

# Conjunto de herramientas para la planificación de negocio de la infraestructura de TIC

2019





# Conjunto de herramientas para la planificación de negocio de la infraestructura de TIC

2019

## Agradecimientos

Este Informe ha sido elaborado por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), lo han redactado los expertos de la UIT Tiago Sousa Prado, Priscila Honório Evagelista, y Abraão Balbino e Silva, bajo la supervisión de la Oficina de Desarrollo de la Telecomunicaciones (BDT) de la UIT.

ISBN

978-92-61-28873-0 (Versión impresa)

978-92-61-28883-9 (Versión electrónica)

978-92-61-28893-8 (Versión EPUB)

978-92-61-28903-4 (Versión Mobi)



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

© ITU 2020

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/>



Nuestra sociedad, cada vez más digitalizada, construida alrededor del acceso de alta velocidad siempre disponible a servicios, aplicaciones y contenidos, depende de unas infraestructuras de TIC omnipresentes, asequibles, modernas y resilientes.

Extender el acceso a Internet de banda ancha a las poblaciones no atendidas o insuficientemente atendidas para acelerar el progreso hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas es uno de los pilares fundamentales de las políticas públicas y de las reglamentaciones de telecomunicaciones y TIC en todo el mundo.

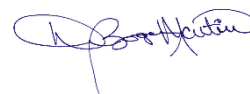
A finales de 2018, la UIT publicó que, por primera vez, más de la mitad de la población mundial utiliza Internet. Esta cifra es alentadora, pero debemos recordar que una mitad del mundo conectada significa también que la otra mitad no está conectada.

La escasez crónica de infraestructura es una de las principales causas – la falta de redes de transporte, las redes de acceso, la falta de capacidad de los usuarios finales para adquirir equipos y dispositivos terminales, o incluso para pagar los servicios cuando están disponibles – que se traducen en una falta de proveedores dispuestos o incluso capaces de ofrecer acceso y servicios.

El establecimiento de acuerdos reglamentarios adecuados y de medidas de conectividad, así como la elaboración de las herramientas adecuadas para fomentar el despliegue de infraestructura, en particular en las zonas rurales y remotas, son fundamentales para promover una inclusión digital plena a través de un acceso universal a tecnologías y servicios en línea rápidos y fiables.

El presente conjunto de herramientas ofrece a los reguladores y los responsables de establecer políticas una metodología clara y práctica para un análisis económico riguroso de las propuestas de los planes de instalación y despliegue de infraestructura de banda ancha. Creemos que la orientación de expertos ofrecida en este documento facilitará en gran medida la elaboración de un plan de negocio creíble y coherente, adaptable a una amplia gama de proyectos de desarrollo de infraestructura de banda ancha.

Espero que este nuevo conjunto de herramientas se convertirá pronto en un manual indispensable para los reguladores y los responsables de políticas de todo el mundo, en su esfuerzo para llevar las redes y el acceso de banda ancha a todos.



Doreen Bogdan-Martin  
Directora de la Oficina de Desarrollo de las Telecomunicaciones





Prólogo	v
1 Planificación del negocio de banda ancha	1
1.1 El plan de negocio	5
1.2 Retos en la elaboración de un plan de negocio	8
1.3 La planificación de negocio como herramienta de política pública	9
2 Estimación de la demanda para los servicios de banda ancha	11
2.1 Estimación de la demanda mediante métodos econométricos	13
2.2 Estimación de la demanda mediante el método Delphi	15
2.3 Descomposición de la demanda en varios segmentos	16
2.4 Estimación de la cuota de mercado de un posible nuevo operador	18
3 Estimación de los ingresos en la prestación de servicios de banda ancha	20
3.1 Estimación de los ingresos para los proyectos de banda ancha móvil	20
3.2 Estimación de los ingresos para los proyectos de banda ancha fija	20
3.3 Estimación de los ingresos para los proyectos de redes de transporte	22
3.4 Comportamiento de los ingresos a lo largo del proyecto	22
4 Estimación de las inversiones en las redes de banda ancha (CAPEX)	22
4.1 Redes de acceso de banda ancha móvil	23
4.2 Redes de acceso de banda ancha fija	29
4.3 Redes de transporte	40
5 Estimación de los gastos operativos (OPEX) para la prestación del servicio de banda ancha	41
5.1 Utilización de modelos de costos para la estimación del OPEX	41
5.2 Utilización de costos y gastos anteriores para la estimación del OPEX	44
5.3 Utilización de referencias de comparación para la estimación del OPEX	45
6 Estimación del costo medio ponderado del capital (WACC)	47
7 Mecanismos de financiación para facilitar los proyectos de infraestructura de banda ancha	55
7.1 Mecanismos de financiación del proyecto y las licencias	56
7.2 Mecanismos de financiación del despliegue de infraestructura	57
7.3 Mecanismos de financiación de la prestación de servicios	58
8 Conclusiones	58
Lista de acrónimos	60
Bibliografía	62

## Lista de Cuadros, Figuras y Recuadros

### Cuadros

Cuadro 1: Comparación entre la penetración de banda ancha y la distancia de la población a las conexiones de fibra	2
Cuadro 2: Ejemplos de preguntas para un cuestionario Delphi	16
Cuadro 3: Costos de operación y mantenimiento	43
Cuadro 4: OPEX total	43
Cuadro 5: OPEX total	45
Cuadro 6: OPEX total	46
Cuadro 7: Ventajas e inconvenientes de un CAPM local o mundial	50

### Figuras

Figura 1: Mapa de transmisión de la UIT: las autopistas de la información terrenales (diciembre de 2018)	1
Figura 2: Curva de regresión (penetración de banda ancha en función del PIB per cápita)	14
Figura 3: Ejemplo de descomposición de la demanda de banda ancha móvil	17
Figura 4: Ejemplo de descomposición de la demanda de banda ancha fija	18
Figura 5: Esquema de la estimación de los ingresos netos	20
Figura 6: Red heterogénea LTE	24
Figura 7: Topología de red FTTH	30
Figura 8: Modelo geométrico SSL	34
Figura 9: Composición de costos totales	42
Figura 10: Relación gastos/ingresos netos	43
Figura 11: Relación Gastos históricos/Ingresos netos	45
Figura 12: Relación CAPEX/OPEX	46
Figura 13: OPEX unitario	46
Figura 14: Pasos 1 a 4 del cálculo del VAN	53
Figura 15: Pasos 5 y 6 del cálculo del VAN	53
Figura 16: Distribución de los mecanismos típicos de financiación de los proyectos de infraestructura	56

### Recuadros

Estimación de la cuota de mercado de un posible nuevo operador	19
Estimación de los ingresos para los proyectos de banda ancha fija	21
Macrocélulas	25
Células pequeñas	27
Terminaciones de línea óptica	32
Dimensionamiento de la fibra óptica (nivel de divisores)	33
Cálculo de la fibra óptica (hogares pasados)	37
Utilización de modelos de costos para calcular el OPEX	44
Utilización de costos y gastos anteriores para la estimación del OPEX	46
Estimación del WACC mediante un método CAPM mundial	51
Cálculo del valor actual neto (VAN)	55

## 1 Planificación del negocio de banda ancha

### Introducción

El desarrollo y el despliegue de una red de banda ancha necesita enormes inversiones. Debido a la gran variedad de entornos físicos y económicos en los cuales los proveedores de servicios deben operar, una gran parte de la inversión – desde el I+D hasta los equipos especializados capaces de funcionar en condiciones extremas – está destinada a hacer posible el despliegue y el correcto funcionamiento de las infraestructuras de redes de TIC en múltiples y diferentes mercados en el mundo.

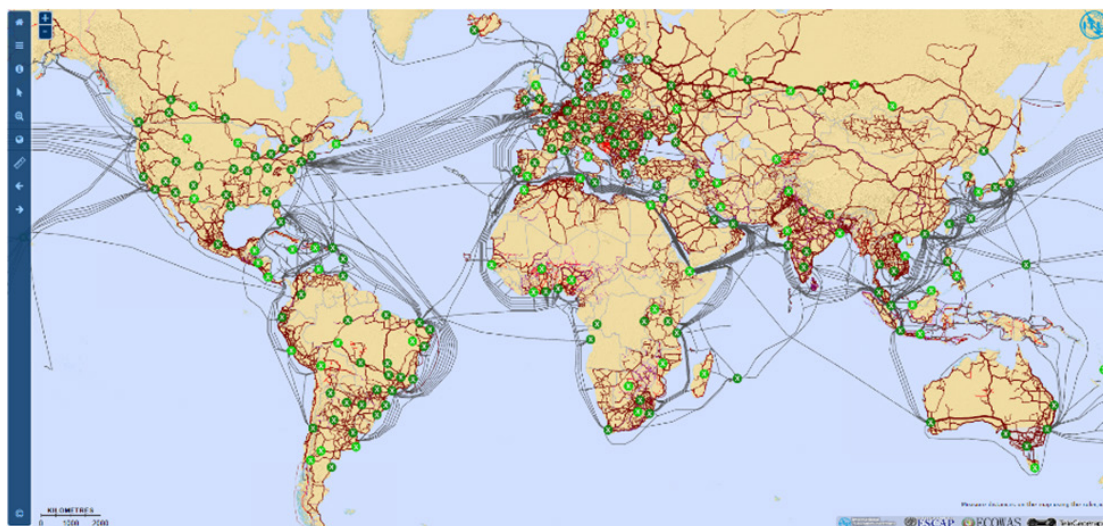
En zonas económicamente atractivas como las ciudades y las grandes poblaciones, la implantación de las infraestructuras se realiza de manera casi natural, porque las fuerzas del mercado actúan para responder a la demanda. La situación, en particular en las zonas rurales y remotas, es a menudo muy diferente debido a las barreras económicas, geográficas y/o demográficas que impiden el acceso de la infraestructura de redes de banda ancha; el resultado es que numerosas personas siguen aisladas del mundo digital.

Los reguladores y los responsables de políticas han buscado mecanismos para extender las redes de banda ancha mediante diferentes estrategias basadas en fondos públicos, los fondos del servicio universal, asociaciones público-privadas, la reducción de los precios mínimos del espectro de radiofrecuencia y otros mecanismos de subvención. Estos objetivos se centran generalmente en la construcción e implantación de redes en las zonas que se consideran con poco atractivo económico, donde las fuerzas del mercado por sí solas no son capaces de proporcionar servicios sin algún tipo de subvención para fomentar de la inversión.

### La brecha digital

Aunque existen tecnologías capaces de ofrecer servicios en zonas remotas y aisladas, y se están desarrollando nuevas tecnologías para responder específicamente a esas necesidades, conectar la segunda mitad de la población mundial sigue siendo un problema complejo, con algunos problemas subyacentes fundamentales: el Mapa interactivo de transmisión de 2018 de la UIT<sup>1</sup> muestra de forma dramática la persistente escasez de redes troncales de alta velocidad en una gran parte del mundo.

Figura 1: Mapa de transmisión de la UIT: las autopistas de la información terrenales (diciembre de 2018)<sup>2</sup>



Fuente: UIT

<sup>1</sup> Infraestructura de TIC para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la UIT, disponible en <https://itu.int/go/map-public>.

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

Además, una comparación entre la penetración de banda ancha y la distancia de la población a las conexiones de fibra, muestra que miles de millones de personas viven en países que siguen sin estar conectados a esta red mundial de transmisión terrenal.

**Cuadro 1: Comparación entre la penetración de banda ancha y la distancia de la población a las conexiones de fibra**

	África	Estados Árabes	Asia y Pacífico	CEI	Europa	Américas	Mundo
<b>Personas que utilizan Internet</b>	24,4%	54,7%	47,0%	71,3%	79,6%	69,6%	51,2%
<b>Abonados de banda ancha fija</b>	0,6%	5,1%	13,6%	19,0%	31,3%	20,6%	14,1%
<b>Abonados de banda ancha móvil activos</b>	29,7%	62,7%	68,3%	79,2%	93,6%	97,1%	69,3%
<b>Población a menos de 10 km de un nodo de fibra</b>	23,6%	23,3%	20,0%	35,1%	58,1%	40,6%	27,2%
<b>Población a menos de 25 km de un nodo de fibra</b>	47,5%	53,8%	47,2%	65,9%	87,5%	75,1%	55,4%
<b>Población a menos de 50 km de un nodo de fibra</b>	68,6%	78,3%	70,3%	82,9%	96,9%	90,1%	75,9%

Fuente: Datos clave de las TIC para 2005-2018 de la UIT

[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)

La UIT estima, empleando su cada vez más completo mapa de redes de transmisión del mundo, que, de una población mundial en unos 7 500 millones de personas<sup>3</sup>, 2 000 millones de personas (27,2%) vivían a menos de 10 km de un nodo de fibra, 4 200 millones (55,4%) a menos de 25 km, 5 700 millones (75,9%) a menos de 50 km, y 6 800 millones (90,5%) a menos de 100 km de un nodo de una red de fibra óptica en funcionamiento. A la inversa, 5 500 millones de personas vivían a más de 10 km, 3 300 millones a más de 25 km, 1 800 millones a más de 50 km y 710 millones de personas a más de 100 km de un nodo operativo de fibra óptica.

Las políticas públicas relacionadas con el acceso a las redes de banda ancha no deberían limitarse solo a identificar la falta de infraestructuras y a imponer la prestación de servicios, deben centrarse sobre todo en identificar mejor las posibles fuentes de financiación y en estrategias más eficaces para fomentar y facilitar la prestación del servicio.

Aunque han existido muchos debates sobre esta cuestión, incluidos muchos estudios, y se han propuesto muchas referencias de comparación y sugerencias para el análisis de las nuevas políticas públicas dedicadas a la promoción de la banda ancha, la mejor estrategia requiere siempre un conocimiento profundo de cada proyecto específico. Por ejemplo, ¿cuál sería el mejor enfoque para proporcionar servicios de banda ancha a una población rural concreta, una infraestructura por satélites o terrenal? o ¿cómo determinar la viabilidad económica del despliegue de una red troncal de fibra óptica en una ciudad concreta?

Existe, por lo tanto, una clara necesidad de identificar, cuantificar y comparar objetivamente diferentes proyectos de infraestructura para evaluar una política pública concreta en base a parámetros técnicos sólidos. Sin embargo, en muchos países, los reguladores y los responsables de políticas desconocen a menudo las metodologías específicas para la ejecución de estas tareas, y confían en mecanismos que no son necesariamente los más eficientes para esas evaluaciones, generando, en definitiva,

<sup>3</sup> Datos de noviembre de 2018.

problemas con la construcción de infraestructuras insuficientes o incluso, a veces, excesivas para una zona específica.

## Planificación del negocio de banda ancha para la instalación y despliegue de infraestructura

El presente conjunto de herramientas ofrece a los reguladores y los responsables de políticas una metodología para elaborar un análisis económico preciso de las propuestas de los proyectos de banda ancha. Su objetivo es que pueda utilizarse como una herramienta práctica para facilitar el análisis exhaustivo de los planes de despliegue e instalación de infraestructuras.

El conjunto de herramientas contiene una serie de principios teóricos, así como directrices prácticas para la estimación del valor actual neto de un proyecto. De manera más específica, define mecanismo para identificar la demanda de un proyecto, sus costos de operación y mantenimiento, los ingresos resultantes, el nivel de inversión necesaria y la identificación de todos los costos de capital necesarios.

Los conceptos económicos y de contabilidad utilizados en esta metodología están ampliamente aceptados y documentados; en ese sentido, no se propone analizarlos o debatirlos en detalle. Se han utilizado, en cambio, para crear una guía práctica destinada a la elaboración de una estrategia para la construcción de infraestructuras de banda ancha y evaluar los planes de negocio de los posibles operadores: ¿Qué tipo de datos utilizar? ¿Cómo utilizar variables como la demanda, las inversiones y los costos operativos? ¿Cómo estimar el costo de capital para diferentes elementos del proyecto?

Para conseguir una comprensión más profunda, se ofrecen ejemplos de proyectos habituales, como la construcción de redes troncales de fibra óptica, de redes de banda ancha inalámbrica 4G LTE (evolución a largo plazo) y de proyectos de redes de acceso de fibra hasta el hogar (FTTH).

Por claridad, se ha dividido este conjunto de herramientas en los siguientes capítulos:

- 1) Principios de planificación del negocio de banda ancha.
- 2) Estimación de la demanda para los servicios de banda ancha.
- 3) Estimación de los ingresos en la prestación de servicios de banda ancha.
- 4) Estimación de las inversiones necesarias para las redes de banda ancha – gastos de capital (CAPEX).
- 5) Estimación de los gastos operativos (OPEX) para la prestación de servicios de banda ancha.
- 6) Estimación del costo medio ponderado del capital (WACC).
- 7) Estimación del valor actual neto (VAN) de los proyectos de infraestructura de banda ancha.
- 8) Mecanismos de financiación.

En el primer capítulo se describen los principios teóricos y la metodología para la estimación del valor actual neto de un proyecto, que se define como el elemento básico para la construcción de cualquier plan de negocio para la prestación de un servicio de banda ancha. En este capítulo también se describe las razones por las cuales los reguladores y los responsables de políticas pueden adoptar esta metodología para la evaluación económica de diferentes tipos de proyectos de banda ancha.

En el segundo capítulo se describen modelos y técnicas para la estimación de la demanda de los servicios de banda ancha, junto con los tipos de datos básicos que pueden utilizarse. Las cuestiones abordadas en este capítulo incluyen: ¿Cómo pueden los responsables de las políticas estimar la demanda de un servicio? ¿Cómo puede esa demanda evolucionar en el tiempo? ¿Cómo puede el entorno competitivo responder a esa demanda?

En el tercer capítulo se aborda la estimación de los ingresos generados por el proyecto en cuestión. Esta variable es fundamental porque define cuándo y cómo se implementan los datos en un proyecto de infraestructura. En este capítulo se dan ejemplos de cómo estimar los ingresos, cómo ajustarlos a la estimación de la demanda y su variación en el tiempo.

En el cuarto capítulo se trata la modelización de los gastos de capital. Esta sección es esencial para todo el ecosistema, y en ella se modelizará el proyecto de infraestructura: los tipos de equipos, las

bases teóricas y las propuestas prácticas para la modelización de las inversiones a lo largo del tiempo para varios tipos de proyectos.

En el quinto capítulo se analizan los gastos de operación. ¿Qué variables son importantes en la modelización de una red de banda ancha? ¿Dónde se consigue la información? ¿Cuál es el mejor enfoque que pueden utilizar los reguladores y los responsables de políticas para modelizar los costos operativos de un proyecto?

En el sexto capítulo se describe el costo medio ponderado del capital, que representa la tasa de descuento del proyecto a analizar. ¿Qué significa esta tasa? ¿Por qué es tan importante? ¿Cómo puede estimarse en ausencia de datos concretos? En este capítulo se proporciona una orientación práctica para calcular esta variable compleja.

En el séptimo capítulo del conjunto de herramientas se presenta un resumen que ofrece orientación para la combinación de todas las variables en una única herramienta a fin de estimar el valor actual neto del proyecto.

En el octavo y último capítulo se analizan los mecanismos financieros y se describen diferentes alternativas posibles que pueden adoptarse en las políticas públicas de banda ancha.

Este nuevo conjunto de herramientas servirá como manual práctico indispensable para los reguladores y los responsables de políticas que trabajan para ampliar el acceso y el despliegue de redes de banda. Los operadores de redes de TIC utilizarán también sus propias herramientas de análisis de proyecto complementarias para responder a las necesidades específicas de su dirección y de los accionistas de la compañía, pero el presente conjunto de herramientas será útil para todos, como una comprensible guía básica para la creación de un plan de negocio que sea creíble y coherente, y adaptable a una amplia gama de proyectos de infraestructura de banda ancha.

## 1.1 El plan de negocio

Un plan de negocio es una herramienta de planificación donde se presentan, de manera ordenada, las principales variables involucradas en la creación y la operación de una empresa. No existe una estructura única, rígida y específica de elaborar un plan de negocio. Sin embargo, un buen plan de negocio debe incluir un mínimo de puntos que deben analizarse con el fin de proporcionar una comprensión de la actividad considerada.

Los objetivos que guían la implementación de un plan de negocio para la instalación y despliegue de la banda ancha deben incluir un análisis preciso de las variables clave que sustentan el negocio. En consecuencia, y exceptuando elementos como las escalas de tributación que vendrán definidas en los instrumentos legales específicos de cada país, pueden y deben estudiarse y estimarse las variables de negocio como demanda, ingresos, inversiones, gastos y costos de capital con el fin de que el resultado final refleje el valor del proyecto en cuestión.

Además, no debe ignorarse la importancia del análisis del entorno competitivo en el cual se desarrollará el negocio, pues tiene una influencia significativa en cuestiones como la demanda y los ingresos asignados al proyecto.

El enfoque utilizado más a menudo para evaluar el valor económico de un activo de telecomunicaciones se realiza desde la perspectiva del flujo de caja. De acuerdo con esta perspectiva, el precio del activo (por ejemplo, radiofrecuencias) debe ser proporcional al resultado económico que el negocio va a generar al utilizar ese activo durante un periodo de tiempo definido.

El valor actual neto (VAN) del flujo de caja libre (FCL) es una metodología utilizada para valorar empresas y proyectos específicos. Este enfoque lo utilizan a menudo los bancos de inversión, las consultoras y los emprendedores cuando quieren calcular el valor de una organización o de uno de sus negocios, ya sea para fines internos y análisis de inversiones o para casos de fusiones y adquisiciones.

En este enfoque, el valor de un negocio concreto se define por el flujo de caja descontado a una tasa que refleja el riesgo asociado con la inversión. El modelo VAN incorpora tres principios generales fundamentales para definir un criterio de decisión de inversión óptimo:

- i) la valoración de la inversión se calcula en base a los flujos de caja operativos;
- ii) el riesgo está incorporado en la valoración económica de la inversión, respetando las preferencias del inversor en cuanto al *conflicto riesgo-rendimiento*;
- iii) el resultado del cálculo identifica el valor actual de los activos en base a las tasas de descuento adecuadas para remunerar a los propietarios del capital.

En base a este marco de análisis, los reguladores pueden utilizar un conjunto normalizado de herramientas financieras para calcular el valor de cualquier proyecto considerado de acuerdo con las condiciones del mercado.

El valor actual neto, calculado por el método del flujo de caja descontado, refleja la cantidad que obtiene una empresa en un proyecto concreto por encima del costo de la inversión realizada, ya remunerada de manera adecuada por una cierta tasa de retorno, el costo de oportunidad del capital. En otras palabras, es el beneficio que puede obtener el empresario, restando el costo de oportunidad y las rentabilidades resultantes que el empresario podría haber conseguido dedicándose a otras actividades.<sup>4</sup>

El cálculo del VAN tiene en cuenta la estimación del conjunto de ingresos y gastos para cada año del negocio durante toda la duración del proyecto, así como las inversiones necesarias para la implementación del servicio.

En otras palabras:

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

donde:

*VAN* = valor actual neto

*FCL<sub>t</sub>* = flujo de caja libre en el periodo *t*

*r* = tasa de descuento (WACC)

*T* = número de periodos

Un modelo general para el cálculo del flujo de caja libre para un periodo de tiempo concreto es:

$$FCL = \{[EBIT(1 - \text{tasa tributaria})] + De + Am\} - CAPEX$$

y

$$EBIT^5 = \text{ingresos} - OPEX$$

<sup>4</sup> Desde un punto de vista financiero, existen otros métodos interesantes para evaluar las empresas y los negocios. Las empresas también utilizan indicadores como la amortización, la tasa de rendimiento interno (TIR) o el rendimiento de la inversión (ROI), por ejemplo, para la evaluación de proyectos. Desde el punto de vista de este conjunto de herramientas, diseñado como guía práctica para reguladores y responsables de políticas, es importante entender la metodología como un concepto básico, que es suficiente para el objetivo de comparar proyectos de infraestructura de banda ancha.

<sup>5</sup> EBIT: beneficio antes de intereses e impuestos.



donde:

*De* = depreciación

*Am* = amortización

*tasa tributaria* = tasas tributarias consideradas

*CAPEX* = gastos de capital

*OPEX* = gastos operativos

A continuación, se incluye un breve resumen del significado de cada una de estas variables; los capítulos siguientes presentan un método práctico y detallado para su estimación.

### Demanda

La variable *demanda* tiene una función particularmente importante en cualquier plan de negocio, pues este dato define la dimensión del mercado del negocio propuesto. La determinación de otras variables como la inversión, los ingresos y los gastos está íntimamente ligada con la previsión de la demanda.

A este punto, es importante subrayar que la estimación del comportamiento de la demanda se produce durante un periodo de tiempo definido que, a estos efectos, corresponde con la duración del proyecto. En consecuencia, el regulador necesita no solamente una noción precisa del negocio al que se dirige la oferta de servicio analizada, sino también de los usuarios potenciales del servicio y de la posible evolución de este potencial en el tiempo.

Para ello, será fundamental disponer de datos estadísticos sobre la renta, la predisposición al gasto y las condiciones socioeconómicas del público objetivo del negocio para definir un modelo preciso de la estimación de demanda. Estos datos son las fuentes utilizadas por todos los que pretenden evaluar el potencial de negocio; no es necesario indicar que cuanto más precisa sea la modelización, más robusta será la evaluación final.

### Ingresos

Cuando se calculan los ingresos potenciales del negocio, es esencial tener un buen conocimiento de las condiciones actuales de prestación del servicio. La comparación con otros mercados, así como la consideración de la existencia de productos alternativos (es decir, productos que competirán directamente con los productos de la propuesta de nuevo negocio) son esenciales para cualquier análisis preciso.

La estimación final de ingresos debe incluir el catálogo completo de productos, como servicios de datos, voz, etc. En este punto, es fundamental conocer la evolución histórica de los ingresos medios por usuario (ARPU) para elaborar un modelo coherente, en particular cuando el proyecto propone un servicio que ya se está prestando. Cualquier análisis debe ser coherente con las condiciones socioeconómicas de la zona considerada, y es, por lo tanto, deseable tener en cuenta estudios demográficos relativos al gasto ya existentes.

### Gastos operativos (OPEX)

Esta variable corresponde con el conjunto de los gastos de operación del negocio modelizado, y se conoce en su conjunto como OPEX. Calcular esta variable es difícil para los reguladores, pues no existen en general datos públicos detallados que permitan su estimación.

En ausencia de datos, los reguladores necesitarán recurrir a estudios específicos del negocio en cuestión y tener en cuenta las principales tecnologías disponibles para la implementación de la infraestructura prevista, así como balances de las compañías que proporcionan servicios similares, tales como los de operadores móviles en otras bandas de frecuencias.

Además, los reguladores pueden utilizar datos de contabilidad recibidos de los proveedores de servicio locales para complementar los análisis de la composición de esos gastos.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el comportamiento de los gastos durante el periodo de la licencia. Como, en principio, el negocio propuesto no está todavía en funcionamiento, el estudio en cuestión representará un nuevo proveedor cuya demanda empieza siendo reducida para crecer con los años. En consecuencia, la curva de gastos seguirá una tendencia proporcional a la estimación de la demanda.

Sin embargo, factores como los gastos de *marketing* tienden a comportarse de acuerdo con la curva de inversión, debido al hecho de que están relacionados con la disponibilidad del negocio en una ubicación determinada.

### Inversiones (CAPEX)

Las inversiones representan uno de los principales elementos de cualquier plan de negocio. Esta variable, habitualmente denominada CAPEX (en inglés, *capital expenditure*), abarca esencialmente las inversiones en la infraestructura de todas las redes y sistemas necesarios para la prestación de servicios. Es por lo tanto importante que el regulador disponga del conocimiento tecnológico suficiente para poder conseguir de los suministradores cotizaciones de las tecnologías y los equipos relevantes a fin de simular la construcción de una red hipotética capaz de responder a la previsión de la demanda definida en el plan de negocio.

Finalmente, a efectos de modelización, debe tenerse en cuenta que la infraestructura propuesta debe responder a la estimación de la demanda en el tiempo, y será necesario por lo tanto considerar aspectos como la reinversión y la substitución tecnológica.

## 1.2 Retos en la elaboración de un plan de negocio

Cuando se diseña un plan de evaluación de proyecto siguiendo esta metodología, la cuestión fundamental que se plantean los reguladores y los responsables de políticas es cómo realizar una estimación de cada una de las variables descritas anteriormente. Ya sea por una asimetría de la información o la incertidumbre sobre el futuro comportamiento de un negocio en particular, realizar un estudio que estima con precisión estas variables no es una tarea fácil.

El número de variables involucradas, así como su comportamiento en el tiempo, puede hacer que la modelización sea enormemente compleja, y un cálculo preciso de los costos de un proyecto puede ser una tarea imposible si no se apoya sobre una base metodológica sólida y datos suficientes desglosados.

Como los reguladores y los responsables de las políticas tienen normalmente un conocimiento parcial de esas variables y datos, el enfoque habitual es hacer una estimación aproximada de cada variable a partir de estadísticas fiables y/o metodologías predictivas econométricas.

Se plantea, en consecuencia, una pregunta fundamental: ¿Cuál es la credibilidad de un estudio basados en predicciones para analizar la viabilidad o no de una política pública? La respuesta reside en el hecho de que el ejecutor de esta política utilizará normalmente la misma metodología para realizar sus propias estimaciones y, por lo tanto, existen enfoques que pueden conciliar estas cuestiones. Con el fin de reducir la asimetría de la información entre el regulador y el sector privado se pueden utilizar tres estrategias diferentes:

- i) comparar o verificar las cuentas de la empresa que conoce el regulador (por ejemplo, el ARPU, los minutos de utilización (MOU), los ingresos por minuto (IPM)) con las cuentas básicas de la compañía;
- ii) utilizar los documentos de las subastas públicas, pues el regulador puede definir un precio de referencia y el precio final después de que subasta revele la asimetría de la información;

- iii) publicar el proyecto (por ejemplo, en consultas públicas) permitiendo que todo el mundo pueda contribuir al modelo basado en predicciones propuesto por el organismo público.

Es una tarea del regulador realizar una evaluación metodológica detallada para reducir cualquier asimetría entre las hipótesis del estudio sobre las cuales se basa el plan de negocio del proyecto.

Otra cuestión fundamental es la necesidad de que sea posible la realización de auditorías. Los reguladores y los responsables de políticas están sujetos, de manera permanente, al control de varias autoridades, grupos de consumidores y los medios de comunicación. Con el fin de asegurar la transparencia y la posibilidad de realizar auditorías, cada plan debe ir acompañado de unos datos abiertos y unos modelos teóricos suficientemente robustos como para evitar las críticas o los ataques en base a una percepción de que se han adoptado arbitrariamente valores discutibles para algunas variables.

Existe una diferencia entre los agentes privados, que conocen sus costos, sus objetivos de ingresos y sus proyectos y un agente público. Cuando se elabora un plan, un agente privado dispone de un conocimiento completo de las variables en cuestión, y pueden utilizarlas (o no) en su comunicación con los accionistas sin la necesidad de garantizar un cierto nivel de solidez o la posibilidad de realizar auditorías para algunas de las variables consideradas.

Por otro lado, al realizar la estimación del flujo de caja de un negocio concreto, un agente público, además de sufrir una asimetría de información en la estimación del proyecto, también debe ser lo suficientemente auditable y neutral como para garantizar los niveles de fiabilidad y transparencia que el proceso requiere.

Además, en función del marco institucional y legal del país en cuestión, es frecuente que las políticas públicas deban presentarse para su evaluación y auditoría a organismos externos como Tribunales de Cuentas o auditores externos y, en algunos casos, al sistema judicial. Esta situación requiere que los planes de negocio elaborados por el regulador/responsable de políticas deben ser lo suficientemente sólidos, no solo para conseguir ser aprobados, sino también para servir como futuros puntos de referencia sociales y legales.

Son necesarias, por lo tanto, algunas recomendaciones importantes. El regulador/responsable de políticas que realiza el estudio debe:

- **Utilizar la mayor cantidad posible de datos abiertos:** La utilización de datos abiertos aporta transparencia, facilita el seguimiento y la comprensión de las estimaciones.
- **Basar los estudios en fuentes reconocidas:** Todos los planes de negocio se basan en fuentes. Sin embargo, la credibilidad de estas fuentes es fundamental. Conseguir la información, los datos y los análisis de organismos o entidades internacionales o de autores reconocidos otorga más solidez al plan.
- **Utilizar herramientas que puedan auditarse:** El conjunto de relaciones entre todas las variables que conforman un plan de negocio es amplísimo. Por esa razón, es fundamental que pueda realizarse el seguimiento de la elaboración del modelo para poder corregir cualquier fallo. Un pequeño error que no se identifique adecuadamente puede hacer que un proyecto viable se vuelva imposible – y viceversa.
- **Ser conservador en las estimaciones:** Todos los planes de negocio tienen niveles de incertidumbre. Ya sea debido a la asimetría de la información o a la necesidad de un gran número de proyecciones futuras, son habituales los escenarios que llevan a una gama de resultados. En ese sentido, es prudente realizar elecciones conservadoras para permitir un cierto margen de error sin poner en peligro de manera fundamental el proyecto.

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

Cuando un proyecto tiene un rendimiento económico positivo (es decir, genera un VAN positivo) puede suponerse razonablemente que se realizará en algún momento, sin la necesidad de una actuación

gubernamental o una intervención, por ejemplo, en forma de subvención. Tradicionalmente, los reguladores y los responsables de políticas evalúan la necesidad de incentivos gubernamentales para fomentar el despliegue de una red o la prestación de un servicio en una región insuficientemente atendida, como una cuestión de maximización del bienestar social. Esta evaluación se basa en una premisa de la reglamentación económica de que el regulador o el responsable de la política debe estimular la prestación del servicio en condiciones de rendimiento económico nulo. Significa que una empresa debe recibir una remuneración justa por el capital invertido al costo medio de mercado del capital. Una prestación de servicio en este punto maximizaría el bienestar social.

Se utilizan, en general, dos estrategias para una maximización de este tipo: la promoción de la competencia y la reglamentación de los precios. En mercados competitivos, los precios varían naturalmente hacia la eficiencia económica. Cuando no existe competencia, son frecuentemente necesarias intervenciones reglamentarias sobre los precios con el fin de reproducir los efectos de un entorno competitivo.

Por otro lado, los proyectos con un rendimiento económico negativo parten de una situación de falta de viabilidad, y la medida de esa falta de viabilidad define la necesidad y la extensión de la acción de política pública cuando el proyecto se considera necesario por parte de los responsables de las políticas.

Los agentes privados eligen habitualmente sus proyectos en función de la expectativa de rendimiento económico. Priorizan estratégicamente los proyectos en función de los resultados de los análisis de las propuestas de planes de negocio y, en general, no ejecutan proyectos con un VAN negativo, pues aportan pérdidas a su negocio global. Los proyectos con un VAN negativo, en consecuencia, no suelen ejecutarse y las zonas geográficas correspondientes, como las comunidades rurales o aisladas, suelen sufrir abandono debido a la falta de viabilidad y de rentabilidad económicas.

Es en este contexto donde el conjunto de herramientas busca ayudar a los reguladores y los responsables de elaborar políticas a evaluar para la sociedad el valor global de proyectos que no son, a primera vista, atractivos económicamente. Como una política pública no es ni más ni menos que una iniciativa de lo que el público decide hacer (o no hacer), la decisión de evaluar la viabilidad de un proyecto de infraestructura de banda ancha que no es rentable en sí, significa que ya se considera que es un proyecto de interés público. Desde ese punto, conocer la *amplitud* de la falta de viabilidad del proyecto es una cuestión fundamental, pues la respuesta puede definir o impedir su eventual ejecución.

En este punto, muchos reguladores y responsables de políticas tienden a tener ideas técnicas equivocadas que es necesario corregir. Por ejemplo, es habitual asumir que la viabilidad de una inversión en un proyecto debe basarse únicamente en la estimación de los costos de inversión (CAPEX) del proyecto. Por ejemplo, si la cobertura de una zona concreta puede realizarse mediante el acceso a una infraestructura inalámbrica 4G LTE con un CAPEX de 10 millones USD, se considera a menudo que esa es la cantidad exacta que debería proporcionar el patrocinador de la política. Desde un punto de vista financiero, esta consideración supone un error fundamental, debido a que:

- i) solo tiene en cuenta una variable del negocio, ignorando otros aspectos fundamentales;
- ii) no analiza el negocio en el tiempo.

Una evaluación correcta y precisa de la viabilidad de la inversión necesita analizar todas las variables de un proyecto. Por ejemplo, un proyecto puede no ser viable económicamente, no solo porque los costos de inversión son altos, sino porque los ingresos previstos son insuficientes para recuperar los costos totales. O, a la inversa, los ingresos pueden ser muy altos, pero los costos de operación y mantenimiento juntos pueden hacer que el proyecto no sea económicamente viable.

Considerando estos aspectos, el mejor mecanismo para calcular la amplitud de la falta de viabilidad económica es el análisis del VAN, pues mide de manera precisa todas las variables de un negocio, a lo largo del tiempo, e indica la magnitud de la falta de rendimiento económico, ofreciendo a los reguladores una visión completa de las causas de la falta de viabilidad económica.

Para una evaluación precisa de un proyecto de política pública de infraestructura de banda ancha, es necesario elaborar un plan de negocio con un horizonte temporal suficiente para el desarrollo del negocio y la evaluación de su comportamiento.

Los siguientes capítulos de este conjunto de herramientas van a describir en detalle cada una de las variables de negocio.

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

Una parte esencial de cualquier plan de negocio es la estimación de la demanda para los servicios que se van a ofrecer. No utilizar instrumentos fiables de estimación de la demanda presenta el riesgo de que los responsables de políticas implanten una política pública que no responda a las necesidades reales de la población. Por ejemplo, un gobierno puede decidir invertir en una red de transporte óptico en un municipio para responder a una demanda creciente percibida de redes de acceso de banda ultra ancha. Sin embargo, debido a factores socioeconómicos, el municipio puede no tener suficiente demanda para justificar una red de transporte de fibra óptica. Si el nivel de demanda se hubiese identificado mejor, el responsable de la política podría haber elegido un proyecto que respondiese a las necesidades del municipio.

Entender los factores que influyen en la demanda es fundamental para el éxito de cualquier estimación de la misma. Los métodos de estimación de la demanda son normalmente precisos para la planificación de negocio a corto plazo. La estimación de la demanda a largo plazo es un reto mayor, porque existen muchos factores no previstos que influyen en la demanda en el tiempo, en particular en un sector como las telecomunicaciones en rápida evolución. Por ejemplo, la estimación de la demanda puede no tener en cuenta servicios que surgen de repente con nuevas tecnologías. La recesión económica, los cambios políticos u otros problemas financieros también afectan a la demanda. Para una previsión de la demanda a largo plazo, los responsables de las políticas deben tener en cuenta los aspectos sociales, políticos y económicos históricos de sus países y un profundo conocimiento de los factores que influyen en la demanda. Esta información puede a veces suponer la diferencia entre un proyecto de éxito y un proyecto fallido.

Por supuesto, una estimación precisa de la demanda no puede garantizar, por sí sola, el éxito de un proyecto. Pero sin ella, las decisiones sobre la inversión, los costos operativos, los ingresos y la asignación de otros recursos pueden basarse en hipótesis inconscientes u ocultas, hipótesis que pueden revelarse a menudo erróneas. Esforzarse en evaluar de manera precisa la demanda del mercado ofrece la posibilidad de controlar mejor los principales factores que afectan el proyecto. Además, llevar a cabo el ejercicio de estimación fuerza a los responsables de políticas a repensar y a analizar el entorno de mercado donde se va a implantar la política pública y aumenta las probabilidades de una mejor respuesta de la política pública a las necesidades de una población creciente.

Existen múltiples técnicas de estimación de la demanda. Datos históricos, métodos econométricos, entrevistas y pruebas experimentales son los métodos más comúnmente utilizados para estimar la demanda potencial de un servicio.

En los mercados estables la demanda puede normalmente estimarse utilizando modelos econométricos centrados en la estimación de la elasticidad al precio. Un mercado estable para un servicio de telecomunicaciones concreto puede ser un mercado donde el servicio ha estado en funcionamiento durante varios años.

Existen muchas publicaciones académicas que tratan la estimación de la demanda para los servicios de telecomunicaciones fijos y móviles. En general, estiman la demanda agregada de un servicio

utilizando modelos basados en datos de series temporales o en datos transversales. Los principales factores que influyen en la demanda son:

- el precio;
- la renta;
- la paridad de poder adquisitivo;
- la densidad telefónica;
- la demografía de los hogares.

La estimación de la demanda de acceso a los servicios y de su utilización considera principalmente el precio y la renta como factores que impulsan la demanda. Este tipo de modelo de demanda puede utilizarse en diferentes países, siempre y cuando se utilicen datos independientes de las variables para el país en cuestión. En un país, la estimación de la elasticidad al precio dependerá probablemente de la renta, los patrones de consumo y de varios aspectos culturales. Por esta razón, la estimación de la elasticidad al precio es siempre específica del país.

Las bases de datos de los perfiles de países, los indicadores de desarrollo mundial, el PIB, la paridad de poder adquisitivo y la estimación de la población pueden conseguirse en el sitio web de datos abiertos del Banco Mundial<sup>6</sup>. La plataforma de datos ICT-Eye de la UIT (Observatorio de las TIC) contiene indicadores y estadísticas para las tecnologías de la información y la comunicación (TIC)<sup>7</sup>. La base de datos ICT-Eye es un sitio centralizado donde acceder a indicadores y estadísticas de las telecomunicaciones/TIC, información de reglamentación y políticas, políticas nacionales en materia de tarifas e información sobre cálculo de costos. Además, la UIT tiene actividades de investigación técnica, económica, de políticas y reglamentaria, y recopila datos sobre la evolución del desarrollo y la compartición de las infraestructuras en el mundo, esta información está disponible en el Portal de desarrollo de infraestructura de la UIT<sup>8</sup>.

La estimación de la demanda de nuevos servicios presenta mayores dificultades. Los nuevos servicios están relacionados con nuevos usos y están soportados por nuevos equipos y nuevas tecnologías. Aunque, en principio, la previsión de nuevos servicios de telecomunicaciones no es diferente de la de otras áreas, el reto de conseguir anticipar un mercado sin explorar ha llevado a la mayoría de los analistas académicos dedicados a las previsiones a evitar estas cuestiones.

Para los nuevos servicios, tanto en la fase previa al lanzamiento como en la posterior, deben afrontarse dos problemas fundamentales de previsión: la estimación del mercado potencial de las diferentes generaciones de servicio e, igualmente importante, el ritmo de adopción, es decir, la velocidad y los tiempos de adopción de un nuevo producto que, a su vez, indican las ventas por cada periodo<sup>9</sup>. Para muchas aplicaciones, será necesaria también la tasa de utilización de la nueva tecnología. Antes del lanzamiento, el potencial de mercado y los nuevos actores son factores fundamentales para determinar el éxito, pero según pasa el tiempo la tasa de cancelación (que describe el cambio de comportamiento entre tecnologías y competidores), la tasa de abandono y la tasa de utilización se vuelven más importantes.

Los principales elementos utilizados para estimar la demanda del nuevo servicio se denominan encuestas de intención, evaluaciones de características del servicio, modelos de elección, pruebas de mercado y/o el establecimiento de analogías con otros productos e incluso con otros países.

Los datos utilizados para la estimación de la demanda de un nuevo servicio se recopilan a través de métodos de encuesta o (a veces) mediante experimentos. Se puede considerar una gama de servicios

<sup>6</sup> El sitio web de datos abiertos del Banco Mundial está en <https://data.worldbank.org/data-catalog>

<sup>7</sup> La plataforma ICT-Eye está disponible en <http://www.itu.int/net4/itu-d/icteye/Default.aspx>

<sup>8</sup> Portal de desarrollo de infraestructura de la UIT, <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regulatory-Market/Pages/InfrastructurePortal.aspx>

<sup>9</sup> Fildes y Kumar (2002).

alternativos o realizar una simple pregunta sobre si el encuestado tiene la intención de comprar un servicio en particular. También se puede presentar un cuestionario a un grupo de expertos para pedir una cierta opinión profesional sobre el nuevo servicio. Finalmente, un método notable que puede utilizarse es el método Delphi<sup>10</sup>.

La mayoría de los servicios de telecomunicaciones tienen utilidades genéricas y las nuevas generaciones de tecnología ofrecen, por lo tanto, el servicio existente y amplían las posibilidades de uso, por ejemplo, la tecnología móvil 4G LTE que ofrece los mismos servicios que la tecnología 3G. En este caso, la nueva tecnología sustituye los servicios de voz ofrecidos por la 3G y amplía el rango de utilización al soportar aplicaciones de datos más avanzadas. El potencial de mercado puede, por lo tanto, estimarse viendo la cuestión como una combinación del mercado anterior existente y de un nuevo mercado que se consigue gracias a la ampliación del rango de usos. Los modelos econométricos pueden utilizarse para estimar la demanda acumulada de los servicios mientras que el método Delphi puede utilizarse para desagregar esa demanda en función de la capacidad de atracción de cada generación de tecnología.

Es importante ver que las hipótesis erróneas no surgen de la falta de técnicas de previsión. Los análisis de regresión, la suavización de las tendencias históricas, la opinión de expertos/Delphi, la evaluación de características, las pruebas de mercado y otras metodologías están disponibles para todos. Las previsiones de demanda más incorrectas comparten una hipótesis errónea de que las complejas interrelaciones que guiaron la demanda en el pasado se mantendrán inalteradas. Los responsables de políticas deben siempre tener en cuenta que la historia puede no ser una guía fiable según van apareciendo nuevas tecnologías, los consumidores cambian de preferencias, las industrias siguen desarrollándose y el régimen reglamentario evoluciona.

## 2.1 Estimación de la demanda mediante métodos econométricos

Para la estimación de las necesidades de banda ancha en una región, puede desarrollarse un sencillo modelo de regresión (similar a los modelos de densidad telefónica) basado en el tamaño de la economía. Este sencillo modelo de regresión utiliza los niveles actuales de penetración de banda ancha en un grupo de países y el producto interior bruto (PIB) de cada país.

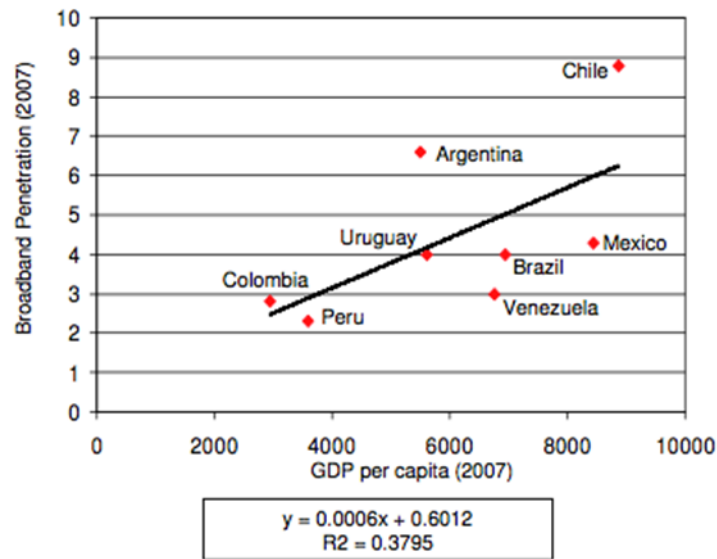
Katz (2009)<sup>11</sup> utilizó este modelo para estimar la demanda de banda ancha en Latinoamérica. De acuerdo con ese modelo, existe una relación directa entre el PIB y la penetración de banda ancha, pues se prevé que los países más ricos per cápita tendrán una mayor proporción de la población abonados a la banda ancha.

<sup>10</sup> El método Delphi es un método de estimación que consiste en consultar a un grupo de expertos sobre un futuro evento mediante un cuestionario que se pasa repetidamente hasta alcanzar un consenso – véase en la sección 2.2 una descripción más detallada. Para más información, véase: Okoli, C. y Pawlowski, S. D. (2004) *The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications*, *Information & management*, Volumen 42 número 1, 15-29.

<sup>11</sup> Katz, Raul L. (2009) *Estimating broadband demand and its economic impact in Latin America*, en las Actas de la 3ª Conferencia de ACORN-REDECOM, Ciudad de México.



Figura 2: Curva de regresión (penetración de banda ancha en función del PIB per cápita)<sup>12</sup>



Fuente: UIT

La OCDE elaboró otro enfoque fácil de utilizar, publicado en 2008<sup>13</sup>. Este enfoque está basado en un modelo transversal y utiliza datos de los países de la OCDE. Los trabajos de la OCDE revelaron que el mejor modelo de estimación de la demanda de banda ancha estaba basado en funciones logarítmicas de la penetración, los precios, el PIB per cápita (PIBPC) y el número de años desde el lanzamiento (YSL, en inglés, *years since launch*) de los servicios comerciales de líneas digitales de abonado (DSL).

Una característica útil de este modelo es que los valores de los coeficientes de  $\log(\text{PRECIO})$  y  $\log(\text{PIBPC})$  pueden interpretarse como la elasticidad:

$$\log(PEN) = \alpha + \beta \log(PRECIO) + \gamma \log(PIBPC) + \delta YSL + \theta YSL^2 + \varepsilon$$

El modelo de la OCDE sugiere que:

- La elasticidad de la demanda respecto al precio en el largo plazo está en el rango de inelasticidad. El coeficiente de  $-0,43$  indica que una reducción del 1 por ciento en el precio produce un incremento de la demanda del 0,43 por ciento a largo plazo. La demanda no parece estar fuertemente influida por el precio. Sin embargo, esta elasticidad se sitúa hacia el extremo superior de la elasticidad al precio de la demanda típica para los abonados de líneas de teléfono y de llamadas locales y de larga distancia observadas en los países desarrollados.
- La elasticidad de la demanda respecto a la renta en el largo plazo, medida por el PIBPC, es en cierta medida mayor. Un 1 por ciento de incremento de la cantidad produce un incremento de la demanda del 0,78 por ciento, también a largo plazo. Este valor está en línea con otros estudios sobre elasticidad de la demanda respecto a la renta que sugieren que los países con mayores rentas tienen un coeficiente inferior a 1.
- Los coeficientes de  $YSL$  e  $YSL^2$  indican que el crecimiento de la demanda para la banda ancha es no lineal y en la fase de fuerte crecimiento. Como se preveía, el coeficiente de  $YSL^2$  es negativo.

Este modelo transversal puede utilizarse para estimar la penetración de servicios en un país concreto o incluso para elaborar un nuevo modelo en base a las características de los países de una región

<sup>12</sup> Katz (2009).

<sup>13</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.



en particular o de países que tienen algunas similitudes con el país en cuestión como, por ejemplo, algunos indicadores socioeconómicos o geográficos.

Aunque los modelos presentados anteriormente se desarrollaron para estimar la demanda del servicio de banda ancha fija, también pueden utilizarse para estimar la demanda del servicio de banda ancha móvil sustituyendo la penetración de banda ancha fija y los precios de los abonos fijos por penetración móvil y los precios de los abonos móviles.

Los reguladores que tienen acceso a los datos pertinentes también pueden estimar la demanda del servicio mediante modelos basados en datos de paneles. Hausman y Ros (2013)<sup>14</sup> estimaron unos modelos de demanda para los servicios de telecomunicaciones móviles y fijos utilizando datos de paneles de países similares a México, seleccionando una muestra de países comparables en base a los niveles de renta (PIB per cápita). Aunque el estudio de Hausman y Ros utilizó tasas de cambio de mercado en las clasificaciones, la muestra de países similares no cambia si se hubiera utilizado el índice de paridad de poder adquisitivo. Se seleccionó una muestra de países justo por encima y por debajo de México en niveles de PIB per cápita. Los criterios de selección fueron países con similares niveles de PIB per cápita como México y con datos de precios del servicio móvil disponibles.

Los modelos econométricos de demanda del servicio móvil y de precios del servicio móvil estimaron las ecuaciones de demanda de los servicios móviles a partir de muestras de 17 países para determinar la elasticidad de la demanda del servicio móvil respecto al precio y al PIB per cápita en México. Es esas ecuaciones de demanda, la penetración móvil es la variable de la parte izquierda (es decir, los investigadores midieron las variaciones de la penetración móvil en función de los cambios en las otras variables, como renta y precio).

Se adoptó un enfoque de estimación de efectos fijos con el fin de eliminar las estimaciones sesgadas e inconsistentes. La estimación de la elasticidad de la demanda respecto al precio, de aproximadamente  $-0,50$ , y la estimación de la elasticidad de la demanda respecto al PIB per cápita, de aproximadamente  $0,45$ , se han realizado ambas de manera precisa (es decir, son estadísticamente significativas) y muestran que las variables económicas tienen un efecto importante sobre los abonos móviles.

Los modelos resultantes demostraron que el precio y el PIB per cápita son ambos unos factores importantes para la demanda de móvil.

## 2.2 Estimación de la demanda mediante el método Delphi

La metodología Delphi es un método de estimación que consiste en consultar a un grupo de expertos sobre un futuro evento mediante un cuestionario que se pasa repetidas veces hasta alcanzar un consenso. Con una historia de más de 50 años, esta metodología está reconocida como una de las mejores herramientas para la previsión a largo plazo y se utiliza de manera extensiva en numerosos países para la elaboración de políticas públicas.

En la primera ronda, las preguntas se envían a un grupo seleccionado de expertos del sector de las telecomunicaciones. Estos expertos provienen de operadores nacionales, suministradores de equipos, instituciones académicas, centros de investigación, prensa especializada, asociaciones de la industria y autoridades reguladoras.

Las respuestas de la primera ronda se integran y analizan. Las preguntas donde se observan las mayores divergencias (entre la media y la mediana de las respuestas obtenidas) se seleccionan para la segunda ronda. En esta ronda, se muestra a cada experto, la media, la mediana y las respuestas obtenidas en la primera ronda, y se le pregunta si quiere mantener su respuesta original o cambiarla.

<sup>14</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.

Después de la segunda ronda se consolidan los resultados y, para cada pregunta, se selecciona el indicador central de tendencia que se utilizará en la proyección de la demanda: la media o la mediana. Para cada pregunta, se detallan el indicador elegido, el criterio de selección y los resultados. Si los resultados siguen divergiendo, se pueden realizar nuevas rondas. El objetivo es reducir el rango de las respuestas y alcanzar algo cercano a un consenso de los expertos.

El cuestionario puede abordar cuestiones como la densidad telefónica, la utilización y el consumo de un nuevo servicio o tecnología, o la evolución prevista de una nueva generación de tecnología. En el cuestionario, los valores pueden estimarse cada cinco o diez años, por ejemplo, 2020, 2025, 2030, 2040 y 2050.

Cuadro 2: Ejemplos de preguntas para un cuestionario Delphi

#	Pregunta	OBSERVADO				ESTIMADO			
		2014	2015	2016	2017	2020	2025	2030	2050
1	Abonados celulares móvil por 100 habitantes	44%	50%	55%	65%				
2	Accesos máquina-máquina (M2M) por 100 habitantes			0,02	0,03				
3	Minutos de utilización por abonado móvil	82	91	86	109	115			
4	Utilización de datos móviles por abonado de banda ancha móvil			15	35	59			
5	Evolución de las generaciones de tecnología móvil	99%	94%	90%					
		1%	6%	10%					
		0%	0%	0%					
		0%	0%	0%					
6	Abonados de banda ancha fija (alámbrica) por 100 habitantes								
7	Cuota de la fibra óptica en el total de tecnologías de acceso fijo residencial	< 1%	< 1%	< 1%	< 1%				
8	Cuota de la fibra óptica en el total de tecnologías de acceso fijo no residencial	< 1%	< 1%	< 1%	< 1%				
9	Velocidad media (en Mbps) por acceso de banda ancha			170%	180%				

Fuente: UIT

A partir de los resultados consolidados de las estimaciones de cada uno de los años pueden estimarse los años faltantes por interpolación lineal o mediante una curva en S.

Esta metodología pretende utilizar de manera efectiva las opiniones intuitivas informadas en la previsión a largo plazo, y es ideal para estimar la demanda a largo plazo y la demanda de nuevos servicios y tecnologías.

### 2.3 Descomposición de la demanda en varios segmentos

Después de estimar la demanda agregada, el siguiente paso es dividir la demanda total en sus principales componentes para realizar un análisis por separado. Los resultados del método Delphi también pueden utilizarse en esa descomposición.

Existen dos aspectos que hay que tener en cuenta cuando se seleccionan los segmentos de mercado: elegir cada categoría lo suficientemente reducida y homogénea para que los factores que influyen en la demanda lo hagan de manera coherente en todos sus elementos, pero elegirlos lo suficientemente amplios para que el análisis valga la pena. En este caso, será necesario actuar con el mejor criterio.

Cuando se está tomando esa decisión, puede ser útil imaginar segmentaciones alternativas, por ejemplo, en base a los grupos de usuarios finales (como residenciales y no residenciales) o al tipo de compra (como planes de prepago o de postpago). El paso siguiente es realizar las hipótesis de los factores principales que influyen en la demanda de cada segmento y decidir cuánto detalle es necesario para captar la situación real. Según prosigue la evaluación, se puede volver a esta fase y analizar si se mantienen las decisiones iniciales.

Al pensar en el nivel de segmentación de la demanda, es necesario decidir si se utilizan los datos disponibles con los tamaños de los segmentos o si se realiza una nueva investigación para conseguir una estimación independiente. Se dispone, para muchos países, de una amplia gama de información pública sobre los niveles históricos de demanda por segmentos, a través de la base de datos ICT-Eye de la UIT<sup>15</sup>. Algunos reguladores nacionales también ofrecen una amplia gama de estadísticas e indicadores sobre el sector de telecomunicaciones que pueden utilizarse también.

Incluso con buenas fuentes de datos, la información disponible puede no estar segmentada según las mejores categorías para dar soporte a un análisis detallado. En esos casos, es importante decidir si se elabora la previsión en base a los datos históricos disponibles, o si se realiza una nueva ronda de opinión de expertos que puede ser larga y cara.

Como ejemplo, la descomposición de la demanda agregada móvil puede realizarse según la estructura de la Figura 3.

Figura 3: Ejemplo de descomposición de la demanda de banda ancha móvil

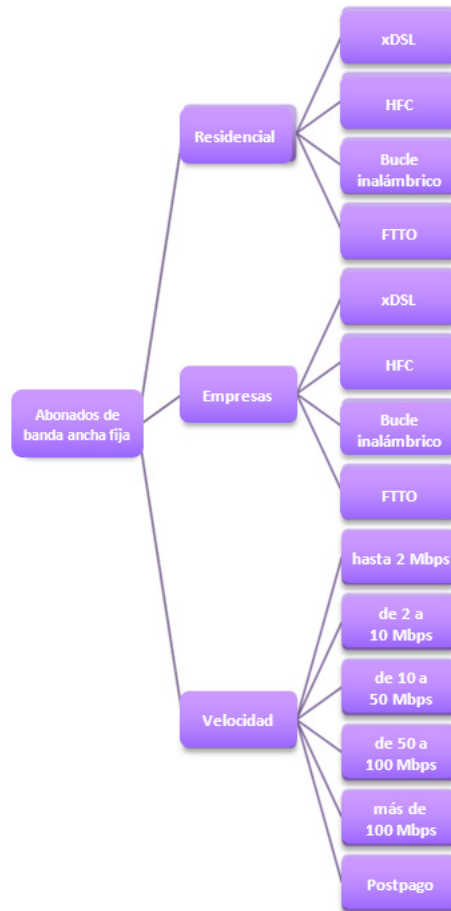


Fuente: Elaboración en base a Fields y Kumar (2002)

La descomposición de la demanda agregada de banda ancha fija puede realizarse según la estructura de la Figura 4.

<sup>15</sup> ICT-Eye de la UIT está disponible en <https://www.itu.int/ITU-D/icteye/>

Figura 4: Ejemplo de descomposición de la demanda de banda ancha fija



Fuente: Elaboración en base a Fields y Kumar (2002)

Cuando se descompone la demanda agregada, es importante que los responsables de políticas tengan en cuenta el objetivo de la política pública que quieren alcanzar, con el fin de tener la mejor especificación para el plan de negocio, en función de la disponibilidad de datos.

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

Una vez que se ha definido la demanda para los servicios, el siguiente paso es modelizar la división del mercado en relación con un posible nuevo operador o con una empresa ya establecida que implementan los objetivos de la política pública en el contexto del entorno competitivo actual.

La modelización del mercado debe apoyarse siempre en las reglas y criterios reglamentarios existentes para la concesión del servicio, los topes de espectro, la disposición de canales de la banda o bandas, y el comportamiento del mercado actual.

Cuando se estima la cuota de mercado de un posible nuevo operador de banda ancha fija, se debe, en primer lugar, considerar la situación de los actores existentes del mercado y definir si existen algunas disposiciones reglamentarias en vigor pensadas para favorecer la competencia que pueden repercutir en la situación competitiva actual a medio plazo. Si parece que la situación se va a mantener, es posible replicar sencillamente la cuota de mercado existente de los operadores establecidos con pequeñas variaciones hasta el final del proyecto.

En cambio, si a largo plazo, se prevé una mejora en el escenario competitivo, uno debe prever que la cuota de mercado de los operadores establecidos variará en el tiempo y que los nuevos actores

podrán obtener cuota de mercado. Puede emplearse una curva en S para modelizar la previsión de la evolución de la cuota de mercado hasta el final del proyecto.

Al estimar la cuota de mercado de un posible operador de banda ancha, además de tener en cuenta las observaciones anteriores, es necesario tener en cuenta las reglas de tope de espectro, así como las disposiciones reglamentarias que tratan de los operadores de redes móviles virtuales y la compartición de las redes de acceso radioeléctrico. Con esa información, es posible modelizar la posible evolución del escenario competitivo durante el proyecto y estimar la cuota de mercado del operador que lo implementará, empleando también modelos de curva en S<sup>16</sup>.

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

Escenario: Un proyecto de banda ancha fija de quince años que va a ser desplegado por un nuevo operador. En esa zona, la autoridad reguladora está promoviendo varias medidas orientadas a la competencia con el fin de conseguir un nivel de competencia a largo plazo que vea a los operadores dividirse el mercado en partes prácticamente iguales. El mercado de banda ancha fija ya tiene cinco operadores; el nuevo operador será el sexto. La curva de su cuota de mercado empezará cercana a cero, pero durante el proyecto la cuota de mercado evolucionará hasta alcanzar el nivel de cuota de mercado deseada por el regulador. Se pueden utilizar curvas en S para modelizar el comportamiento del nuevo operador a lo largo del proyecto.

Cuota de mercado inicial	1%
Cuota de mercado objetivo	16,67%

#### CUOTA DE MERCADO DEL NUEVO OPERADOR

Y01	0,0093	1
Y02	0,0167	2
Y03	0,0287	3
Y04	0,0468	4
Y05	0,0704	5
Y06	0,0963	6
Y07	0,1199	7
Y08	0,1380	8
Y09	0,1500	9
Y10	0,1573	10
Y11	0,1616	11
Y12	0,1639	12
Y13	0,1652	13
Y14	0,1659	14
Y15	0,1662	15



Fuente: UIT

Nota: Los valores se ofrecen a título de ejemplo.

<sup>16</sup> Los modelos de curva en S pueden utilizarse en telecomunicaciones/TIC para describir el comportamiento de un nuevo servicio en el mercado. El modelo de curva en S está caracterizado por un inicio lento, en el cual únicamente los usuarios pioneros y los mercados de nicho utilizan el servicio. Más tarde, la curva crece de manera más fuerte según el nuevo servicio experimenta un rápido crecimiento y consigue una posición dominante en el mercado. Después de ese periodo de fuerte crecimiento el servicio mantiene un alto nivel, pero con crecimiento reducido, a menudo con señales de un mercado maduro pero saturado.

### 3 Estimación de los ingresos en la prestación de servicios de banda ancha

En esta parte, se estiman los ingresos que corresponden con la demanda prevista. La manera más sencilla de estimar los ingresos netos es mediante el cálculo del ingreso medio por usuario (ARPU) para los servicios o segmentos de servicios que van a prestarse de acuerdo con el plan de negocio.

Una vez obtenido el ARPU, se multiplica por la estimación de la demanda con el fin de obtener los ingresos netos como se indica en la Figura 5.

Figura 5: Esquema de la estimación de los ingresos netos



Fuente: UIT

Sin embargo, no siempre es posible obtener el ARPU para el servicio específico que se va a lanzar, y puede ser necesario realizar algún ajuste, como utilizar el ARPU de un servicio similar. Además, no es normal que el ARPU se mantenga constante durante todo el proyecto, y será necesario, por lo tanto, realizar algunas hipótesis con el fin de estimar cómo puede evolucionar a lo largo del proyecto.

A continuación, se explican algunas de las opciones que pueden utilizarse para la estimación de los ingresos de los proyectos de banda ancha, junto con un enfoque para estimar la evolución de los ingresos durante el proyecto.

#### 3.1 Estimación de los ingresos para los proyectos de banda ancha móvil

Como consideración previa, debe tenerse en cuenta que a pesar de que el proyecto que se quiere implantar es una red de acceso de banda ancha móvil, desde el punto de vista del usuario final, el proyecto es, de hecho, una prestación de comunicaciones móviles, es decir, un servicio de móvil de voz y un servicio móvil de datos. Se sugiere, por lo tanto, basar la estimación del ARPU del proyecto en el ARPU de los servicios móviles previstos.

Además, los análisis revelan que, a pesar de la evolución de las tecnologías móviles (2G, 3G, 4G LTE), no se han producido cambios significativos en los ARPU relacionados con estas nuevas generaciones de tecnología. En general, el precio de los planes de servicio de los usuarios finales se ha mantenido prácticamente igual; es decir, aunque el servicio se ha ampliado en cuanto a volúmenes de datos y calidad, el valor pagado por los usuarios no ha cambiado de manera significativa. En resumen, a lo largo de los años, los usuarios han ido disfrutando de mayores cantidades de llamadas y de mensajes y de una mayor utilización de datos, a mayores velocidades e, incluso, con servicios adicionales de valor añadido. A efectos de modelización, significa que los datos históricos de ARPU del servicio móvil pueden utilizarse para la estimación de los ingresos de los nuevos servicios de banda ancha móviles.

En el caso de que los datos estén disponibles y sea posible segmentar la demanda, la segmentación del ARPU en abonados de prepago y de postpago puede dar más precisión a las proyecciones.

#### 3.2 Estimación de los ingresos para los proyectos de banda ancha fija

Para estimar los ingresos para los proyectos de banda ancha fija, se recomienda utilizar el ARPU de los servicios de banda ancha fija. En general, los proveedores de servicio del mercado de banda ancha fija ofrecen al menos dos perfiles principales en los planes: un perfil de baja velocidad y un perfil de

alta velocidad. Hoy en día, un perfil de baja velocidad equivale a un plan hasta 20-25 Mbit/s, mientras que un plan de alta velocidad abarca los planes desde aproximadamente 25 Mbit/s y superiores.

Una vez más, si los datos están disponibles y es posible segmentar la demanda, la segmentación del ARPU en planes de baja velocidad y de alta velocidad puede dar más precisión a las proyecciones.

### Estimación de los ingresos para los proyectos de banda ancha fija

En este caso se supone el despliegue de un proyecto de banda ancha fija de diez años en el país W. Los operadores del país W proponen en general dos tipos principales de ofertas de banda ancha: una oferta de baja velocidad y una oferta de alta velocidad.

El ARPU en el país W es:

- oferta de baja velocidad: 22 USD;
- oferta de alta velocidad: 48 USD.

En los últimos cinco años, el ARPU se ha ido reduciendo de manera constante a un ritmo del 0,5% por año. Se supone que esta tendencia se mantendrá durante los diez años del proyecto. Una vez que se ha estimado el ARPU total para cada año del proyecto, los ingresos totales pueden estimarse multiplicando la demanda de un año por el ARPU total del mismo año.

Téngase en cuenta que, en el primer año de funcionamiento, se recomienda considerar ingresos únicamente en un periodo de seis meses, al tener que distribuirse el tiempo entre el despliegue de la red y la comercialización de los servicios.

Evolución del ARPU de banda ancha fija			
	Ofertas de baja velocidad	Ofertas de alta velocidad	
Y01	\$ 22,00	\$ 48,00	
Y02	\$ 21,89	\$ 47,76	
Y03	\$ 21,78	\$ 47,52	
Y04	\$ 21,67	\$ 47,28	
Y05	\$ 21,56	\$ 47,05	
Y06	\$ 21,46	\$ 46,81	
Y07	\$ 21,35	\$ 46,58	
Y08	\$ 21,24	\$ 46,34	
Y09	\$ 21,14	\$ 46,11	
Y10	\$ 21,03	\$ 45,58	

Estimación de la demanda de banda ancha fija			
	Ofertas de baja velocidad	Ofertas de alta velocidad	
Y01	25 650	1 350	
Y02	43 200	4 800	
Y03	90 100	15 900	
Y04	132 000	33 000	
Y05	183 000	61 000	
Y06	221 900	95 100	
Y07	248 950	134 050	
Y08	283 200	188 800	
Y09	319 000	261 000	
Y10	368 500	368 500	

Ingresos totales			
	Ofertas de baja velocidad	Ofertas de alta velocidad	INGRESOS TOTALES
Y01	\$ 3 385 800	\$ 388 800	\$ 3 774 600
Y02	\$ 11 347 776	\$ 2 750 976	\$ 14 098 752
Y03	\$ 23 549 131	\$ 9 067 045	\$ 32 616 176
Y04	\$ 34 327 889	\$ 18 724 303	\$ 53 052 192
Y05	\$ 47 352 983	\$ 34 438 533	\$ 81 791 516
Y06	\$ 57 131 632	\$ 53 421 786	\$ 110 553 418
Y07	\$ 63 775 598	\$ 74 925 178	\$ 138 700 777
Y08	\$ 72 186 958	\$ 104 999 212	\$ 177 186 170
Y09	\$ 80 905 725	\$ 144 426 749	\$ 225 332 475
Y10	\$ 92 992 762	\$ 202 893 298	\$ 295 886 060

Nota: Los valores se ofrecen a título de ejemplo.

### 3.3 Estimación de los ingresos para los proyectos de redes de transporte

Siempre que los proyectos de redes de transporte estén fuertemente ligados a los servicios mayoristas de telecomunicaciones, se recomienda utilizar como referencia para la estimación de los ingresos netos de esos proyectos la oferta pública de servicios de líneas dedicadas del operador tradicional (o del proveedor de servicio con capacidad significativa para influir en el mercado).

En el caso de que el país en cuestión no disponga de ninguna oferta pública relativa a este tipo de servicio mayorista, una alternativa puede consistir en consultar el sitio web de otras autoridades reguladoras con el fin de conseguir una referencia básica fiable para utilizar en relación con las líneas dedicadas y la conectividad. Puede entonces procesarse con el índice de paridad de poder adquisitivo con el fin de eliminar cualquier diferencia de precio entre tasas de cambio de moneda. Los precios utilizados como referencia deben excluir los impuestos y la inflación.

### 3.4 Comportamiento de los ingresos a lo largo del proyecto

El valor de ARPU inicial para el proyecto debe reflejar los valores calculados más recientes. La evolución del ARPU a lo largo del plan de negocio puede estimarse en base a una evolución reciente del ARPU. En los casos en que la información de ARPU no está disponible, también es posible conseguir esa información de los sitios web de algunas autoridades reguladoras de telecomunicaciones de otros países, o de bancos de inversión, utilizando como aproximación el ARPU de un país con un perfil socioeconómico similar.

Otra estrategia adecuada es la utilización de la Cesta de Precios de las TIC (CPT) de la UIT<sup>17</sup> para estimar los ingresos netos. Esta base de datos completa proporciona cestas para móvil, fijo y banda ancha para unos 165 países. Es importante recordar eliminar el efecto de los impuestos en la estimación de los ingresos netos. Cuando se analizan tendencias históricas para el ARPU, debe eliminarse también el efecto de la inflación de la estimación para garantizar que el plan de negocio trata valores reales en todos los casos.

Después de la estimación de las proyecciones de ARPU, y habiéndose ya estimado la demanda, se puede obtener la previsión de ingresos por año de acuerdo con el servicio asociado con la red que se implantará.

Téngase en cuenta que, en el primer año de funcionamiento, solo se puede considerar ingresos en un periodo de seis meses, al tener que distribuirse el tiempo entre el despliegue de la red y la comercialización de los servicios.

## 4 Estimación de las inversiones en las redes de banda ancha (CAPEX)

Uno de los mayores retos que se plantea a los gobiernos que quieren establecer políticas públicas económicamente sostenibles dedicadas a empujar las inversiones en la expansión de las redes de banda ancha es la estimación correcta del nivel de CAPEX necesario para colmar las lagunas de infraestructura de red del país.

La información sobre el nivel de inversión necesario es fundamental para permitir a los responsables de políticas elaborar un plan coherente, creíble y fiable que pueda ayudarles a evaluar el atractivo y la sostenibilidad a largo plazo de una hipotética operación de telecomunicaciones en las regiones geográficas no atendidas.

<sup>17</sup> Se puede acceder a la Cesta de Precios de las TIC (CPT) en <http://www.itu.int/ITU-D/ict/ipb/>



Los principales datos para la estimación del CAPEX son:

- la previsión de demanda para los servicios de banda ancha móvil y fija, así como información detallada sobre las lagunas actuales de infraestructura, por ejemplo, una lista de municipios no atendidas por redes de transporte óptico;
- la demanda prevista (en número de usuarios, en tráfico o en Mbit/s) para las redes de banda ancha móvil y fija para los próximos años, por municipio; esta información es importante tanto para las decisiones de diseño de red como para la estimación de la inversión.

En base a esos datos, el CAPEX necesario para responder a una laguna identificada de la infraestructura dependerá básicamente del servicio y la tecnología elegida. Por ejemplo, los responsables de políticas que quieren responder de manera rápida a la falta de ofertas de banda ancha en una región particular pueden elegir el despliegue de redes de acceso de banda ancha móviles asequibles y que se despliegan rápidamente (3G, 4G LTE, etc.), mientras que los que planifican para un plazo más largo, pueden preferir la modelización del despliegue de redes de acceso de fibra hasta el hogar (FTTH). Incluso para el caso de despliegue de redes de transporte troncales o de conexión, la elección de modelizar redes de enlaces de microondas comunes normalizados o redes de fibra de nueva generación depende de los objetivos de la política pública y de la previsión de la demanda de tráfico de cada municipio o región, y puede repercutir directamente en el nivel de inversión necesaria.

Con el fin de proporcionar una orientación útil para la estimación del CAPEX necesario para responder a las necesidades de infraestructura de banda ancha y teniendo en cuenta la asimetría de información que es inevitable en cualquier análisis de los responsables de elaborar políticas, las secciones siguientes de este conjunto de herramientas van a mostrar ejemplos de enfoques fiables que pueden adoptar los gobiernos que quieran fomentar el despliegue de redes de banda ancha móvil 4G LTE, redes FTTH de banda ancha fija y redes de transporte de enlaces de microondas y de fibra óptica de banda ancha, que son las tecnologías más comúnmente elegidas actualmente para la expansión de las redes de banda ancha.

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

El objetivo de este modelo es estimar la infraestructura de red necesaria para responder a las demandas de cobertura y capacidad (Mbit/s) de posibles usuarios de banda ancha móvil 4G LTE, en municipios o regiones que no están atendidos todavía, con el fin de evaluar la viabilidad económica de esas inversiones.

Para realizar este cálculo, se propone un operador modelizado, que dispone de un solo bloque de radiofrecuencias para utilizar con nodos B mejorados (eNB) de 4G LTE (a continuación, denominados *macrocélulas*), con una solución menos onerosa de *células pequeñas* mejor adaptada para responder a la demanda creciente de capacidad de transmisión de datos que debe implementarse en municipios donde la demanda de capacidad excede la capacidad que proporcionan las macrocélulas.

La solución simplificada de células pequeñas consiste en un sistema de antena de un sector y un punto de acceso Wi-Fi, utilizado para la descarga de tráfico directamente a la red de transporte fija. La Figura 6 muestra la topología de la red de acceso de banda ancha móvil prevista.

Figura 6: Red heterogénea LTE



Es interesante ver que las ganancias de capacidad de este enfoque son considerables y reducen la necesidad de expansiones futuras causada solo por requisitos de capacidad, es decir, los operadores reducen posiblemente la necesidad de inversión durante cortos periodos, sacándole mejor provecho a su infraestructura. De hecho, la solución modelizada para el despliegue de una infraestructura híbrida de macrocélulas + pequeñas células + puntos de acceso Wi-Fi es una tendencia mundial para las redes heterogéneas de banda ancha inalámbricas 4G LTE, empujada por la necesidad de reducir el CAPEX necesario para responder a la explosiva demanda de banda ancha móvil<sup>18</sup>. Esta estrategia híbrida ofrece la triple ventaja de satisfacer las necesidades de cobertura, soportar la movilidad de los usuarios y responder a la demanda de capacidad, ofreciendo una inversión incremental y mejor atribuida durante los años de operación.

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

Con el fin de calcular el número de macrocélulas necesarias para cubrir cada municipio no atendido, se divide la zona a cubrir por el área máxima cubierta por un eNB típico, de acuerdo con la ecuación siguiente:

$$N_{macrocélulas} = \frac{A_t}{A_{eNB\text{ típico}}}$$

donde:

$N_{macrocélulas}$  es el número de macrocélulas que se quiere estimar

$A_t$  es el área total, en km<sup>2</sup>, de la zona a cubrir

$A_{eNB\text{ típico}}$  es el área máxima cubierta por un e-NB típico

Para la estimación de  $A_{eNB\text{ típico}}$ , se puede tomar como referencia el radio de cobertura medio de los emplazamientos de red de banda ancha inalámbrica 4G LTE desplegados en municipios atendidos por las redes 4G LTE que utilizan el mismo espectro. También se pueden utilizar referencias internacionales obtenidas de los despliegues 4G LTE de las redes de banda ancha inalámbrica en otros países.

Una vez calculado el número de emplazamientos de cobertura, es necesario obtener el costo unitario de cada emplazamiento para calcular la inversión necesaria. El costo unitario puede variar de manera significativa entre países y, por precisión, debe conseguirse el costo de los operadores locales establecidos de banda ancha móvil y los suministradores locales de red.

<sup>18</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>

Finalmente, un despliegue rentable de 4G debe sacar provecho de las infraestructuras pasivas disponibles (torres, etc.) para su compartición, pues la compartición permitirá unos ahorros de costos significativos en el despliegue de las macrocélulas.

### Macrocelulas

El siguiente ejemplo muestra la estimación del número de elementos de infraestructura pasiva y activa necesarios en el despliegue de macrocélulas.

**Estimación de Macrocelulas 4G**

Ciudad: Ejemplo 1

Torres para compartir = 7 (2G, 3G, etc.)

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

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

$N_{macrocelulas} = \frac{A_t}{A_{eNB_{tip}}}$

$N_{macrocelulas} = 19$

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

Infraestructura activa (eNB, etc.) = 19

Fuente: UIT

Nota: Los valores se ofrecen a título de ejemplo.

### Cálculo de la inversión en el despliegue de células pequeñas y puntos de acceso Wi-Fi

Una vez calculadas las necesidades de infraestructura para los emplazamientos de cobertura (macrocelulas), es necesario evaluar la mejor estrategia para abordar el reto de construir una red que tiene capacidad suficiente en Mbit/s para responder a la demanda de tráfico de la red inalámbrica 4G LTE con el CAPEX más optimizado posible.

El primer paso es realizar una estimación de la demanda de tráfico prevista en cada municipio para los próximos años<sup>19</sup>, en base a la demanda de los usuarios de red inalámbrica 4G LTE distribuidos en varios perfiles, como usuarios de prepago y usuarios de postpago, de voz y de datos, usuarios de módems que solo generan tráfico de datos, etc.

Para convertir la demanda de usuario en la capacidad de tráfico de cresta requerida (Mbit/s) para que sea más útil para la planificación de red, es necesario elaborar una matriz de velocidades para cada perfil de usuario, previendo la evolución de los próximos años debido al incremento de eficiencia espectral (bit/s/Hz) de las redes comerciales LTE.

En base a esta metodología, y con las estimaciones de la demanda de usuarios de la red inalámbrica 4G LTE por municipio y por tipo de perfil de usuario, así como la matriz de la estimación de velocidades que se prevé ofrecer en los planes de datos de la red inalámbrica 4G LTE, es posible obtener la estimación de la capacidad de tráfico que es necesario que soporte la red de acceso inalámbrica 4G LTE que se quiere desplegar en cada municipio.

Una vez que se conoce esa demanda de tráfico (Mbit/s) y se ha definido la demanda incremental que se debe atender cada año de operación, se puede calcular el número de células pequeñas y de puntos de acceso Wi-Fi que será necesario desplegar cada año para responder a la demanda que supere la

<sup>19</sup> El número de años depende de los plazos definidos en el cálculo del VAN. Por ejemplo, en Brasil se ha utilizado una previsión de la demanda de 10 años para el cálculo del valor actual neto (VAN) de un proyecto de banda ancha fija.

capacidad ya atendida por las macrocélulas. El número de células pequeñas necesarias para cada año de prestación del servicio en cada municipio puede calcularse utilizando la siguiente ecuación:

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

donde:

$D_{T_A}$  es la demanda de tráfico (Mbit/s) de todos los usuarios del municipio en el año A

$F_s$  es el factor de compartición de la red

$C_{\text{macrocélulas}}$  y  $C_{\text{células pequeñas}}$  son la capacidad (en Mbit/s) proporcionada por cada macrocélula (eNB tradicional con 3 sectores) y cada célula pequeña (de solo 1 sector). Esta capacidad se calcula multiplicando la cantidad de espectro (MHz) disponible para redes 4G LTE en el municipio en el año A ( $B_A$ ), la eficiencia espectral (bit/s/Hz) de las redes comerciales 4G LTE en 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 la red 4G LTE sobre redes Wi-Fi, que es el porcentaje de tráfico atendido por una célula pequeña que se descarga en un punto de acceso Wi-Fi.

Después de la descripción de la ecuación utilizada para calcular el número de células pequeñas + puntos de acceso Wi-Fi que deben instalarse en cada municipio cada año, se detallan a continuación las hipótesis consideradas para la definición del valor de cada variable de la ecuación.

Como se ha indicado anteriormente,  $D_{T_A}$  es la demanda del año A, es decir, la demanda de tráfico (en Mbit/s) que se produce en el año A en un municipio concreto. La información sobre células pequeñas a continuación ilustra la aplicación de esta fórmula.

La utilización del factor de descarga se basa en el hecho de que, debido al rápido crecimiento del tráfico con la popularización de los terminales de red móvil 4G LTE, existe una tendencia mundial basada en la utilización de redes Wi-Fi para descargar una parte de este tráfico<sup>20</sup>, en particular en zonas urbanas muy densas. Además, el factor de descarga representa una búsqueda de eficiencia en el despliegue de redes, pues algunas zonas (por ejemplo, microcentros, centros comerciales, aeropuertos, etc.), con una gran concentración de demanda, pueden tener gran parte de su capacidad atendida a través de puntos de acceso Wi-Fi.

Recientes estimaciones<sup>21</sup> indican que hasta un 63 por ciento del tráfico de banda ancha móvil pasará por redes Wi-Fi, reduciendo los requisitos de demanda que es necesario tener en cuenta en el dimensionamiento de una red móvil con frecuencias que requieren licencia. Además, esta alternativa permite optimizar el CAPEX de manera significativa.

El factor de compartición de red  $F_s$  es un parámetro habitualmente utilizado en el diseño de redes de paquetes conmutados, como las redes de datos inalámbricas 4G LTE. En las ecuaciones de dimensionamiento de red, este parámetro se utiliza para incluir el hecho de que los usuarios, en muchos casos, necesitan los recursos de red (enviar y recibir paquetes) en momentos diferentes. Como los usuarios no utilizan todos en el mismo momento la capacidad de la red móvil, no sería eficiente para una red poder soportar el total de la previsión de tráfico de datos máximo, pues esa circunstancia no se produciría nunca. El factor de compartición de la red, en cambio, se utiliza para expresar el número de usuarios que la red debe ser capaz de soportar simultáneamente. Este factor puede variar en función del país y a veces se establece en el marco reglamentario nacional de calidad de servicio. Un valor típico que se utiliza en el dimensionamiento de redes de banda ancha

<sup>20</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.

<sup>21</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>

(fijas o móviles) es de 1:20 (5%), es decir, para cada 20 Mbit/s de capacidad contratada, la red debe proporcionar solo 1 Mbit/s, pues en condiciones normales solamente un 5 por ciento de los usuarios utilizará la red al mismo tiempo.<sup>22</sup>

La eficiencia espectral  $\eta_A$  en (bit/s/Hz), de las redes LTE comerciales en el año A puede obtenerse a través de los operadores y los proveedores locales; en general, 4 bit/s/Hz es el punto de referencia para redes que utilizan una modulación 256 MAQ. Además, pueden realizarse previsiones de la eficiencia espectral analizando el comportamiento histórico de la curva creciente de la evolución de la eficiencia espectral para las tecnologías de transmisión de datos en las redes móviles, desde el nacimiento de las tecnologías de la tercera generación (WDCMA, HSPA, etc.) hasta la aparición de las redes LTE y las actualizaciones sucesivas (versiones) del Foro 3GPP. En base a estos datos, se puede estimar una curva de eficiencia espectral creciente durante los próximos años hasta que las redes LTE alcancen la madurez y se produzca el lanzamiento comercial de tecnologías móviles más avanzadas (por ejemplo, la 5G).

La última variable es la cantidad de espectro (MHz) disponible  $B_A$  para las redes LTE en cada municipio en un año concreto A, que dependerá del país y es habitualmente una variable que conocen los reguladores.

Una vez que se han entendido todas las variables utilizadas en el cálculo del número de células pequeñas necesarias cada año A en cada municipio para responder a la demanda de tráfico de datos, es posible obtener el volumen de infraestructura que es necesario desplegar, no solo para responder a las necesidades de cobertura sino para asegurar suficiente capacidad para responder de manera adecuada a la demanda de banda ancha móvil.

### Células pequeñas

El siguiente cuadro muestra la estimación del número de células pequeñas necesarias por año en un despliegue concreto 4G LTE, considerando el escenario definido a continuación:

- i) se necesitan 19 macrocélulas para realizar la cobertura;
- ii) la previsión de demanda agregada varía entre 100 Gbit/s el primer año y 520 Gbit/s en el décimo año de operación;
- iii) la descarga mediante Wi-Fi es del 67 por ciento;
- iv) la tasa de compartición es del 5 por ciento;
- v) la eficiencia espectral de la red 4G LTE es constante en 3 bit/s/Hz por célula pequeña.

<sup>22</sup> Véase: <http://businessdocbox.com/Logistics/66514074-Lte-network-design-from-a-techno-economic-perspective.html>. LTE Network Design from a Techno-Economic Perspective.

**Estimación de células pequeñas 4G LTE**

Capacidad que debe soportar la red					Capacidad atendida por macrocélulas						
AÑO	$D_{T_s}$	$(1 - F_{descarga}) \cdot F_s$	$F_s$	$[D_{T_s} \cdot (1 - F_{descarga}) \cdot F_s]$	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	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps
2	120 Gbps	37%	5%	2.22 Gbps	2	19	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps
3	150 Gbps	37%	5%	2.78 Gbps	3	19	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps
4	175 Gbps	37%	5%	3.24 Gbps	4	19	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps
5	210 Gbps	37%	5%	3.89 Gbps	5	19	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps
6	250 Gbps	37%	5%	4.63 Gbps	6	19	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps
7	300 Gbps	37%	5%	5.55 Gbps	7	19	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps
8	360 Gbps	37%	5%	6.66 Gbps	8	19	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps
9	450 Gbps	37%	5%	7.96 Gbps	9	19	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps
10	520 Gbps	37%	5%	9.62 Gbps	10	19	20 MHz	3 bps/Hz	3	0.18 Gbps	3.42 Gbps

Capacidad que deben soportar las células pequeñas		Capacidad de las células pequeñas				
AÑO	$\max\{[D_{T_s} \cdot (1 - F_{descarga}) \cdot F_s] - (N_{macrocélulas} \cdot C_{macrocélulas}); 0\}$	AÑO	$B_f$	$\eta_A$	$S$	$C_{células pequeñas}$
1	0	1	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps
2	0	2	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps
3	0	3	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps
4	0	4	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps
5	0.47 Gbps	5	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps
6	1.21 Gbps	6	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps
7	2.15 Gbps	7	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps
8	3.24 Gbps	8	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps
9	4.54 Gbps	9	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps
10	6.2 Gbps	10	20 MHz	3 bps/Hz	1	0.06 Gbps

Número de células pequeñas	
AÑO	$\frac{\max\{[D_{T_s} \cdot (1 - F_{descarga}) \cdot F_s] - (N_{macrocélulas} \cdot C_{macrocélulas}); 0\}}{C_{células pequeñas}}$
1	0
2	0
3	0
4	0
5	8
6	21
7	36
8	54
9	76
10	104

En este escenario, sería necesario proporcionar más capacidad a la red inalámbrica solo a partir del quinto año. Al final del proyecto, se habría desplegado un total de 104 células pequeñas.

Fuente: UIT

Nota: Los valores se ofrecen a título de ejemplo.

### Costos unitarios de la infraestructura

Una vez definido el número de emplazamientos de la red de banda ancha inalámbrica 4G LTE por desplegar, el siguiente paso de la estimación del CAPEX es la obtención de los costos unitarios considerados en el despliegue de cada uno de esos emplazamientos.

Para entender mejor el enfoque de precios de las macrocélulas, los elementos de la red se han clasificado en tres categorías:

- i) la infraestructura pasiva (torres, etc.), la carga de cuyo costo puede reducirse (a veces de forma muy importante) mediante la compartición de estructuras ya instaladas;
- ii) los nodos eNB de LTE, que incluye el conjunto de equipos que constituyen el controlador, el transmisor y el sistema radioeléctrico;
- iii) las redes de transporte de datos, que consisten en elementos de transporte (generalmente ópticos) desde el emplazamiento LTE hasta la red del operador. Los costos unitarios de cada uno de estos elementos de red pueden obtenerse de los operadores o suministradores locales.

Una vez que se han conseguido los precios de las macrocélulas, estos valores pueden utilizarse como referencia para definir los precios del despliegue de células pequeñas. Algunos estudios de mercado<sup>23</sup> han estimado el costo del emplazamiento típico con célula pequeña + punto de acceso Wi-Fi, en un 21 por ciento del costo de una macrocélula. Aunque este porcentaje es un valor orientativo útil, siempre debe utilizarse en una planificación real la información de precios actualizada que se consigue de los operadores y suministradores de red locales.

### Resultados de la estimación de CAPEX

Una vez que se ha estimado el número total de emplazamientos de red de banda ancha inalámbrica 4G LTE (macrocélulas y células pequeñas + punto de acceso Wi-Fi) que se deben instalar cada año en cada municipio donde se debe prestar el servicio, y que se han conseguido los precios unitarios de los elementos de la infraestructura de la red de acceso, se puede calcular la inversión total (CAPEX) anual.<sup>24</sup>

La matriz de CAPEX definirá el valor actual neto del negocio de la red de banda ancha inalámbrica 4G LTE y será uno de los factores determinantes en la evaluación de la inclusión de zonas insuficientemente atendidas en las políticas públicas destinadas a fomentar la construcción de infraestructura de banda ancha móvil.

## 4.2 Redes de acceso de banda ancha fija

La modelización utilizada por los reguladores para valorar la inversión necesaria en el despliegue de una red FTTH puede basarse en referencias relativas a arquitectura y soluciones de red reconocidas internacionalmente para la estimación de los equipos y la fibra óptica. Una vez calculado la cantidad de equipos y de cableado y definidos sus costos unitarios, se puede obtener el CAPEX total del despliegue de la red.

El primer paso es la elección de la tecnología de red FTTH que va a utilizarse como referencia para el dimensionamiento de la red. Después de analizar las diferentes tecnologías del mercado, se ha elegido la tecnología GPON (red óptica pasiva con capacidad de gigabits de la serie de Recomendaciones del UIT-T G.984.1-G.984.6) para este ejercicio, debido a los amplios despliegues de esta tecnología en todo el mundo.

Las redes GPON, de acuerdo con la Recomendación UIT-T G.984.1<sup>25</sup>, se caracterizan por sistemas de terminación de línea óptica y terminaciones de red óptica, con una red de distribución óptica pasiva constituida por divisores que interconectan las terminaciones de línea óptica con las terminaciones de red óptica.

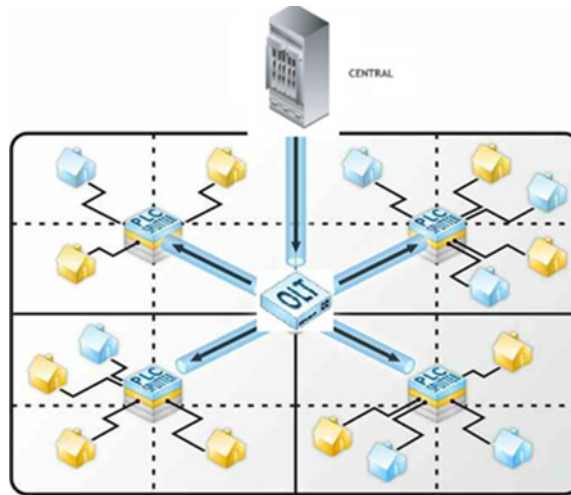
Para los fines del presente documento, el enfoque más sencillo será una modelización del despliegue de la infraestructura de red utilizando la topología más habitual de las redes FTTH, la topología en estrella. El dimensionamiento de red en este ejercicio asume, por lo tanto, la existencia de una central FTTH local en cada municipio, con una instalación de terminaciones de línea óptica (OLT) en función del número deseado de "hogares pasados" en cada municipio. La Figura 7 muestra la topología de red propuesta.

<sup>23</sup> Fuente: Paolini, M. (2012), *The economics of small cells and Wi-Fi offload*, Senza Fili Consulting, página 2.

<sup>24</sup> No se ha estimado en este apartado la necesidad de inversión en equipos de núcleo de la red inalámbrica 4G LTE, pues se asume que la operación modelizada ya cuenta con otras operaciones 4G LTE en las regiones económicamente más atractivas del país y ya dispone, por lo tanto, de esos equipos.

<sup>25</sup> <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/en>

Figura 7: Topología de red FTTH



Fuente: UIT

En base a esa topología, el siguiente paso consiste en calcular el número de terminaciones de línea óptica, de divisores, de terminales de red óptica, los kilómetros de fibra óptica necesarios en los niveles de agregación<sup>26</sup> y de acceso<sup>27</sup> para implantar la red FTTH y prestar los servicios de banda ultra ancha.

### Terminaciones de línea óptica (OLT)

Para el dimensionamiento del número de OLT necesarias, es importante considerar la Recomendación UIT-T G.984.1 "Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits (GPON): Características generales", que indica 1:128 como relación de división óptica máxima. Significa que pueden conectarse hasta 128 usuarios a cada puerto óptico de una OLT. La decisión relativa a la capacidad de la OLT (en cuanto a número de puertos) es una cuestión de diseño del equipo, y ya están disponibles de manera habitual en el mercado OLT de 16 puertos. Considerando la relación de división óptica máxima y la capacidad de OLT máxima, es posible conectar hasta 2048 usuarios por OLT. En consecuencia, el número de OLT que es necesario instalar en una red FTTH puede, en general, calcularse con:

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

donde:

$N_{OLT\_p}$  es la estimación del número de OLT en función del número de puerto necesarios

$N_{hp}$  es el número deseado de hogares pasados

$K_{OLT}$  es el número de puertos de la OLT elegida

$S_R$  es la relación de división óptica utilizada

Sin embargo, considerando que la capacidad del tráfico agregado típico de una OLT está generalmente limitado a 10 Gbit/s, cuanto mayor sea el número de puertos (y, en consecuencia, el número de usuarios conectados a la misma OLT) menor será la posibilidad de ofrecer conexiones de banda ancha de velocidades más altas.

<sup>26</sup> El nivel de agregación incluye la red entre la central local de FTTH y los divisores a nivel de la calle.

<sup>27</sup> El nivel de acceso incluye la red entre los divisores a nivel de la calle y los hogares de los abonados.



Por ejemplo, una OLT con el máximo de usuarios conectados, una capacidad de tráfico agregado de 10 Gbit/s y un factor de compartición de la red del 5% (1:20) puede ofrecer al usuario final velocidades de hasta 100 Mbit/s aproximadamente. Sin embargo, si se aumenta la velocidad ofrecida por encima de estos niveles, será necesario incrementar el número de OLT para responder a la demanda del mismo número de usuarios. La ecuación siguiente muestra la fórmula para el cálculo del número de OLT en función de la velocidad de conexión ofrecida:

$$N_{OLT\_s} = \frac{N_{hp} \times Tx_u \times F_s}{C_{OLT}}$$

donde:

$N_{OLT\_s}$  es la estimación del número de OLT en función de la velocidad de conexión ofrecida a los usuarios

$N_{hp}$  es el número deseado de hogares pasados

$Tx_u$  es la velocidad de conexión ofrecida a un usuario típico de FTTH en Mbit/s

$F_s$  es el factor de compartición de la red

$C_{OLT}$  es la capacidad de transmisión de datos de una OLT en Mbit/s.

Como se ha indicado anteriormente, el factor de compartición de red  $F_s$  es un parámetro utilizado habitualmente en el diseño de redes de paquetes conmutados, como las redes de banda ancha fija. Como se indica aquí y en el capítulo 6, este factor introduce en la ecuación de dimensionamiento de red el hecho de que los usuarios no acceden a los recursos de red al mismo tiempo y, por lo tanto, mejora la eficiencia eliminando el sobredimensionamiento de la capacidad. Como en el caso de las redes de banda ancha móvil, el valor típico para redes de banda ancha fija es 1:20 ( $F_s = 5\%$ ).

### Terminaciones de línea óptica

Teniendo en cuenta los dos enfoques para el cálculo del número de terminaciones de línea óptica (OLT) necesarias para la red FTTH que se quiere desplegar, el primero basado en el número de puertos físicos necesarios para conectar todos los hogares pasados y el segundo basado en la velocidad ofrecida a los usuarios, el cálculo final del número de OLT corresponde con el mayor de los valores obtenidos en cada enfoque, como se muestra en el ejemplo a continuación:

#### Estimación del número de OLT

$N_{OLT\_p} = \frac{N_{hp}}{K_{OLT} \cdot S_R}$ <p> <math>N_{hp} = 50\ 000</math> hogares pasados  <math>K_{OLT} = 16</math> Puertos  <math>S_R = 128</math> </p> $N_{OLT\_p} = 25$	$N_{OLT\_s} = \frac{N_{hp} \cdot Tx_u \cdot F_S}{C_{OLT}}$ <p> <math>N_{hp} = 50\ 000</math> hogares pasados  <math>Tx_u = 80</math> Mbit/s  <math>F_S = 5\%</math>  <math>C_{OLT} = 10\ 000</math> Mbit/s                 </p> $N_{OLT\_s} = 20$
<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 5px;"> <math>N_{OLT} = \max(N_{OLT\_p}; N_{OLT\_s}) = 25</math> </div>	

Fuente: UIT

Nota: Los valores se ofrecen a título de ejemplo.

### Divisores

El dimensionamiento del número de divisores (en inglés, *splitters*) en cada municipio para cubrir el número de hogares pasados es, en gran medida, una elección de diseño y depende de las características de la zona urbana que se quiere atender y de la demanda de usuarios prevista. Teniendo en cuenta la necesidad de conectar hasta 128 usuarios por puerto en una OLT típica, pueden elegirse varias configuraciones de divisores, por ejemplo, 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, etc. Si se considera únicamente el despliegue de un nivel de divisores 1:16, se necesitarían ocho divisores para conectar cada puerto de OLT a 128 usuarios. En general la fórmula para el cálculo del número de divisores en una red con un nivel de divisores es:

$$N_{splitter} = \frac{N_{hp}}{K_{splitter}}$$

donde:

$N_{splitter}$  es el número de divisores (*splitters*) necesarios en toda la red

$N_{hp}$  es el número deseado de hogares pasados

$K_{splitter}$  es el número de puertos disponibles de acuerdo con el tipo de divisor elegido, es decir, el número máximo de usuarios por divisor.

### Dimensionamiento de la fibra óptica (nivel de divisores)

El siguiente ejemplo muestra la estimación del número de divisores necesarios para un despliegue de red FTTH.

#### Estimación del número de divisores

$$N_{splitter} = \frac{N_{hp}}{K_{splitter}}$$

$$N_{hp} = 50\,000 \text{ hogares pasados}$$

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

$$N_{splitter} = 3\,125 \text{ divisores}$$

Fuente: UIT

Nota: Los valores se ofrecen a título de ejemplo.

### Modelización matemática para el dimensionamiento del cableado de fibra óptica

Una vez calculados el número de divisores y de OLT necesarios para responder al número deseado de hogares pasados, el siguiente paso en la definición del modelo de la inversión necesaria es el cálculo de los kilómetros de fibra óptica necesarios para interconectar todos los elementos de la jerarquía en estrella a la central de FTTH. Después de analizar las metodologías más utilizadas para la estimación la longitud de fibra necesaria para la implementación de redes FTTH, destacan dos enfoques, el espacial y el geométrico.

El **enfoque espacial** está basado en la existencia de datos geoespaciales de la zona urbana que se quiere atender, con información sobre la distribución de los perfiles de hogares, las redes de carreteras y la geolocalización de los elementos de telecomunicaciones existentes, entre otros. En base a esta información detallada, se define la posición geográfica de la central local de FTTH, los divisores y las OLT de manera óptima para dar cabida al número de hogares pasados que se desea, minimizando los kilómetros de cable necesarios para interconectar los equipos necesarios. Aunque es un modelo preciso, su desventaja reside precisamente en la necesidad de una información geoespacial completa que, en muchos casos, no está sencillamente disponible.

Por otro lado, el **modelo geométrico**, utiliza modelos matemáticos para calcular la cantidad de fibra óptica necesaria en base a simplificaciones de las condiciones geoespaciales, el relieve, las redes de carreteras y la distribución de los hogares. Aunque menos preciso que el enfoque espacial, puede proporcionar una buena estimación de la cantidad de fibra necesaria, incluso si no se dispone de la información geoespacial, y representa un enfoque rápido y razonablemente preciso para el dimensionamiento de red.

El artículo *Geometric versus Geographic Models for the Estimation of an FTTH Deployment*<sup>28</sup> ofrece un análisis comparativo de un modelo de cálculo espacial y de dos modelos de cálculo geométricos, el modelo de triángulos (MT) y el modelo de longitud de calle simplificada (SSL). El resultado de este análisis comparativo demuestra que el modelo geométrico SSL proporciona resultados más precisos que el modelo de triángulos, pero es, sin embargo, substancialmente menos preciso que el modelo espacial. Además, se indica que las principales fuentes de imprecisión de los modelos geométricos

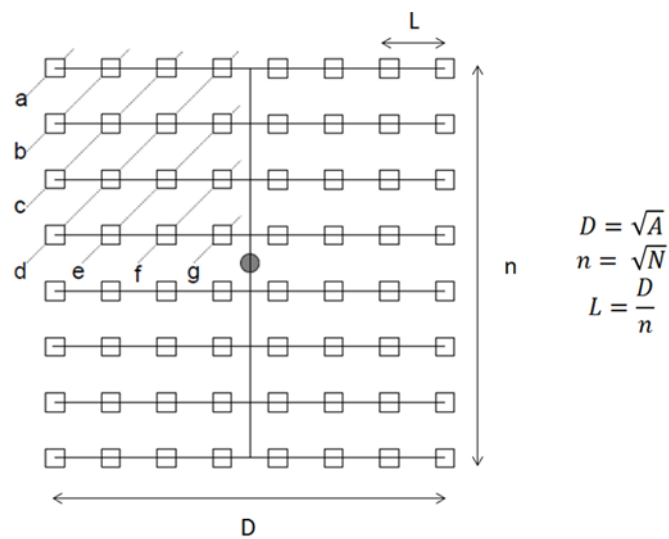
<sup>28</sup> Artículo académico publicado en el IEEE en 2013: <https://biblio.ugent.be/publication/4402261>

frente al modelo espacial se deben principalmente a imperfecciones debidas al relieve y la distribución espacial de los hogares que no se tienen en cuenta. Se proponen factores de corrección para aplicar al modelo geométrico con el fin de mejorar su precisión.

Habida cuenta de lo anterior, en los casos donde la falta de datos geoespaciales impida la utilización del modelo espacial para los municipios que se quiere atender, se propone utilizar el modelo geométrico SSL corregido descrito en el artículo citado para el cálculo de la cantidad de fibra óptica necesaria para interconectar los diferentes elementos de la red óptica.

El modelo SSL adopta como hipótesis básica una distribución uniforme de los elementos que se quiere conectar por fibra óptica en un área de forma cuadrada, en donde el elemento de nivel superior, al cual se conectan todos los otros elementos, está situado en el centro del cuadrado, como se indica en el esquema de la Figura 8.

Figura 8: Modelo geométrico SSL



Fuente: UIT

donde:

- $A$  es el área del cuadrado en  $\text{km}^2$
- $D$  es la longitud de un lado del cuadrado en  $\text{km}$
- $L$  es la distancia entre cada elemento en  $\text{km}$
- $N$  es el número de elementos incluidos en el cuadrado
- $n$  es el número de elementos situados en un lado del cuadrado.

En este escenario, que considera la restricción habitual de desplegar la fibra óptica a lo largo de calles y caminos existentes (dispuestos en horizontal y vertical en el modelo SSL), el reto consiste en calcular la distancia de cada elemento hasta el centro del cuadrado, distancia que depende esencialmente de la distancia entre los elementos distribuidos uniformemente y la cantidad de estos elementos en el cuadrado. Por otro lado, otro factor que debe tenerse en cuenta en los cálculos es la existencia de dos o más elementos apilados en la misma posición. Este efecto viene definido por la variable  $K$ , que es el número medio de elementos apilados en la misma posición del cuadrado en cuestión.

Otro elemento importante a tener en cuenta en la representación geométrica es que se divide el cuadro en cuestión en cuatro cuadrantes de igual tamaño, categorizando cada uno de los elementos en función de la diagonal del cuadrante donde está situado, todos los elementos de la misma categoría estarán a la misma distancia del centro del cuadrado principal. Por ejemplo, si se ordenan

los elementos en categorías de  $a$  a  $g$ , como se muestra en la Figura 8 anterior, la distancia de cada elemento al centro de cuadrado será  $a = (n-1) \cdot L$ ;  $b = (n-2) \cdot L$ ;  $c = (n-3) \cdot L$ ; ...;  $g = L$ .

De esta manera, si se multiplica la distancia de un elemento típico de cada categoría por el número de elementos de una categoría, se obtiene la distancia total de todos los elementos de esa categoría al centro del cuadrado más grande. Cuando se suman las distancias de todas las categorías, se obtiene la suma total de las distancias de los elementos del cuadrante al centro del cuadrado más grande. A partir de este valor, es sencillo obtener la distancia total de todos los elementos del cuadrado multiplicando por cuatro la distancia total de un cuadrante (pues existen cuatro cuadrantes) y multiplicar este valor por el factor  $K$ , pues cada elemento debe disponer de una fibra óptica para su conexión al centro del cuadrado, incluso si está apilado sobre otro elemento.

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

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

Desde este punto, el siguiente paso es la definición de los valores de las variables  $K$ ,  $L$  y  $n$  para cada municipio y para cada nivel de red, que se describe a continuación.

### Cálculo de la fibra óptica

A fin de calcular el número de kilómetros de fibra óptica utilizando el modelo geométrico SSL, es necesario definir los elementos de red y valores para las variables  $A$ ,  $D$ ,  $L$ ,  $N$ ,  $n$  y  $K$  del modelo. Teniendo en cuenta que existe una central FTTH local, las OLT, los divisores y los hogares por conectar con fibra en cada municipio, es necesario realizar este cálculo en varios pasos.

En un primer paso, se calcula la cantidad de fibra óptica necesaria para conectar las OLT de cada municipalidad a la central FTTH local. En este paso, se asigna a la variable  $A$  el valor de la superficie urbana que se está cubriendo, y a la variable  $N$  el número de OLT que se deben instalar. A partir de esas variables se calculan los valores  $n$ ,  $D$  y  $L$ , y, considerando  $K = 1$  (distribución uniforme de las OLT en la superficie urbana a cubrir), puede estimarse la cantidad de fibra necesaria para interconectar todas las OLT a la central FTTH local utilizando el modelo geométrico SSL.

Una vez calculados los kilómetros de cable de fibra óptica necesarios para conectar las OLT de cada municipio a la central FTTH local utilizando el modelo SSL, el resultado se divide por el factor de corrección ya mencionado de 55,5 por ciento para compensar cualquier infraestimación por la utilización del modelo geométrico SSL.

En un segundo paso, se calculan los kilómetros de fibra necesarios para conectar el primer nivel de divisores con las OLT. Para ello, se calcula para cada OLT y sus divisores, y el resultado se multiplica por la cantidad de OLT que se piensa instalar.

En este segundo paso, se asigna a la variable  $A$  el valor de la superficie urbana del primer paso dividido por el número de OLT con el fin de considerar la superficie urbana correspondiente a una única OLT. Se asigna a la variable  $N$  el número de divisores que se van a instalar por OLT. A partir de esas variables se calculan los valores de  $n$ ,  $D$  y  $L$ , y, considerando también  $K = 1$  (distribución uniforme de los divisores en la superficie urbana de una OLT), puede estimarse la cantidad de fibra necesaria para interconectar los divisores a su OLT correspondiente utilizando el modelo geométrico SSL y aplicando el mismo factor de corrección de 55,5 por ciento al resultado. En el caso de prever más de un nivel de divisores entre las OLT y los abonados, se repite el mismo cálculo para los demás niveles de los divisores del escenario.

Finalmente, deben calcularse los kilómetros de fibra necesarios para conectar los abonados a los divisores en cada municipio. Para ello, se calcula primero entre un único divisor y sus abonados respectivos y el resultado se multiplica entonces por el número de divisores que se prevé instalar.

Se asigna a la variable A el valor de la superficie urbana del primer paso dividido por el número de divisores que se prevé instalar. Se asigna a la variable N el número de hogares pasados por divisor. A partir de esas dos variables se calculan los valores de  $n$ ,  $D$  y  $L$ , y, considerando también  $K = 1$  (distribución uniforme<sup>29</sup> de los hogares en toda la superficie urbana cubierta por cada divisor), puede estimarse la cantidad de fibra necesaria para interconectar todos los hogares pasados a sus respectivos divisores utilizando el modelo geométrico SSL y se divide por un factor de corrección, en este caso de 67 por ciento<sup>30</sup>, para compensar cualquier infraestimación por la utilización del modelo geométrico simplificado.

Sin embargo, no todos los hogares pasados disponibles se convertirán en hogares conectados. El número de hogares conectados debe, por lo tanto, variar entre 0 y el número de hogares pasados disponibles, con solo los hogares conectados considerados en el cálculo de la fibra óptica. A fin de tener en cuenta este factor, y considerando que no se sabe qué hogares pasados se convertirán posteriormente en hogares conectados (por ejemplo, los que están más cerca o más lejos del divisor), una buena aproximación puede ser calcular el número medio de kilómetros de fibra para interconectar un hogar pasado a su divisor correspondiente en cada municipio, y multiplicar este valor por la previsión total de nuevos hogares conectados para cada año. Este cálculo mostrará la cantidad total de cable de fibra óptica necesario cada año en cada municipio para conectar todos los hogares conectados.

Un punto importante que debe considerarse también para calcular el número total de hogares conectados es el efecto de las cancelaciones (en inglés, *churn*) en la base de abonados. La cancelación de abonados mide la rotación de la base de abonados de un operador; en la práctica, la tasa de cancelación representa el porcentaje de clientes que dan de baja su abono a un servicio particular durante un periodo concreto.

Como efecto de las cancelaciones, el número de nuevas instalaciones llevadas a cabo cada año es mayor que la variación neta de la base de abonados de un operador. Es decir, si un operador tiene una base de 1 000 abonados y esa base crece a 1 100 abonados el año siguiente, el efecto de cancelación significa que el número de nuevos servicios contratados durante ese periodo es *superior a 100*. La explicación es simple: si la tasa de cancelación ha sido de un 5 por ciento ese año, entonces de los 1 000 abonados iniciales, 50 habrán cancelado su contrato mientras que 150 nuevos abonados habrán contratado el servicio, dejando la nueva base en un total de 1 100 abonados.

Ese efecto de renovación gradual de los abonados afecta de manera importante al CAPEX de un proyecto de red FTTH. Cada año, debe considerarse la necesidad de instalar el cambio neto de la demanda más el porcentaje de *cancelación* multiplicado por el número total de abonados del final del año anterior. Esto significa que son necesarios más cable de fibra óptica y más paquetes de CPE (equipos en las instalaciones de cliente), que incluyen el enrutador de usuario y el terminal de red óptica (ONT) que se instalan en los hogares de los abonados. Por supuesto, la mayoría de los CPE y ONT instalados anteriormente en los hogares de los abonados que cancelan sus contratos pueden y deben, si es posible, reutilizarse en los hogares de los nuevos abonados – con un porcentaje de reutilización que depende del almacenamiento logístico y de los problemas de transporte.

Las ecuaciones que permiten calcular los kilómetros de cable de fibra óptica necesaria para interconectar los hogares conectados a sus respectivos divisores, así como para calcular el número de paquetes de CPE necesarios, se muestran a continuación:

<sup>29</sup> Esta simplificación se utiliza debido a la normal falta de disponibilidad del nivel de distribución vertical de los hogares.

<sup>30</sup> El porcentaje medio de infraestimación del nivel de acceso en las zonas densas; véase "*Geometric versus geographic models for the estimation of an FTTH deployment*", Telecommunication Systems Volumen 54, página 21.

$$Fibra\_HC_{total\ t} = Fibra\_HC_{med} \cdot [N_{hct} - N_{hct-1} \cdot (1 - cancelación)]$$

$$N_{Pct\ CPE\ t} = N_{hct} - N_{hct-1} \cdot [1 - cancelación \cdot (1 - F_r)]$$

donde:

$Fibra\_HC_{total\_t}$  es el total de fibra óptica (en km) que se tiene que instalar en el año  $t$  para conectar los hogares conectados a sus respectivos divisores

$Fibra\_HC_{med}$  es el valor medio de cable de fibra óptica (en km) necesarios para conectar un hogar pasado a su divisor correspondiente

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

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

$cancelación$  es el porcentaje de abonados presentes en el año  $t-1$  que abandonaron la base de abonados en el año  $t$ ;

$N_{Pct\_CPE\_t}$  es el número de paquetes de CPE que se tiene que instalar en el año  $t$ ;

$F_r$  es el porcentaje de reutilización de las ONT retiradas de los hogares de los abonados que cancelaron su abono en el año  $t$ .

Téngase en cuenta que los porcentajes de cancelación y reutilización de los CPE y las ONT pueden variar de manera significativa entre países, es por lo tanto muy recomendable que los reguladores obtengan valores precisos de los operadores locales. Sin embargo, en el caso en que sea imposible conseguir esta información, una tasa de cancelación del 5 por ciento por año y un factor de reutilización del 80 por ciento se consideran en general razonables para el dimensionamiento de red.

### Cálculo de la fibra óptica (hogares pasados)

Primer paso:

<b>Cálculo de la fibra óptica – Nivel de OLT</b>		
$A = 100\ km^2$	$K = 1$	$L_{fo} = 4 \cdot K \cdot L \cdot \sum_{i=1}^{n-1} [\min(i, n-i) \cdot (n-i)]$ $L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 2 \cdot \sum_{i=1}^4 [\min(i, 5-i) \cdot (5-i)]$ $L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 2 \cdot [(1 \cdot 4) + (2 \cdot 3) + (2 \cdot 3) + (1 \cdot 1)]$ $L_{fo} = 136\ km$
$N = 25\ OLTs$	$n = \sqrt{N} = 5$	
$D = \sqrt{A} = 10\ km$	$L = \frac{D}{n} = 2\ km$	
$L_{fo\_corregida} = \frac{136}{0,555} \cong 245\ km$		

Segundo paso considerando un nivel de divisores:

**Cálculo de la fibra óptica – Nivel de divisores (*splitters*)**

$$A = \frac{100 \text{ km}^2}{25 \text{ OLTs}} = 4 \text{ km}^2/\text{OLT}$$

$$N = \frac{3 \text{ 125 Splitters}}{25 \text{ OLTs}} = 125 \text{ Splitters/OLT}$$

$$n = \sqrt{N} \cong 11$$

$$K = 1$$

$$D = \sqrt{A} = 2 \text{ km}$$

$$L : L = \frac{D}{n} \cong 0,18 \text{ km}$$

$$L_{fo} = 4 \cdot K \cdot L \cdot \sum_{i=1}^{n-1} [\min(i, n-i) \cdot (n-i)]$$

$$L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 0,18 \cdot \sum_{i=1}^{10} [\min(i, 11-i) \cdot (11-i)]$$

$$L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 0,18 \cdot [10 + 18 + 24 + 28 + 30 + 25]$$

$$L_{fo} = 118,8 \text{ km per OLT}$$

$$L_{fo\_corregida} = \frac{118,8}{0,555} \cong 214 \text{ km per OLT}$$

Cálculo del total de fibra óptica (en kilómetros) que se tiene que instalar en el año t=1 para conectar los hogares conectados a sus respectivos divisores (*splitters*), así como el número total de paquetes de CPE que deben instalarse en el mismo año en una ciudad.



### Cálculo de la fibra óptica -- Nivel de hogares pasados

(HP) ¶

$$A = \frac{4 \text{ km}^2/\text{OLT}}{125 \text{ Splitters}/\text{OLTs}} = 0,032 \text{ km}^2/\text{Splitter}$$

$$N = \frac{50\,000 \text{ HP}}{3\,125 \text{ Splitters}} = 16 \text{ HP}/\text{Splitter} ¶$$

$$n = \sqrt{N} \cong 4$$

$$D = \sqrt{A} \cong 0,18 \text{ km} ¶$$

$$K = 1$$

$$L = \frac{D}{n} \cong 0,045 \text{ km} ¶$$

$$L_{fo} = 4 \cdot K \cdot L \cdot \sum_{i=1}^n [\min(i, n-i) \cdot (n-i)]$$

$$L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 0,045 \cdot \sum_{i=1}^3 [\min(i, 4-i) \cdot (4-i)] ¶$$

$$L_{fo} = 4 \cdot 1 \cdot 0,045 \cdot [(1 \cdot 3) + (2 \cdot 2) + (1 \cdot 1)] ¶$$

$$L_{fo} = 1,44 \text{ km per Splitter} ¶$$

$$L_{fo\_corregida} = \frac{1,44}{0,67} \cong 2,25 \text{ km per Splitter} ¶$$

$$Fibra\_HC_{med} = \frac{2,15 \text{ km}/\text{Splitter}}{16 \text{ HP}/\text{Splitter}} = 0,135 \text{ km}/\text{HP} ¶$$

Considerando ¶

$$N_{hct_2} = 10\,000 ¶ \quad N_{hct_0} = 1\,000 ¶ \quad \text{cancelación} = 5\% □ \quad F_r = 80\%$$

y: ¶

$$Fibra\_HC_{total\_t} = Fibra\_HC_{med} \cdot [N_{hct} - N_{hct-1} \cdot (1 - \text{cancelación})]$$

$$N_{Pct\_CPE\_t} = N_{hct} - N_{hct-1} \cdot [1 - \text{cancelación} \cdot (1 - F_r)]$$

se obtiene: ¶

$$Fibra\_HC_{total\_1} = 0,135 \cdot [10\,000 - 1\,000 \cdot (1 - 0,05)] = 0,135 \cdot 9\,050 \cong 1\,222 \text{ km} ¶$$

$$N_{Pct\_CPE\_1} = 10\,000 - 1\,000 \cdot [1 - 0,05 \cdot (1 - 0,8)] = 10\,000 - 990 = 9\,010 \text{ Pct\_CPE} ¶$$

Fuente: UIT

Nota: Los valores se ofrecen a título de ejemplo.

### Costos unitarios de una red FTTH

El modelo de red FTTH presentado hasta ahora consiste en centrales FTTH locales que encaminan el tráfico local hacia la red troncal del operador, terminaciones de línea óptica (OLT), divisores y finalmente cables de fibra óptica y paquetes de CPE. Vale la pena tener en cuenta que pueden utilizarse cables de fibra óptica de menor capacidad (menor costo) para conectar los divisores y los hogares conectados, mientras que los cables de fibra óptica de mayor capacidad (mayor costo) pueden reservarse para conectar los divisores, las OLT y la central FTTH local.

Como en los puntos anteriores, los costos unitarios de estos elementos de red deben obtenerse directamente de los operadores y suministradores de red locales.

### Resultados de la estimación de CAPEX

Una vez que se ha calculado el número de las centrales FTTH locales, las OLT, los divisores, los paquetes de CPE y los kilómetros de fibra óptica necesarios para el despliegue de la red FTTH en

cada municipio, así como los costos unitarios de estos equipos, puede calcularse la inversión total (CAPEX) necesaria cada año.<sup>31</sup>

Es importante subrayar en este punto que la repercusión de la estimación de la inversión sobre el flujo de caja de la operación modelizada dependerá del plazo definido para la instalación de la infraestructura – normalmente los primeros años de operación. Los siguientes años solamente existirá un CAPEX relacionado con el despliegue de los cables de fibra óptica necesarios para la interconexión de los nuevos abonados a los divisores, y el costo de adquisición y distribución de los paquetes de CPE a los abonados, estas necesidades de infraestructura variarán en función de la evolución de la demanda de abonados FTTH a lo largo de los años.

### 4.3 Redes de transporte

Debido al crecimiento de la demanda de redes de acceso de banda ultra ancha, muchos países están sufriendo una falta de infraestructura de transporte capaz de encaminar todo el tráfico de datos entrante y saliente entre los municipios o las regiones, y la red troncal del operador.

Los responsables de las políticas se enfrentan ahora con frecuencia al reto de impulsar el despliegue de redes de transporte ópticas mediante políticas públicas que ofrecen condiciones favorables para atraer las inversiones privadas con el fin de reducir la falta de infraestructura. En este contexto, una estimación de CAPEX relativa al despliegue de redes de transporte de fibra óptica es a menudo útil para desarrollar o evaluar la sostenibilidad económica de proyectos de despliegue de infraestructura.

Con el fin de simplificar la valoración del CAPEX y del proyecto, puede considerarse, para los fines de este ejercicio, que una red de transporte de fibra óptica es un conjunto de enlaces de fibra óptica con amplificadores y transmisores de jerarquía digital síncrona (SDH) en sus extremos, conectados por cables de fibra óptica enterrados, con algunos repetidores de fibra situados a lo largo de los cables. Además, son necesarios elementos de red como multiplexores ópticos de incorporación/extracción reconfigurables (ROADM) basados en multiplexación por división de longitud de onda densa (DWDM) y repartidores ópticos (ODF) para integrar el tráfico de datos en la red troncal nacional.

Tanto el número de elementos necesarios como su capacidad están fuertemente ligados con el flujo requerido mínimo (demanda de tráfico agregada de municipio o región) y la distancia entre el municipio o la región y el punto de conexión más cercano de la red troncal del operador. Cuando se conoce estos dos elementos de información fundamental para cada uno de los enlaces de transporte que se necesitan, puede estimarse el CAPEX total.

En el caso de los equipos de red de los extremos – en especial, los transmisores – el número de elementos necesarios se basa en la demanda de cada municipalidad. Es decir, se considera la utilización de equipos con una cierta capacidad de transmisión de datos (Mbit/s) y, en base a la demanda de datos, se estima la cantidad necesaria de equipos.

Los equipos de la red troncal, sin embargo, representan puntos donde pueden ser necesarios ajustes de la red para soportar la demanda de un municipio particular. En efecto, conectar un nuevo municipio a la red troncal puede requerir una expansión de la capacidad de algunos de los elementos de red. En este caso, es necesario, para cada municipio, cuantificar las ampliaciones de los equipos de la red troncal.

El último grupo de elementos de red está relacionado con la longitud total de la red. En una red de fibra óptica la cantidad de fibra y el número de conductos y de zanjas necesarias depende directamente de la longitud de la red, con repetidores insertados cada cierta distancia, en función de su rango de funcionamiento. El rango de los repetidores de fibra depende del suministrador de red y también

<sup>31</sup> No se ha considerado el CAPEX necesario para el encaminamiento del tráfico de datos fuera de los municipios (desde la central FTTH local) en base a la hipótesis de que existe una red troncal nacional que interconecta todos los municipios que deben incluirse en el proyecto FTTH.

puede preverse que variará con el tiempo; sin embargo, como regla general para los diseños de redes de transporte ópticas, está bastante normalizada la inclusión de repetidores cada 70 km.

Para calcular el costo de este conjunto de elementos de red, es necesario definir la longitud de cada enlace de red que se debe construir. Puede realizarse utilizando, como referencia, la distancia más corta por carretera entre el municipio que se quiere conectar y la red troncal de fibra óptica nacional, pues la instalación de fibras a lo largo de las autopistas y las carreteras entre municipios reduce generalmente los costos y el tiempo de despliegue.

Téngase en cuenta que esta estrategia de cálculo se basa en el despliegue de la red en una topología de estrella (conexión punto a punto sin optimización). Sin embargo, como más de un municipio puede conectarse a la red troncal nacional en el mismo punto, debe evaluarse la posibilidad de implementar partes de la red con una topología de anillo en la cual los municipios se conectan los unos a los otros y tienen un punto común de conexión de tráfico con la red troncal nacional. Este enfoque híbrido reduce significativamente los kilómetros de fibra necesarios, pero requiere que los reguladores definan primero la topología física de la red que se va a desplegar.

Finalmente, habiendo calculado el volumen de equipos y de cable de fibra óptica necesarios, se multiplican esos valores por los costos unitarios de los equipos, obtenidos preferentemente de los fabricantes y los proveedores que trabajan en el país en cuestión. El resultado final de todos estos cálculos da como resultado la estimación del CAPEX total del proyecto.

## 5 Estimación de los gastos operativos (OPEX) para la prestación del servicio de banda ancha

El presente capítulo trata de los costos y los gastos corrientes (OPEX) de un proyecto de banda ancha con el fin de estimar de manera precisa los flujos de caja para la elaboración del plan de negocio. Se consideran tres enfoques principales para la estimación del OPEX:

- la utilización de modelos de costos;
- la utilización de costos y gastos anteriores;
- la utilización de referencias de comparación.

Para los responsables de políticas, la decisión de qué modelo adoptar dependerá de la disponibilidad de los datos.

### 5.1 Utilización de modelos de costos para la estimación del OPEX

Cuando se calcula el VAN de un proyecto, la previsión del valor de los gastos puede basarse en la información extraída del modelo de costos para los casos en que los organismos reguladores de telecomunicaciones imponen, como obligación reglamentaria, una separación contable y una presentación de modelos de costos para la reglamentación de las tarifas de los servicios mayoristas.

Aunque estas obligaciones reglamentarias están relacionadas con la estimación de costos de productos mayoristas, los datos asociados con esa contabilidad de costos proporcionan una información valiosa que puede utilizarse para estimar el OPEX de los proyectos de banda ancha.

Un método interesante es la utilización de datos de costos totalmente asignados (FAC, *fully allocated costs*), un enfoque descendente "de arriba a abajo"<sup>32</sup> para la estimación de los costos asociados con

<sup>32</sup> En un enfoque de este tipo, el cálculo se inicia con la información real de contabilidad de los operadores y se asigna a cada servicio de una manera específica.

la prestación de servicios de banda ancha. En este enfoque, el costo total de un servicio ofrecido por el operador incluye todos los costos contables incurridos por la empresa en la prestación de ese servicio – incluidos los costos de capital. Los costos totales de un producto pueden, por lo tanto, representarse con las ecuaciones siguientes:

$$\text{Costo total de producto (CT)} = \text{gastos} + \text{costo de capital}$$

$$\text{Costo de capital (CC)} = \text{capital utilizado en el producto} \times \text{WACC}$$

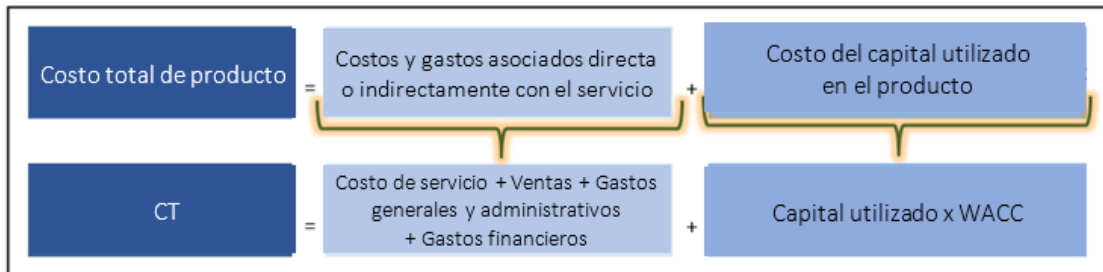
donde:

*Gastos* hace referencia a la suma de los costos de servicio, de ventas, gastos generales y administrativos y gastos financieros asociados directamente con la producción del producto;

*Costo de capital* (CC) es la remuneración hipotética que el proveedor obtendría manteniendo el capital invertido en sus activos;

WACC es el costo medio ponderado del capital.

Figura 9: Composición de costos totales



Fuente: UIT

Debe tenerse en cuenta que varios servicios de telecomunicaciones ofrecidos por los operadores utilizan a su vez servicios producidos internamente y, en consecuencia, el costo total de producto debe abarcar también los gastos relacionados con estas transferencias internas, si existen.

Las transferencias internas pueden valorarse de dos maneras:

- i) si el producto tiene una comercialización externa, el precio de transferencia interna debe ser el mismo que el precio que se cobra a otro proveedor de servicios de telecomunicaciones;
- ii) si no existe una comercialización externa, el precio de transferencia interna se basa en el costo total de producto, calculado con la ecuación de la Figura 9 relativa al costo total de producto (CT).

En base a las informaciones presentadas por los proveedores en las disposiciones de contabilidad separada y la metodología elaborada por el organismo regulador para el modelo de costos de arriba a abajo, se puede definir la composición del costo total de cada servicio ofrecido.

La proyección del OPEX, necesaria para calcular el VAN del proyecto de banda ancha, puede basarse en el cociente de la suma de gastos incurridos en la prestación de un conjunto de servicios ofrecidos por un proveedor o un grupo de proveedores, y la suma de los ingresos operativos netos del mismo conjunto de servicios.

Figura 10: Relación gastos/ingresos netos



Fuente: UIT

La relación resultante de (total de costos y gastos)/(ingresos netos) debe aplicarse a la estimación de los ingresos para cada año del plan de negocio, dando como resultado la estimación de una parte del OPEX.

Cuando se analizan los conceptos asignados al grupo de gastos que incluye la categoría de "costes de servicio", es posible clasificarlos (en base a sus características) en dos categorías diferentes: a) costos de operación y mantenimiento, y b) compensaciones pagadas a otros prestadores de servicios (por ejemplo, interconexión, alquiler de red y otros gastos similares).

En este punto, solo queda estimar la parte de gastos relacionada con los costos de operación y mantenimiento (OPEX y operación y mantenimiento) que se excluyó de los cálculos de los costos de servicio por depender esencialmente del CAPEX del proyecto. Para la estimación del OPEX, puede utilizarse la información de OPEX unitario anual para cada elemento de red necesario para la construcción de la red.

Cuadro 3: Costos de operación y mantenimiento

Elementos de red	CAPEX	OPEX
Elemento 1	X	% de X
Elemento 2	Y	% de Y
Elemento 3	Z	% de Z
...	...	...
		OPEX de O&M

Como los cálculos de los costos de operación y mantenimiento están estrictamente relacionados con el CAPEX que se va a implementar, los costos relativos a esta categoría de gastos pueden calcularse utilizando un porcentaje de la proyección del CAPEX, en vez de utilizar los valores medios obtenidos a partir de los datos históricos del proveedor de servicio.

Cuadro 4: OPEX total

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	---
Ingresos netos	X	Z	Y	W	...
Relación gastos/ingresos	r %	r %	r %	r %	r %
OPEX 1	X . r %	Z . r %	Y . r %	W . r %	...
OPEX O&M	OPEX O&M	OPEX O&M	OPEX O&M	OPEX O&M	
OPEX total	(X . r %) + OPEX O&M	(Z . r %) + OPEX O&M	(Y . r %) + OPEX O&M	(W . r %) + OPEX O&M	

## Utilización de modelos de costos para calcular el OPEX

### COSTOS TOTALES E INGRESOS DE LOS SERVICIOS MÓVILES ADICIONALES

<b>Ingresos operativos</b>	<b>255 432 605</b>
<b>Costos y gastos + costo del capital utilizado</b>	<b>127 568 537</b>
<i>Costo de los servicios</i>	43 845 975
<i>Gastos comerciales</i>	51 119 948
<i>Gastos generales y de administración</i>	32 602 613
<b>Relación (gastos/ingresos)</b>	<b>0,50</b>

	INGRESOS TOTALES	Relación (gastos/ingresos)	OPEX 1	VOLUMEN	OPEX 2	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 UNITARIO
Elemento 1	\$ 23 750	11%	\$ 2 613
Elemento 2	\$ 222 500	7%	\$ 15 575
Elemento 3	\$ 142 500	3%	\$ 4 275
Elemento 4	\$ 3 500	1%	\$ 35
		<i>Total</i>	\$ 22 498

Escenario: Un operador móvil que va a lanzar un proyecto de red inalámbrica 4G LTE. Uno de los enfoques posibles, para la estimación del OPEX del nuevo proyecto, es la utilización de modelos de costos elaborados/aplicados anteriormente por el regulador a otros servicios móviles.

Fuente: UIT

Nota: Los valores se ofrecen a título de ejemplo.

## 5.2 Utilización de costos y gastos anteriores para la estimación del OPEX

En ausencia de un modelo de costos suficientemente maduro para la estimación del OPEX del producto que se piensa lanzar, una alternativa puede ser la utilización de los datos del balance de empresas ya establecidas en el país que han estado prestando un servicio equivalente (o muy similar) al que se propone en el plan de negocio.

Se recomienda un enfoque que consiste en evaluar la tendencia histórica del comportamiento de los gastos operativos en función de los ingresos netos. Una vez que se ha identificado la relación estable entre estas dos variables, esta relación puede utilizarse para calcular el OPEX.

Figura 11: Relación Gastos históricos/Ingresos netos



Fuente: UIT

Cuando no es posible identificar una relación estable entre los ingresos y los gastos, la mejor estrategia es analizar la contabilidad analítica y eliminar posibles desviaciones, para que se pueda utilizar una estimación estable en todo el flujo de caja.

Después de calcular la relación entre los gastos operativos (incluidos los costos de servicio, ventas, los gastos generales y de administración) y los ingresos netos, esta relación debe aplicarse a la estimación de ingresos anuales totales en el flujo de caja. El resultado indica el OPEX para cada año.

Cuadro 5: OPEX total

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	---
Ingresos netos	X	Z	Y	W	...
Relación gastos/ingresos	r %	r %	r %	r %	r %
OPEX 1	X . r %	Z . r %	Y . r %	W . r %	...

Fuente: UIT

### 5.3 Utilización de referencias de comparación para la estimación del OPEX

Cuando un servicio es relativamente nuevo y no existen operaciones lo suficientemente maduras en el país en cuestión para permitir estimar el OPEX en base a los datos de un balance contable real, la utilización de referencias de comparación ofrece una alternativa razonable.

Los elementos de referencia para modelizar los gastos totales de un plan de negocio pueden encontrarse en la literatura especializada, incluido el comportamiento de una empresa que ofrece un servicio innovador (y posiblemente no probado anteriormente). Una de las referencias más comunes consiste en la relación entre CAPEX y OPEX a través de la relación CAPEX/TCO<sup>33</sup> para los proyectos que involucran nuevas tecnologías. Deben seleccionarse al menos tres referencias de mercado diferentes y, a partir de estas, puede definirse un valor de referencia para su aplicación en el plan de negocio.

Con este enfoque, la estimación de OPEX total se realiza en base a una relación directa con el CAPEX total, como se muestra en la Figura 12.

<sup>33</sup> Costo total de propiedad (TCO, *total cost of ownership*) = CAPEX + OPEX.

Figura 12: Relación CAPEX/OPEX



Fuente: UIT

Sin embargo, como los costos y los gastos actuales tienen una fuerte relación con el número de usuarios activos en la red, para la estimación del OPEX anual se sugiere dividir el OPEX total, estimado como una función del CAPEX total, por la suma de los usuarios de cada año del plan de negocio, y multiplicar el resultado obtenido por el número total de usuarios previstos cada año, estableciendo así una evolución anual del OPEX de acuerdo con la demanda de usuarios.

Figura 13: OPEX unitario



Fuente: UIT

Cuadro 6: OPEX total

	Año 1	Año 2	---	Año n	---
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 costos y gastos anteriores para la estimación del OPEX

Escenario: Un operador de banda ancha fija que va a lanzar un proyecto de red FTTH en un país junto con otros operadores que ya están prestando el servicio. Uno de los enfoques posibles, para la estimación del OPEX del nuevo proyecto, es la utilización de los datos de los balances de las empresas operadoras ya establecidas en el país que han estado prestando un servicio equivalente (o muy similar) al que se va a lanzar.

Este ejemplo muestra el balance de un operador ya establecido. Para estimar la relación gastos/ingresos es necesario eliminar los costos de depreciación y de amortización, pues la relación se calculará directamente sobre el CAPEX. La estimación de la relación se aplicará a la estimación de ingresos para obtener la estimación del OPEX.



<b>Balance</b>			
	<b>A03</b>	<b>A04</b>	<b>A05</b>
<b>Ingresos operativos</b>	<b>297 912 913</b>	<b>325 137 496</b>	340544845
<b>Costos y gastos operativos</b>	<b>262 441 526</b>	<b>286 267 393</b>	307163411
Costos de ventas y servicios	151 754 644	159 353 526	165445249
Gastos comerciales, administrativos y generales	67 120 319	76 033 705	80211477
Otros gastos	1 661 652	1 371 521	8115038
Depreciación y amortización	41 904 912	49 508 640	53391647
Relación (gastos/ ingresos)	<b>0,74</b>	<b>0,73</b>	<b>0,75</b>

	<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>Relación (gastos/ingresos)</b>	<b>Total OPEX</b>
A01	\$3 774 600	0,74	2785209
A02	\$14 098 752	0,74	10403215
A03	\$32 616 176	0,74	24066887
A04	\$53 052 192	0,74	39146256
A05	\$81 791 516	0,74	60352483
A06	\$110 553 418	0,74	81575373
A07	\$138 700 777	0,74	102344801
A08	\$177 186 170	0,74	130742478
A09	\$225 332 475	0,74	166268767
A10	\$295 886 060	0,74	218328985

Fuente: UIT

Nota: Los valores se ofrecen a título de ejemplo.

## 6 Estimación del costo medio ponderado del capital (WACC)

La determinación del WACC es un paso fundamental del proceso de definición de precios en el sector de telecomunicaciones y tiene una influencia importante en los modelos de subasta y los modelos de fijación de precios del espectro en telecomunicaciones. Si se fija un WACC demasiado bajo, puede disuadir nuevas inversiones y llevar a precios por debajo de los costos eficientes. Por otro lado, si se fija demasiado alto, puede fomentar una sobreinversión y producir una fijación de precios demasiado altos.

En términos generales, el WACC (o CMPC) es el tipo de interés equivalente al valor medio ponderado de los costos de oportunidad de las fuentes de financiación permanente de los proveedores. Los parámetros de estos cálculos aparecen en una fórmula derivada del modelo de valoración de activos financieros (CAPM), descrita a continuación:

$$WACC_J^{\text{después de impuestos}} = K_d (1 - \tau) \left( \frac{D}{D+E} \right) + K_e^j \left( \frac{E}{D+E} \right)$$

donde:

$K_d$  es el costo de la deuda

$\tau$  es la tasa del gravamen tributario

$D/(D+E)$  es el porcentaje de la financiación que es deuda

$K_e^j$  es el coste de capital; y

$E/(D+E)$  es el porcentaje de la financiación que es capital propio.

Téngase en cuenta que, en algunos países, el endeudamiento real de los proveedores de servicios de telecomunicaciones varía considerablemente, en especial entre proveedores nacionales y proveedores con sede en el extranjero, que pueden beneficiarse de capitalizaciones al margen del grupo y de financiación dentro del grupo.

Dada la gran dispersión del endeudamiento posible, un organismo regulador puede optar por definir el nivel de endeudamiento sobre la base del nivel medio de deuda adoptado por los bancos de inversión, los reguladores de todo el mundo y el promedio de empresas mundiales.

### Estimación del costo de la deuda

El coste de la deuda se expresa en la siguiente ecuación:

$$K_d = rd_f^T (1 + Diferencial)$$

donde:

$rd_f^T$  es el bono libre de riesgo

*Diferencial* es el diferencial crediticio, o tasa de riesgo de crédito, y viene definido como la tasa media de riesgo de crédito pagada por todos los proveedores de telecomunicaciones en ese mercado.

### Estimación del costo de capital

El costo de capital se expresa en la siguiente ecuación:

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

donde:

$re_f^T$  es la tasa libre de riesgo, basada en el concepto general de rentabilidad de un bono basado en activos, con un rendimiento al vencimiento de al menos cinco años

$\beta_j$  es la beta del capital. Es posible calcularlo de acuerdo con el precio de las acciones del proveedor de telecomunicaciones y el mercado de valores en su conjunto o aplicar un análisis comparativo internacional. Ambos enfoques deben usar un valor beta no apalancado, que se apalancará con la estructura óptima de capital, definida de acuerdo con la estructura de capital de los operadores locales de telecomunicaciones

*CRP* es la prima de riesgo del país

Cuando el coste del capital propio se estima de acuerdo con el enfoque global es necesario insertar en la ecuación de  $K_e^j$  el *CRP* y la diferencia entre la inflación local y la de los Estados Unidos de América

*MRP* es la prima de riesgo de mercado.

### Estimación de la prima de riesgo de mercado (MRP)

La prima de riesgo de mercado se expresa en la siguiente ecuación:

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

donde:

$r_f^{T-h}$  es la tasa sin riesgo

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

El periodo de datos históricos utilizado para calcular la prima de riesgo de mercado no debe ser inferior a cinco años. Además, deben ignorarse los periodos que reflejan situaciones de anomalía en el mercado.

### CAPM local o CAPM mundial

Existen dos enfoques principales para la estimación del costo del capital propio: un modelo de valoración de activos financieros (CAPM) mundial o un CAPM local. El CAPM mundial se utiliza normalmente en los bancos, mientras que las autoridades reguladoras utilizan más a menudo un CAPM local (por ejemplo, ANTT, el regulador de transporte de Brasil; ARCEP (Francia); la CMT (España); ComReg (Irlanda); Ofcom (Reino Unido) y PTS (Suecia)). La estimación de un CAPM utilizando parámetros locales es posible en función de la disponibilidad de datos estables. Ambas metodologías tienen ventajas e inconvenientes, sin embargo, se recomienda la utilización de un CAPM local cuando se dispone de los datos locales, pues es más transparente y tiende a reflejar mejor el mercado local.

El CAPM mundial intenta construir una imagen correcta del país utilizando datos internacionales. Se recomienda particularmente en casos en los que la disponibilidad de información sobre el mercado local y/o la información sobre los activos de telecomunicaciones que cotizan en una bolsa de valores del país en cuestión es limitada.

Otra posibilidad para tener en cuenta los riesgos no calculados sería incorporar al CAPM mundial otros factores que representen los riesgos de carácter político, reglamentario u otro; sin embargo, esos modelos están todavía en una fase experimental. Una búsqueda en Internet muestra rápidamente una amplia variedad de datos como los que se presentan en el Cuadro 7 que pueden ayudar a calcular el CAPM<sup>34</sup>.

<sup>34</sup> La siguiente dirección es una propuesta con datos útiles: [http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New\\_Home\\_Page/home.htm](http://people.stern.nyu.edu/adamodar/New_Home_Page/home.htm)

Cuadro 7: Ventajas e inconvenientes de un CAPM local o mundial

	CAPM local	CAPM mundial
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Transparencia.</li> <li>– Refleja la perspectiva del mercado local.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– No depende de bases de datos locales. Utiliza referencias de comparación.</li> <li>– Utiliza datos económicos más maduros.</li> </ul>
Inconvenientes	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Depende de la disponibilidad de bases de datos.</li> <li>– Es necesario un escenario macroeconómico estable.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Capacidad de comparar referencias.</li> <li>– Utilización del riesgo de país, con gran variabilidad.</li> <li>– El proceso de apalancamiento y desapalancamiento entre países no es preciso.</li> </ul>

Fuente: UIT

El CAPM local utiliza datos internos. Las principales ventajas de la utilización de un CAPM local son la transparencia que le otorga la amplia aceptación de esta metodología por la comunidad académica y el mercado, y la visión precisa del mercado local que ofrece este enfoque. Por otro lado, los inconvenientes pueden consistir en una falta de bases de datos y/o la falta de un escenario macroeconómico local estable.

En países donde existe una estabilidad económica a largo plazo, índices financieros a largo plazo y activos estables, se recomienda adoptar la metodología local.

#### Conversión de WACC nominal en WACC real

Una vez estimado el costo medio ponderado del capital (WACC) en valores nominales, debe descontarse el valor de la inflación para el periodo pertinente para obtener el indicador en términos reales, utilizando la fórmula denominada ecuación de Fisher:

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

donde:

$WACC_{Real}$  es el WACC real

$WACC_{Nominal}$  es el WACC nominal

$\pi$  es la tasa de inflación.

Una simple sustracción del valor de inflación del WACC nominal no da un resultado correcto, pues tiende a sobreestimar la tasa real – aunque el error será reducido en los casos en los que las tasas de interés e inflación son relativamente bajas.

Se recomienda la utilización de previsiones de la inflación; de manera ideal, las estimaciones deberían abarcar un periodo de tiempo igual al vencimiento del bono sin riesgo, aunque en la práctica no siempre es posible debido al horizonte de tiempo limitado de las previsiones de la inflación.

### Estimación del WACC mediante un método CAPM mundial

<b>Costo de capital propio (Ke)</b>	
Prima de riesgo del país:	2,63%
Tasa sin riesgo:	2,66%
Beta:	0,99
Prima de riesgo de mercado (MRP):	8,49%
<b>Estimación de costo de capital propio (Ke)</b>	<b>13,92%</b>

<b>Costo de la deuda (Kd)</b>	
Bono sin riesgo	6,40%
Diferencial crediticio	6,89%
Estimación del costo de la deuda:	6,84%
Tasa de gravamen tributario corporativo	34%
<b>Estimación del costo de la deuda "después de impuestos":</b>	<b>4,51%</b>

<b>D/(D+E)</b>	
D/(D+E):	30%
E/(D+E):	70%
<b>TOTAL:</b>	<b>100%</b>

<b>Tasa de inflación</b>	
Objetivo de inflación de Estados Unidos:	2,0%
Objetivo de inflación local:	4,0%

<b>WACC</b>	
Costo ponderado del capital propio:	9,74%
Costo ponderado de la deuda:	1,35%
WACC nominal	11,10%
<b>WACC real:</b>	<b>6,82%</b>

**Prima de riesgo de país:** 2,63%. Prima de riesgo de país de Damodaran

**Tasa sin riesgo:** Es el rendimiento del bono de Estados Unidos a 10 años

**Beta:**

E/(D+E)	D/(D+E)	Total	Impuestos	Beta sin apalancar	Beta apalancada
70%	30%	100%	34,0%	0,768	0,985

Beta sin apalancar: Beta, beta sin apalancar y otras medidas de riesgos – Damodaran, mercados emergentes

**Prima de riesgo de mercado (MRP)**

Prima de riesgo de mercado histórica

	S&P 500	EE.UU., a 10 años	MRP
15 años (2004-2018)	8,52%	0,97%	8,49%

**Bono sin riesgo:** 6,40% es el rendimiento de un bono de un país sin riesgo en una fecha específica

**Diferencial crediticio a 28/01/2019**

Bonos	Volumen	Valor	Diferencial individual	Diferencial crediticio
Operador A	151 500	10 000	4,3%	6,89%
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

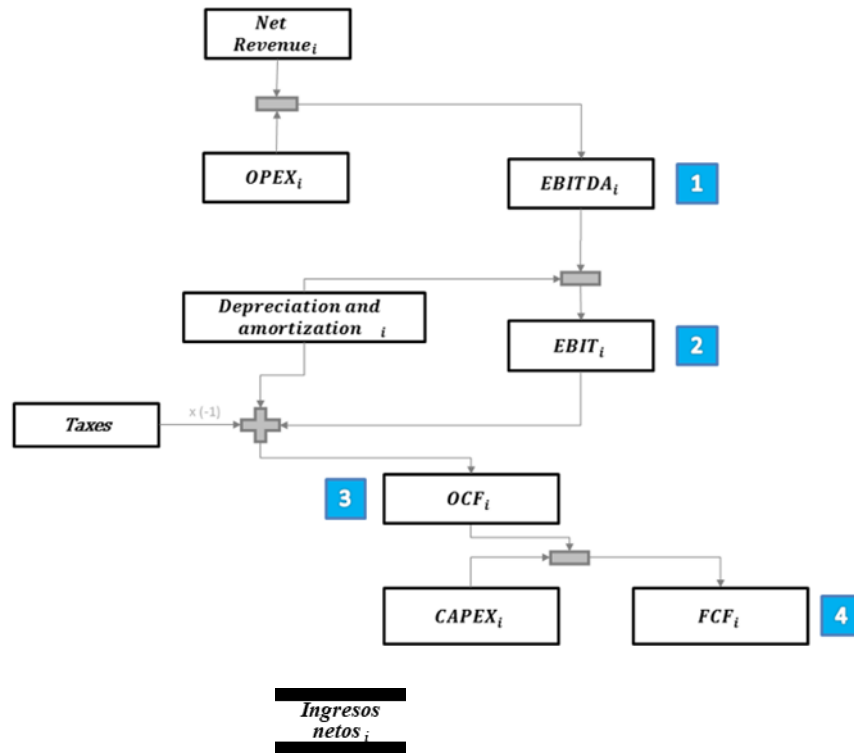
Nota: Los valores se ofrecen a título de ejemplo.

### Estimación del valor actual neto (VAN) de proyectos de infraestructura de banda ancha

Como se detalla en el capítulo sobre principios de la planificación de negocio, el cálculo del VAN es el resultado más importante del proceso de planificación del negocio para los reguladores y los responsables de políticas. Combina las estimaciones de CAPEX, OPEX, ingresos y flujo de caja a lo largo de los años de despliegue de red y prestación del servicio en una ecuación económica diseñada para ayudar a evaluar de manera precisa la sostenibilidad económica y el atractivo de un proyecto de infraestructura, así como a cuantificar la falta de infraestructura de banda ancha en el país.

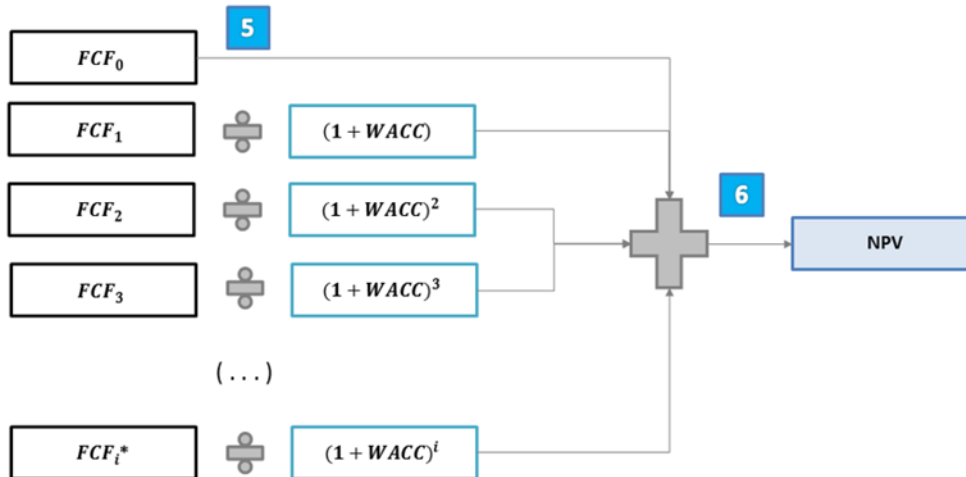
Para ofrecer una mejor comprensión de la manera de calcular el VAN de un proyecto de infraestructura, en los diagramas presentados en las Figuras 14 y 15, se ofrece una descripción de los cálculos en seis pasos que se explican en detalle en el capítulo siguiente.

Figura 14: Pasos 1 a 4 del cálculo del VAN



Fuente: UIT

Figura 15: Pasos 5 y 6 del cálculo del VAN



\* Calculated with the Residual Value, non depreciated

Fuente: UIT

El primer paso del cálculo del VAN de un proyecto de infraestructura es la estimación del *beneficio antes de intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones* (EBITDA) para cada año de operación. Puede calcularse de manera sencilla tomando la diferencia entre los ingresos netos y la estimación de

OPEX para cada año, de acuerdo con las metodologías presentadas anteriormente en este conjunto de herramientas.

El paso dos consiste en el cálculo del *beneficio antes de intereses e impuestos* (EBIT), que implica sustraer la estimación de depreciación y amortización (DA) del EBITDA<sup>35</sup>. El cálculo de DA para un año concreto  $i$  de operación puede realizarse con la fórmula siguiente:

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

donde:

$DA_i$  es la depreciación y amortización para el año  $i$  de operación

$CAPEX_k$  es la estimación de CAPEX para el año  $k$  de operación

$t$  es la vida útil media (en años) de los activos (CAPEX) o el número de años de depreciación establecidos en la reglamentación local de contabilidad

$i$  es un año concreto de operación, por ejemplo, el año 1, 2, 3, etc.

El tercer paso del cálculo del VAN es la estimación del flujo de caja operativo para cada año, teniendo en cuenta la diferencia entre el EBITDA y la estimación de la suma de impuestos para cada año en el cual el EBIT es positivo. El cálculo de los impuestos por año puede hacerse con la fórmula siguiente:

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

donde:

$T_i$  es la suma total de impuestos que se considera en el FCL para el año  $i$

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

$TR_{local}$  es la tasa tributaria local que se aplica a los beneficios del operador cuyo plan se evalúa.

El cuarto paso del cálculo del VAN del proyecto de infraestructura es la obtención del flujo de caja libre (FCL) para cada año de operación, calculando simplemente la diferencia entre el flujo de caja operativo (FCO) y el CAPEX total invertido en un año concreto  $i$ .

Una vez obtenido el FCL para cada año de operación, los pasos cinco y seis consisten en el cálculo del VAN del FCL para cada año de operación y, finalmente, la suma de estos resultados para obtener el VAN total del proyecto de infraestructura. Estos dos últimos pasos pueden realizarse utilizando la fórmula siguiente:

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

<sup>35</sup> El porcentaje y el periodo de depreciación/amortización puede variar en cada país.



donde:

VAN es el valor actual neto total del proyecto de infraestructura

$FCF_i$  es el resultado del flujo de caja libre en el año  $i$ <sup>36</sup>

WACC es el costo medio ponderado del capital

$z$  es el número total de años de operación considerados en la evaluación del proyecto de infraestructura.

### Cálculo del valor actual neto (VAN)

El siguiente ejemplo muestra el cálculo del valor actual neto de un proyecto de infraestructura.

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	\$ 9 387 107	\$ 10 152 234	\$ 10 807 641	\$ 11 537 279	\$ 12 356 841	\$ 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% del EBIT)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 479 243	\$ 555 370	\$ 717 691	\$ 901 666	\$ 1 025 857
FCO	\$ -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
FCL	\$ -14 092 596	\$ -936 954	\$ -1 318 926	\$ -262 336	\$ 749 995	\$ 2 348 226	\$ 2 620 513	\$ 2 688 021	\$ 2 757 961	\$ 2 925 527
VAN (p. ej. WACC de 5%)	\$ -14 092 596	\$ -892 337	\$ -1 196 305	\$ -226 616	\$ 439 725	\$ 1 839 896	\$ 1 955 467	\$ 1 910 326	\$ 1 866 696	\$ 1 885 821
<b>VAN total</b>	<b>(5 509 921)</b>									

Fuente: UIT

Nota: Los valores se ofrecen a título de ejemplo.

## 7 Mecanismos de financiación para facilitar los proyectos de infraestructura de banda ancha

Los responsables de políticas que quieran facilitar los proyectos de infraestructura de banda ancha que, por naturaleza, necesitan grandes inversiones de capital y suponen enormes cantidades para el desarrollo del proyecto, las licencias, el despliegue de red y los costos operativos y administrativos, deben realizar un estudio detallado de las alternativas de financiación que puede (o debe) ofrecer el gobierno, la disponibilidad de crédito privado para el proyecto en el mercado local y las condiciones necesarias para aumentar el atractivo económico para el capital extranjero.

En particular en los casos donde la estimación del VAN de un proyecto de infraestructura parece indicar poco atractivo en cuanto al despliegue de red y la prestación de servicios en zonas que el gobierno ha priorizado para las inversiones de infraestructura de telecomunicaciones, tener una visión clara de las alternativas de financiación disponibles será fundamental para evaluar el potencial de éxito o de fracaso de una política pública.

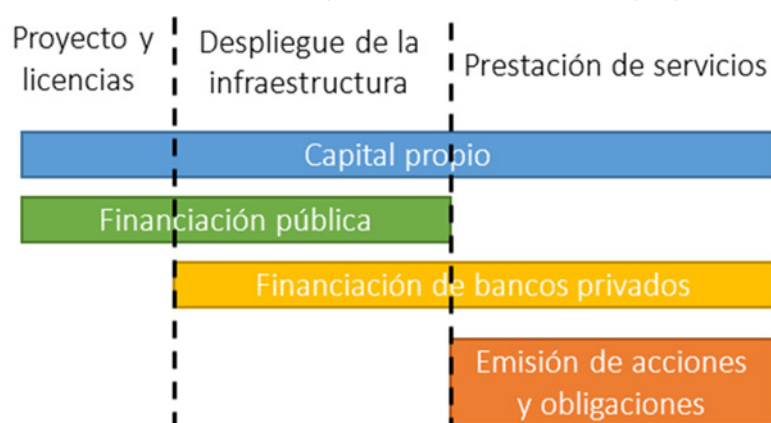
<sup>36</sup> El valor residual restante de los activos no depreciados debe sumarse al FCL del último año de operación; puede calcularse sencillamente por la diferencia entre la suma del CAPEX y la suma de la depreciación y la amortización calculada a lo largo de los años de operación.

Para comprender mejor los mecanismos de financiación relacionados con los grandes proyectos de infraestructura de banda ancha e identificar los principales actores y las condiciones de inversión necesarias, es útil dividir un proyecto típico de telecomunicaciones en tres fases de costos:

- i) planificación del proyecto y licencias;
- ii) despliegue de la infraestructura;
- iii) prestación de servicios.

Para cada una de las fases se considerará algunos de los mecanismos típicos de financiación de proyectos de infraestructura; principalmente el capital, la financiación pública y privada, y la emisión de acciones y obligaciones.

Figura 16: Distribución de los mecanismos típicos de financiación de los proyectos de infraestructura



Fuente: UIT

## 7.1 Mecanismos de financiación del proyecto y las licencias

La primera fase de costos de un proyecto de infraestructura de banda ancha desde el punto de vista de la empresa incluye la realización de estudios de mercado completos, la planificación del negocio, el diseño y el dimensionamiento de la red y la obtención de las licencias gubernamentales necesarias para su explotación, lo que, según el proyecto, puede suponer la participación en subastas públicas para obtener costosas licencias (para acceder al espectro sujeto a licencias y utilizarlo, por ejemplo).

Esta fase de costos, en la que no hay generación de flujo de caja, e incluso no existe ninguna infraestructura de red desplegada, se suele financiar con fondos propios o con financiación pública, debido a la dificultad de acceder al crédito a través de los canales habituales de financiación debido al alto nivel de riesgo que supone. Un posible operador interesado en ofrecer banda ancha en las regiones objeto de las iniciativas de políticas públicas puede contratar estudios de mercado como ayuda para tomar una decisión informada sobre la sostenibilidad económica del proyecto de infraestructura ofrecido por el gobierno. De hecho, incluso el propio gobierno puede contratar esos estudios y publicar los resultados para estimular el interés y atraer al mayor número posible de operadores potenciales.

Como se ha visto en muchos mercados, la adquisición de licencias de espectro para redes móviles de banda ancha inalámbrica 4G LTE ha costado típicamente millones o incluso miles de millones de dólares. El pago de estos cánones de licencia solía hacerse con capital propio pero, para evitar ese gasto de capital propio que puede canalizarse hacia la inversión en infraestructura de red, la financiación pública de los cánones de licencia (que se pagarán durante los años de funcionamiento con tipos de interés bajos) ofrece un enfoque alternativo que puede atraer no solo a los grandes operadores ya establecidos a nivel nacional, sino también a las empresas más pequeñas que tratan de entrar en el mercado de la banda ancha móvil.

La disponibilidad de este tipo de financiación pública representa una barrera de entrada menor y aumenta el atractivo económico de un proyecto de infraestructura de telecomunicaciones. Además, la programación de un único pago anual de los cánones de licencia cubriendo todo el año de operación puede liberar dinero en efectivo para que las empresas interesadas inviertan más intensivamente en el despliegue de la red.

Por último, a pesar de que el costo del crédito suele ser más elevado en esta primera fase de costos, los operadores ya establecidos en el mercado local de telecomunicaciones, que tienen una estrecha relación con el mercado de la banca privada, pueden obtener crédito para esta fase de costos a tasas de interés razonables.

## 7.2 Mecanismos de financiación del despliegue de infraestructura

La fase de los costos de despliegue de infraestructura de red es la fase con más necesidad de capital en los proyectos de banda ancha. Por ello, se puede utilizar una combinación de mecanismos de financiación para soportar el despliegue de la instalación de infraestructuras pasivas y activas en todos los municipios a los que se dirige la política pública.

La utilización de capital propio en esta fase de costos es una opción, pero quizás sea sorprendentemente menos frecuente que otros mecanismos de financiación. Esto se debe generalmente al mayor costo del capital social comparado con los tipos de interés de la financiación del crédito público y privado destinado a la inversión en proyectos de infraestructura. La mayoría de los gobiernos, por ejemplo, dan incentivos fiscales para el crédito de inversión, permitiendo que el mercado bancario privado ofrezca créditos de inversión a tipos de interés más bajos. Los propios gobiernos ofrecen incluso créditos de inversión a tipos de interés subvencionados, a través de los bancos de desarrollo, con el fin de fomentar el desarrollo de la infraestructura nacional.

Por estas razones, el crédito de inversión ofrecido por el mercado bancario público y privado representa el mecanismo de financiación más importante utilizado para soportar la costosa fase del despliegue de la red, aunque este tipo de mecanismo de financiación favorece inevitablemente los proyectos de infraestructura sostenibles económicamente a largo plazo. De hecho, el acceso al mercado privado del crédito de inversión suele requerir una planificación del negocio amplia y detallada que demuestra la viabilidad económica del proyecto de infraestructura que se va a financiar.

Sin embargo, muchos proyectos de infraestructura incluidos en iniciativas de políticas públicas son, por su propia naturaleza, económicamente poco atractivos, de lo contrario su inclusión produciría un efecto de desplazamiento no deseado, es decir, obstaculizarían la inversión privada al sustituirla por la inversión pública. Para esos proyectos de infraestructura poco atractivos desde el punto de vista económico, las subvenciones públicas pueden ser el mecanismo de financiación disponible más importante. Esas subvenciones pueden aplicarse directa o indirectamente al mercado local de telecomunicaciones a fin de mejorar el atractivo de los proyectos.

Pueden concederse subvenciones directas, por ejemplo, a través de los fondos de obligación del servicio universal creados específicamente para fomentar el desarrollo de las telecomunicaciones, o incluso a través de exenciones fiscales específicas aplicadas a los operadores que participan en el proyecto. Se pueden conceder subvenciones indirectas reduciendo los derechos de las licencias del espectro a cambio, por ejemplo, de un compromiso de despliegue y prestación de servicios en zonas poco atractivas, o convirtiendo las multas acumuladas por un operador en obligaciones de despliegue y prestación de servicios de banda ancha en regiones poco atractivas.

Por último, algunos operadores pueden aprovechar su participación en nuevos proyectos de banda ancha para aumentar las expectativas del mercado y obtener así financiación mediante la emisión de acciones y obligaciones, pero este mecanismo de financiación es más habitual en la fase de costos de prestación de servicios por los motivos expuestos, a continuación, en el apartado 7.3.

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

La fase final y más larga de los costos de un proyecto de banda ancha comienza con la operación de la red y la prestación de servicios. Esta fase se caracteriza por una importante creación de efectivo y la necesidad de que el capital flotante soporte los costos administrativos, operativos y de mantenimiento, así como las continuas inversiones en la expansión y modernización de la red.

Dado que el capital flotante suele ser costoso en los mercados de crédito, la utilización de capital propio para este fin es bastante común. Por otro lado, el costo de oportunidad de asignar capital propio para apoyar el flujo de caja de una operación a largo plazo tiende a aumentar rápidamente, haciendo que los otros mecanismos de financiación como la emisión de acciones y obligaciones sean alternativas de financiación mejores a largo plazo.

De hecho, una operación adecuada que genera ingresos robustos y crecientes puede atraer inversores que desean obtener una remuneración justa a largo plazo de los bonos de deuda. Así, cuanto mejor sea el flujo de caja operativo, más atractivo será para una empresa obtener financiación mediante la emisión de acciones y obligaciones, ya que la sostenibilidad económica de la operación se reflejará en una mayor valoración de las acciones y en unas menores tasas de interés aplicadas a los bonos de deuda.

Mientras que suele ser costoso obtener financiación de la banca privada para apoyar el capital flotante necesario en esta fase, es cierto que algunos operadores multinacionales pueden tener acceso al mercado de crédito internacional y obtener tasas de interés más bajas para financiar la prestación de servicios. Sin embargo, en la mayoría de los casos, atraer capital internacional para el despliegue de banda ancha supondrá un reto, habida cuenta de los numerosos riesgos que supone, por ejemplo, el riesgo de aumento de los costos financieros, el riesgo de frustración de la demanda y el riesgo de fluctuación de los tipos de cambio.

De hecho, puede ser recomendable que los gobiernos que tratan de promover el despliegue de redes de banda ancha en zonas insuficientemente atendidas ofrezcan algún mecanismo para mitigar el riesgo de la demanda, por ejemplo, garantías financieras al operador para soportar la disminución de los ingresos en caso de una caída de la demanda no causada por fallos, o la vinculación del importe cobrado en concepto de canon de licencia anual con la capacidad anual de generación de ingresos del operador.

El riesgo de fluctuación de la tasa de cambio se produce cuando la moneda en la que se obtuvo la financiación (ya sea el capital propio de la operadora o el capital de terceros) difiere de la moneda en la que deben pagarse los costos de la operación. Un mecanismo que los gobiernos utilizan comúnmente para reducir ese riesgo es la contratación de una cobertura del tipo de cambio, con el fin de amortiguar la repercusión de una fluctuación significativa de este tipo de cambio en el plan de negocio de la operadora.

El riesgo de aumento de los costos financieros durante el proyecto es debido a las repercusiones de las grandes variaciones del tipo de interés de la economía sobre el tipo de interés de la financiación contratada en el país. Una de las maneras de mitigar este riesgo que tienen los gobiernos es contratando permutas de tipos de interés (en inglés, *swaps*) que tienen el efecto de aumentar el atractivo económico del proyecto para el capital extranjero.

## 8 Conclusiones

La infraestructura de las TIC es la base de la economía digital actual y ofrece un enorme potencial para avanzar hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas y mejorar la vida de las personas de manera fundamental.

El diseño de un plan de negocio destinado a llevar las redes de TIC a zonas insuficientemente atendidas, remotas y rurales representa un reto considerable para los responsables de las políticas, que deben tener en cuenta la instalación, la operación, la migración y el desarrollo ulterior de las infraestructuras nacionales y transfronterizas, así como los costos asociados relacionados con la instalación y el despliegue de la red, y las estrategias óptimas para financiar las inversiones necesarias.

En este conjunto de herramientas de infraestructura de las TIC, se ha tratado de abordar cada una de las consideraciones fundamentales y de los mecanismos de prácticas idóneas para la planificación, la estimación de los costos, la demanda y los ingresos, y la evaluación de las opciones de financiación, con especial atención a los proyectos que prestan servicio en zonas económicamente poco atractivas. El público al que va dirigido este conjunto de herramientas es el de los Estados Miembros de la UIT que buscan orientación sobre cómo elaborar planes de negocio creíbles, coherentes y fundamentados para ampliar la cobertura de la red y garantizar la sostenibilidad.

Con estas directrices, los responsables de políticas y los reguladores pueden calcular con precisión la falta de viabilidad económica de un proyecto mediante el cálculo de su valor actual neto (VAN).

Los responsables de políticas que quieren facilitar proyectos de infraestructura de banda ancha, que suelen necesitar mucho capital, deben realizar un estudio detallado de las posibles alternativas de financiación que podría ofrecer el gobierno, así como de la disponibilidad de crédito privado en el mercado nacional, a fin de comprender claramente las condiciones necesarias que podrían mejorar el atractivo económico de un proyecto para el capital extranjero. Esto es particularmente importante cuando la estimación del VAN de un proyecto apunta a una falta de atractivo de los despliegues de red y la prestación de servicios en zonas que el gobierno ha clasificado como prioritarias para el aumento de la inversión en infraestructura de telecomunicaciones.

Finalmente, es necesario insistir una vez más en los cuatro principios básicos de todos los planes de negocio de las políticas públicas:

- utilizar la mayor cantidad posible de datos abiertos;
- utilizar estudios de fuentes reconocidas y creíbles a nivel internacional;
- utilizar herramientas auditables;
- ser conservador en las estimaciones.

Estas recomendaciones son fundamentales para conferir credibilidad a todo el proceso.

Teniendo en cuenta las enormes lagunas de infraestructura de las TIC que aún persisten en muchos países, incluso en algunas de las naciones más desarrolladas del mundo, los autores esperan que este conjunto de herramientas desempeñe un papel importante para ayudar a llevar la banda ancha a todos y contribuir a la realización de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.

## Lista de acrónimos

3G	Normas de la tercera generación
4G	Normas de la cuarta generación
APP	Asociación público privada
ARPU	Ingresos medios por usuario
CAPEX	Gastos de capital
CAPM	Modelo de valoración de activos financieros
CPE	Equipos en las instalaciones del cliente
CRP	Prima de riesgo del país
DSL	Línea digital de abonado
DWDM	División de longitud de onda densa
EBIT	Beneficio antes de intereses e impuestos
EBITDA	Beneficio antes de intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones
FAC	Costos totalmente asignados
FCL	Flujo de caja libre
FCO	Flujo de caja operativo
FSU	Fondo para el Servicio Universal
FTTH	Fibra hasta el hogar
FTTO	Fibra hasta la empresa
HC	Hogar conectado
HFC	Hibrido de fibra y cable coaxial
HP	Hogar pasado
HSPA	Acceso por paquetes de alta velocidad
I+D	Investigación y desarrollo
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos
IPM	Ingresos por minuto
LTE	Evolución a largo plazo
MAQ	Modulación de amplitud en cuadratura
MOU	Minutos de utilización
MRP	Prima de riesgo de mercado
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
OLT	Terminación de línea óptica
ONT	Terminación de red óptica
OPEX	Gastos operativos
PIB	Producto Interior Bruto

PIBPC	Producto Interior Bruto per cápita
RAN	Red de acceso radioeléctrico
RDO	Red de distribución óptica
ROI	Rendimiento de la inversión
SDH	Jerarquía digital síncrona
TCO	Costo total de propiedad
TIC	Tecnologías de la información y la comunicación
TIR	Tasa interna de rendimiento
VAN	Valor actual neto
WACC	Costo medio ponderado del capital
WCDMA	Acceso múltiple por división de código de banda ancha

## Bibliografía

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

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

Brown, S.J. y Warner, J.B. (1980) *Measuring security price performance*, Journal of Financial Economics, Volumen 8 Número 3, 205-58.

Brown, S.J. y 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. y Higgins, R.C. (1998) *Best practices in estimating the cost of capital: Survey and Synthesis*, Financial Practice and Education, Spring/Summer, 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*, documento técnico, <https://bit.ly/2vu69MQ>

Copeland, T.E., Koller, T., y 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, New 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.

Fildes, R. y Kumar, V (2002) *Telecommunications demand forecasting – a review*, International Journal of Forecasting, Volumen 18 Número 4, 489-522.

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

UIT, *Mapas Interactivos de Transmisión de la UIT (2019)*, disponible en <https://www.itu.int/en/ITU-D/Technology/Pages/InteractiveTransmissionMaps.aspx>

UIT, Base de datos *ICT-Eye*, disponible en <http://www.itu.int/net4/itu-d/icteye/Default.aspx>

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

UIT, *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)

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



Mitscenkov, A., Kantor, M., Casier, K., Lannoo, B., Wajda, K., Chen, J., y Wosinska, L. (2013) *Geometric versus geographic models for the estimation of an FTTH deployment*, Telecommunication Systems, Volumen 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. 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.

Katz, Raul L. (2009) *Estimating broadband demand and its economic impact in Latin America*, proceedings of the 3rd Acorn-Redecom Conference, Mexico City.

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) *Principles of Microeconomics*. South-Western, 2ª edición.

Salcedo, A. y 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. y 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. y 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: [bdtdirector@itu.int](mailto:bdtdirector@itu.int)  
Tel.: +41 22 730 5035/5435  
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

**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 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  
Ethiopia

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 des Almadies  
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**  
TelOne Centre for Learning  
Comer Samora Machel and Hampton Road  
P.O. Box BE 792  
Belvedere Harare  
Zimbabwe

Correo-e: [itu-harare@itu.int](mailto:itu-harare@itu.int)  
Tel.: +263 4 77 5939  
Tel.: +263 4 77 5941  
Fax: +263 4 77 1257

## 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 Brasília – 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 Cia  
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**  
Thailand Post Training Center, 5<sup>th</sup> floor  
111 Chaengwattana Road  
Laksi  
Bangkok 10210  
Tailandia

*Dirección postal:*  
P.O. Box 178, Laksi Post Office  
Laksi, Bangkok 10210, Tailandia  
Correo-e: [ituasiapacificregion@itu.int](mailto:ituasiapacificregion@itu.int)  
Tel.: +66 2 575 0055  
Fax: +66 2 575 3507

**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

*Dirección postal:*  
c/o UNDP – P.O. Box 2338  
Jakarta 10110, Indonesia  
Correo-e: [ituasiapacificregion@itu.int](mailto:ituasiapacificregion@itu.int)  
Tel.: +62 21 381 3572  
Tel.: +62 21 380 2322/2324  
Fax: +62 21 389 55521

## 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: [itumoscow@itu.int](mailto:itumoscow@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: [euregion@itu.int](mailto:euregion@itu.int)  
Tel.: +41 22 730 5467  
Fax: +41 22 730 5484

Unión Internacional de Telecomunicaciones

Place des Nations  
CH-1211 Ginebra 20  
Suiza  
[www.itu.int](http://www.itu.int)

ISBN: 978-92-61-28883-9



9 789261 288839

Publicado en Suiza  
Ginebra, 2019

Derechos de las fotografías: Shutterstock