

# Sentando las bases para la 5G: Oportunidades y desafíos





# Sentando las bases para la 5G: Oportunidades y desafíos

2018

## **Agradecimientos**

El presente Informe ha sido elaborado bajo la supervisión del Sr. Kemal Husenovic, Jefe del Departamento de Infraestructura, Entorno Propicio y Ciberaplicaciones de la BDT (UIT), en colaboración con el Sr. Iqbal Bedi, de Intelligens Consulting, y bajo la dirección de la Sra. Sofie Maddens, Jefa de la División de Entorno Reglamentario y de Mercado de la BDT (UIT), con la participación de la División de Desarrollo de Tecnologías y Redes de Telecomunicaciones de la UIT/BDT.

La Oficina de Normalización de las Telecomunicaciones (TSB) y la Oficina de Radiocomunicaciones (BR) de la UIT también han aportado contribuciones significativas. En el equipo de la Oficina de Desarrollo de las Telecomunicaciones (BDT) de la UIT participaron el Sr. István Bozsóki, la Sra. Desiré Karyabwite y la Sra. Nancy Sundberg. El equipo de la BR estuvo integrado por el Sr. Mario Maniewicz, el Sr. Philippe Aubineau, el Sr. Sergio Buonomo, el Sr. Joaquín Restrepo, la Sra. Diana Tomimura y el Sr. Nikolai Vassiliev. El equipo de la TSB contó con el Sr. Bilel Jamoussi, el Sr. Martin Adolph, el Sr. Denis Andreev, la Sra. Cristina Bueti, la Sra. Tatiana Kurakova y el Sr. Hiroshi Ota.

Las opiniones expresadas en el presente Informe son las de sus autores y no reflejan necesariamente las de la UIT o las de sus Miembros.

ISBN

978-92-61-27583-9 (versión en papel)  
978-92-61-27593-8 (versión electrónica)  
978-92-61-27603-4 (versión EPUB)  
978-92-61-27613-3 (versión móvil)



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

© ITU 2018

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

Me complace presentar el informe *Sentando las bases para la 5G: Oportunidades y desafíos*, elaborado en colaboración con las Oficinas de Normalización y de Radiocomunicaciones de la UIT. En este informe se describen las perspectivas de los responsables de la formulación de políticas, las autoridades nacionales de reglamentación (ANR) y los operadores del sector de las TIC, a medida que las tecnologías de quinta generación o 5G se van materializando. La 5G alberga una capacidad transformadora para ciudadanos, empresas, gobiernos y economías. Si bien las inversiones son fundamentales, cabe tener en cuenta numerosos factores antes de invertir en ellas.

El presente informe permite navegar entre los temas relacionados con 5G y brinda un enfoque práctico y comedido a los responsables de la formulación de políticas que deseen tomar decisiones importantes en materia de inversión en los próximos meses y años. Además, presenta dieciséis temas clave, que constituyen una lectura indispensable y un valioso punto de embarque para abordar las oportunidades y los desafíos vinculados a la 5G.

Este informe también contribuye a la desmitificación de la publicidad que rodea a la 5G, reconoce el ingente potencial de esta última y comprende una serie de recomendaciones diseñadas para ayudar a los responsables de la formulación de políticas, los reguladores y los operadores a colaborar de manera eficaz, con el objetivo de hacer frente a los desafíos y obtener los beneficios dimanantes de las numerosas oportunidades que ofrece esta nueva tecnología. Además, recomienda que los responsables de la formulación de políticas amplíen la disponibilidad y mejoren la calidad de las redes 4G, hasta que la situación de las redes 5G gane en claridad y convicción.

Quisiera expresar mi agradecimiento al Sr. Chaesub Lee, Director de la Oficina de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT, y al Sr. François Rancy, Director de la Oficina de Radiocomunicaciones de la UIT, por la inestimable contribución que han aportado con objeto de transformar el presente Informe en una herramienta útil, que ayudará a los responsables de la formulación de políticas y las ANR a aprovechar los beneficios de la economía digital.

**Brahima Sanou**

Director de la Oficina de Desarrollo de  
las Telecomunicaciones de la UIT



Prólogo	iii	
Siglas y acrónimos	vii	
Resumen	x	
1	Introducción	1
2	Consideraciones generales sobre la 5G	3
2.1	El papel de la UIT	3
2.2	¿Qué es la 5G?	3
2.3	Casos de uso de la 5G	7
2.4	Repercusiones socioeconómicas de la 5G	9
2.5	Brecha digital	10
3	Necesidades en términos de tecnología y espectro de la 5G	12
3.1	Redes de acceso radioeléctrico	12
3.2	Redes básicas	14
3.3	Enlaces de conexión al núcleo de red	15
3.4	Enlaces de conexión frontal	16
3.5	Espectro para la 5G	17
4	Principales desafíos de la implantación de la 5G	19
4.1	Desafíos vinculados a la implantación de las células pequeñas	19
4.2	Enlaces de conexión al núcleo de red por fibra	20
4.3	Espectro	21
4.4	Otros factores	22
5	¿Qué se entiende por "bueno"?	23
5.1	Racionalización del proceso de instalación de células pequeñas	23
5.2	Intervención política: fibra y espectro	24
5.3	Compartición de infraestructura	24
5.4	Transición a la fibra	26
5.5	Desafíos vinculados la planificación local	27
5.6	Armonización del espectro	28
5.7	Concesión de licencias de espectro	29
5.8	Proyectos piloto de 5G	30
6	Ejemplo de costes y repercusiones en materia de inversión	33
6.1	Consideraciones generales	33
6.2	Metodología	34
6.3	Supuestos	35
6.4	Resultados	36
6.5	Estimación de gastos independiente	37
6.6	Modelos de inversión	37
7	Conclusión	39
Anexo A		40

# Lista de cuadros, figuras y recuadros

## Figuras

Figura 1: Cronograma y proceso detallados para las IMT-2020 del UIT-R	3
Mejora de las capacidades fundamentales de las IMT-Avanzadas a las IMT-2020	6
Figura 2: Evolución de las redes móviles	7
Figura 3: Supuestos de utilización de la 5G	8
Figura 4: Requisitos en términos de ancho de banda y latencia de las aplicaciones 5G	12
Figura 5: Redes de macrocélulas frente a redes de células pequeñas	13
Figura 6: Ejemplo de sistema de antena de células pequeñas y distribuidor situado en la vía pública	14
Figura 7: Típica solución mayorista de célula pequeña independiente del anfitrión	33
Figura 8 – Metodología de dimensionamiento y cálculo de gastos de capital de las redes	34
Figura 9: Gastos de capital inherentes al supuesto 1 – Ciudad grande y densa	36
Figura 10: Gastos de capital inherentes al supuesto 2 – Ciudad pequeña y menos densa	36
Figura 11: Contribución a los gastos de capital	37

## Recuadros

Recuadro 1: Función de las IMT (5G) para 2020 y años posteriores	4
Recuadro 2: La 5G y la convergencia entre sistemas fijos y móviles	9
Recuadro 3: Aberdeen	13
Recuadro 4: Inversión de Telefónica en SDN y NFV	15
Recuadro 5: Viabilidad técnica de las IMT en las frecuencias comprendidas entre 24 y 86 GHz, según el UIT-R	17
Recuadro 6: La perspectiva de un operador – El enfoque espectral multicapa de Huawei	18
Recuadro 7: Perspectiva de la industria sobre los obstáculos a la implantación de las células pequeñas	20
Recuadro 8: Obstáculos a la instalación de redes de fibra	21
Recuadro 9: Racionalización del proceso de instalación de células pequeñas	23
Recuadro 10: Inversiones del Reino Unido en fibra	24
Recuadro 11: Grupo de trabajo sobre tecnología 5G de Australia	24
Recuadro 12: Compartición imperativa de la red	25
Recuadro 13: Compartición de redes en función de la proyección comercial	26
Recuadro 14: Transición a la fibra	27
Recuadro 15: Acuerdos normalizados en materia de derechos de paso de la <i>City of London</i>	28
Recuadro 16: Procesos de planificación eficaces	28
Recuadro 17: Propuestas de algunas ANR en materia de espectro de 5G	29
Recuadro 18: Iniciativas 5G impulsadas por gobiernos	31
Recuadro 19: Bancos de pruebas 5G impulsados por el sector privado	31

# Siglas y acrónimos

A continuación se enumeran, a título informativo, algunos de los acrónimos y siglas utilizados en el presente documento.

Sigla/acrónimo	Descripción
<b>2G, 3G, 4G, 5G*</b>	Diferentes generaciones de normas móviles
<b>5GIA</b>	Asociación de Infraestructura 5G
<b>IA</b>	Inteligencia Artificial
<b>VA</b>	Vehículo autónomo
<b>ORECE</b>	Organismo de Reguladores Europeos de las Comunicaciones Electrónicas
<b>BNG</b>	Pasarela de red de banda ancha
<b>TCCA</b>	Tasa compuesta de crecimiento anual
<b>VAC</b>	Vehículo autónomo conectado
<b>TVCC</b>	Televisión en circuito cerrado
<b>CPRI</b>	Interfaz común de radio pública
<b>C-RAN</b>	Red de acceso radioeléctrico centralizada/en la nube
<b>DAN</b>	Red consciente de los datos
<b>CE</b>	Comisión Europea
<b>EMBB</b>	Banda ancha móvil mejorada
<b>EMC</b>	Compatibilidad electromagnética
<b>EMF</b>	Campo electromagnético
<b>UE</b>	Unión Europea
<b>FCC</b>	Federal Communications Commission
<b>FG ML5G</b>	Grupo Temático sobre aprendizaje automático para redes futuras, incluidas las 5G
<b>FMC</b>	Convergencia entre sistemas fijos y móviles
<b>FTTH</b>	Fibra hasta el hogar
<b>FTTP</b>	Fibra hasta las instalaciones
<b>FUTEBOL</b>	Unión Federada de Instalaciones de Investigación en Telecomunicaciones para un Laboratorio Abierto UE-Brasil
<b>GSMA</b>	Asociación GSM
<b>HAPS</b>	Sistemas en plataformas a gran altitud

\* <https://www.techradar.com/news/eu-backed-groups-warns-about-5g-claims>

Sigla/acrónimo	Descripción
ICNIRP	Comisión Internacional sobre Protección contra las Radiaciones No Ionizantes
TIC	Tecnologías de la información y la comunicación
IMT-2020	Telecomunicaciones móviles internacionales de 2020
IoT	Internet de las cosas
UIT	Unión Internacional de Telecomunicaciones
UIT-BDT	Oficina de Desarrollo de las Telecomunicaciones de la UIT
UIT-D	Sector de Desarrollo de las Telecomunicaciones de la UIT
UIT-R	Sector de Radiocomunicaciones de la UIT
UIT-T	Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT
LTE-A Pro	Evolución a largo plazo avanzada pro
MCS	Servicios de importancia crítica
MER	Sala principal de equipos
MIMO	Entrada múltiple, salida múltiple
MIoT	Internet de las cosas masiva
mmWave	Onda milimétrica
MMTC	Comunicaciones masivas entre máquinas
NFV	Virtualización de las funciones de red
NISA	Organismo Nacional de la Sociedad de la Información (República de Corea)
ANR	Autoridad nacional de reglamentación
OTN	Red óptica de transporte
PMP	Punto a multipunto
APP	Asociación entre los sectores público y privado
Q.NBN	Red nacional de banda ancha de Qatar
RAN	Red de acceso radioeléctrico
RF EMF	Campo electromagnético de radiofrecuencias
ROF	Radiocomunicaciones por fibra
RRU	Unidad de radiocomunicaciones a distancia
SDN	Red definida por software
SMP	Capacidad para influir en el mercado
TCO	Costo total de la propiedad

\* <https://www.techradar.com/news/eu-backed-groups-warns-about-5g-claims>

Sigla/acrónimo	Descripción
<b>TIM</b>	Telecom Italia Mobile
<b>URLLC</b>	Comunicación ultrafiable y de baja latencia
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>WLAN</b>	Red de área local inalámbrica
<b>CMR-19</b>	Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2019
<b>CMDT</b>	Conferencia Mundial de Desarrollo de las Telecomunicaciones

\* <https://www.techradar.com/news/eu-backed-groups-warns-about-5g-claims>

A menos que se indique lo contrario, el término "responsables de la formulación de políticas" hace referencia a las ANR y los organismos gubernamentales locales (municipales o estatales) o nacionales (federales).

La tecnología 5G ha despertado grandes expectativas, pues muchos asumen que conducirá a una tierra prometida transformadora y, en concreto, a mejoras en la experiencia de los usuarios finales, nuevas aplicaciones, nuevos modelos comerciales, nuevos servicios capaces de alcanzar velocidades de varios gigabits e incrementos en la calidad de funcionamiento y la fiabilidad de la red. En diversos estudios económicos independientes se pronostica que los servicios y redes 5G, arraigados en el éxito de las redes móviles 2G, 3G y 4G, producirán ingentes beneficios económicos.

## **Atención: se requieren inversiones cuantiosas**

Sin embargo, a pesar de sus posibles beneficios, se teme que la 5G se halle en una etapa prematura y la cautela empieza a ganar terreno. Los operadores se muestran escépticos ante su comercialización, dadas las elevadas inversiones que requiere la implantación de redes 5G<sup>1</sup>. En el informe se estima que la instalación de una red con capacidad para células pequeñas 5G-suponiendo que la conexión al núcleo de red por fibra sea comercialmente viable- puede entrañar un costo de entre 6,8 millones de dólares de los Estados Unidos (USD) para una ciudad pequeña y 55,5 millones USD para una ciudad grande y densa.

## **Riesgo de ampliación de la brecha digital**

Los argumentos en favor de la inversión en 5G pueden resultar viables en zonas urbanas con una elevada densidad de población, por ser las más atractivas desde un punto de vista comercial para los operadores. En cambio, es más difícil alegar razones comerciales a su favor fuera de estas zonas, especialmente, durante los primeros años de implantación de esta tecnología. En consecuencia, es menos probable que los inversores destinen fondos a la 5G en zonas rurales y suburbanas, lo que podría ampliar la brecha digital.

## **Se necesita una visión equilibrada**

Mientras los argumentos en favor de la inversión en 5G sigan siendo inciertos, la industria y los responsables de la formulación de políticas deben actuar con cautela y sopesar la posibilidad de mejorar la disponibilidad y la calidad de las redes 4G existentes en la fase previa a la implantación de la 5G. La introducción de esta tecnología no constituye una necesidad acuciante. Los responsables de la formulación de políticas y los operadores sólo deberían considerar la posibilidad de implantar redes 5G cuando exista demanda o argumentos comerciales sólidos a su favor.

## **Los responsables de la formulación de políticas marcarán la diferencia**

En los casos en que exista demanda y los costes de implantación de la 5G sean elevados, los responsables de la formulación de políticas pueden adoptar una serie de medidas jurídicas y normativas con miras a facilitar la instalación de la red. Estas medidas incluyen:

- respaldar la provisión de una cobertura inalámbrica asequible (por ejemplo, a través de bandas inferiores a 1 GHz) para reducir la brecha digital; y
- ofrecer incentivos comerciales, tales como subvenciones, o forjar APP para estimular la inversión en redes 5G.

<sup>1</sup> Véase: <https://www.techradar.com/news/eu-backed-groups-warns-about-5g-claims>.

## 5G: 16 cuestiones fundamentales para los responsables de la formulación de políticas

En este informe se destacan 16 cuestiones fundamentales-y una serie de respuestas- que los responsables de la formulación de políticas han de tener en cuenta al elaborar estrategias para estimular la inversión en redes de 5G. En su conjunto, integran una poderosa herramienta para calibrar un enfoque global sobre los aspectos principales de la migración y, en su caso, emprender una transición hacia las 5G facilitada e impulsada con sensatez.

### Consideraciones fundamentales que cabe tener en cuenta

No.	Resumen	Consideración
1)	Supuesto de inversión	Los responsables de la formulación de políticas pueden considerar la posibilidad de realizar una propia evaluación económica independiente propia sobre la viabilidad comercial de la implantación de redes 5G
2)	Estrategia aplicable a la red 4G	Hasta que los argumentos en favor de las redes 5G puedan plantearse con claridad, los responsables de la formulación de políticas pueden considerar la posibilidad de mejorar la disponibilidad y la calidad de las redes 4G
3)	Armonización del espectro	Las ANR pueden considerar la posibilidad de atribuir/asignar bandas de espectro 5G armonizadas a escala mundial
4)	Hoja de ruta de espectro	Las ANR pueden considerar la posibilidad de adoptar una hoja de ruta de espectro y un proceso de renovación predecible
5)	Compartición del espectro	Las ANR pueden considerar la posibilidad de permitir la compartición, a fin de optimizar el uso del espectro disponible, especialmente, en beneficio de las zonas rurales
6)	Tarificación del espectro	Las ANR pueden considerar la posibilidad de seleccionar procedimientos de adjudicación de espectro que favorezcan la inversión
7)	Espectro de 700Mhz	Los responsables de la formulación de políticas pueden considerar la posibilidad de respaldar la provisión de una cobertura inalámbrica asequible (por ejemplo, a través de la banda de 700 MHz), con objeto de reducir el riesgo de brecha digital
8)	Incentivos a la inversión en fibra	En lo casos en que se registren deficiencias comerciales, los responsables de la formulación de políticas pueden considerar la posibilidad de estimular la inversión en fibra y en activos pasivos por conducto de APP, fondos de inversión, ofertas de financiación en forma de subvenciones, etc
9)	Impuesto sobre la fibra	Los responsables de la formulación de políticas pueden considerar la posibilidad de eliminar toda carga fiscal asociada a la implantación de redes de fibra óptica con miras a reducir los costes asociados
10)	Transición del cobre a la fibra	Los responsables de la formulación de políticas pueden considerar la posibilidad de adoptar políticas/incentivos financieros para fomentar la transición del cobre a la fibra y estimular la implantación de esta última
11)	Enlaces inalámbricos de conexión al núcleo de red	Los operadores pueden considerar un abanico de tecnologías inalámbricas para los enlaces de conexión al núcleo de red 5G, además de fibra, incluidos relevadores radioeléctricos punto a multipunto (PMP), de microondas y de ondas milimétricas (mmWave), sistemas en plataformas a gran altitud (HAPS) y satélites

No.	Resumen	Consideración
12)	Acceso/compartición de infraestructura pasiva	<p>Los responsables de la formulación de políticas pueden considerar la posibilidad de permitir el acceso a la infraestructura propiedad del gobierno, véanse postes de luz, semáforos y farolas, a fin de otorgar a los operadores inalámbricos los derechos adecuados para la instalación de aparatos electrónicos de células pequeñas en el mobiliario urbano.</p> <p>Las ANR pueden considerar la posibilidad de seguir desarrollando los regímenes vigentes en materia de acceso a los conductos, con el objetivo de incluir las redes 5G y, de esta forma, permitir instalaciones de fibra asequibles</p>
13)	Costos de acceso	Los responsables de la formulación de políticas y las ANR pueden considerar la posibilidad de velar por que se impongan tarifas razonables a los operadores a efectos de la instalación de equipos radioeléctricos de células pequeñas en el mobiliario urbano
14)	Base de datos de activos	Los responsables de la formulación de políticas pueden considerar la posibilidad de mantener una base de datos central, en la que se identifiquen los contactos clave y se muestren activos tales como conductos de servicios públicos, redes de fibra, puestos de TVCC, farolas, etc. Esta medida ayudará a los operadores a planificar la implantación de su infraestructura y calcular los costes asociados con mayor precisión
15)	Acuerdos en materia de derechos de paso	Los responsables de la formulación de políticas pueden celebrar acuerdos normalizados en materia de derechos de paso, con objeto de reducir los costes y el tiempo de instalación de las redes inalámbricas y de fibra
16)	Bancos de pruebas 5G	Los responsables de la formulación de políticas pueden considerar la posibilidad de alentar la realización de experimentos piloto y bancos de pruebas en el ámbito de las tecnologías y los casos de uso de la 5G, así como de estimular la participación en el mercado

# 1 Introducción

La UIT ha destacado las redes 5G y la inteligencia artificial (IA) como campos de innovación imprescindibles para la creación de sociedades más inteligentes. La 5G integra la próxima generación de normas móviles y trae consigo la promesa de mejorar la experiencia de los usuarios finales, ofreciéndoles nuevas aplicaciones y servicios capaces de alcanzar velocidades de varios gigabits, así como de incrementar significativamente la calidad de funcionamiento y la fiabilidad. Cabe prever una mejora de las redes 5G a través de la IA, que dará sentido a los datos, gestionará y orquestará los recursos de red y dotará de inteligencia a los sistemas conectados y autónomos.

A tal efecto, la UIT está desarrollando las "IMT para 2020 y años posteriores", sentando así las bases para una serie de trabajos de investigación en 5G emprendidos a escala mundial. La UIT también ha creado el Grupo Temático sobre aprendizaje automático para redes futuras, incluidas las 5G (FG ML5G)<sup>1</sup>, cuyo mandato consiste en estudiar casos de uso, servicios, requisitos, interfaces, protocolos, algoritmos, arquitecturas de red conscientes del aprendizaje automático y formatos de datos.

La elaboración del presente informe se ha integrado en el marco general de informes sobre IA encaminados a ayudar a los gobiernos, los reguladores de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y las autoridades nacionales de reglamentación (ANR) a preparar el terreno para la IA y la transformación digital 5G.

En este informe se examinan las expectativas generadas por la 5G, así como los requisitos en términos de infraestructura e inversión que habrán de satisfacer los sectores público y privado a medida que se preparan para la 5G. El objetivo de su autor es dar soporte a casos de uso y servicios emergentes y ayudar a todos los sectores a observar el nivel de calidad de funcionamiento previsto (velocidades binarias de varios gigabits), así como los requisitos de baja latencia y alta fiabilidad de estos servicios, velando al mismo tiempo por que los usuarios finales cosechen todos los beneficios económicos que se espera genere la 5G.

En este informe también se analizan las estrategias de transición utilizadas por los operadores inalámbricos para actualizar sus redes de 4G a 5G—especialmente en zonas urbanas, donde es probable que se priorice la instalación de estas últimas— y los diversos desafíos de orden político, estratégico y táctico que pueden frenar la implantación de las redes 5G. Si bien se reconocen las significativas medidas adoptadas en favor de la 5G en ciertas economías desarrolladas, también se consideran los retos a los que se enfrentarán los operadores inalámbricos en contextos económicos menos desarrollados.

El presente informe comprende asimismo un modelo de costes de alto nivel, que permite estimar la inversión de capital que habrían de efectuar los operadores inalámbricos con objeto de actualizar sus redes a 5G, junto con una serie de modelos que las ANR podrían utilizar para incentivar la inversión en esta tecnología. Por último, sobre la base de entrevistas a operadores e investigaciones secundarias, el informe evoca ejemplos reales del papel que los responsables de la formulación de políticas pueden desempeñar como facilitadores, habilitadores y coordinadores en la preparación para el desarrollo de la 5G, a fin de acelerar su implantación y reducir los costes conexos.

En adelante, el presente documento se estructura como sigue:

- En la sección 2 se examina la 5G, su evolución y sus posibles aportaciones a través de las tecnologías inalámbricas existentes y más allá de las mismas, incluidos beneficios económicos y sociales más amplios.
- En la Sección 3 se especifican las necesidades de espectro de la 5G y las tecnologías que dan soporte a redes conexas, así como el modo en que se espera que los operadores evolucionen hacia las redes 5G.

<sup>1</sup> Véase: <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ml5g/Pages/default.aspx>.

- En la sección 4 se describen los principales retos vinculados a la implantación de redes 5G en términos de infraestructura y política del espectro.
- En la sección 5 se facilitan ejemplos sobre el modo en que los responsables de la formulación de políticas están empezando a abordar los temas relacionados con la implantación de las redes 5G.
- En la sección 6 se analizan los requisitos de inversión inherentes al desarrollo de las redes 5G, junto con enfoques que podrían incentivar la inversión en estas últimas.
- En la sección 7 se recomiendan medidas a los responsables de la formulación de políticas de ANR y gobiernos, que les ayudarán a simplificar y reducir los costes a medida que avanzan en el proceso de implantación.

## 2 Consideraciones generales sobre la 5G

En la presente sección se describe el papel de la UIT en la elaboración de normas en materia de 5G, así como los beneficios que esta tecnología puede generar. Cabe la posibilidad de que, hasta que su ecosistema no se halle plenamente desarrollado, la 5G no constituya una opción apta para todas las regiones. Además, se teme que la implantación de las primeras redes 5G en zonas urbanas con una elevada densidad de población pueda ampliar la brecha digital.

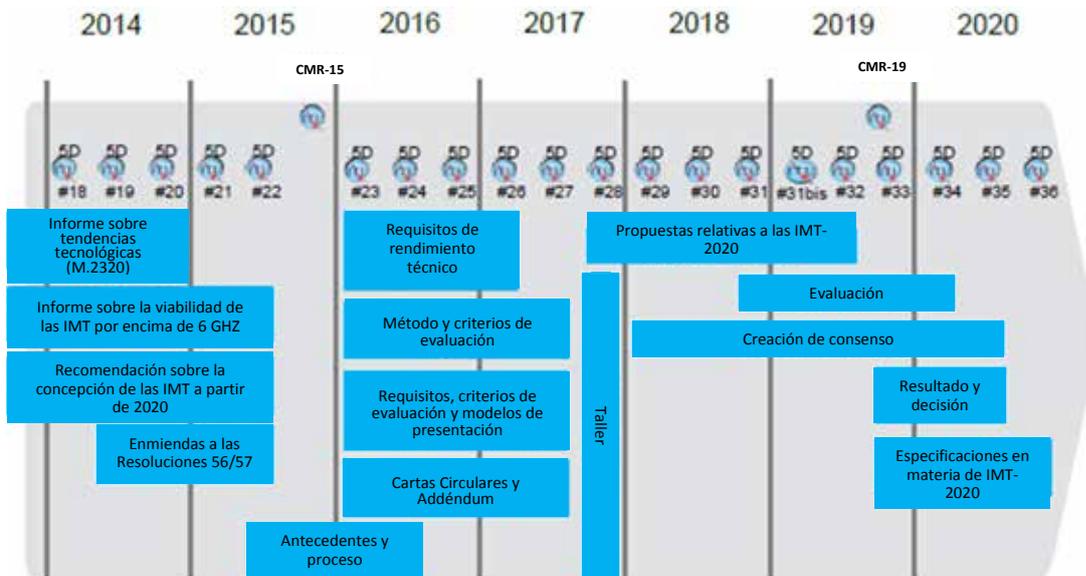
### 2.1 El papel de la UIT

La 5G integra la nueva generación de normas móviles que está definiendo la UIT. Los sistemas, componentes y elementos conexos, que soportan capacidades mejoradas superiores a las ofrecidas por los sistemas IMT-2000 (3G) e IMT-Avanzadas (4G), se denominan IMT-2020 (5G).

Las normas relativas a las telecomunicaciones móviles internacionales de 2020 (IMT-2020):

- sientan las bases para una serie de trabajos de investigación en 5G emprendidos a escala mundial;
- definen el marco y los objetivos generales del proceso de normalización de la 5G; y
- establecen la hoja de ruta por la que se regirá este proceso hasta su conclusión en 2020 (véase la Figura 1).

Figura 1: Cronograma y proceso detallados para las IMT-2020 del UIT-R



En el Anexo A se reseña la labor emprendida por la UIT en relación con la 5G.

### 2.2 ¿Qué es la 5G?

Al más alto nivel, la 5G representa una oportunidad para que los responsables de la formulación de políticas empoderen a los ciudadanos y las empresas. La 5G brindará un apoyo fundamental a los gobiernos y los responsables de la formulación de políticas que se disponen a transformar sus ciudades en ciudades inteligentes y permitirá que los ciudadanos y las comunidades descubran y aprovechen los beneficios socioeconómicos de una economía digital avanzada que utiliza un gran volumen de datos.

La 5G trae consigo la promesa de mejorar la experiencia de los usuarios finales, ofreciéndoles nuevas aplicaciones y servicios capaces de alcanzar velocidades de varios gigabits, así como de incrementar significativamente la calidad de funcionamiento y la fiabilidad. Esta tecnología se asentará en el éxito

cosechado por las redes móviles 2G, 3G y 4G, que han transformado las sociedades, dando soporte a nuevos servicios y modelos comerciales. La 5G proporciona a los operadores inalámbricos la oportunidad de trascender la prestación de servicios de conectividad y desarrollar soluciones y servicios ricos para los consumidores y la industria en una amplia gama de sectores y a un coste asequible. En ese sentido, brinda la ocasión de implantar redes alámbricas e inalámbricas convergentes y, en particular, de integrar sistemas de gestión de redes.

En principio, el proceso de implantación de las redes 5G comerciales dará inicio a partir de 2020, según se indica en la Figura 2, una vez finalizadas las normas en materia de 5G<sup>1</sup>. De aquí a 2025, la Asociación GSM (GSMA) prevé que el número de conexiones 5G alcanzará los 1 100 millones, lo que equivale al 12% del total de conexiones móviles, aproximadamente. También calcula que los ingresos totales de los operadores crecerán a una TCCA del 2,5%, hasta situarse en 1,3 billones USD en 2025<sup>2</sup>.

También se espera que la introducción de la 5G conlleve un aumento drástico de las velocidades de datos y una reducción de la latencia en comparación con la 3G y la 4G. Cabe pronosticar que la 5G reducirá notablemente la latencia, a valores inferiores a 1ms, lo que resulta adecuado para servicios de importancia crítica con datos sensibles al tiempo. El hecho de que las redes 5G puedan alcanzar velocidades elevadas implica que son capaces de proporcionar diversos servicios de banda ancha y alta velocidad, así como de ofrecer una alternativa a las tecnologías de acceso de último kilómetro (véanse las conexiones FTTH o de hilo de cobre).

#### Recuadro 1: Función de las IMT (5G) para 2020 y años posteriores

En la Recomendación UIT-R M.2083-0 se especifica el marco aplicable al futuro desarrollo de las IMT para 2020 y años posteriores. De acuerdo con esta Recomendación, las IMT seguirán contribuyendo a lo siguiente:

- Infraestructura inalámbrica para conectar el mundo: La conectividad de banda ancha adquirirá el mismo nivel de importancia que el acceso a la electricidad. Las IMT seguirán desempeñando un importante papel en este contexto ya que se convertirán en uno de los principales pilares del suministro de servicios móviles y del intercambio de información. En el futuro, los usuarios particulares y profesionales tendrán a su alcance una gran diversidad de aplicaciones y servicios, que variarán desde servicios de infoentretenimiento a nuevas aplicaciones industriales y profesionales.
- Nuevo mercado de las TIC: Cabe esperar que el desarrollo de los futuros sistemas IMT promueva la aparición de una industria de TIC integrada que, a su vez, impulsará la economía en todo el mundo. Algunos de los posibles campos son la recopilación, combinación y análisis de macrodatos (*big data*) y el suministro de servicios de red personalizados para empresas y grupos sociales en redes inalámbricas.

<sup>1</sup> En 2012, el Sector de Radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R) inició un programa encaminado a la elaboración de normas en materia de telecomunicaciones móviles internacionales (IMT) 5G para 2020.

<sup>2</sup> *The 5G era: Age of boundless connectivity and intelligence automation*, GSMA Intelligence, 2017: <https://www.gsmainelligence.com/research/2017/02/the-5g-era-age-of-boundless-connectivity-and-intelligent-automation/614/>.

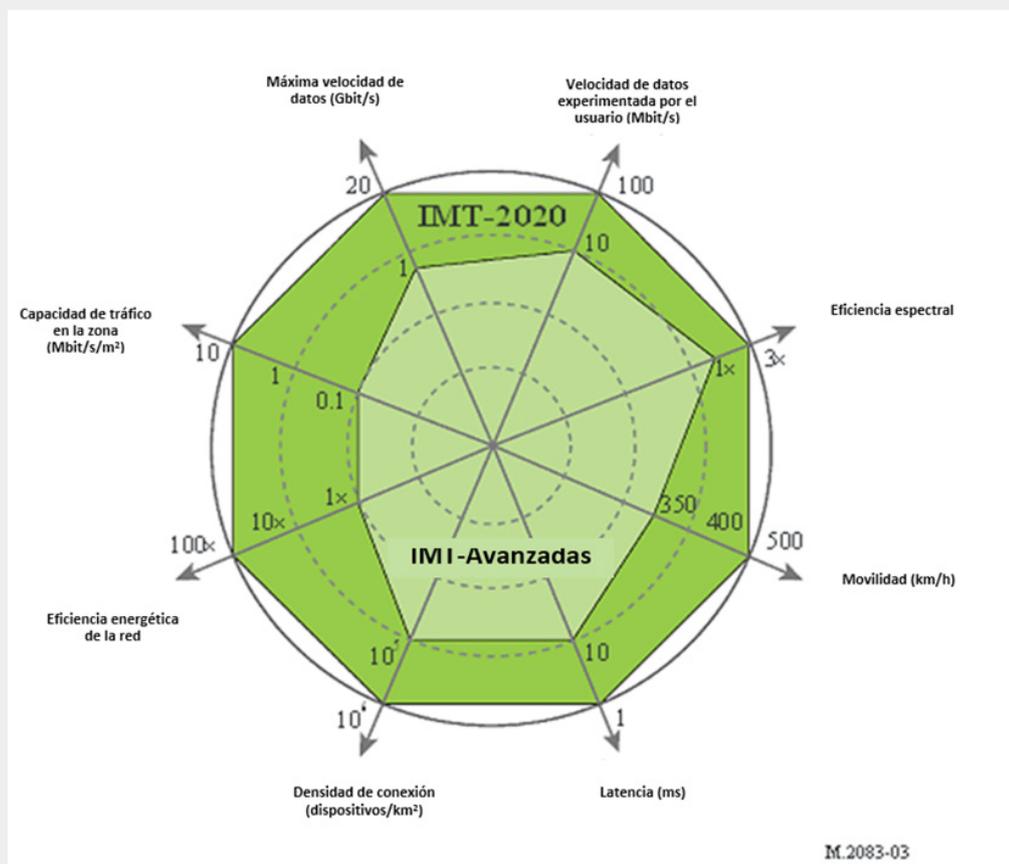
### Recuadro 1: Función de las IMT (5G) para 2020 y años posteriores (*continuación*)

- Reducción de la brecha digital: Las IMT seguirán contribuyendo a subsanar las deficiencias causadas por la creciente brecha digital. Los sistemas de comunicaciones asequibles, sostenibles y fáciles de utilizar, ya sean móviles o inalámbricos, pueden ayudar a lograr este objetivo al tiempo que permiten ahorrar energía y maximizar la eficiencia.
- Nuevas formas de comunicación: Las IMT permitirán compartir todo tipo de contenido en cualquier momento y lugar utilizando cualquier dispositivo. Los usuarios generarán más contenido y lo compartirán sin limitaciones de tiempo o ubicación.
- Nuevas formas de educación: Las IMT pueden cambiar los métodos educativos ofreciendo un acceso sencillo a libros de texto digitales y conocimientos sobre Internet almacenados en la nube, lo que impulsará aplicaciones tales como la ciberenseñanza, la ciber salud y el cibercomercio.
- Fomento de la eficiencia energética: Las IMT permiten mejoras de la eficiencia energética en una gran variedad de sectores de la economía, dando soporte a las comunicaciones de máquina a máquina y a soluciones tales como las redes eléctricas inteligentes, las videoconferencias y la logística y el transporte inteligentes.
- Transformación social: Las redes de banda ancha facilitan la rápida conformación y el intercambio de opiniones públicas sobre temas políticos o sociales a través de las redes sociales. Las opiniones que se conforma un número elevado de usuarios conectados, dada su capacidad de intercambiar información en cualquier momento y lugar, se convertirán en un vector clave de la transformación social.
- Renovación del arte y la cultura: Las IMT ayudarán a los artistas e intérpretes a crear obras de arte o a participar en representaciones o actividades en grupo, tales como coros virtuales, movilizaciones relámpago y proyectos de autoría conjunta o escritura de canciones. Además, las personas conectadas a un mundo virtual pueden crear nuevos tipos de comunidades y establecer su propia cultura.

**Recuadro 1: Función de las IMT (5G) para 2020 y años posteriores (continuación)**

A continuación se describen los objetivos establecidos para las IMT-2020.

**Mejora de las capacidades fundamentales de las IMT-Avanzadas a las IMT-2020**



Se espera que la velocidad binaria máxima de las IMT-2020 para la banda ancha móvil mejorada alcance los 10 Gbit/s. Ahora bien, en ciertos casos y circunstancias, las IMT-2020 podrían llegar a alcanzar una velocidad máxima de 20 Gbit/s, como se muestra en la Figura 3. Las IMT-2020 podrán soportar diferentes velocidades binarias de usuario, que abarque diversos entornos de la banda ancha móvil mejorada. Para los casos de cobertura de área extensa, por ejemplo en zonas urbanas y suburbanas, cabe esperar una velocidad binaria de usuario de 100 Mbit/s. En los casos de zonas de acceso inalámbrico, se espera que la velocidad experimentada por el usuario alcance valores más elevados (por ejemplo, 1 Gb/s en interiores).

**Recuadro 1: Función de las IMT (5G) para 2020 y años posteriores (continuación)**

Cabe prever que, en el caso de la banda ancha móvil mejorada, los valores de eficiencia espectral tripliquen los de las IMT-Avanzadas. El posible aumento en eficiencia con respecto a las IMT-Avanzadas dependerá de las circunstancias y podría llegar a ser superior (por ejemplo, cinco veces superior, a reserva de las futuras investigaciones). Se espera que las IMT-2020 alcancen una capacidad de tráfico por unidad de superficie de 10 Mbit/s/m<sup>2</sup>, por ejemplo en las zonas de acceso inalámbrico.

El consumo de energía de las redes de acceso radioeléctricas de las IMT-2020 no debe ser mayor que el de las redes IMT existentes hoy en día, incluso aunque ofrezcan capacidades mejoradas. La eficiencia energética de la red debe, por tanto, aumentarse en un factor que sea como mínimo análogo al aumento previsto en la capacidad de tráfico de las IMT-2020 con respecto a las IMT-Avanzadas para la banda ancha móvil mejorada.

Las IMT-2020 podrán ofrecer una latencia radioeléctrica de 1 ms y soportar servicios con requisitos de muy baja latencia. Cabe asimismo esperar que las IMT-2020 permitan una elevada movilidad de hasta 500 km/h con una calidad de servicio (QoS) aceptable, especialmente, en el caso de los trenes de alta velocidad.

Por último, se prevé que las IMT-2020 darán soporte a una densidad de conexión de hasta 106/km<sup>2</sup>, por ejemplo, en los casos de comunicación masiva entre máquinas.

Fuente: Recomendación UIT-R M.2083-0.

**Figura 2: Evolución de las redes móviles**

	1G	2G	3G	4G	5G
Fecha aproximada de implantación	1980s	1990s	2000s	2010s	2020s
Velocidad de descarga teórica	2kbit/s	384kbit/s	56Mbit/s	1Gbit/s	10Gbit/s
Latencia	N/A	629 ms	212 ms	60-98 ms	< 1 ms

### 2.3 Casos de uso de la 5G

Las elevadas velocidades y la baja latencia que promete la 5G impulsarán a las sociedades hacia una nueva era de ciudades inteligentes e Internet de las cosas (IoT). Las partes interesadas del sector industrial han precisado posibles casos de uso de las redes 5G y el UIT-R ha definido tres categorías importantes en la materia (véase la Figura 3):

- 1) **Banda ancha móvil mejorada (eMBB):** Banda ancha mejorada en entornos interiores y exteriores, colaboración empresarial y realidad virtual y aumentada.
- 2) **Comunicaciones masivas entre máquinas (mMTC):** IoT, seguimiento de activos, agricultura inteligente, ciudades inteligentes, control energético, hogares inteligentes y seguimiento a distancia.

- 3) **Comunicaciones ultrafiabiles y de baja latencia (URLLC):** Vehículos autónomos, redes eléctricas inteligentes, vigilancia de pacientes a distancia y servicios de tele salud y automatización industrial.

Figura 3: Supuestos de utilización de la 5G



Los operadores inalámbricos prevén que el principal caso de uso de las primeras redes 5G se articulará en torno a la eMBB. La eMBB llevará la banda ancha móvil de alta velocidad a zonas concurridas, permitirá que los consumidores disfruten de la emisión en continuo a alta velocidad de contenidos a la carta en dispositivos domésticos, de pantalla y móviles y propiciará una evolución de los servicios de colaboración empresarial. Algunos operadores también están considerando la eMBB como solución de último kilómetro en aquellas zonas en que no existen conexiones de fibra o hilo de cobre a los hogares.

También se espera que la 5G impulse la evolución de las ciudades inteligentes y la IoT mediante la implantación de un número elevado de redes de sensores de baja potencia en entornos urbanos y rurales. Gracias a su seguridad y robustez, la 5G resultará apta para fines relacionados con la seguridad pública, así como para la prestación de servicios de importancia crítica, tales como redes eléctricas inteligentes, servicios policiales y de seguridad, servicios públicos de suministro eléctrico e hídrico y asistencia sanitaria. Sus características de funcionamiento de baja latencia también la hacen adecuada para la cirugía a distancia, la automatización de fábricas y el control de procesos en tiempo real.

Las características de baja latencia y seguridad de la 5G desempeñarán un papel importante en la evolución de los sistemas de transporte inteligentes, pues permitirá que los vehículos inteligentes se comuniquen entre sí y brindará nuevas oportunidades en el ámbito de los vehículos y camiones autónomos conectados. Por ejemplo, un vehículo autónomo (VA) manejado a través de un sistema de conducción autónoma basado en la nube debe ser capaz de detenerse, acelerar o girar cuando se le indique. Todo valor de latencia de la red o pérdida en la cobertura de la señal que impida la entrega del mensaje podría tener consecuencias catastróficas. En ese sentido, los operadores inalámbricos consideran que a los VA aún les queda un largo camino por recorrer antes de entrar en servicio, a pesar de los proyectos piloto y las pruebas en curso.

**Recuadro 2: La 5G y la convergencia entre sistemas fijos y móviles**

La convergencia entre sistemas fijos y móviles (FMC) constituye una solución de red en cualquier configuración, que permite ofrecer servicios y aplicaciones a los usuarios finales con independencia de que la tecnología utilizada sea de acceso fijo o móvil y de la ubicación de los propios usuarios. Las soluciones FMC se aplican desde 2005 y, con el paso a 5G, están adquiriendo nuevos carices.

En virtud de la Recomendación UIT-T Y.3101, la red IMT-2020 prevé una arquitectura independiente de la red de acceso, cuyo núcleo estará constituido por una red básica unificada común a las nuevas tecnologías de acceso radioeléctrico para las IMT-2020, así como a las redes fijas e inalámbricas existentes (véanse redes de área local inalámbrica (WLAN)). Se espera que la red básica unificada independiente de la tecnología de acceso vaya acompañada de mecanismos de control comunes, que no guarden relación alguna con las tecnologías de acceso.

Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (entre ellas, la virtualización, la nube, las redes definidas por software (SDN) y la virtualización de las funciones de red (NFV)) están transformando las redes fijas y móviles de los operadores de telecomunicaciones con miras a optimizar el uso de los recursos y flexibilizar las redes, lo que a su vez contribuye a la convergencia de las funciones de red en las redes IMT-2020.

A tal efecto, la CE 13 del UIT-T aprobó la Recomendación UIT-T Y.3130 (01/2018), en la que se especifican requisitos relacionados con el servicio, tales como la identidad de usuario unificada, la tarificación unificada, la continuidad del servicio y la garantía de calidad del soporte del servicio, y requisitos relacionados con la capacidad de red, tales como la convergencia del plano de control, la gestión de los datos de usuario, la exposición de capacidades y la infraestructura basada en la nube, con miras al soporte de la convergencia entre sistemas fijos y móviles en las redes IMT-2020.

Actualmente, la CE 13 del UIT-T sigue estudiando distintas facetas del enfoque basado en la FMC. Entre estas últimas cabe destacar la programación de servicios FMC, a saber, una capacidad de red que permite recopilar información de la capa de aplicación, la capa de red y la capa de usuario, a fin de generar políticas de programación de servicios (véanse la programación de tráfico, la selección de acceso, etc.) en la red FMC que soporta múltiples accesos RAT.

En el contexto de las IMT-2020, la FMC representa capacidades que proporcionan servicios y aplicaciones a los usuarios finales con independencia de que la tecnología utilizada sea de acceso fijo o móvil y de la ubicación de los propios usuarios.

**2.4 Repercusiones socioeconómicas de la 5G**

Existen pocos estudios de terceras partes que ahonden en las repercusiones económicas de las inversiones en 5G. No obstante, es posible recurrir a previsiones de terceros para estimar la incidencia que la 5G podría tener en la producción económica.

La UIT sugiere que los responsables de la formulación de políticas efectúen una evaluación independiente de los beneficios económicos, ya que las estimaciones de terceras partes no cuentan con el respaldo de la organización.

En un informe se estima que la 5G proveerá 12,3 billones USD a la producción económica mundial de aquí a 2035, siendo la manufactura la responsable del mayor crecimiento en términos de ventas debido a un aumento anticipado del gasto en equipos 5G. A continuación figura el crecimiento de las

ventas en el sector de las TIC, impulsado por un mayor gasto en servicios de comunicaciones. Cabe prever que la inversión en la cadena de valor aporte otros 3,5 billones USD a la producción y respalde 22 millones de puestos de trabajo de aquí a 2035<sup>3</sup>.

La Comisión Europea (CE) calcula que el coste total de la implantación de la 5G en los 28 Estados Miembros ascenderá a 56 000 millones de euros, lo que supondrá unos beneficios de 113.100 millones de euros anuales derivados de la introducción de las capacidades 5G y la creación de 2,3 millones de puestos de trabajo. También se estima que los beneficios dependerán en gran medida de la productividad del sector de la automoción y de los lugares de trabajo en general. Las previsiones apuntan a que la mayor parte de los beneficios se obtendrá en zonas urbanas, mientras que solo el 8% de los beneficios (10 000 millones de euros anuales) corresponderá a zonas rurales<sup>4</sup>.

En otros informes se indica que la inversión en redes 5G reportará notables beneficios económicos y mejoras en términos de productividad<sup>5</sup>. Dichas estimaciones están encaminadas a la cuantificación de los beneficios dimanantes de la 5G, asumiendo unas condiciones de inversión ideales. El beneficio económico que obtendrá realmente cada país dependerá de la estructura del mercado y la disponibilidad de infraestructura digital y económica auxiliar.

**Conclusión fundamental: Los responsables de la formulación de políticas pueden considerar la posibilidad de realizar una evaluación económica propia sobre la viabilidad comercial y las repercusiones económicas de las redes 5G.**

A pesar de sus posibles beneficios económicos, la industria se mantiene escéptica frente a los argumentos comerciales en favor de la inversión en 5G. Dada la importancia de la inversión requerida, algunos operadores europeos siguen reaccionando con escepticismo ante el revuelo suscitado por la 5G y se cuestionan la viabilidad de sus beneficios económicos. La Asociación de Infraestructura 5G (5GIA), organismo respaldado por la UE, y un grupo de altos ejecutivos del sector de las telecomunicaciones comparten estas inquietudes y advierten contra los anuncios prematuros de lanzamiento de la 5G<sup>6</sup>.

Muchos de los anuncios relacionados con la 5G -algunos de los cuales se destacan en el presente informe- no representan comercializaciones a gran escala, sino simples proyectos piloto y experimentos regionales en la materia. Aún queda camino por recorrer antes de poder presentar a los operadores argumentos sólidos en favor de la inversión en esta tecnología, así como de proceder a su comercialización a gran escala.

**Conclusión fundamental: Hasta que los argumentos en favor de la inversión en 5G puedan demostrarse, la industria y los responsables de la formulación de políticas pueden considerar la posibilidad de abordar la inversión en 5G con cautela y seguir mejorando la disponibilidad y la calidad de las redes 4G existentes.**

## 2.5 Brecha digital

La industria considera que las primeras redes 5G se implantarán en zonas urbanas con una elevada densidad de población y ofrecerán servicios tales como la banda ancha móvil mejorada (eMBB) -su instalación en zonas rurales, donde la demanda tiende a ser menor, constituirá un desafío comercial-, por lo que las zonas rurales pueden quedar rezagadas, dando así lugar a una ampliación de la brecha digital.

<sup>3</sup> *The 5G Economy*, IHS economics e IHS technology, enero de 2017: <https://cdn.ihs.com/www/pdf/IHS-Technology-5G-Economic-Impact-Study.pdf>.

<sup>4</sup> *Identification and quantification of key socio-economic data to support strategic planning for the introduction of 5G in Europe*, Comisión Europea, 2016: [https://connectcentre.ie/wp-content/uploads/2016/10/EC-Study\\_5G-in-Europe.pdf](https://connectcentre.ie/wp-content/uploads/2016/10/EC-Study_5G-in-Europe.pdf).

<sup>5</sup> *5G mobile – enabling businesses and economic growth*, Deloitte, 2017; *Tech-onomy: Measuring the impact of 5G on the nation's economic growth*, O2 Telefonica (Reino Unido), 2017.

<sup>6</sup> Véase: <https://www.techradar.com/news/eu-backed-groups-warns-about-5g-claims>.

Sin embargo, la utilización del espectro de frecuencias por debajo de 1 GHz, en los casos en que esté disponible, puede contrarrestar el problema en las zonas rurales. Esta parte del espectro permite a los operadores móviles cubrir zonas amplias a un coste inferior al inherente a un espectro de frecuencias más elevadas.

Si bien esta parte del espectro no permite alcanzar velocidades binarias y capacidades de red tan elevadas como las bandas de frecuencias más altas, el espectro de frecuencias inferiores a 1 GHz mejorará la cobertura de las redes rurales.

**Conclusión fundamental: Las autoridades locales y los organismos reguladores deben ser conscientes del riesgo de ampliación de la brecha digital y respaldar incentivos comerciales y legislativos que estimulen la inversión en una cobertura inalámbrica asequible a través del espectro de frecuencias inferiores a 1 GHz, siempre que sea posible.**

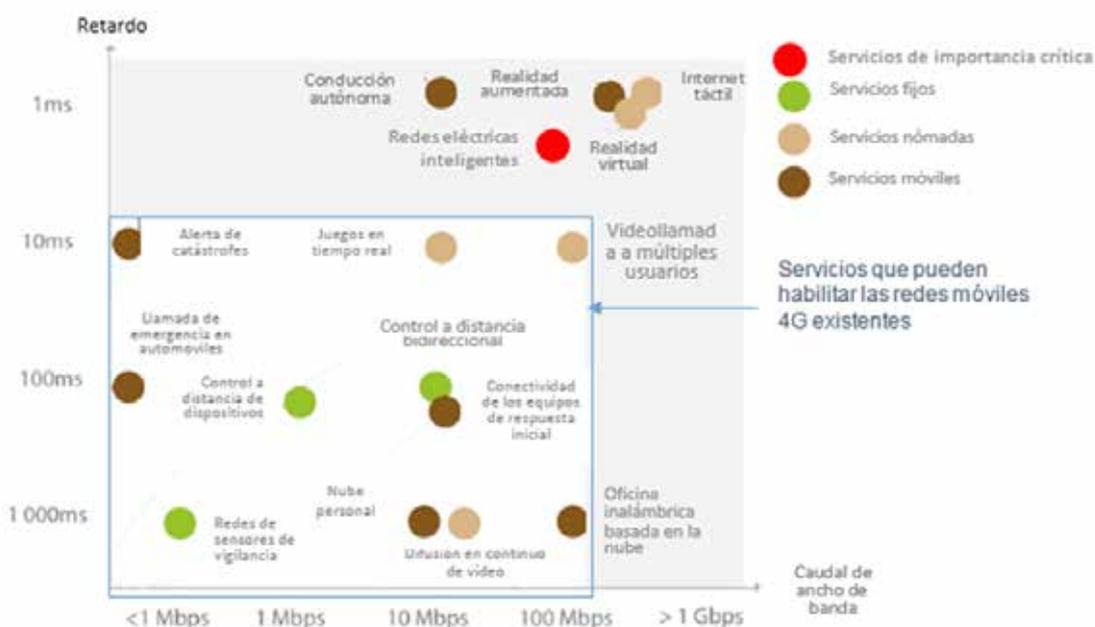
### 3 Necesidades en términos de tecnología y espectro de la 5G

El espectro radioeléctrico, los enlaces de conexión al núcleo de red, la informatización de las redes básicas y las redes de acceso radioeléctrico desempeñarán un papel crucial en la instalación de las primeras redes 5G, especialmente, en lo tocante a la banda ancha móvil mejorada.

#### 3.1 Redes de acceso radioeléctrico

Actualmente, la mayor parte de las instalaciones de redes móviles 4G al aire libre están basadas en macrocélulas<sup>1</sup>. No obstante, a las macrocélulas que cubren extensas zonas geográficas les costará proporcionar la cobertura densa, la baja latencia y el amplio ancho de banda que requieren algunas aplicaciones 5G (véase la Figura 4).

Figura 4: Requisitos en términos de ancho de banda y latencia de las aplicaciones 5G



Fuente: GSMA Intelligence, 2015

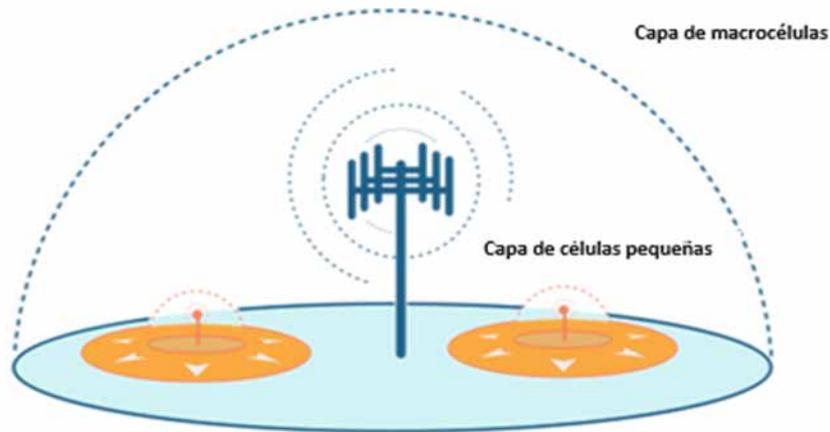
A fin de proporcionar la densa cobertura y la alta capacidad de red que requiere la 5G, los operadores inalámbricos están invirtiendo en la densificación de sus redes de acceso radioeléctrico (RAN) 4G -especialmente en zonas urbanas con una elevada densidad de población- mediante la implantación de células pequeñas. Las células pequeñas, si bien prestan servicios a una zona geográfica mucho más reducida que las macrocélulas, aportan una mayor cobertura, capacidad y calidad de servicio de red (véase la Figura 5).

La implantación de células pequeñas permite aumentar la capacidad y la calidad de las redes 4G existentes y, al tiempo, sentar las bases para la instalación de las redes comerciales 5G y los primeros servicios eMBB. Actualmente, algunos operadores inalámbricos utilizan las células pequeñas con objeto de aumentar la capacidad y la cobertura de sus redes 4G, especialmente en entornos urbanos densos (véase un ejemplo en el Recuadro 3).

Las células pequeñas amplían la capacidad de la red sin necesidad de recurrir a espectro adicional, lo que las hace atractivas para los operadores que disponen de una cantidad de espectro limitada o

<sup>1</sup> Véase: <https://www.mobileworldlive.com/blog/blog-global-base-station-count-7m-or-4-times-higher/>.

Figura 5: Redes de macrocélulas frente a redes de células pequeñas



en los lugares donde no abunda el espectro. Además, la industria considera probable que las células pequeñas implantadas en zonas urbanas densas a fin de mejorar la calidad de las redes 4G existentes soporten los requisitos de alta capacidad que se prevé conlleven las redes 5G y los primeros servicios eMBB<sup>2</sup>.

#### Recuadro 3: Aberdeen

En septiembre de 2017, el *Wireless Infrastructure Group*, un grupo independiente especialista en torres, colaboró con Telefónica en el lanzamiento de la primera red de células pequeñas de Europa capaz de soportar sistemas RAN en la nube (C-RAN) para la prestación servicios móviles más rápidos y con mayor capacidad en el centro de la ciudad de Aberdeen.

Fuente: <http://www.wirelessinfrastructure.co.uk/city-of-aberdeen-paves-the-way-for-5g/>.

Dada la densa cobertura que deben proporcionar las células pequeñas, es necesario instalar antenas de células pequeñas en el mobiliario urbano, por ejemplo, en paradas de autobús, farolas, semáforos, etc. Estas suelen ir acompañadas de un distribuidor en la vía pública, en el que se ubica el equipo radioeléctrico del operador y los sistemas de energía y conectividad del emplazamiento. La figura 6 ilustra un ejemplo de un sistema de antena instalado en una farola, con su correspondiente distribuidor en la vía pública.

<sup>2</sup> TechUK: <https://goo.gl/Q58ZA8>- FCC: <https://www.fcc.gov/5G>- UIT: [https://www.itu.int/ITU-T/workprog/wp\\_item.aspx?isn=14456](https://www.itu.int/ITU-T/workprog/wp_item.aspx?isn=14456).

Figura 6: Ejemplo de sistema de antena de células pequeñas y distribuidor situado en la vía pública



La tecnología MIMO (entrada múltiple, salida múltiple) masiva puede abarcar cientos e incluso miles de antenas, incrementado así las velocidades de datos y soportando la formación de haces, lo que resulta esencial para una transmisión de potencia eficaz. La tecnología MIMO masiva potencia la eficiencia espectral y, unida a la instalación densa de células pequeñas, ayudará a los operadores a satisfacer el exigente requisito de capacidad de la 5G<sup>3</sup>.

### 3.2 Redes básicas

La flexibilidad de extremo a extremo figurará entre las propiedades características de las redes 5G<sup>4</sup> y resultará en gran medida de la introducción del proceso de informatización de la red, en cuyo marco las funciones de los soportes físico y lógico de la red básica estarán separadas. La informatización de la red-a través de la virtualización de las funciones de red (NFV), las redes definidas por software (SDN), la segmentación de las redes y las RAN en la nube (C-RAN)- tiene por objeto aumentar tanto el ritmo de la innovación como la velocidad de transformación de las redes móviles.

- **NFV:** Reemplaza las funciones de red en dispositivos específicos, tales como encaminadores, equilibradores de carga y cortafuegos, con instancias virtualizadas que pueden ejecutarse en soportes físicos disponibles en el mercado, reduciendo así el coste de las modificaciones y actualizaciones de la red.
- **SDN:** Permite la reconfiguración dinámica de los elementos de red en tiempo real y, de esta forma, el control de las redes 5G por conducto de un soporte lógico en lugar de un soporte físico, lo que mejora la resiliencia, la calidad de funcionamiento y la calidad de servicio de la red.
- **Segmentación de la red:** Permite dividir una red física en múltiples redes virtuales (segmentos lógicos) capaces de soportar diferentes RAN o tipos de servicios para ciertos segmentos de clientes, reduciendo en gran medida los costes de construcción de la red gracias a un uso más eficaz de los canales de comunicación.
- **C-RAN:** Esta tecnología se presenta como una opción disruptiva clave y de vital importancia para la concretización de las redes 5G. Se trata de una arquitectura de red radioeléctrica basada en la nube, que utiliza técnicas de virtualización combinadas con unidades de procesamiento centralizadas, que sustituyen a las unidades de procesamiento de señales distribuidas en estaciones base móviles y reducen los costes de instalación de las redes móviles densas basadas en células pequeñas.

<sup>3</sup> IEEE: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7881053/>.

<sup>4</sup> UIT: <http://news.itu.int/5g-update-new-itu-standards-network-software-ization-fixed-mobile-convergence/>.

Durante los últimos años, Telefónica se ha centrado en la virtualización de su red básica basada en SDN/NFV con miras a preparar el terreno para la 5G en Argentina, México y Perú (véase el Recuadro 4).

#### Recuadro 4: Inversión de Telefónica en SDN y NFV

Operadores de la índole de Telefónica ya están invirtiendo en SDN y NFV en el marco de su transición gradual a la 5G, lo que podría permitir una reducción de los costes inherentes a su red básica a largo plazo. Telefónica cuenta con un plan ambicioso para virtualizar su red de extremo a extremo, incluidos los dominios troncal, de acceso y de agregación, en virtud de su programa UNICA.

Fuente: [https://www.telefonica.com/documents/737979/140082548/Telefonica\\_Virtualisation\\_gCTO\\_FINAL.PDF/426a4b9d-6357-741f-9678-0f16dccb0e16?version=1.0](https://www.telefonica.com/documents/737979/140082548/Telefonica_Virtualisation_gCTO_FINAL.PDF/426a4b9d-6357-741f-9678-0f16dccb0e16?version=1.0)

Entre las mejoras tecnológicas objeto de examen figuran asimismo técnicas de codificación de señales que refuerzan la eficiencia espectral y proporcionan la calidad de funcionamiento a velocidades elevadas que requiere la 5G. Además, la computación periférica reviste una importancia progresiva para las aplicaciones en tiempo real extremadamente sensibles a la latencia. La computación periférica acerca los datos a los dispositivos de usuario final, suministrando una potencia de computación con una latencia muy baja para aplicaciones exigentes. De esta forma, se acelera la transmisión de datos procesables, se reducen los costes de transporte y se optimizan las rutas de tráfico.

### 3.3 Enlaces de conexión al núcleo de red

Los enlaces de conexión al núcleo de red conectan las RAN a las redes centrales. Los requisitos en términos de capacidad ultraelevada, rápidas velocidades y baja latencia de la 5G precisan de enlaces de conexión al núcleo de red capaces de satisfacer estas exigentes demandas. Los operadores móviles suelen considerar que la fibra es el material más adecuado para las conexiones al núcleo de red, dada su longevidad, su elevada capacidad, su alta fiabilidad y su habilidad para soportar tráfico de muy alta capacidad.

No obstante, las redes de fibra no ofrecen una cobertura ubicua en todas las ciudades en las que ha previsto instalar las primeras redes 5G, situación que se agrava en las zonas suburbanas y rurales. Los costes de construcción de nuevas redes de fibra en estas zonas pueden resultar prohibitivos para los operadores. En ese caso, además de la fibra, debe considerarse un abanico de tecnologías inalámbricas de conexión al núcleo de red, incluidas las microondas punto a multipunto (PMP) y las ondas milimétricas (mmWave). La tecnología PMP se caracteriza por un caudal en sentido descendente de 1Gbit/s y una latencia de menos de 1ms por salto en distancias de entre 2 y 4 km. La tecnología mmWave presenta una latencia significativamente menor y soporta velocidades de caudal más elevadas.

Si bien la tecnología terrenal suscita el mayor interés, los sistemas en plataformas a gran altitud (HAPS) y la tecnología de satélites también desempeñan un papel en el marco de la 5G. Los HAPS y los sistemas de satélites (incluidas las constelaciones no geoestacionarias) pueden ofrecer velocidades de datos muy elevadas (> 100 Mbit/s- 1 Gbit/s), como complemento de los enlaces inalámbricos fijos o terrenales de conexión al núcleo de red que se hallan fuera de las principales zonas urbanas o suburbanas, y transmitir contenido de vídeo a ubicaciones fijas. Los HAPS y los satélites pueden integrarse con otras redes en lugar de funcionar como redes independientes, a fin de proporcionar servicios 5G, aumentando así la capacidad 5G y solventando algunos de los principales problemas relacionados con el soporte del creciente tráfico multimedia, la cobertura ubicua, las comunicaciones de máquina a máquina y las misiones de telecomunicaciones críticas<sup>5</sup>.

<sup>5</sup> EMEA Satellite Operators Association: <https://gscoalition.org/cms-data/position-papers/5G%20White%20Paper.pdf>.

**Conclusión fundamental: Además de la fibra, cabe la posibilidad de considerar un abanico de tecnologías inalámbricas, incluidas las microondas punto a multipunto (PMP), las ondas milimétricas (mmWave), los HAPS y los satélites.**

En resumen, lo más probable es que una estrategia realista en materia de conexión al núcleo 5G se articule en torno a diversas tecnologías. Cada enfoque debe analizarse de conformidad con sus propias características, habida cuenta de las necesidades en términos de calidad de funcionamiento, la infraestructura disponible y el posible rendimiento de la inversión.

### 3.4 Enlaces de conexión frontal

Convencionalmente, en una red inalámbrica 4G, los enlaces de conexión frontal se establecen entre la función de radiofrecuencias (RF) y las funciones restantes de las capas 1, 2 y 3 (L1/L2/L3). En la Recomendación UIT-T Y.3100, este tipo de enlace se define como un trayecto de red entre los controladores de radiocomunicaciones centralizados y las unidades de radiocomunicaciones a distancia (RRU) de una función de estación base. Esta arquitectura permite la centralización de todas las funciones de procesamiento de las capas superiores a expensas de los requisitos más estrictos en términos de latencia de conexión frontal y ancho de banda. El aumento en las velocidades de datos que conlleva la 5G hace que no resulte práctico continuar con la implantación de interfaces comunes de radio pública (CPRI) convencionales. La asignación de más funciones de procesamiento a las RRU flexibilizaría los requisitos en términos de latencia y ancho de banda, pero entrañaría una reducción del número de funciones de procesamiento que pueden centralizarse. Por tanto, es fundamental que la nueva arquitectura de división funcional prevea un equilibrio entre las características técnicas y la rentabilidad con respecto al caudal, la latencia y la centralización funcional<sup>6</sup>.

En los siguientes documentos se especifican o describen tecnologías que pueden utilizarse a efectos de la conexión frontal:

- Suplemento 55 a las Recomendaciones de la Serie G, sobre tecnologías de radiocomunicaciones por fibra (RoF) y sus aplicaciones.
- Suplemento 56 a las Recomendaciones de la Serie G, sobre transporte OTN de señales CPRI, en que se detallan alternativas para el establecimiento de correspondencias y la multiplexación de señales de clientes CPRI en las OTN.
- Recomendación UIT-T G.987, sobre redes ópticas pasivas con capacidad de 10 gigabits (XG-PON).
- Recomendación UIT-T G.9807, sobre redes ópticas pasivas simétricas con capacidad de 10 Gigabit (XGS-PON).
- Recomendación UIT-T G.989, sobre redes ópticas pasivas con capacidad de 40 Gigabits (NG-PON2).
- Proyecto de Recomendación UIT-T G.RoF, sobre sistemas de radiocomunicaciones por fibra (en fase de elaboración).
- Proyecto de Suplemento a las Recomendaciones de la Serie G (G.sup.5GP), sobre requisitos en términos de conexión frontal inalámbrica 5G en un contexto PON (en fase de elaboración).
- Recomendación UIT-T G.709(.x), sobre redes ópticas de transporte (OTN) por encima de 100 Gbit/s.
- Proyecto de Recomendación UIT-T G.ctn5g, sobre las características de las redes de transporte que dan soporte a las IMT-2020/5G (en fase de elaboración).

<sup>6</sup> Informe técnico de la serie G, *Transport network support of IMT-2020/5G* (GSTR-TN5G), <http://www.itu.int/pub/publications.aspx?lang=en&parent=T-TUT-HOME-2018>.

- Proyecto de Suplemento a las Recomendaciones de la Serie G G.Sup.5gotn, sobre la aplicación de las OTN al transporte 5G (en fase de elaboración).
- Recomendación UIT-T G.695, sobre interfaces ópticas para aplicaciones de multiplexación por división aproximada en longitud de onda.
- Recomendación UIT-T G.698.4, sobre aplicaciones DWDM multicanal bidireccionales con interfaces ópticas monocanal independientes del puerto.
- Recomendación UIT-T G.959.1, sobre interfaces de capa física de red óptica de transporte.

### 3.5 Espectro para la 5G

La instalación de redes 5G requerirá un ancho de banda espectral superior al de las redes 4G, dados sus exigentes requisitos en términos de capacidad, lo que agudizará la necesidad de espectro. En consecuencia, la industria está realizando esfuerzos concertados para armonizar el espectro 5G. La UIT-R está coordinando la armonización internacional de espectro adicional para el desarrollo de sistemas móviles 5G (véase el Recuadro 5). El Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT (UIT-T) está desempeñando un papel crucial en la elaboración de las normas relativas a las tecnologías y arquitecturas de los elementos alámbricos de los sistemas 5G.

#### Recuadro 5: Viabilidad técnica de las IMT en las frecuencias comprendidas entre 24 y 86 GHz, según el UIT-R

El UIT-R está analizando la viabilidad técnica del futuro espectro 5G en las frecuencias comprendidas entre 24 y 86 GHz basándose en otros estudios realizados recientemente (y en fase de elaboración) por numerosos miembros del sector. Las soluciones basadas en la tecnología MIMO y la conformación de haces son cada vez más factibles en frecuencias más elevadas. Las bandas inferiores y superiores a 6 GHz podrían utilizarse de manera complementaria para 2020 y años posteriores. En principio, la UIT adoptará una decisión en cuanto al espectro adicional para las IMT en la gama de frecuencias entre 24 y 86 GHz en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2019 (CMR-19).

Nuevas bandas de espectro objeto de estudio de cara a la CMR-19:

Atribuciones al servicio móvil existentes	Ninguna atribución mundial al servicio móvil
24,25-27,5 GHz	31,8-33,4 GHz
37-40,5 GHz	40,5-42,5 GHz
42,5-43,5 GHz	
45,5-47 GHz	47-47,2 GHz
47,2-50,2 GHz	
50,4 GHz-52,6 GHz	
66-76 GHz	
81-86 GHz	

Los casos de uso relativos a la 5G pueden materializarse en una variedad de frecuencias de espectro. Por ejemplo, las frecuencias mmWave (por encima de 24 GHz) podrían resultar adecuadas para aplicaciones de baja latencia y corto alcance (aptas para zonas urbanas densas) y las frecuencias inferiores a 1 GHz para aplicaciones de largo alcance y escaso ancho de banda (idóneas para zonas rurales). Si

bien las frecuencias más bajas presentan mejores características de propagación y brindan una mayor cobertura, las frecuencias más altas soportan anchos de banda más amplios debido a la gran cantidad de espectro disponible en las bandas de ondas milimétricas. Huawei, por ejemplo, ha propuesto un enfoque espectral multicapa, que ilustra este planteamiento a la perfección (véase el recuadro 6).

El desafío para las ANR consistirá en seleccionar bandas de espectro armonizadas a escala mundial para la 5G. A fin de lograr este objetivo, lo mejor será tener en cuenta las decisiones pertinentes de la CMR-19 respecto de las bandas superiores, así como las decisiones de la CMR-07 y la CMR-15 respecto de las bandas inferiores.

Si bien la CE ha señalado que el espectro de 700 MHz desempeña un papel esencial en la provisión de cobertura a zonas extensas e interiores para servicios de 5G<sup>7</sup>, este recurso también podría utilizarse en algunas partes de África para mejorar la cobertura 4G. Cabe prever que, de aquí a 2020, solo el 35% de la población subsahariana goce de cobertura 4G y que numerosas zonas rurales dispongan de poca cobertura móvil 4G o incluso carezcan de ella. Esta última cifra equivale a un 78% del promedio mundial<sup>8</sup>. Por consiguiente, los responsables de la formulación de políticas de África subsahariana podrían considerar la posibilidad de utilizar el espectro de 700 MHz como solución idónea para ampliar la cobertura 4G en zonas rurales en lugar de destinarlo a la introducción de la 5G.

**Conclusión fundamental: Los responsables de la formulación de políticas pueden considerar la posibilidad de poner a disposición espectro de baja frecuencia (por ejemplo, en la banda de 700 MHz) para garantizar la provisión de banda ancha móvil a las zonas rurales.**

#### Recuadro 6: La perspectiva de un operador – El enfoque espectral multicapa de Huawei

- **Capa de cobertura:** Explora el espectro por debajo de 2 GHz (por ejemplo, 700 MHz) proporcionando cobertura a zonas extensas y en lo más recóndito de entornos interiores.
- **Capa de capacidad y cobertura:** Se basa en espectro perteneciente a la gama entre 2 y 6 GHz para ofrecer el mejor equilibrio entre capacidad y cobertura.
- **Capa de súper datos:** Se basa en espectro por encima de 6 GHz y mmWave para abordar casos de uso específicos que requieren velocidades de datos extremadamente altas.

Fuente: <http://www.huawei.com/en/about-huawei/public-policy/5g-spectrum>.

La Asociación GSMA espera que el espectro de la banda 3,3-3,8 GHz constituya la base de muchos de los primeros servicios 5G, en particular, de la provisión de una banda ancha móvil mejorada. Ello se debe a que la gama 3,4-3,6 GHz está armonizada prácticamente a escala mundial y, por tanto, es apta para impulsar las economías de escala necesarias para los dispositivos de bajo coste.

**Conclusión fundamental: Los responsables de la formulación de políticas pueden considerar la posibilidad de celebrar un acuerdo relativo a las bandas del espectro armonizadas para la 5G. En ese caso, las ANR se beneficiarían de un intercambio de prácticas idóneas en materia de configuración de mercados mediante la concesión de licencias de espectro.**

<sup>7</sup> CE: [https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2014-2019/ansip/blog/700-mhz-must-digital-single-market\\_en](https://ec.europa.eu/commission/commissioners/2014-2019/ansip/blog/700-mhz-must-digital-single-market_en).

<sup>8</sup> GSMA: <https://www.gsma.com/mobileeconomy/sub-saharan-africa-2017/>.

## 4 Principales desafíos de la implantación de la 5G

**En esta sección se examinan los principales desafíos a los que se enfrentan los operadores de telecomunicaciones que se disponen a implantar redes 5G. En este caso, se presta especial atención a la forma en que una normativa y una política gubernamental adecuadas podrían ayudar a los operadores inalámbricos a implantar células pequeñas y enlaces de conexión al núcleo de red por fibra, así como a utilizar el espectro.**

### 4.1 Desafíos vinculados a la implantación de las células pequeñas

En algunos países, la reglamentación y la política de las autoridades locales han ralentizado el desarrollo de las células pequeñas, imponiendo obligaciones administrativas y financieras excesivas a los operadores y bloqueando la inversión. Entre los obstáculos a la implantación de las células pequeñas figuran dilatados procesos de obtención de permisos y adquisición, tasas excesivas y normas anacrónicas que impiden el acceso. Estas cuestiones se evocan en el Recuadro 7 y se detallan a continuación:

- **Procesos de obtención de permisos y construcción locales:** El tiempo que tardan las autoridades locales en aprobar las solicitudes de planificación para la implantación de células pequeñas puede oscilar entre 18 y 24 meses (véase el Recuadro 7), lo que da lugar a retrasos.
- **Largos procesos de contratación y adquisición:** Las autoridades locales han aplicado procesos de adquisición de entre 6 y 18 meses para la concesión a los proveedores de servicios inalámbricos de derechos exclusivos para instalar pequeños equipos celulares en el mobiliario urbano, lo que ha costado tiempo y dinero.
- **Tasas y cargas elevadas para acceder al mobiliario urbano:** Actualmente, las autoridades locales cobran tasas elevadas por el uso de mobiliario urbano. Según el Instituto Americano del Consumidor, una ciudad fijó una tasa de solicitud de 30 000 USD por la conexión de equipos de células pequeñas a postes de servicios públicos y otra localidad impuso una tasa de 45 000 USD.
- **Exposición de las personas a los campos electromagnéticos (EMF) de radiofrecuencias:** Los límites de exposición difieren de un país a otro y, en algunos casos, son innecesariamente restrictivos. La UIT recomienda que, si no existen límites aplicables a los EMF de radiofrecuencias o si estos no abarcan las frecuencias de interés, se utilicen los límites establecidos por la Comisión Internacional sobre Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP). El proceso de instalación de antenas nuevas debe estar sujeto a las medidas necesarias para responder a las inquietudes del público. Un factor que aviva la inquietud pública es la visibilidad de las antenas, especialmente, en los tejados. En este caso, pueden utilizarse antenas multibanda para reducir el impacto visual, manteniendo el mismo número de antenas en los tejados. Sin una estrategia de reorganización del espectro o la tecnología, la red 5G aumentará la exposición localizada resultante de las tecnologías inalámbricas, al menos durante el período de transición. Por consiguiente, es importante incluir a las autoridades nacionales en una fase temprana, con miras a definir una estrategia de implantación y activación de la 5G, así como la mejor metodología de aplicación y evaluación del cumplimiento de los límites nacionales. Esta tarea se ha revelado ardua en países cuyos límites de exposición son más restrictivos que los recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), en virtud de las directrices de exposición a los EMF de radiofrecuencias de la ICNIRP<sup>1</sup>.
- **Acceso y derechos codificados:** Cabe la posibilidad de que los operadores inalámbricos<sup>2</sup> no tengan derecho a instalar aparatos de células pequeñas o radiocomunicaciones en componentes

<sup>1</sup> Suplemento 9 a la Serie K del UIT-T, *5G technology and human exposure to RF EMF*, disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-K.Sup9/en>.

<sup>2</sup> Los derechos codificados son derechos estatutarios que permiten a determinados operadores de telecomunicaciones instalar, mantener, ajustar, reparar o alterar sus aparatos en parcelas públicas y privadas. Para poder gozar de estos derechos, un proveedor de telecomunicaciones debe presentar una solicitud y obtener el reconocimiento de OFCOM, el organismo regulador de las telecomunicaciones del Reino Unido.

del mobiliario urbano, tales como farolas. Por ejemplo, en el Reino Unido, se ha actualizado el código con objeto de superar estas limitaciones, no obstante, habida cuenta de que ese instrumento no es vinculante, sus repercusiones podrían ser discutibles.

Muchas de estas normas y reglamentos locales impiden la implantación rápida y rentable de las células pequeñas en el centro de las ciudades, donde se espera una mayor demanda preliminar de servicios 5G. Los responsables de la formulación de políticas que ofrecen procesos normativos racionalizados y flexibles son los que más se beneficiarán de la innovación y el crecimiento económico que conllevará la introducción de la 5G.

#### Recuadro 7: Perspectiva de la industria sobre los obstáculos a la implantación de las células pequeñas

Proveedores de telecomunicaciones de la índole de Crown Castle, AT&T, Sprint, T-Mobile y Verizon han tenido que enfrentarse a importantes obstáculos normativos por parte de las autoridades locales, entre los que cabe destacar tarifas excesivas, prohibiciones relativas al lugar de instalación de las células pequeñas, restricciones estéticas descabelladas y dilata-dos procesos de obtención de permisos. Según ha indicado la propia entidad, Crown Castle suele tardar entre 18 y 24 meses en completar la instalación de sus dispositivos de células pequeñas, de principio a fin, debido en gran medida a la necesidad de obtener permisos locales a tal efecto.

Fuente: <https://goo.gl/6UaKJ4>.

Las células pequeñas siguen implantándose a una escala reducida en Asia, si bien los operadores inalámbricos de Japón y Corea (Rep. de) han densificado sus redes utilizando tecnología C-RAN de macrocélulas. En Japón y Corea (Rep. de), es posible instalar redes C-RAN dada la amplia disponibilidad de enlaces de conexión al núcleo de red por fibra, circunstancia que no se da forzosamente en otros mercados.

## 4.2 Enlaces de conexión al núcleo de red por fibra

La implantación de enlaces de conexión al núcleo de red por fibra para células pequeñas-capaces de soportar velocidades elevadas y una latencia baja- figurará entre los mayores retos a los que se enfrentarán los operadores, debido a la escasa disponibilidad de redes de fibra en muchas ciudades.

Por ejemplo, en el Reino Unido, la fibra tiene un índice de penetración del 2 por ciento, es decir, uno de los más bajos de Europa. Esta cifra se confronta con una media europea de en torno al 9 por ciento<sup>3</sup>. Con objeto de incentivar la inversión en redes de fibra, el Gobierno del Reino Unido ha introducido una exención quinquenal de las tasas comerciales aplicables a la nueva infraestructura de red de fibra<sup>4</sup>.

En los casos en que la instalación de enlaces de conexión al núcleo por fibra no resulte rentable, los operadores deben tomar en consideración, además de la fibra, un abanico de tecnologías inalámbricas de conexión al núcleo de red, tales como las PMP, las mmWave y los satélites.

<sup>3</sup> Véase: <https://www.ispreview.co.uk/index.php/2017/02/uk-shunned-2017-ftth-ultrafast-broadband-country-ranking.html>.

<sup>4</sup> La *valuation office agency* (agencia de valoraciones) del Reino Unido ha emprendido una revalorización de los tipos aplicados a las empresas, que resultará en un aumento de las tasas que probablemente habrán de pagar los operadores de fibra. Unas tasas comerciales elevadas podrían repercutir negativamente en el modelo comercial utilizado para implantar la conectividad por fibra con miras a la instalación de células pequeñas.

**Conclusión fundamental: Los responsables de la formulación de políticas pueden considerar la posibilidad de eliminar cargas fiscales, a fin de reducir los costes de inversión asociados a la fibra y, de esta forma, facilitar la implantación de las redes 5G.**

En el recuadro 8 se describen algunos de los desafíos adicionales a los que se enfrentan los operadores.

#### Recuadro 8: Obstáculos a la instalación de redes de fibra

- **Denegación de la licencia de obras:** La falta de un acuerdo temprano entre los operadores y las autoridades locales puede resultar en la denegación de la licencia de obras. La política de las autoridades locales sobre emplazamiento y estética de los distribuidores en la vía pública también puede conllevar un aumento del coste y los retrasos durante la búsqueda de soluciones alternativas.
- **Procesos complejos en materia de derechos de paso:** Los acuerdos en materia de derechos de paso permiten a los operadores instalar infraestructura de telecomunicaciones en parcelas públicas o privadas. Los propietarios de los terrenos que aplican un proceso de adquisición para conceder derechos de paso añaden riesgos, tiempo y gastos al proceso. Además, el recurso a derechos de paso a medida es costoso. Las autoridades locales que se sirven de estos derechos para generar ingresos imponen un obstáculo adicional a la inversión.

Fuente: Intelligens Consulting, 2018

**Conclusión fundamental: Las autoridades locales pueden considerar la posibilidad de celebrar acuerdos normalizados en materia de derechos de paso, con miras a reducir el tiempo y los costes asociados a la instalación de las redes de fibra.**

### 4.3 Espectro

La atribución e identificación de espectro armonizado a escala mundial en una cierta gama de frecuencias requieren la coordinación de la comunidad internacional, las organizaciones regionales de telecomunicaciones y las ANR, lo que representa uno de los desafíos más importantes para estas últimas en la implantación efectiva de las redes de 5G. La atribución armonizada presenta numerosas ventajas, pues minimiza las interferencias radioeléctricas a lo largo de las fronteras, facilita la itinerancia internacional y reduce el coste de los equipos. Esta coordinación general constituye el principal objetivo del UIT-R en el proceso de las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones (CMR).

De cara a la CMR-19, este proceso se halla en la fase de creación de consenso en torno a la atribución e identificación para las IMT de grandes bloques contiguos de espectro radioeléctrico armonizado a escala mundial por encima de 24 GHz, donde se dispone de un amplio ancho de banda. Las decisiones de la CMR-19 al respecto se basarán en los estudios del UIT-R sobre compartición y compatibilidad extensivas entre el servicio móvil y los servicios ya establecidos en estas bandas de frecuencias y en las bandas adyacentes.

Diversas ANR de países desarrollados están considerando las bandas de 700 MHz, 3,4 GHz y 24 GHz para la implantación inicial de la 5G, a fin de satisfacer los requisitos correspondientes en términos de cobertura y capacidad.

También debería considerarse la posibilidad de compartir el espectro, a fin de utilizar los recursos disponibles con mayor eficacia. Tradicionalmente, las ANR han atribuido espectro a los operadores móviles con carácter exclusivo. Sin embargo, debido a las crecientes necesidades en la materia, la compartición puede constituir una herramienta para hacer un uso más eficaz del espectro existente.

**Conclusión fundamental: Los responsables de la formulación de políticas deberían considerar la posibilidad de utilizar espectro armonizado a escala mundial para lograr la máxima eficacia en el uso del espectro disponible.**

También es necesario examinar con mayor detenimiento los modelos de concesión de licencias y utilización del espectro 5G, en particular, por encima de 24 GHz. Tradicionalmente, la cantidad de espectro móvil dividido en anchos de banda reducidos (por ejemplo, 5 MHz, 10 MHz, 20 MHz) ha sido escasa y, en consecuencia, puede alcanzar un precio elevado en las subastas. En ese sentido, es más fácil acceder al espectro por encima de 24 GHz, por lo que la escasez plantea menos problemas. Este factor repercutirá en los modelos comerciales y las subastas de espectro. Las ANR deben replantearse el tipo de modelo de concesión de licencias que deben utilizar (véase asimismo la sección 5.7). La UIT ha publicado ejemplos de métodos nacionales de compartición del espectro, tales como los incluidos en el Informe de la Unión sobre la Resolución 9 de la CMDT-14.

**Conclusión fundamental: Los responsables de la formulación de políticas pueden considerar la posibilidad de adoptar una hoja de ruta del espectro que englobe modelos de utilización exclusiva, compartida y sin licencia, así como un proceso de renovación predecible. Los responsables de la formulación de políticas deberían evitar la imposición de precios artificialmente altos al espectro 5G y, en su lugar, optar por procedimientos que favorezcan la inversión a la hora de adjudicar el espectro.**

#### 4.4 Otros factores

- **Disponibilidad de dispositivos:** Durante la fase inicial de lanzamiento, la disponibilidad de dispositivos compatibles con las normas y el espectro 5G será de vital importancia para generar una demanda de servicios 5G entre los usuarios finales. Actualmente, los fabricantes se están afanando en integrar la 5G, la 4G, la 3G y la 2G en una única microplaqueta, que esperan esté disponible a partir de 2019 y sea apta para normas armonizadas a escala mundial de 2020 en adelante.
- **Coordinación de los sectores industriales clave:** La industria de las telecomunicaciones constituye un ecosistema formal y perfectamente engranado, que engloba a fabricantes de dispositivos y microplaquetas, vendedores de equipos y operadores minoristas y mayoristas. Por tanto, en este contexto, la colaboración con miras al desarrollo de nuevos servicios y normas es relativamente sencilla.
- **Neutralidad de la red:** El Organismo de Reguladores Europeos de las Comunicaciones Electrónicas (ORECE) ha publicado una serie de directrices finales sobre medidas encaminadas a reforzar la neutralidad de la red, en virtud de las cuales se exige a los proveedores de servicios de Internet que gestionen todo el tráfico de la red por igual y eviten favorecer unos servicios frente a otros. No obstante, 17 operadores de telefonía móvil, entre ellos Deutsche Telekom, Nokia, Orange, Vodafone y BT, ejercieron una intensa presión con objeto de que el ORECE adoptara una interpretación más flexible de las normas, afirmando que estas generaban una incertidumbre significativa en torno al rendimiento de las inversiones en 5G. Además, declararon que no introducirían redes 5G de alta velocidad a menos que el ORECE aprobara un enfoque menos estricto en cuanto a la neutralidad de la red.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> *5G manifesto for timely deployment of 5G in Europe*, diversos actores del sector privado, julio de 2016: <http://telecoms.com/wp-content/blogs.dir/1/files/2016/07/5GManifestofortimelydeploymentof5GinEurope.pdf>.

## 5 ¿Qué se entiende por "bueno"?

**En esta sección se examinan las enseñanzas extraídas del modo en que proveedores de servicios inalámbricos, ANR y gobiernos de todo el mundo están abordando los problemas de implantación asociados a las redes 5G.**

### 5.1 Racionalización del proceso de instalación de células pequeñas

Se han propuesto proyectos de ley en Illinois, el estado de Washington, Florida y California, a fin de racionalizar el proceso de instalación de equipos de células pequeñas en el mobiliario urbano. Estos proyectos de ley limitan las tasas del gobierno local y, en ciertos casos, comprenden medidas adicionales para garantizar que los proveedores de servicios inalámbricos no celebren acuerdos exclusivos.

**Conclusión fundamental: Los gobiernos federal y estatal deberían colaborar con las autoridades municipales locales, a fin de velar por que la instalación de equipos de células pequeñas en el mobiliario urbano esté sujeta a tasas razonables.**

#### Recuadro 9: Racionalización del proceso de instalación de células pequeñas

En septiembre de 2017, California aprobó un proyecto de ley, en virtud del cual se agiliza el proceso de instalación de las células pequeñas al permitir su uso y eximirlo de la obligación de obtener un permiso local discrecional o cumplir criterios específicos. La nueva legislación normaliza la instalación de las células pequeñas en todo el estado. Además, el proyecto de ley:

- Otorga a los proveedores acceso a la propiedad pública en pie de igualdad.
- Permite que los gobiernos impongan tasas de obtención de permisos justas, razonables, no discriminatorias y basadas en los costes.
- Limita las tasas que imponen los gobiernos locales por la instalación de equipos a 250 USD.
- Impide que los gobiernos locales establezcan límites poco razonables a la duración de los permisos vinculados a las instalaciones de telecomunicaciones.

Se ha propuesto un enfoque similar en el marco de un proyecto de ley en Florida, en virtud del cual la autoridad competente ha de tramitar las solicitudes de instalación de equipos de células pequeñas en postes de servicios públicos de forma no discriminatoria y aprobarlas dentro de unos plazos establecidos. En dicho proyecto de ley también se propone que las autoridades no puedan concertar acuerdo exclusivo alguno que autorice a los proveedores a fijar equipos a sus postes de servicios públicos. Además, se establece que las autoridades no pueden imponer una tasa anual superior a 15 USD por cada poste.

En el Estado de Washington, un proyecto de ley prevé autorizar la implantación de dispositivos de células pequeñas en activos de propiedad pública y limita las tasas a 500 USD anuales. En Illinois, un proyecto de ley propone que el gobierno local no pueda prohibir ni reglamentar la instalación de equipos inalámbricos de células pequeñas, ni imponer tasas a los operadores a tal efecto.

Fuente: California SB-649, 2017; Florida SB-596, 2017; Washington SB-5711, 2017; Illinois SB-1451, 2017

**Conclusión fundamental: Las autoridades locales pueden considerar la posibilidad de mejorar el acceso al mobiliario urbano de propiedad estatal y racionalizar los procesos de contratación como alternativa a los extensos procesos de adquisición.**

## 5.2 Intervención política: fibra y espectro

Según el Consejo FTTH, en economías de escala como el Reino Unido, la fibra presenta índices de penetración reducidos, debido a la escasa inversión en redes de fibra pura. En el recuadro 10 se describen las medidas que están adoptando los responsables de la formulación de políticas del Reino Unido, con objeto de mejorar dichos índices en el periodo previo a la introducción de la 5G.

### Recuadro 10: Inversiones del Reino Unido en fibra

En 2016, el Gobierno del Reino Unido anunció la creación de un fondo de 740 millones de libras esterlinas, que invertiría en redes locales de fibra pura, a fin de promover el desarrollo de la 5G. Actualmente, el fondo se está distribuyendo a través de un proceso de licitación entre las autoridades locales de todo el Reino Unido.

Fuente: Ministerio Federal de Transporte e Infraestructura Digital, Alemania, 2017; *a 5G Strategy for Germany*, Gobierno Federal de Alemania, 2017; Departamento de Cultura, Medios de Comunicación y Deporte, Gobierno del Reino Unido, 2016.

El Gobierno australiano ha definido un claro programa político en materia de 5G, con objeto de impulsar la implantación de infraestructura digital y mejorar la disponibilidad de espectro 5G (véase el Recuadro 11).

### Recuadro 11: Grupo de trabajo sobre tecnología 5G de Australia

El Gobierno australiano está elaborando un documento con directrices relativas a la 5G, en el que se esboza un planteamiento político al respecto para Australia, incluida la creación de un grupo de trabajo sobre tecnología 5G con miras a facilitar el diálogo en curso con la industria. En el documento se destacan medidas para poner a disposición el espectro de manera oportuna y racionalizar acuerdos que permitan a los proveedores de servicios inalámbricos instalar infraestructura digital con mayor rapidez y a un coste inferior.

Fuente: *5G-Enabling the Future Economy*, Departamento de Comunicaciones y Arte, Australia, 2017.

**Conclusión fundamental: En los casos en que se registren deficiencias comerciales, los gobiernos pueden considerar la posibilidad de estimular la inversión en redes de fibra y activos pasivos mediante la creación de APP, fondos de inversión, ofertas de financiación en forma de subvenciones, etc.**

## 5.3 Compartición de infraestructura

Si bien la fibra es el material predilecto para las conexiones al núcleo de red, puede resultar poco atractiva desde un punto de vista comercial. Niveles modestos de compartición de conductos y de reutilización pueden permitir ahorros significativos en el marco del desarrollo de las redes de fibra. Las políticas reglamentarias que promueven la compartición y reutilización de infraestructuras pueden contribuir a una reducción notable de los costes de instalación de la 5G, aunque su aplicación pueda resultar en principio compleja (véase el Recuadro 12).

**Recuadro 12: Compartición imperativa de la red**

- En noviembre de 2017, los Países Bajos aprobaron un proyecto de ley destinado a acelerar la implantación de la banda ancha, en virtud del cual se requirió a todos los propietarios/administradores de redes e infraestructuras conexas que aceptaran las solicitudes razonables de acceso compartido y/o instalación coordinada de redes y compartieran información sobre su infraestructura.
- El Ministerio de Comunicaciones y Tecnología de la Información de Indonesia está trabajando en la elaboración de nuevas normas para fomentar el desarrollo de infraestructuras pasivas compartidas, entre ellas, conductos, postes, torres, distribuidores, etc.
- Ofcom, el organismo regulador de las telecomunicaciones del Reino Unido, está llevando a cabo una ronda de consultas comerciales, a fin de exigir al operador tradicional y actor de peso en el mercado, BT, que ofrezca acceso a la fibra de los conductos a sus competidores. Los intentos anteriores de imponer el acceso a la fibra oscura fracasaron.
- En Italia, la legislación en materia de banda ancha ultrarrápida ha permitido a las compañías TIM y UTILITALIA (la federación de empresas de electricidad, gas, agua y medio ambiente) suscribir un memorando de entendimiento para facilitar el uso de las infraestructuras preexistentes de más de 500 operadores de servicios públicos locales con miras a la implantación de redes de fibra.

Fuentes: <https://goo.gl/kqYCRM> (Países Bajos), <https://goo.gl/vWq7aD> (Indonesia), <https://goo.gl/vdFxz9> (Ofcom, Reino Unido), <https://goo.gl/m24g32> (Italia).

En un estudio realizado por Vodafone se sugiere que las ANR de Francia, España y Portugal suelen aplicar un régimen de acceso a los conductos, que minimiza la burocracia y garantiza un máximo nivel de transparencia a todas las partes interesadas. Por el contrario, en los casos en que se ha dispuesto el acceso a la infraestructura con SMP (véanse el Reino Unido y Alemania), se carece de muchas de estas disposiciones detalladas<sup>1</sup>.

**Conclusión fundamental: Los responsables de la formulación de políticas pueden considerar la posibilidad de seguir aplicando un régimen de acceso a los conductos que abarque las redes 5G y, de esta forma, contribuir a la reducción de los costes de inversión en enlaces de conexión al núcleo de red por fibra 5G.**

La mayoría de las ANR prefiere celebrar acuerdos de compartición de redes basados en la proyección comercial, los cuales parecen haber ganado una importante cuota de mercado. Estos instrumentos pueden acelerar la instalación y reducir los costes asociados a las redes de 5G, en los casos en que la compartición de la red incluya el conjunto de la infraestructura móvil, así como la fibra (véase el Recuadro 13).

<sup>1</sup> *Best practice for passive infrastructure access*, WIK-Consult, 2017: <https://www.vodafone.com/content/dam/vodafone-images/public-policy/reports/pdf/best-practice-passive-infrastructure-access-050517.pdf>.

### Recuadro 13: Compartición de redes en función de la proyección comercial

- En España, el operador de telecomunicaciones MASMOVIL ha superado el umbral de los diez millones de hogares utilizando una red de fibra que comparte con Orange España en virtud de un acuerdo de compartición de red.
- En Portugal, Vodafone y el operador NOS han suscrito un acuerdo relativo a la instalación y compartición de una red de fibra que se comercializará a unos 2,6 millones de hogares y empresas. Ambas compañías pueden acceder a las redes de la otra en condiciones comerciales mutuamente convenidas.
- El operador de red mayorista de Nueva Zelanda, Chorus, está solicitando al gobierno que empiece a formular planes encaminados a la creación de una única red móvil 5G que puedan compartir todos los proveedores de servicios, lo que integra un planteamiento más sostenible que contar con tres redes 5G independientes para los tres operadores móviles del país.
- Vodafone Camerún ha concluido recientemente un "acuerdo estratégico de compartición de red a escala nacional" con CamTel, que le permite utilizar la infraestructura de red de CamTel en Douala y Yaoundé y ampliar su cobertura a nuevas ubicaciones en todo el país.
- Telenor Dinamarca y Telia Dinamarca han firmado un contrato de servicios con Nokia para gestionar sus redes móviles compartidas, de cuya explotación se encarga una empresa de infraestructuras (TT-Netvaerket).
- Econet Wireless (Zimbabwe) se ha declarado abierta a la idea de compartir infraestructuras en términos de correspondencia biunívoca.

Fuentes: <https://goo.gl/u2fojb> (España), <https://goo.gl/bT9hZ4> (Portugal), <https://goo.gl/vh4LGP> (Nueva Zelanda), <https://goo.gl/AAbapS> (Camerún), <https://goo.gl/JmuSnJ> (Dinamarca), <https://goo.gl/iSb4sq> (Zimbabwe).

En los últimos años, se ha recurrido con una frecuencia cada vez mayor a proveedores de infraestructuras mayoristas independientes para el suministro de redes de células pequeñas, lo que ha propiciado una reducción de los costes de instalación, un aumento de la competencia entre minoristas y una ampliación de cobertura de los servicios. Por ejemplo, el proveedor de servicios inalámbricos Crown Castle (EE.UU.) incrementó los ingresos que obtenía de las células pequeñas en más de un 40% entre 2015 y 2016<sup>2</sup>, período durante el cual los operadores móviles empezaron a densificar sus redes a fin de preparar el terreno para la implantación de la 5G.

## 5.4 Transición a la fibra

A día de hoy, los precios al por mayor del acceso por hilo de cobre más bajos son competitivos si se comparan con los de la fibra, lo que afecta negativamente a la adopción de esta última. En ese sentido, no se ha alcanzado acuerdo alguno en cuanto a la estrategia de fijación de precios más adecuada para la fase de transición del cobre a la fibra. Las ANR deberían considerar la posibilidad de permitir que los operadores tradicionales *retiren los productos de acceso basados en el cobre* tan pronto como puedan prestar servicios de acceso basados en la fibra, a fin de evitar los perjuicios comerciales dimanantes de unos servicios de fibra más caros (véase el Recuadro 14).

<sup>2</sup> Véase: <https://www.telegeography.com/products/commsupdate/articles/2017/02/07/tower-talk-a-guide-to-the-latest-major-cell-site-developments/index.html>.

**Recuadro 14: Transición a la fibra**

- El Gobierno de Australia ha impuesto a todas las instalaciones un plazo para la transición del cobre a la fibra que finaliza en 2020. En 2014, Telstra (Australia) empezó a interrumpir los servicios que prestaba a través de sus redes de cobre. La iniciativa NBNCo, financiada por el gobierno, ha impulsado la conectividad de fibra al por mayor en toda Australia y dará lugar a la desconexión de las redes de cobre en las zonas donde dicha iniciativa ya presta servicios por fibra.
- Verizon (EE.UU.) ha solicitado un permiso reglamentario para la transición de su red de cobre en mercados seleccionados a partir de 2018. Verizon presta servicios a través de su infraestructura de fibra y desea poner fin al mantenimiento de las instalaciones de cobre en Virginia, Nueva York, Nueva Jersey, Pensilvania, Rhode Island, Massachusetts, Maryland y Delaware.
- ComReg, el organismo regulador de las telecomunicaciones de Irlanda, ha lanzado una ronda de consultas sobre la posibilidad de que su operador tradicional, Eir, abandone el cobre en algunas zonas del país, especialmente, en aquellas con una amplia cobertura de fibra.
- Singtel (Singapur) anunció planes encaminados a interrumpir los servicios que prestaba a través de su red ADSL basada en el cobre en abril de 2018 y, al mismo tiempo, acelerar la adopción de los servicios basados en la fibra entre sus clientes comerciales y particulares en la ciudad.
- Chorus (Nueva Zelanda) ha previsto obtener una exención normativa para su red de cobre en el marco de los planes de liberalización de las redes de cobre, en que competirá con las redes de acceso por fibra a partir de 2020.

Fuentes: <https://goo.gl/2YVKsd> (Australia), <https://goo.gl/VCyfp> (EE.UU.), <https://goo.gl/X3EeKa> (Irlanda), <https://goo.gl/mRKu1C> (Singapur), <https://goo.gl/n6kqVb> (Nueva Zelanda).

**Conclusión fundamental: Las ANR pueden considerar la posibilidad de adoptar políticas e incentivos financieros para fomentar la transición del cobre a la fibra y estimular la implantación y asimilación de los servicios de fibra.**

## 5.5 Desafíos vinculados la planificación local

Los operadores han mencionado en diversas ocasiones que sería útil disponer de una base de datos central, en la que se mostrasen la infraestructura y los activos de suministro de servicios públicos disponibles, entre ellos, conductos de servicios públicos o autoridades locales existentes, redes de fibra, puestos de TVCC, farolas, etc. En dicha base de datos deberían asimismo figurar los contactos clave y el proceso encaminado a garantizar el acceso a los activos. Portugal y España ya cuentan con bases de esta índole, que también podrían existir en otros países.

**Conclusión fundamental: Las autoridades locales pueden considerar la posibilidad de mantener una base de datos central, en la que se identifiquen los contactos clave y se muestren activos tales como conductos de servicios públicos, redes de fibra, puestos de TVCC, farolas, etc., a fin de ayudar a los operadores a planificar la implantación de su infraestructura y calcular los costes asociados con mayor precisión.**

Los acuerdos normalizados en materia de derechos de paso que utilizan las autoridades locales pueden reducir significativamente el tiempo y los costes de instalación de las redes de fibra. Valgan como ejemplo los acuerdos elaborados por la *City of London Corporation* (Corporación del distrito financiero de Londres), mencionados en el Recuadro 15.

#### Recuadro 15: Acuerdos normalizados en materia de derechos de paso de la *City of London*

En 2015, la *City of London Corporation* reconoció que una de las causas fundamentales de la escasa de inversión en fibra era la complejidad de los procesos de paso. La corporación elaboró un conjunto de herramientas normalizadas en materia de derechos de paso, con miras a facilitar la provisión eficaz y eficiente de infraestructura de fibra. Dicho conjunto se halla actualmente a disposición de todas las autoridades locales de Londres.

Fuente: <http://news.cityoflondon.gov.uk/standardised-toolkit-helps-london-businesses-get-faster-access-to-broadband/>.

Las autoridades locales también deben normalizar los procesos en virtud de los cuales conceden a los operadores el permiso de ejecución de las obras a pie de calle necesarias para la implantación de redes de fibra o la instalación de equipos de células pequeñas en el mobiliario urbano (véase el Recuadro 16). Entre las mejores prácticas figura asimismo la celebración de consultas comerciales a efectos de la comprensión de los problemas y soluciones que pueden surgir durante la fase de implantación<sup>3</sup>.

**Conclusión fundamental: Las autoridades locales pueden considerar la posibilidad de celebrar consultas comerciales o hacer pruebas de mercado con miras a determinar las mejores prácticas en materia de instalación de redes 5G, antes de emprender procesos oficiales de contratación.**

#### Recuadro 16: Procesos de planificación eficaces

En 2015, se autorizó a la oficina de concesión de permisos de la ciudad de Centennial (Colorado, EE.UU.) a requerir la ubicación conjunta de instalaciones subterráneas tras la presentación de una solicitud de concesión de permiso en materia de derechos de paso por parte de los operadores de telecomunicaciones. Gracias a su política en materia de derechos de paso, la ciudad ha podido coordinar inversiones, ahorrando así tiempo y costes.

En Kentucky (EE.UU.), se publicó una guía sobre la planificación de la fibra destinada a las comunidades y los servicios públicos. La guía incluía pautas relacionadas con la racionalización de los requisitos de las encuestas, las solicitudes de concesión de permisos y la elaboración de acuerdos para la fijación de equipos a postes.

Fuente: Ciudad de Centennial, Colorado, 2015; <https://goo.gl/FswzSv> (Kentucky)

## 5.6 Armonización del espectro

El planteamiento relativo a las primeras aplicaciones 5G se ha centrado en las bandas por encima de 24 GHz y por debajo de 6 GHz (véase el Recuadro 17). Las ANR deberían coordinar sus propuestas relativas a las bandas milimétricas, con objeto de maximizar las oportunidades de armonización del espectro a escala mundial.

A fin de preparar las posiciones europeas para la CMR-19, los ministros de la UE han adoptado medidas tales como la adopción en diciembre de 2017 de una hoja de ruta para la implantación de la tecnología 5G en toda Europa. La hoja de ruta permitirá alcanzar un consenso en cuanto a la armonización de las bandas de espectro 5G y al modo en que estas se atribuirán a los operadores en toda Europa.

<sup>3</sup> Véase: <http://webarchive.nationalarchives.gov.uk/20100402171309/> [http://www.ogc.gov.uk/documents/Early\\_Market\\_Engagement\\_Guidance.pdf](http://www.ogc.gov.uk/documents/Early_Market_Engagement_Guidance.pdf).

**Recuadro 17: Propuestas de algunas ANR en materia de espectro de 5G**

- **Ofcom, Reino Unido:** En estrecha colaboración con las ANR europeas, Ofcom ha propuesto utilizar el espectro de las bandas de 700 MHz, 3,4 GHz y 24 GHz para la prestación de servicios 5G. Ofcom también ha propuesto modificar el régimen de autorización en la banda 64-66 GHz, a fin de establecer una exención de licencias, y ampliar los casos de uso de la banda 57-66 GHz.
- **FCC, EE.UU.:** La FCC ha identificado casi 11 GHz de espectro para servicios multifuncionales de banda ancha inalámbrica y 3,85 GHz de espectro sujeto a licencia en las bandas de 28 GHz, 37 GHz y 39 GHz.
- **MIIT, China:** El Ministerio de Industria y Tecnologías de la Información (MIIT) ha previsto atribuir espectro mmWave 5G en las bandas 24-27 GHz, 37-42 GHz, 3,3-36 GHz y 4,8-5 GHz a la 5G.
- **KCC, Corea (Rep. de):** La Comisión de Comunicaciones de Corea (KCC) comenzará a subastar espectro 5G de las bandas de 3,5 GHz y 28 GHz en 2018.
- **ACMA, Australia:** El Organismo de Comunicaciones y Medios de Comunicación de Australia (ACMA) anunció la celebración de una subasta de espectro multibanda antes de que finalizara 2017, incluidos lotes de las bandas de 1800 MHz, 2 GHz, 2,3 GHz y 3,4 GHz.

**Cabe señalar que la CMR-15 excluyó la banda de 28 GHz de los estudios encaminados a la armonización internacional de las bandas milimétricas para las IMT desde ese momento hasta la CMR-19.**

Fuentes: <https://goo.gl/kpPnTy> (Reino Unido), <https://goo.gl/Mc5wZx> (EE.UU.), <https://goo.gl/bdusHx> (China), <https://goo.gl/pGz5jG> (Corea del Sur), <https://goo.gl/1aK5LY> (Australia)

## 5.7 Concesión de licencias de espectro

El diseño de los procedimientos de selección y las condiciones asociadas a las licencias 5G pueden repercutir notablemente en la estructura de los mercados móviles, fomentando o limitando la competencia.

Tradicionalmente, las ANR han concedido licencias de espectro a los operadores móviles que les confieren derechos exclusivos para la prestación de servicios de voz o datos. En algunos casos, la licencia puede incluir obligaciones de cobertura basadas en la población y el tiempo. El espectro sujeto a licencia otorga certeza a los operadores móviles a la hora de planificar e invertir en infraestructura móvil y debe incluir condiciones que garanticen que el espectro atribuido se utilice de forma eficaz, especialmente, en las zonas rurales.

Los regímenes de concesión de licencias y acceso compartido puede mejorar la utilización del espectro en las zonas rurales. Por ejemplo, su utilización por ciertos usuarios secundarios en dichas zonas no causaría interferencia a las señales radioeléctricas del titular principal de la licencia.

Actualmente se comparte espectro en los ámbitos de la telemetría aeronáutica, la radiodifusión y las cámaras inalámbricas, entre otros. Este modelo de licencias compartidas puede aportar al ecosistema 5G la flexibilidad necesaria para hacer un uso eficaz del espectro que ahora infrutilizan otros servicios para proporcionar capacidad adicional a un coste inferior.

A raíz de un estudio, el UIT-R ha aprobado una serie de instrumentos reglamentarios para dar soporte a la utilización compartida del espectro<sup>4</sup>, así como de principios, retos y problemas de la gestión del espectro relacionados con el acceso dinámico a las bandas de frecuencias mediante sistemas de radiocomunicaciones con capacidades cognitivas<sup>5</sup>.

Tradicionalmente, las subastas de espectro han conferido derechos exclusivos a los operadores inalámbricos que abonan las tasas más elevadas. Los responsables de la formulación de políticas consideran que las subastas constituyen un medio para generar ingresos significativos. No obstante, las subastas pueden resultar contraproducentes en la medida en que reducen los fondos disponibles para infraestructura, diluyendo el impacto económico<sup>6</sup>. A medida que la inversión en 5G va adquiriendo una importancia vital para la economía digital, es importante que las ANR establezcan procedimientos de adjudicación de espectro que favorezcan la inversión en infraestructura y maximicen el impacto económico.

El espectro exento de licencia permite a las ANR proporcionar acceso a este recurso, no obstante, genera incertidumbre en cuanto a la tenencia de las inversiones, pues su explotación está sujeta a las obligaciones de no causar interferencia ni reclamar protección. Además, el control de la interferencia puede ser una tarea ardua, si no imposible. Por consiguiente, el espectro exento de licencia resulta más adecuado en bandas de frecuencias elevadas-como la banda mmWave, cuyas características de propagación son más limitadas- y con equipos de baja potencia, a fin de respetar los estrictos límites de los servicios primarios, así como para usos más localizados. Habida cuenta de estos factores, las ANR pueden considerar la posibilidad de utilizar espectro exento de licencia, por ejemplo, en instalaciones de células pequeñas.

La asociación GSMA considera que el espectro sujeto a licencia es esencial para la provisión de servicios 5G de alta calidad, mientras que el espectro exento de licencia puede desempeñar un papel complementario en la mejora de la experiencia de usuario<sup>7</sup>.

**Conclusión fundamental: Los responsables de la formulación de políticas pueden considerar la posibilidad de utilizar espectro sujeto a licencia, exento de ella y compartido para crear un ecosistema de espectro equilibrado, que fomente la inversión, la eficacia en el uso de este recurso y la competencia.**

## 5.8 Proyectos piloto de 5G

Los responsables de la formulación de políticas de los gobiernos y las ANR están alentando la puesta en marcha de proyectos tecnológicos piloto en fases tempranas, con objeto de fomentar la pronta inversión en redes e infraestructuras 5G y comprender mejor este tipo de tecnologías (véase el Recuadro 18).

<sup>4</sup> Véase el Informe UIT-R SM.2404: <https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2404>.

<sup>5</sup> Véase el Informe UIT-R SM.2405: <https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2405>.

<sup>6</sup> El Informe UIT-R SM.2012 contiene información adicional sobre los aspectos económicos de la gestión del espectro: <https://www.itu.int/pub/R-REP-SM.2012>.

<sup>7</sup> *5G Spectrum Public Policy Position*, GSMA, 2016: <https://www.gsma.com/iot/iot-knowledgebase/gsma-public-policy-position-5g-spectrum/>.

**Recuadro 18: Iniciativas 5G impulsadas por gobiernos**

- El Gobierno de Corea (Rep. de), a través de la NISA, instaló redes piloto 5G durante los Juegos Olímpicos de Invierno de 2018, gracias a las cuales brindó experiencias futuristas como la navegación basada en la realidad aumentada.
- Se ha concedido una subvención pública de 17,6 millones de libras esterlinas a un consorcio dirigido por la Universidad de Warwick, con miras a la creación de un banco central de pruebas para vehículos autónomos conectados (VAC) en el Reino Unido. En este caso, se instalarán células pequeñas a lo largo de una carretera que atraviesa Coventry y Birmingham, en la que se pondrán a prueba los VAC.
- La FCC (EE.UU.) ha alentado a la comunidad investigadora a presentar solicitudes de obtención de licencias experimentales para radiofrecuencias no concedidas o asignadas, a fin de promover la innovación y la investigación a través de experimentos en zonas geográficas definidas.
- El programa de trabajo Horizonte 2020 de la CE (2018-2020) fomenta la innovación en materia de 5G con la participación de la UE, China, Taiwán (China) y los Estados Unidos. Entre las actividades realizadas figuran pruebas de extremo a extremo relacionadas con la movilidad conectada y automatizada transfronteriza, así como pruebas de 5G en múltiples industrias verticales.
- La Unión Federada de Instalaciones de Investigación en Telecomunicaciones para un Laboratorio Abierto UE-Brasil (FUTEBOL) ha puesto en marcha una investigación encaminada a la promoción de recursos de telecomunicaciones experimentales en Brasil y Europa. FUTEBOL también demostrará casos de uso basados en IoT, redes heterogéneas y C-RAN.
- El Ministerio de Comunicaciones de la Federación de Rusia suscribió un acuerdo con Rostelecom y Tatttelecom, con el objetivo de crear una zona 5G experimental en la tecnológica ciudad de Innopolis.

Fuentes: <https://goo.gl/JWFBCY> (Corea Rep. de), <https://goo.gl/FnLZCd> (Reino Unido), <https://goo.gl/wNVZqs> (EE. UU.), <https://goo.gl/iXkYQo> (Europa), <https://goo.gl/VNeDwn> (UE-Brasil), <https://goo.gl/4DySs2> (Rusia)

Además, el sector de las telecomunicaciones, incluidos operadores, vendedores y centros de investigación, ha estado participando en bancos de pruebas 5G independientes de las ANR y los Gobiernos (véase el Recuadro 19).

**Recuadro 19: Bancos de pruebas 5G impulsados por el sector privado**

- Telstra (Australia) está colaborando con Ericsson en el desarrollo tecnologías 5G fundamentales, entre ellas, MIMO masiva, formación de haces, seguimiento de haces y formas de onda. Durante la primera prueba de 5G en directo realizada en Australia, Telstra y Ericsson alcanzaron velocidades de descarga de entre 18 Gbit/s y 22 Gbit/s. Optus también completó una prueba de 5G con Huawei, en cuyo marco se alcanzó la mayor velocidad registrada en Australia hasta este momento, a saber, 35 Gbit/s.

- El operador móvil italiano Wind Tre, Open Fibre (operador mayorista italiano de fibra) y el proveedor chino ZTE han anunciado la creación de una asociación para construir lo que, según ellos, será la primera red precomercial 5G de Europa en la banda 3,6-3,8 GHz. También colaborarán con universidades, centros de investigación y empresas locales para probar y verificar el rendimiento técnico de la 5G, la arquitectura de la red, la integración de la red 4G/5G y los futuros casos de uso de la 5G, incluidas la realidad virtual o aumentada, las ciudades inteligentes, la seguridad pública y la asistencia sanitaria 5G. El proyecto piloto concluirá en diciembre de 2021.
- En el marco de un proyecto liderado por MegaFon, se procedió a la instalación una red piloto 5G en el interior y los alrededores del estadio Kazan Arena (Federación de Rusia) con ocasión de la Copa del Mundo de fútbol de 2018. Rostelecom también está trabajando con Nokia en una red inalámbrica 5G piloto, ubicada en un parque empresarial de Moscú, a fin de poner a prueba diversos casos de uso de la 5G.
- Verizon (EE.UU.) anunció que estaba proyectando una serie de pruebas 5G en varias ciudades estadounidenses. Las instalaciones funcionarán con enlaces de conexión al núcleo de red inalámbricos en lugar de por fibra. AT&T también indicó que realizaría pruebas comerciales de tecnología inalámbrica fija 5G, basadas en los últimos experimentos que llevó a cabo en Austin, donde alcanzó velocidades de 1 Gbit/s y una latencia inferior a 10 milisegundos. Las pruebas se efectuarán con equipos de Ericsson, Samsung, Nokia e Intel.
- Comsol ha previsto lanzar la primera red inalámbrica 5G de Sudáfrica. Los experimentos de Comsol pondrán a prueba la calidad de funcionamiento de la 5G en condiciones reales, utilizando soluciones de células pequeñas y macrocélulas. Es probable que Comsol ofrezca servicios inalámbricos fijos frente a los servicios de fibra hasta el hogar (FTTH).
- Huawei y NTT DOCOMO alcanzaron una velocidad de descarga de 4,52 Gbit/s en 1,2 km. Huawei aportó una estación base 5G, que soporta tecnologías de MIMO masiva y formación de haces, además de su red básica 5G.

Fuentes: <https://goo.gl/cWTC31> (Australia), <https://goo.gl/tYspR9> (Italia), <https://goo.gl/EQftwd> (Federación de Rusia), <https://goo.gl/yxaoyy> (EE.UU.), <https://goo.gl/Veuiaw> (Sudáfrica), <https://goo.gl/Teq6e2> (Japón)

**Conclusión fundamental: Los responsables de la formulación de políticas pueden considerar la posibilidad de alentar la realización de experimentos piloto y bancos de pruebas en el ámbito de las tecnologías y los casos de uso de la 5G, así como de estimular la participación en el mercado.**

## 6 Ejemplo de costes y repercusiones en materia de inversión

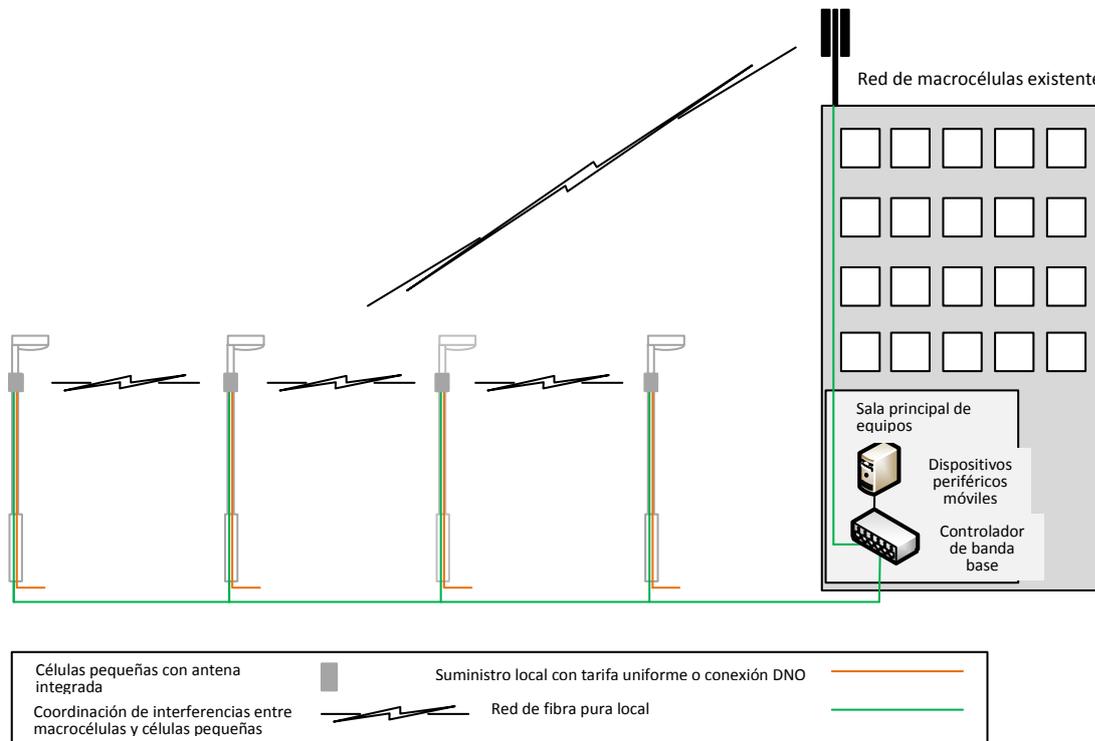
La instalación de células pequeñas en zonas urbanas con una elevada densidad de población puede constituir una oportunidad de inversión clave para los operadores móviles en la fase previa a la implantación de la 5G. En esta sección se describe un ejemplo de modelo de costes de alto nivel, que permite estimar la inversión de capital que habrían de efectuar los operadores inalámbricos con objeto de implantar una red de células pequeñas apta para la 5G.

### 6.1 Consideraciones generales

Cabe la posibilidad de que, durante la fase previa a la implantación de la 5G, los operadores se centren en mejorar la cobertura 4G existente en las zonas urbanas mediante la instalación de células pequeñas. De esta forma, aumentarán la capacidad de red disponible, mejorarán la cobertura a nivel de calle y reforzarán la calidad general de la red, lo que satisfará los requisitos de las redes 5G. La mayor parte de estas instalaciones se ubicará en centros urbanos o ciudades con una elevada densidad de población.

A efectos del presente ejercicio, se asume que un operador inalámbrico independiente instala una red de células pequeñas al por mayor para operadores móviles. Este enfoque permite una reducción del costo total de la propiedad (TCO) y un aumento del atractivo de las células pequeñas para los operadores móviles. La Figura 7 ilustra una de las soluciones de células pequeñas que suele encontrarse actualmente en las instalaciones de algunas zonas de Europa y los Estados Unidos. Aunque este enfoque supone el recurso a enlaces de conexión al núcleo de red por fibra, es posible considerar enlaces inalámbricos en los casos en que la instalación de la fibra no sea comercialmente viable.

Figura 7: Típica solución mayorista de célula pequeña independiente del anfitrión



La solución comprende los siguientes elementos:

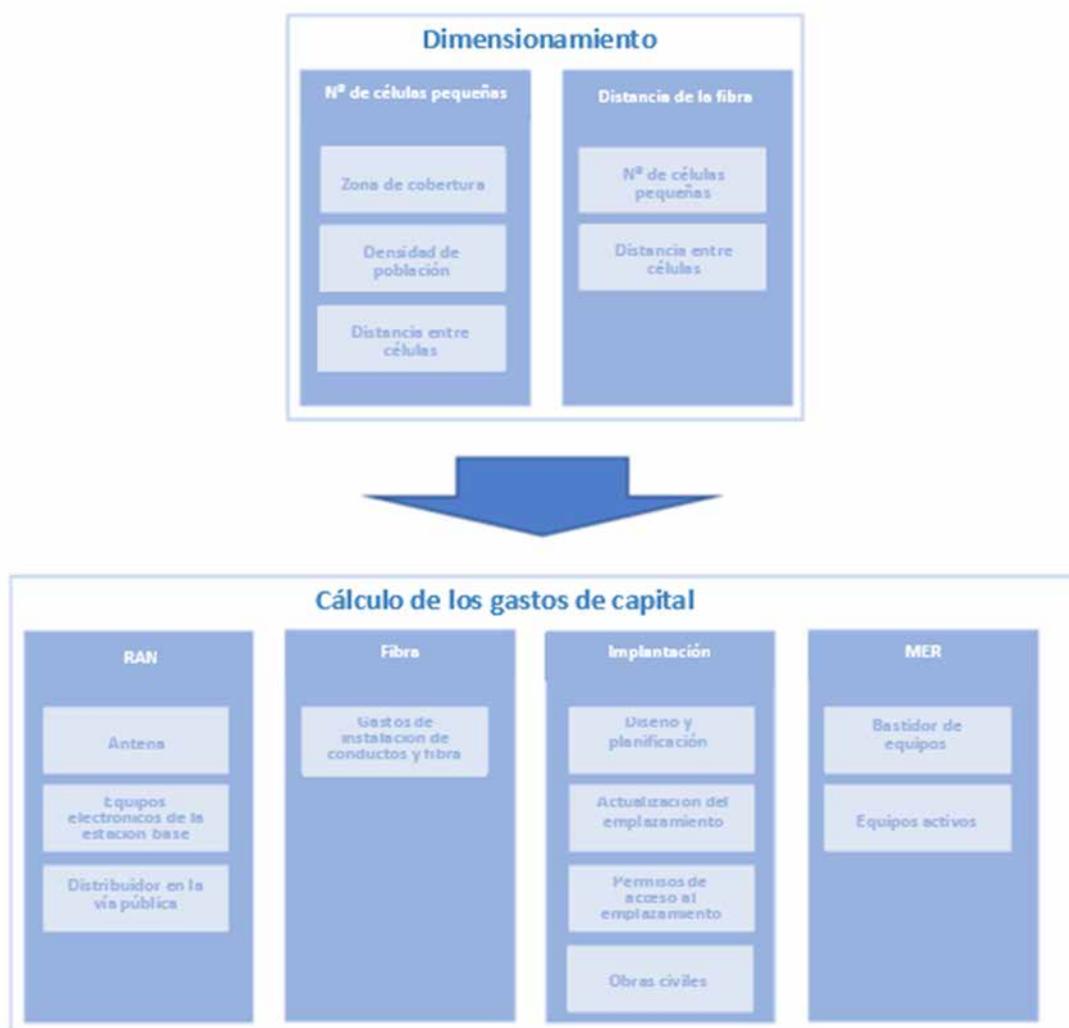
- **Antenas:** Sistema discreto de antenas de alto rendimiento que conforma la señal del operador móvil, a fin de maximizar la calidad de funcionamiento del servicio para los usuarios finales.

- **Alumbrado público:** Instalación de antenas en el alumbrado público existente, cuyo objetivo es minimizar el impacto estético.
- **Distribuidores en la vía pública:** Espacios que albergan equipos de radiocomunicaciones, baterías auxiliares y equipos de control de operadores móviles.
- **Red de fibra:** Fibra de alta velocidad que conecta la red radioeléctrica a la red básica. Cabe señalar que, en algunos casos, puede ser más rentable utilizar enlaces inalámbricos de conexión al núcleo de red.
- **Salas principales de equipos (MER):** Conjunto de salas principales de equipos compartidas y localizadas, con un punto central de interconexión a los enlaces al núcleo de red de los operadores móviles.

## 6.2 Metodología

El presente modelo se centra en la inversión en gastos de capital que requiere inicialmente la implantación de una red de células pequeñas. A tal efecto, solo se toman en consideración los gastos de capital y se excluyen costes de funcionamiento, por ejemplo, de electricidad, arrendamiento y mantenimiento. Al tratarse de un modelo mayorista, no engloba los gastos en concepto de equipos de radiocomunicaciones de los operadores móviles, ya que estos corren a cargo de cada operador. Dada la incertidumbre que suscita el costo del espectro 5G y la inversión en NFV/SDN, también se excluyen

Figura 8 – Metodología de dimensionamiento y cálculo de gastos de capital de las redes



las sumas correspondientes, junto con los gastos en concepto de adquisición de emplazamientos, que pueden variar notablemente de una ciudad a otra. De acuerdo con la Figura 8, el proceso de elaboración del modelo de costes se articula en torno a dos fases: el dimensionamiento y el cálculo de los gastos de capital.

En la fase de dimensionamiento de la red se estima el número de células pequeñas y la cantidad de fibra necesaria en función de la zona de cobertura requerida, la densidad de población y la distancia entre las células. Los resultados obtenidos permiten determinar el total de gastos de capital que se ha de invertir en la solución de células pequeñas en concepto de RAN, fibra, sala principal de equipos, implantación y diseño.

El modelo asume los siguientes conceptos de gastos:

- **RAN:** Incluye el coste de la antena, el distribuidor en la vía pública y los equipos electrónicos de la estación base, entre ellos, módulos de baterías auxiliares y mantenimiento de la red.
- **Gastos de implantación:** Incluyen los gastos de diseño y planificación, actualización del emplazamiento, obtención de permisos y realización de obras civiles para la colocación de distribuidores.
- **Red de fibra:** Incluye el suministro de 144 fibras y conductos nuevos a lo largo de la ruta trazada por los activos accionados en la vía pública.
- **Sala principal de equipos (MER):** Incluye un único equipo de terminación y bastidor para la interconexión entre los operadores móviles y la red de fibra oscura en un emplazamiento compartido.

Cabe señalar que los costes reales pueden variar en función del país, ya que los gastos de mano de obra, los tipos de cambio, el precio de los equipos y los impuestos varían a escala nacional. En el modelo de costes se asume un país occidental dotado de un mercado altamente competitivo con cuatro operadores móviles, niveles avanzados de cobertura 4G y baja densidad de fibra urbana.

### 6.3 Supuestos

La metodología anterior se aplica a dos supuestos, a fin de estimar los gastos de implantación de una solución de células pequeñas conectada por fibra en un distrito comercial central: el primer supuesto se articula en torno a una ciudad grande y densa y el segundo a una ciudad pequeña y menos densa. En ambos casos, se asume que la ciudad presenta niveles avanzados de cobertura 4G de macrocélulas y que las características de la demanda de red son tales que los argumentos en favor de la inversión en células pequeñas basadas en 5G y conectadas por fibra resultan atractivos desde un punto de vista comercial.

#### Supuesto 1 – Gran ciudad con una elevada densidad de población

En este supuesto se asumen los siguientes principios:

- Zona de cobertura urbana propuesta: 15 km<sup>2</sup>.
- Densidad de población de la zona de cobertura: 12 000 personas por km<sup>2</sup>.
- Distancia entre los emplazamientos de células pequeñas: 150 m.

#### Supuesto 2 – Ciudad pequeña con una densidad de población media

- Zona de cobertura urbana propuesta: 3 km<sup>2</sup>.
- Densidad de población de la zona de cobertura: 3 298 personas por km<sup>2</sup>.
- Distancia entre los emplazamientos de células pequeñas: 200 m.

Una ciudad más grande y densa ejerce una presión más intensa sobre la red móvil y, en consecuencia, la distancia entre las células pequeñas debe reducirse. Este es el motivo por el que la distancia entre las células pequeñas es menor en el supuesto 1 que en el supuesto 2.

## 6.4 Resultados

Las Figuras 9 y 10 ilustran que los gastos de capital necesarios para la implantación de una red de células pequeñas conectada por fibra pueden oscilar entre 6,8 millones USD en una ciudad pequeña y 55,5 millones en una ciudad grande y densa. Los gastos de implantación de una red de células pequeñas en una ciudad densa son mayores por kilómetro cuadrado, pues la necesidad de reducir la distancia entre los emplazamientos de las células pequeñas entraña un aumento en la densidad de las instalaciones.

Figura 9: Gastos de capital inherentes al supuesto 1 – Ciudad grande y densa

Elemento	Valor
<b>Total de gastos de capital (en millones USD)</b>	<b>55,5</b>
Número de emplazamientos de células pequeñas	1.027
Coste por km <sup>2</sup> (en millones USD)	3,7
Gastos de capital por emplazamiento (en miles USD)	54,1

Figura 10: Gastos de capital inherentes al supuesto 2 – Ciudad pequeña y menos densa

Elemento	Valor
<b>Total de gastos de capital (en millones USD)</b>	<b>6,8</b>
Número de emplazamientos de células pequeñas	116
Coste por km <sup>2</sup> (en millones USD)	2,3
Gastos de capital por emplazamiento (en miles USD)	58,6

El total de gastos de capital en que incurre cada operador variará en función de la población, la densidad de población, la cobertura 4G y la zona de cobertura propuesta. Además, los gastos de implantación de la fibra son menores en las ciudades en las que se dispone de un número elevado de redes o conductos de fibra densa a los que puede accederse fácilmente. En los casos en que los enlaces inalámbricos al núcleo de red son más rentables que la fibra, los costes asociados se reducen notablemente. En las ciudades en las que se dispone de un número elevado de redes de macrocélulas (por ejemplo, en Madrid, donde el acceso a los emplazamientos es menos restrictivo que en otras ciudades), se necesitan menos células pequeñas. Del mismo modo, los operadores móviles con importantes asignaciones de espectro no necesitan recurrir a las células pequeñas para densificar tanto sus redes.

En la Figura 11 se desglosan los conceptos de gastos de los supuestos 1 y 2 y se muestra que los gastos de implantación son los más elevados. En las regiones donde los costes de mano de obra son reducidos, los gastos de implantación serán inferiores a los estimados en el presente informe.

Figura 11: Contribución a los gastos de capital

Distancia entre células pequeñas	Supuesto 1	Supuesto 2
Equipo RAN (antena, distribuidor en la vía pública, equipos electrónicos de la estación base y módulos de batería auxiliar y mantenimiento de red)	25%	24%
Gastos de implantación (diseño y planificación, actualización del emplazamiento, permisos de acceso al emplazamiento y obras civiles para la colocación de distribuidores)	50%	46%
Fibra (suministro de 144 fibras a lo largo de la ruta trazada por los activos accionados en la vía pública)	25%	30%
MER (equipo de terminación y bastidor único)	<0,1%	<0,1%

## 6.5 Estimación de gastos independiente

Los gastos mencionados, en particular los gastos de capital por emplazamiento, se ajustan a las estimaciones del sector. AT&T calcula que los gastos de implantación pueden oscilar entre 20 000 y 50 000 USD por emplazamiento, suponiendo que en los emplazamientos se utilicen enlaces de conexión al núcleo de red por fibra, de los que AT&T dispone en abundancia<sup>1,2</sup>. Nokia sitúa los gastos de capital por emplazamiento entre 40 000 y 50 000 USD, en los casos en que se requieren excavaciones de zanjas y sistemas de energía.

Analistas independientes estiman un costo total de la propiedad de 71 000 millones de libras esterlinas para la creación de una red 5G ubicua en el Reino Unido, que alcance los 50 Mbit/s, construida en 2020 y explotada hasta 2030. Dicha cifra se reduce a 38 000 millones de libras esterlinas en los supuestos en que se fomenta la compartición de infraestructuras<sup>3</sup>.

En otros informes se calcula que los gastos de implantación de la 5G en los EE.UU. ascenderán a 300 000 millones USD. En Europa, cabe esperar que los gastos de inversión oscilen entre 300 000 y 600 000 millones de euros, según un operador de telefonía móvil<sup>4</sup>.

Aunque en estos informes no se indica el espectro de frecuencias utilizado para la derivación del análisis, se supone que gran parte de los gastos resulta de la densificación de la red (mediante la implantación de células pequeñas), pues el hecho de que la 5G utilice un espectro de frecuencias mMWave más elevadas, véase por encima de 24GHz, entraña la necesidad de recurrir a células más pequeñas (consúltese la Sección 3.5).

## 6.6 Modelos de inversión

Habida cuenta de la considerable inversión en gastos de capital que requiere la implantación de la 5G, los operadores se enfrentan a ingentes retos a la hora de presentar argumentos a favor de este tipo de inversiones. Los responsables de la formulación de políticas deberán considerar modelos de inversión alternativos (por ejemplo, APP, préstamos, fondos de desafío y vehículos de inversión), a fin de velar por que los elevados costes iniciales de los gastos de capital no constituyan un obstáculo para los proveedores de servicios inalámbricos.

En la Sección 5 se evocan algunos ejemplos de intervenciones gubernamentales, que incluyen una serie de programas de APP. Estos programas pueden ser: i) de administración pública, en cuyo caso el gobierno construye y posee redes de fibra, como en Qatar; o ii) de administración privada, en cuyo

<sup>1</sup> Véase: <https://www.rcrwireless.com/20170814/carriers/att-small-cell-cactus-antenna-concealment-tag17>.

<sup>2</sup> Véase: <http://www.telecompetitor.com/cfo-extensive-fiber-assets-firstnet-give-att-an-advantage-on-5g-backhaul/>.

<sup>3</sup> Véase: <https://www.itrc.org.uk/wp-content/PDFs/Exploring-costs-of-5G.pdf>.

<sup>4</sup> Véase: <http://www.lightreading.com/mobile/5g/how-much-will-5g-cost-no-one-has-a-clue/a/d-id/733753>.

caso el gobierno financia parcialmente el desarrollo de las redes de fibra en asociación con el sector privado, como en Alemania.

Otros enfoques incluyen la concesión de subvenciones a autoridades locales, como sucede en el Reino Unido, con miras a la construcción y actualización de activos pasivos (entre ellos, conductos, redes de fibra, centros de datos, mobiliario urbano, etc.). Los gobiernos también pueden ofrecer préstamos a bajo costo a los operadores a cambio de que estos garanticen una cierta inversión, como sucede en Malasia.

En los casos en que los operadores prefieren acceder al capital de mercados privados, los gobiernos pueden crear fondos de inversión en colaboración con gestores de fondos del sector privado, para ofrecer capital a los operadores. Este capital se destinaría a programas de expansión de red de operadores.

Existen muchos otros modelos de APP destinados a incentivar la inversión en redes de telecomunicaciones, sobre los que se ha escrito extensamente<sup>5</sup>.

No todas las instalaciones 5G requieren la intervención del gobierno. Hasta la fecha, ciertas instalaciones de células pequeñas y tecnologías previas a la 5G se han financiado con fondos privados, según se indica en secciones anteriores.

---

<sup>5</sup> *Investment strategies for broadband deployment and access to the digital economy*, UIT, 2016.

## 7 Conclusión

**Hasta que los argumentos en favor de la inversión en 5G sean convincentes, la industria y los responsables de la formulación de políticas deberían abordar las inversiones con cautela y seguir mejorando la disponibilidad y la calidad de las redes 4G existentes.**

Se espera que la 5G desempeñe un papel fundamental en las economías digitales, fomentando el crecimiento económico, mejorando las experiencias vitales de los ciudadanos y creando nuevas oportunidades comerciales.

A pesar de los beneficios antes mencionados, cabe actuar con precaución al argüir argumentos comerciales a favor de la 5G y decidir si esta tecnología constituye una prioridad económica real. Las decisiones en materia de inversión en 5G deben fundamentarse en argumentos sólidos.

Los operadores se mantienen escépticos en cuanto al rendimiento de las inversiones, dada la magnitud de las inversiones requeridas. Actualmente, están invirtiendo en bancos de pruebas y redes piloto 5G en grandes ciudades con una elevada densidad de población, donde se dispone de instalaciones 4G avanzadas e infraestructuras auxiliares más aptas para la economía de red.

Es probable que esta estrategia "liderada por la ciudad" tenga una repercusión negativa en la brecha digital, ya que los argumentos en favor de la 5G en las zonas rurales son menos convincentes. Las autoridades locales y los organismos reguladores deben ser conscientes de este riesgo y contrarrestarlo. A tal efecto, pueden adoptarse incentivos comerciales y legislativos que estimulen la inversión en el suministro de redes de fibra y cobertura inalámbrica asequible por conducto de bandas de frecuencias inferiores a 1 GHz.

Es preciso revisar el enfoque normativo, gubernamental y de las autoridades locales en materia de política digital para impulsar la implantación de las redes 5G, por ejemplo, garantizando un acceso asequible a los activos públicos. De esta forma, los argumentos comerciales a favor de la inversión en infraestructura de células pequeñas y espectro 5G se verían reforzados.

## Anexo A

En el marco de los preparativos de la CMR-19, el UIT-R está llevando a cabo estudios de compartición y compatibilidad en las bandas de frecuencias acordadas en la CMR-15, las cuales podrían identificarse para la implantación de las IMT-2020 (5G).

### Comisión de Estudio 5 del UIT-R

La Comisión de Estudio 5 del UIT-R (Sistemas terrenales) se encarga de los aspectos radioeléctricos generales de los sistemas IMT y de los estudios relacionados con el servicio móvil terrestre, incluido el acceso inalámbrico en el marco del servicio fijo.

Entre los Informes y Recomendaciones elaborados por el UIT-R figuran:

- La Recomendación UIT-R M.1457, Especificaciones detalladas de las interfaces radioeléctricas terrenales de las telecomunicaciones móviles internacionales-2000 (IMT-2000).
- La Recomendación UIT-R M.2012, Especificaciones detalladas de las interfaces radioeléctricas terrenales de las telecomunicaciones móviles internacionales-avanzadas (IMT-Avanzadas).
- La Recomendación UIT-R M.2083, Concepción de las IMT – Marco y objetivos generales del futuro desarrollo de las IMT para 2020 y en adelante, que comprende una gran variedad de capacidades relacionadas con los casos de utilización previstos e indica los objetivos del futuro desarrollo de las IMT para 2020 y en adelante, incluidas la mejora de las IMT existentes y el desarrollo de las IMT-2020.
- El Informe UIT-R M.2370, Estimación del tráfico IMT para los años 2020 a 2030, en el que se indica que, dado el creciente aumento de la demanda de tráfico de comunicaciones móviles de banda ancha representada por las IMT, la red de transporte en la infraestructura móvil se está convirtiendo en una aplicación importante que requiere una atención especial.
- El Informe UIT-R M.2375, Arquitectura y topología de las redes IMT, en el que se ofrece una visión general de la arquitectura y la topología de las redes IMT, así como una perspectiva del dimensionamiento de los requisitos de transporte de dichas topologías, lo que facilitará la realización de estudios sobre la red de transporte en la infraestructura móvil.
- El Informe UIT-R M.2376, Viabilidad técnica de las IMT en las bandas por encima de 6 GHz, en el que se prevé que la utilización de frecuencias más elevadas adquirirá una importancia crucial en la introducción de las futuras IMT.
- El Informe UIT-R M.2410, Requisitos mínimos relativos a la calidad de funcionamiento técnico para las interfaces radioeléctricas de las IMT-2020, en el que se describen los principales requisitos relacionados con el nivel mínimo de calidad de funcionamiento técnico de las tecnologías de interfaz radioeléctrica candidatas para las IMT-2020.
- El Informe UIT-R M.2411, Requisitos, criterios de evaluación y modelos de presentación para el desarrollo de las IMT-2020, en el que se describen los requisitos y el proceso de presentación de estas tecnologías.
- El Informe UIT-R M.2412, Directrices de evaluación de las tecnologías de interfaz radioeléctrica destinadas a las IMT-2020, que contiene pautas para la evaluación de la interfaz radioeléctrica.

La siguiente web contiene documentación adicional en la materia: <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg5/rwp5d/Pages/default.aspx>.

En las actividades de normalización de la UIT también se abordan las necesidades en términos de conexión al núcleo de red para el desarrollo de la 5G, incluidos estudios relativos a diversas soluciones de radiocomunicaciones, entre ellas, comunicaciones por satélite, radioenlaces de alta velocidad y estaciones en plataformas a gran altitud (HAPS).

### Comisión de Estudio 13 del UIT-T

La Comisión de Estudio 13 del UIT-T (Redes futuras) es la Comisión rectora de la UIT para los estudios en materia de tecnologías alámbricas 5G y sigue apoyando la transición a la gestión y orquestación de redes administradas por soportes lógicos. La Comisión está avanzando en la elaboración de una serie de proyectos de normas 5G, en los que se abordan temas como las arquitecturas de red, la exposición de la capacidad de red, la segmentación de la red, la orquestación de la red, el control y la gestión de la red y los marcos para garantizar una calidad de servicio elevada.

Entre 2017 y 2018, la Comisión de Estudio 13 del UIT-T elaboró y aprobó las siguientes normas en materia de redes alámbricas 5G:

- La Recomendación UIT-T Y.3071, Interconexión de redes conscientes de los datos (Interconexión de redes centradas en la información) – Requisitos y capacidades, que dará soporte a las comunicaciones 5G de latencia ultrabaja al permitir el almacenamiento proactivo de datos en memoria caché dentro de la red y limitar el tráfico redundante en las redes básicas.
- La Recomendación UIT-T Y.3100, Términos y definiciones relacionados con la red IMT-2020, en la que se define la terminología básica que ha de utilizarse en todos los trabajos de normalización relativos a la 5G.
- La Recomendación UIT-T Y.3101, Requisitos de la red IMT-2020, que comprende los principios generales de esta red y los requisitos aplicables a los aspectos generales no radioeléctricos de la red IMT-2020 desde las perspectivas del servicio y el funcionamiento de la red.
- La Recomendación UIT-T Y.3102, Marco de la red IMT-2020, en la que se especifica el marco atinente a los aspectos generales no radioeléctricos de esta red: las características clave de la red IMT-2020 y las consideraciones relacionadas con el diseño arquitectónico.
- La Recomendación UIT-T Y.3111, Marco de gestión y administración de redes IMT-2020, que incluye el marco y los principios correspondientes al diseño de redes 5G.
- La Recomendación UIT-T Y.3112, Marco de apoyo a la segmentación múltiple de redes, en la que se describe el concepto de segmentación de red y los requisitos y la arquitectura de alto nivel vinculados a la segmentación múltiple de redes en la red IMT-2020, incluidos casos de uso a título ilustrativo.
- La Recomendación UIT-T Y.3110, Requisitos de gestión y administración de redes IMT-2020, en la que se especifican las capacidades necesarias para dar soporte a los nuevos servicios y aplicaciones 5G.
- La Recomendación UIT-T Y.3150, Características técnicas de alto nivel de informatización de la red para las IMT-2020, en la que, dado el reconocimiento mundial de que goza la tecnología de segmentación de la red, que constituye la fundamentación más típica del enfoque de informatización de la red, se describe el modo en que la informatización y la segmentación de la red contribuyen a los sistemas IMT-2020, se examina la segmentación de la red desde dos perspectivas (a saber, los aspectos verticales y horizontales), se detalla la segmentación de red para los enlaces de conexión al núcleo de red y las conexiones frontales en la red móvil y se introduce la programabilidad avanzada del plano de datos y la exposición de capacidades.
- La Recomendación UIT-T Y.3130, Requisitos de la convergencia entre sistemas fijos y móviles en las redes IMT-2020, en la que se especifican requisitos relacionados con el servicio, tales como la identidad de usuario unificada, la tarificación unificada, la continuidad del servicio y la garantía de calidad del soporte del servicio, y requisitos relacionados con la capacidad de red, tales como la convergencia del plano de control, la gestión de los datos de usuario, la exposición de capacidades y la infraestructura basada en la nube, con miras al soporte de la convergencia entre sistemas fijos y móviles en las redes IMT-2020.
- El Suplemento 35 a la serie UIT-T Y.3033, Interconexión de redes conscientes de los datos – Hipótesis y casos de uso, en el que se enumeran hipótesis de servicio y casos de uso basados en

interconexiones de redes conscientes de los datos (DAN), incluidos: 1) difusión de contenidos; 2) interconexión de redes de sensores; 3) interconexión de redes vehiculares; 4) conducción automatizada; 5) interconexión de redes en zona de catástrofe; 6) infraestructura de medición avanzada en una red eléctrica inteligente; 7) almacenamiento proactivo en memoria caché de vídeo; 8) procesamiento de datos dentro de la red; 9) multidireccionamiento; y 10) ingeniería de tráfico; además, se proporcionan ilustraciones informativas y descripciones de metodologías de diseño, implantación y funcionamiento de DAN para dar soporte a los servicios de este tipo de redes, junto con una descripción de los beneficios aportados por estas últimas en el marco de las hipótesis y los casos de uso mencionados, así como varios trayectos de transición de las redes actuales a las redes conscientes de los datos.

- El Suplemento 44 a la serie UIT-T Y.3100, Actividades de normalización y de fuente abierta relacionadas con la informatización de red IMT-2020, en el que se resumen las iniciativas de normalización y de fuente abierta pertinentes para la elaboración de normas en materia de informatización de redes por la UIT.
- El Suplemento 47 a la serie UIT-T Y.3070, Interconexión de redes centradas en la información – Generalidades, carencias de normalización y pruebas de concepto, en el que se ofrece una visión general de la interconexión de redes centradas en la información y se describen quince carencias de normalización y cinco pruebas de concepto basadas en los contenidos relacionados con este tipo de redes que el Grupo Temático del UIT-T sobre las IMT-2020 examinó durante el periodo comprendido entre 2015 y 2016.

#### **Comisión de Estudio 15 del UIT-T**

Las actividades de normalización de la UIT que guardan relación con los elementos alámbricos de los sistemas 5G avanzan a un ritmo cada vez mayor. La Comisión de Estudio 15 del UIT-T (Redes de transporte, de acceso y domésticas) elabora normas que facilitan el transporte en los sistemas 5G.

Entre los trabajos de la CE 15 relacionados con la 5G figuran:

- El informe técnico de la serie G (GSTR-TN5G), Soporte de red de transporte de las IMT-2020/5G.
- El Suplemento 55 a las Recomendaciones de la Serie G, Tecnologías de radiocomunicaciones por fibra (RoF) y sus aplicaciones, en el que se proporciona información general sobre las tecnologías de radiocomunicaciones por fibra y sus aplicaciones en las redes de acceso óptico y se especifica el uso de este tipo de tecnología en zonas inaccesibles a las ondas radioeléctricas.
- El Suplemento 56 a las Recomendaciones de la Serie G, Transporte OTN de señales CPRI, en el que se detallan alternativas para el establecimiento de correspondencias y la multiplexación de señales de clientes CPRI en las OTN y se alude a las Recomendaciones UIT-T G.872, UIT-T G.709/Y.1331, UIT-T G.798 y UIT-T G.959.1.
- La Recomendación UIT-T G.987, Redes ópticas pasivas con capacidad de 10 gigabits (XG-PON).
- La Recomendación UIT-T G.9807, Redes ópticas pasivas simétricas con capacidad de 10 Gigabit (XGS-PON).
- La Recomendación UIT-T G.989, Redes ópticas pasivas con capacidad de 40 Gigabits (NG-PON2).
- La Recomendación UIT-T G.RoF, Sistemas de radiocomunicaciones por fibra (en fase de elaboración).
- El nuevo Suplemento a las Recomendaciones de la Serie G (G.sup.5GP), sobre requisitos en términos de conexión frontal inalámbrica 5G en un contexto PON (en fase de elaboración).
- La Recomendación UIT-T G.9700, Acceso rápido a terminales de abonado (G.fast).
- La Recomendación UIT-T G.709(.x), sobre redes ópticas de transporte (OTN).
- El proyecto de Recomendación UIT-T G.ctn5g, sobre las características de las redes de transporte que dan soporte a las IMT-2020/5G (en fase de elaboración).

- El proyecto de Suplemento a las Recomendaciones de la Serie G G.Sup.5gotn, sobre la aplicación de las OTN al transporte 5G (en fase de elaboración).
- La Recomendación UIT-T G.695, Interfaces ópticas para aplicaciones de multiplexación por división aproximada en longitud de onda;
- La Recomendación UIT-T G.698.4, Aplicaciones DWDM multicanal bidireccionales con interfaces ópticas monocanal independientes del puerto.
- La Recomendación UIT-T G.959.1, Interfaces de capa física de red óptica de transporte.

Además, la CE 15 elabora normas sobre sincronización de redes para dar soporte a las redes 5G (véase la serie UIT-T G.8200).

### Comisión de Estudio 12 del UIT-T

La Comisión de Estudio 12 del UIT-T (Calidad de funcionamiento, calidad de servicio y calidad percibida) está elaborando una serie de trabajos en la materia, entre ellos:

- El proyecto de Recomendación UIT-T G.IMT202020, Marco de calidad de servicio para las IMT-2020, en que la CE 12 revisa los marcos de calidad de servicio en el contexto de las IMT-2020.
- El proyecto de Recomendación UIT-T Y.cvms, Consideraciones para la creación de sistemas de medición virtuales, en el que se indica que, a medida que los proveedores de servicio tratan de aprovechar el despliegue flexible y progresivo y el ahorro inicial de costos en los sistemas computación en la nube, han comenzado a definir nuevas arquitecturas para sus infraestructuras en pro de la virtualización de la función de red (NFV) y que, al mismo tiempo, las funciones de medición se implantarán como funciones virtuales; este documento contiene recomendaciones en esferas clave, véanse consideraciones relativas a la implantación previa demanda y la precisión, y aporta información oportuna, habida cuenta del incipiente desarrollo de sistemas de medición virtuales en ámbitos de suma importancia para la labor de la CE 12.
- El proyecto de Recomendación UIT-T G.QoE-5G, Factores relacionados con la calidad percibida de los nuevos servicios en las redes 5G.

Además, la CE 12 está elaborando Recomendaciones sobre la calidad percibida de la realidad aumentada (RA) y la realidad virtual (RV), las cuales figuran entre los casos de uso más populares de la 5G.

### Comisión de Estudio 11 del UIT-T

La Comisión de Estudio 11 del UIT-T (Protocolos y especificaciones de pruebas) está examinando el plano de control, los protocolos pertinentes y las metodologías de pruebas conexas en el ámbito de la 5G.

- El Suplemento 67 a las Recomendaciones de la serie Q, Marco de señalización para las redes definidas por software, permite la elaboración de uno o varios protocolos de señalización capaces de soportar flujos de tráfico en un entorno SDN.
- La Recomendaciones UIT-T Q.3710-Q.3899 sobre protocolos y requisitos de señalización de las SDN.
- La Recomendación UIT-T Q.3315, Requisitos de señalización para la combinación de servicios de red flexible en pasarelas de red de banda ancha, indica que, como medida fundamental para la prestación de servicios de red de banda ancha, las pasarelas de red de banda ancha (BNG) deben ser capaces de soportar una combinación de servicios flexible, así como la introducción y provisión de servicios nuevos. En la Recomendación 3315 se describen, de acuerdo con la arquitectura BNG de la plataforma de servicios, los requisitos de señalización necesarios para obtener ventajas excepcionales como una implantación sencilla de los servicios de red, los servicios de red de grano fino, etc.

## Comisión de Estudio 5 del UIT-T

La Comisión de Estudio 5 del UIT-T (Medio ambiente, cambio climático y economía circular) ha otorgado prioridad a su nuevo estudio sobre los requisitos medioambientales de los sistemas 5G. La CE 5 del UIT-T está elaborando una serie de normas internacionales (Recomendaciones UIT-T), Suplementos e Informes Técnicos, en los que se abordarán factores medioambientales relacionados con: la compatibilidad electromagnética, los campos electromagnéticos, la alimentación y la eficiencia energéticas y la resistibilidad. Entre las Recomendaciones y Suplementos UIT-T desarrollados por la CE 5 del UIT-T figuran:

- El Suplemento 8 a la Serie K del UIT-T, Análisis de la resistibilidad de los sistemas 5G, en el que se analizan los requisitos de resistibilidad de los sistemas 5G en caso de impacto de rayo o falla del sistema energético.
- El Suplemento 9 a la Serie K del UIT-T, Tecnología 5G y exposición de las personas a los campos electromagnéticos de radiofrecuencias, en el que se examinan las repercusiones de la implantación de los sistemas móviles 5G en el nivel de exposición a campos electromagnéticos en torno a las infraestructuras de radiocomunicaciones.
- El Suplemento 10 a la Serie K del UIT-T, Análisis de los aspectos relacionados con la compatibilidad electromagnética y definición de los requisitos aplicables a los sistemas móviles 5G, en el que se facilitan pautas para evaluar el grado en que los sistemas 5G se ajustan a la normativa en materia de EMC y se abordan los posibles requisitos de emisión e inmunidad de estos sistemas.
- El Suplemento 14 a la Serie K del UIT-T, Repercusiones de la fijación de límites de exposición a campos electromagnéticos de radiofrecuencias más estrictos que los contemplados en las directrices de la ICNIRP o el IEEE sobre implantación de redes móviles 4G y 5G, en el que se abordan a grandes líneas algunos de los retos a los que se enfrentan los países, las regiones y las ciudades que se disponen a implantar infraestructuras 4G o 5G y se describe una simulación de las repercusiones de este tipo de límites, que se llevó a cabo en Polonia como ejemplo de un fenómeno más amplio y aplicable a otros países que han fijado límites más estrictos que los contemplados en las directrices de la ICNIRP o el IEEE.
- La Recomendación UIT-T L.1220, Tecnología de almacenamiento de energía innovadora para utilización estacionaria - Parte 1: Visión general de almacenamiento de energía, en la que se presenta una serie no exhaustiva de documentos relativos a distintas tecnologías (sistemas de batería, sistemas de súper capacitor, etc.), que se irán enriqueciendo a medida que aparezcan nuevas tecnologías con capacidad de influir significativamente en el campo del almacenamiento energético.
- El Suplemento 36 a la Recomendación ITU-T L.1310, Estudio sobre métodos y parámetros para evaluar la eficiencia energética de los futuros sistemas 5G, en el que se analizan cuestiones relacionadas con la eficiencia energética de los futuros sistemas 5G.

Anteriormente, el Grupo Temático del UIT-T sobre las IMT-2020 elaboró una serie de informes técnicos que ahondan en las diferentes facetas de las tecnologías alámbricas 5G, agrupados bajo el título *ITU-T Focus Group IMT-2020 deliverables flipbook, 2017* y disponibles en:

<https://itu.int/en/publications/Documents/tsb/2017-IMT2020-deliverables/mobile/index.htm>

Los trabajos preparatorios elaborados por el UIT-T en guisa de introducción a las IMT-2020 se describen en la obra titulada *5G Basics flipbook, 2017* y están disponible en:

<https://itu.int/en/publications/Documents/tsb/2017-IMT2020-deliverables/mobile/index.htm>

Véanse las páginas web del UIT-T en: <https://itu.int/en/ITU-T/>.



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

ISBN: 978-92-61-27593-8



Publicado en Suiza  
Ginebra, 2018