broadband\\_Price\\_Elasticity.pdf](https://spcnetwork.eu/uploads/Broadband_Price_Elasticity.pdf)

Cardona, M. et al. (2009) *Demand estimation and market definition for broadband Internet services*, Journal of Regulatory Economics, volumen 35, número 1, 70-95.

Cisco Systems Inc., (2017) *Cisco Visual Networking Index Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021*, libro blanco, <https://bit.ly/2vu69MQ>

Copeland, T.E., Koller, T., & Murrin, J. (1999) *Valuation: Measuring and Managing the Value of Companies*, John Wiley and Sons.

Damodaran, A. (2001) *Corporate Finance: Theory and Practice*, (2<sup>nd</sup> edition) John Wiley and Sons, Nueva York.

Damodaran, A. (1999) *The Dark Side of Valuation: Firms with No Earnings, No History and No Comparables*, NYY Working Paper n° FIN-99-022.

Dimson, E. (1979) *Risk Measurement When Shares are Subject to Infrequent Trading*, Journal of Financial Economics, volumen 7, número 2, 197-226.

Ericsson (2019) 5G for business a 2030 market compass, <https://www.ericsson.com/en/5g/5g-for-business/5g-for-business-a-2030-market-compass>

Fildes, R. & Kumar, V (2002) *Telecommunications demand forecasting - a review*, International Journal of Forecasting, volumen 18, número 4, 489-522.

Garbacz, C. & Thompson, H. G. (2007) *Demand for telecommunication services in developing countries*, Telecommunications Policy, volumen 31, número 5, 276-289.

GSMA (2018) *Network Slicing Use Case Requirements*, <https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2018/07/Network-Slicing-Use-Case-Requirements-fixed.pdf>

Mapas de banda ancha de la UIT (2019), disponibles en: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Technology/Pages/InteractiveTransmissionMaps.aspx>

ITU DataHub, <https://datahub.itu.int/>

Portal de desarrollo de infraestructuras de la UIT, disponible en: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regulatory-Market/Pages/InfrastructurePortal.aspx>

ITU Key 2005 - 2018 ICT Data, disponible en [https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/statistics/2018/ITU\\_Key\\_2005-2018\\_ICT\\_data\\_with%20LDCs\\_rev27Nov2018.xls](https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/statistics/2018/ITU_Key_2005-2018_ICT_data_with%20LDCs_rev27Nov2018.xls).

Recomendaciones UIT-T, Serie G: Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales, disponible en <https://www.itu.int/rec/T-REC-G/en>

Recomendación UIT-R M.2083-0 (09/2015) de la UIT, Concepción de las IMT - Marco y objetivos generales del futuro desarrollo de las IMT para 2020 y en adelante, disponible en [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.2083-0-201509-!!PDF-E.pdf).

Mitscenkov, A., Kantor, M., Casier, K., Lannoo, B., Wajda, K., Chen, J., & Wosinska, L. (2013) *Geometric versus Geographic Models for the Estimation of an FTTH Deployment*, Telecommunication Systems, Volume 54, 113-127, <https://doi.org/10.1007/S11235-013-9720-3>

Hamada, R.S. (1972) *The Effect of the Firm's Capital Structure on the Systematic Risk of Common Stocks*, Journal of Finance, volumen 27, 435-452.

Hausman, J. A. & Ros, A. J. (2013) *An econometric assessment of telecommunications prices and consumer surplus in Mexico using panel data*, Journal of Regulatory Economics, volumen 43, número 3.

Huawei (2019) *\$1.4tn of benefits in 2030: 5G's impact on industry verticals*, <https://carrier.huawei.com/~media/CNBGV2/download/program/Industries-5G/5G-Impact-on-Industry-Verticals.pdf>.

Katz, Raul L. (2009) *Estimating broadband demand and its economic impact in Latin America*, actas de la 3ª Conferencia Acorn-Redecom, Ciudad de México.

Khan, M.Y. (1993) *Theory & Problems in Financial Management*, McGraw Hill Higher Education, ISBN 978-0-07-463683-1.

Knoll, T. M. (2012) *LTE Network Design from a Techno-Economic Perspective*, <https://bit.ly/2DcitnT>.

Landsburg, S. E. (2001) *Price Theory and Applications*, South-Western, 5ª edición.

Gregory Mankiw, N. (2000) *Principios de microeconomía*. South-Western, 2ª edición.

Salcedo, A. & Kuhlmann, F. (2016) *A model to estimate the broadband and Internet access demand for typical Mexican rural communities*, Communication Policy Research Latin America, volumen 10.

Scholes, M. & Williams, J.T. (1977) *Estimating Betas from Nonsynchronous Data*, Journal of Financial Economics, volumen 5, número 3, 309-27.

Paolini, M. (2012) *The economics of small cells and Wi-Fi offload*, Senza Fili Consulting.

Roberts, M. (2014) *Smartphone use transforming with the rise of 4G and WiFi*, Informa Telecoms & Media.

Sobolewski, M. & Kopczewski, T. (2017) *Estimating demand for fixed-line telecommunication bundles*, Telecommunications Policy, volumen 41, número 4, 227-241.

**Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT)**  
**Oficina de Desarrollo de las Telecomunicaciones (BDT)**  
**Oficina del Director**  
Place des Nations  
CH-1211 Ginebra 20  
Suiza  
Correo-e: [bdttdirector@itu.int](mailto:bdttdirector@itu.int)  
Tel.: +41 22 730 5035/5435  
Fax: +41 22 730 5484

**Director Adjunto y Jefe del Departamento de Administración y Coordinación de las Operaciones (DDR)**  
Place des Nations  
CH-1211 Ginebra 20  
Suiza  
Correo-e: [bdtdeputydir@itu.int](mailto:bdtdeputydir@itu.int)  
Tel.: +41 22 730 5131  
Fax: +41 22 730 5484

**Departamento de Redes y Sociedad Digitales (DNS)**  
Correo-e: [bdt-dns@itu.int](mailto:bdt-dns@itu.int)  
Tel.: +41 22 730 5421  
Fax: +41 22 730 5484

**Departamento del Centro de Conocimientos Digitales (DKH)**  
Correo-e: [bdt-dkh@itu.int](mailto:bdt-dkh@itu.int)  
Tel.: +41 22 730 5900  
Fax: +41 22 730 5484

**Departamento de Asociaciones para el Desarrollo Digital (PDD)**  
Correo-e: [bdt-pdd@itu.int](mailto:bdt-pdd@itu.int)  
Tel.: +41 22 730 5447  
Fax: +41 22 730 5484

## África

**Etiopía**  
**International Telecommunication Union (ITU)**  
**Oficina Regional**  
Gambia Road  
Leghar Ethio Telecom Bldg. 3<sup>rd</sup> floor  
P.O. Box 60 005  
Adis Abeba  
Etiopía

Correo-e: [itu-ro-africa@itu.int](mailto:itu-ro-africa@itu.int)  
Tel.: +251 11 551 4977  
Tel.: +251 11 551 4855  
Tel.: +251 11 551 8328  
Fax: +251 11 551 7299

**Camerún**  
**Union internationale des télécommunications (UIT)**  
**Oficina de Zona**  
Immeuble CAMPOST, 3<sup>e</sup> étage  
Boulevard du 20 mai  
Boîte postale 11017  
Yaoundé  
Camerún

Correo-e: [itu-yaounde@itu.int](mailto:itu-yaounde@itu.int)  
Tel.: +237 22 22 9292  
Tel.: +237 22 22 9291  
Fax: +237 22 22 9297

**Senegal**  
**Union internationale des télécommunications (UIT)**  
**Oficina de Zona**  
8, Route du Méridien Président  
Immeuble Rokhaya, 3<sup>e</sup> étage  
Boîte postale 29471  
Dakar – Yoff  
Senegal

Correo-e: [itu-dakar@itu.int](mailto:itu-dakar@itu.int)  
Tel.: +221 33 859 7010  
Tel.: +221 33 859 7021  
Fax: +221 33 868 6386

**Zimbabwe**  
**International Telecommunication Union (ITU)**  
**Oficina de Zona**  
USAF POTRAZ Building  
877 Endeavour Crescent  
Mount Pleasant Business Park  
Harare  
Zimbabwe

Correo-e: [itu-harare@itu.int](mailto:itu-harare@itu.int)  
Tel.: +263 242 369015  
Tel.: +263 242 369016

## Américas

**Brasil**  
**União Internacional de Telecomunicações (UIT)**  
**Oficina Regional**  
SAUS Quadra 6  
Ed. Luis Eduardo Magalhães,  
Bloco "E", 10<sup>o</sup> andar, Ala Sul  
(Anatel)  
CEP 70070-940 Brasilia – DF  
Brasil  
Correo-e: [itubrasilia@itu.int](mailto:itubrasilia@itu.int)  
Tel.: +55 61 2312 2730-1  
Tel.: +55 61 2312 2733-5  
Fax: +55 61 2312 2738

**Barbados**  
**International Telecommunication Union (ITU)**  
**Oficina de Zona**  
United Nations House  
Marine Gardens  
Hastings, Christ Church  
P.O. Box 1047  
Bridgetown  
Barbados  
Correo-e: [itubridgetown@itu.int](mailto:itubridgetown@itu.int)  
Tel.: +1 246 431 0343  
Fax: +1 246 437 7403

**Chile**  
**Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)**  
**Oficina de Representación de Área**  
Merced 753, Piso 4  
Santiago de Chile  
Chile  
Correo-e: [itusantiago@itu.int](mailto:itusantiago@itu.int)  
Tel.: +56 2 632 6134/6147  
Fax: +56 2 632 6154

**Honduras**  
**Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)**  
**Oficina de Representación de Área**  
Colonia Altos de Miramontes  
Calle principal, Edificio No. 1583  
Frente a Santos y Cía  
Apartado Postal 976  
Tegucigalpa  
Honduras  
Correo-e: [itutegucigalpa@itu.int](mailto:itutegucigalpa@itu.int)  
Tel.: +504 2235 5470  
Fax: +504 2235 5471

## Estados Árabes

**Egipto**  
**International Telecommunication Union (ITU)**  
**Oficina Regional**  
Smart Village,  
Building B 147, 3<sup>rd</sup> floor  
Km 28 Cairo  
Alexandria Desert Road  
Giza Governorate  
El Cairo  
Egipto

Correo-e: [itu-ro-arabstates@itu.int](mailto:itu-ro-arabstates@itu.int)  
Tel.: +202 3537 1777  
Fax: +202 3537 1888

**Asia-Pacífico**  
**Tailandia**  
**International Telecommunication Union (ITU)**  
**Oficina Regional**  
4<sup>th</sup> floor NBTC Region 1 Building  
101 Chaengwattana Road  
Laksi,  
Bangkok 10210  
Tailandia

*Dirección postal:*  
P.O. Box 178, Laksi Post Office  
Laksi, Bangkok 10210, Tailandia  
Correo-e: [itu-ro-asiapacific@itu.int](mailto:itu-ro-asiapacific@itu.int)  
Tel.: +66 2 574 9326 – 8  
+66 2 575 0055

**Indonesia**  
**International Telecommunication Union (ITU)**  
**Oficina de Zona**  
Sapta Pesona Building, 13<sup>th</sup> floor  
Jl. Merdan Merdeka Barat No. 17  
Jakarta 10110  
Indonesia

Correo-e: [itu-ro-asiapacific@itu.int](mailto:itu-ro-asiapacific@itu.int)  
Tel.: +62 21 381 3572  
Tel.: +62 21 380 2322/2324  
Fax: +62 21 389 55521

**India**  
**International Telecommunication Union (ITU) Area Office and Innovation Centre**  
C-DOT Campus  
Mandi Road  
Chhatrapur, Mehrauli  
New Delhi 110030  
India

Correo-e: [itu-ro-southasia@itu.int](mailto:itu-ro-southasia@itu.int)

## Países de la CEI

**Federación de Rusia**  
**International Telecommunication Union (ITU) Oficina Regional**  
4, Building 1  
Sergiy Radonezhsky Str.  
Moscú 105120  
Federación de Rusia  
Correo-e: [itumoscov@itu.int](mailto:itumoscov@itu.int)  
Tel.: +7 495 926 6070

## Europa

**Suiza**  
**Unión Internacional de las Telecomunicaciones (UIT)**  
**Oficina Regional**  
Place des Nations  
CH-1211 Ginebra 20  
Suiza  
Correo-e: [eurregion@itu.int](mailto:eurregion@itu.int)  
Tel.: +41 22 730 5467  
Fax: +41 22 730 5484

Unión Internacional de Telecomunicaciones  
Oficina de Desarrollo de las Telecomunicaciones  
Place des Nations  
CH-1211 Ginebra 20  
Suiza

ISBN: 978-92-61-36513-4



9 789261 365134

Publicado en Suiza  
Ginebra, 2023

Derechos de las fotografías: Adobe Stock