

## Resumen

Su esperada incidencia en el desarrollo económico futuro es la causa que justifica el interés de toda administración en fomentar el despliegue de redes de acceso ultrarrápidas (RAU). Toda intervención pública debe considerar previamente cuáles serían los posibles límites de la actividad privada. Este artículo realiza este ejercicio de modo necesariamente aproximado: presenta las diferentes tecnologías capaces de ofrecer RAU, elabora un modelo con el que calcular el coste de su despliegue teniendo en cuenta las características geográficas y sociodemográficas de España, y finalmente discute los resultados obtenidos.

*Palabras clave:* redes de acceso ultrarrápidas, fibra óptica, redes de cable, comunicaciones móviles 4G, costes de despliegue, límites del mercado.

## Abstract

In line with high expectations regarding their role as a development driver, public administrations have jumped in to encourage the deployment of next generation access networks (NGAN). Before launching any public initiative, it would be highly convenient to establish, at least broadly, which are the profitability limits of the market players. Towards this objective, this article reviews the different technical architectures of a NGAN, derives a simplified model for making approximate cost calculations based on the geographic and socio-demographic characteristics of Spain, and then discusses and compares the results obtained.

*Key words:* next generation access networks, optical fiber, cable networks, 4G mobile communications, deployment costs, limit of the market.

*JEL classification:* L96.

# EL DESPLIEGUE DE REDES DE ACCESO ULTRARRÁPIDAS: UN ANÁLISIS PROSPECTIVO DE LOS LÍMITES DEL MERCADO

Claudio FEIJÓO

*Universidad Politécnica de Madrid*

José Luis GÓMEZ BARROSO

*Universidad Nacional de Educación a Distancia, UNED*

## I. INTRODUCCIÓN

La consolidación de lo que se ha dado en llamar «economía del conocimiento» (o de la información) ha reforzado la importancia estratégica de la inversión en redes de telecomunicación. El consenso acerca de su trascendencia ha propiciado un cambio de discurso: ya no es su existencia un incentivo al desarrollo económico sino al contrario, su inexistencia es una barrera para dicho desarrollo. En este contexto, el fomento del despliegue de redes ultrarrápidas (también conocidas como «de nueva generación» por traducción directa del inglés *next generation networks*; el acrónimo NGN se utiliza a menudo también en español) está en el programa de casi cualquier administración. En particular, es en la parte final de dichas redes (el «acceso») aquella sobre la que se centra el debate acerca de cuál sea la regulación adecuada y cuáles los modelos más eficientes de intervención pública, en el caso de que dicha intervención pública se considere necesaria (1).

Para evaluar la necesidad o no de la intervención pública es preciso investigar cuáles serían los límites de la acción del mercado. En otras palabras, dónde y cuándo los agentes privados desplegarán redes de acceso ul-

trarrápidas, RAU (2), considerando las actuales (y previsiblemente futuras) condiciones de competencia. Es la pregunta a la que este artículo pretende dar respuesta construyendo un modelo que permita determinar los costes que conlleva, en toda España, el despliegue de los diferentes tipos de RAU. Los resultados que se obtengan son necesariamente groseros. Es obvio que un cálculo exacto requeriría conocer las condiciones orográficas y urbanas de todos y cada uno de los núcleos de población del país, así como la demanda previsible. Admitiendo todas las limitaciones que se derivan de las generalizaciones que necesariamente deben realizarse, el modelo debe servir para, como se ha comentado, establecer (de modo aproximado) los límites de la acción privada pero también debe ayudar a seleccionar la alternativa tecnológica más eficiente en cada situación. Nótese que solo se consideran los costes del despliegue y no los ingresos que pudieran proceder de su comercialización. En cualquier caso, esta simplificación debe ser suficiente para establecer comparar tecnologías y determinar cuál es la opción más rentable.

El artículo tiene tres grandes apartados: descripción del modelo (sección II), presentación de resultados (sección III) y análisis de estos resultados (sección IV).

Cabe aclarar que no existe una definición exacta de qué deba ser considerado RAU. En este artículo se toma como tal toda red capaz de ofrecer múltiples aplicaciones (voz, datos, vídeo) a cualquier dispositivo (sea fijo o móvil) con características mejoradas (en particular, mayor caudal de datos) respecto a las ofrecidas por las redes de acceso de banda ancha «tradicional» (3). En la sección V se recogen las principales conclusiones.

## II. PRESENTACIÓN DEL MODELO

La estimación de los costes inherentes al despliegue de una RAU requiere seguir una serie de pasos. En primer lugar, hay que decidir la arquitectura de cada una de las alternativas tecnológicas posibles y además se deben

fijar una serie de parámetros: cobertura y objetivos de calidad, posibilidad de reutilización de las infraestructuras existentes, número de usuarios (y tipo de dispositivo que utilizan). También hay que considerar las características orográficas y demográficas del área geográfica en que la RAU deba desplegarse.

### 1. Alternativas para el despliegue de RAU

De modo general, las tecnologías capaces de ofrecer un acceso de banda ancha se clasifican en fijas e inalámbricas. Las primeras incluyen la transmisión de datos a través de fibra óptica, cable coaxial, cable de cobre y líneas eléctricas (aunque desde un punto de vista práctico, esta última puede ser descartada dadas su escasa implantación y sus limitadas pers-

pectivas de mercado). Las tecnologías inalámbricas pueden ser terrestres o basadas en satélite, y permitir o no la movilidad del usuario —existen sistemas fijos de acceso vía radio (4)—. El cuadro n.º 1 compila las principales características de las alternativas tecnológicas sobre las cuales pueden (o podrían en un futuro cercano) ser construidas RAU.

Considerando el estado actual de la tecnología (5), en el modelo solo se consideran cuatro de estas opciones: fibra hasta el hogar (FTTH, del inglés *fiber to the home*), cable de cobre mejorado (VDSL, del inglés *very high bit-rate digital subscriber line*), cable coaxial mejorado (DOCSIS 3.0, del inglés *data over cable service interface specification*, nombre del estándar que define los requisitos de la interfaz) y la tecnología inalámbrica móvil «de cuarta

CUADRO N.º 1

#### RESUMEN DE LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS TECNOLOGÍAS CAPACES DE OFRECER RAU (\*)

	FTTH-GPON	FTTB-FTTC-VDSL	DOCSIS 3.0	HSPA (3,5 G)	LTE (4G)	WiMAX móvil (4G)	4,5 G	Wireless LAN/PAN
Máxima (teórica) transferencia de datos	2,5 Gb/s (bajada) 1,25 Gb/s (subida)	100 Mb/s (bajada) 50 Mb/s (subida)	400 Mb/s (bajada) 108 Mb/s (subida)	28 Mb/s (bajada) 5,6 Mb/s (subida)	300 Mb/s (bajada) 75 Mb/s (subida)	100 Mb/s (bajada) 50 Mb/s (subida)	1 Gb/s	10 Gb/s
Caudal de datos habitualmente disponible por usuario	100-250 Mb/s (bajada) 50-100 Mb/s (subida)	30-50 Mb/s (bajada) 5-15 Mb/s (subida)	50 Mb/s (bajada) 10 Mb/s (subida)	3,6 Mb/s (bajada) 2 Mb/s (subida)	10 Mb/s (bajada) 2 Mb/s (subida)	10 Mb/s (bajada) 2 Mb/s (subida)	100 Mb/s	1 Gb/s
Inicio del despliegue comercial en la UE	2010-2014	2008-2011	2009-2011	2008-2010	2012-2014	–	2017-2020	2014-2017
Versión evolucionada máxima transferencia de datos	10G GPON 10 Gb/s	Advanced DSL 100-300 Mb/s	DOCSIS 4.0 10 Gb/s	HSPA+ 84 Mb/s	LTE Evolution 1 Gb/s		5G	–
Principales ventajas	Transferencia de datos garantizada	Reutilización de las redes telefónicas	Reutilización de las redes de cable	Evolución a partir de las redes 3G	Evolución a partir de las redes 3,5G	No depende de infraestructuras existentes	Evolución a partir de las redes 4G	«Hogar inteligente» sin hilos
Barreras significativas	Coste del despliegue	Equipamiento opto-electrónico	Compartición de canales entre usuarios	Tecnología de transición	Disponibilidad de dispositivos	Desarrollo de un plan de negocio	Tecnología aún poco madura	Tecnología aún poco madura

Nota: (\*) La definición de los acrónimos (procedentes del inglés) se explican en el texto.  
Fuente: Elaboración propia.

generación» (4G o LTE, del inglés *long term evolution*).

— La tecnología FTTH lleva fibra óptica hasta la casa del usuario, lo que permitiría velocidades simétricas de transmisión de hasta 100 Mb/s. En el modelo se simula el desarrollo de la modalidad *gigabit passive optical network* (GPON). Se trata de un despliegue punto-multipunto y no punto a punto, lo que reduce los costes del despliegue.

— Las técnicas que permiten la transmisión de datos a través del cable de cobre telefónico se denominan genéricamente xDSL. VDSL es capaz de ofrecer un caudal de bajada de hasta 50 Mb/s y de 15 Mb/s de subida siempre que la distancia a la central no sea superior a 500 m. La «segunda generación» de VDSL (VDSL2) llega a 100 Mb/s (simétricos) pero en distancias más cortas (hasta 300 m). Estas tecnologías pueden combinarse, en ocasiones, con arquitecturas que emplean fibra (englobadas en la sigla FTTx), con el objetivo de reducir la longitud de fibra necesaria, ahorrando en el extremo más cercano al domicilio y por tanto más costoso de desplegar.

— Las redes «de cable» usan fibra y cable coaxial (generalmente al menos en el último segmento de unos 500 m). DOCSIS es el nombre de los estándares que establecen los requisitos de la interfaz de comunicaciones y operaciones de datos. DOCSIS 3.0 ofrece velocidades típicas de 50 Mb/s pese a que los canales, como en las redes de cable existentes, se siguen compartiendo entre un grupo de usuarios, por lo que el número de los mismos afecta a las velocidades que se pueden ofrecer.

— La tecnología LTE es considerada la cuarta generación de

telefonía móvil (4G) por la Unión Internacional de Telecomunicaciones. En realidad no se trata de una nueva tecnología sino de un estándar en evolución que aspira a cumplir (eventualmente sobrepasar) los requisitos técnicos y de operación especificados inicialmente para las tecnologías 4G. Las redes 4G no están lejos de alcanzar valores de pico de 100 Mb/s que, por supuesto, serían compartidos por todos los usuarios que acceden desde una misma celda de cobertura.

## 2. Parámetros para el diseño de la red

Los parámetros clave en el diseño de una red son el tráfico medio y punta (o «de pico»), la calidad de servicio, la tasa de penetración esperada de cada una de las tecnologías y, en el caso de las tecnologías inalámbricas, la banda de frecuencia así como la cantidad de espectro asignado al servicio.

El tráfico de datos ha experimentado un enorme incremento en los últimos años. Las estimaciones para el tráfico mundial son de 43 EB/mes (6) en 2012 y de un crecimiento anual del 29 por 100 en el periodo 2011-2016, con lo que se llegaría a 110 EB/mes en el último año de la estimación (CISCO, 2012). Por su parte, para el tráfico móvil las estimaciones hablan de un crecimiento del 50 por 100 anual hasta 2020, lo que lo incrementaría desde 1,3 EB/mes en 2012 hasta casi 40 EB/mes (Jefferies, 2011). Estos valores sirven para determinar el tráfico medio por usuario (y su evolución). Para estimar el tráfico punta hay que realizar asunciones acerca del comportamiento de los usuarios. Desde el punto de vista tecnológico, GPON podría llegar a ser capaz de satisfacer tráfico

punta de hasta 2,5 Gb/s, VDSL de hasta 100 Mb/s, DOCSIS de hasta 400 Mb/s y LTE en torno a 100 Mb/s.

El tiempo en que un determinado caudal de datos se puede garantizar (o alternativamente el número de usuarios a los que se puede ofrecer un determinado caudal) determina la calidad de servicio. Para el diseño de la red, este parámetro es más determinante que los tráficos medio y de punta. En la actualidad, la calidad del servicio suele estar considerada habitualmente como baja, muy en especial en las redes móviles, pero deberá crecer de la mano de una demanda que reclama mejor servicio (mayor flujo de datos). El modelo toma unos valores iniciales de referencia que cubrirían la demanda actual: 30 Mb/s para redes fijas y 1 Mb/s para redes móviles (7) (Jukan y Mambretti, 2012; Radio *et al.*, 2012). Se prevé, no obstante, un aumento progresivo de estos caudales considerando el uso cada vez más intensivo de contenidos y aplicaciones que utilizan vídeo.

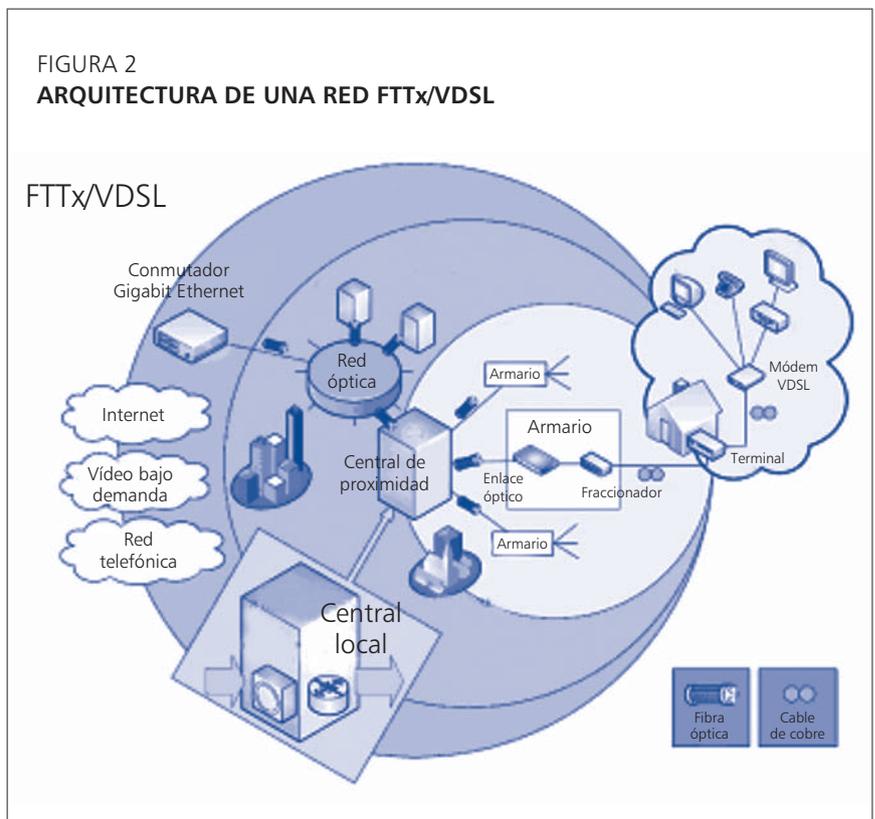
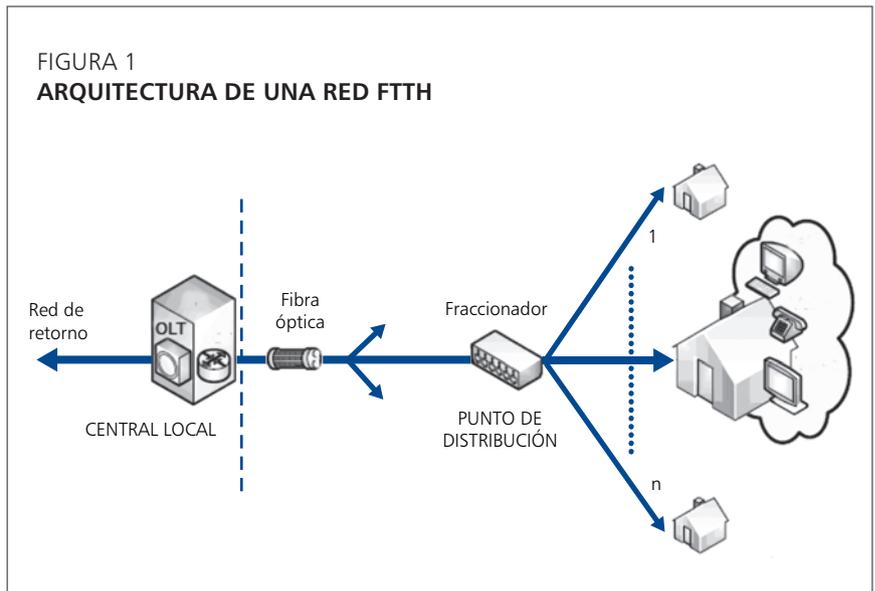
La penetración de los servicios se mide en porcentaje de hogares (o de individuos). Combinando estos porcentajes con las características demográficas de cada región se pueden determinar números absolutos de usuarios. En lo que se refiere a la banda ancha fija, la penetración era, en enero de 2012, el 81,1 por 100 de media en la Unión Europea. Solo el 7,2 por 100 de esas conexiones proporcionaba al menos 30 Mb/s. Con respecto a las tecnologías inalámbricas, la penetración de banda ancha móvil (3G o superior) era aún relativamente baja en enero de 2012 (43 por 100) (Comisión Europea, 2012), aunque las previsiones apuntan al 80 por 100 para 2020 (Jefferies, 2011).

Finalmente, en el caso de las tecnologías móviles hay que considerar frecuencia y ancho de banda: cuanto más baja es la banda de frecuencia en que se opera mayor es la cobertura teórica (para una distancia dada, las pérdidas y errores en la transmisión de la señal son más acusadas a medida que aumenta la frecuencia) y cuanto mayor es el ancho de banda asignado, mayor obviamente el caudal máximo de datos que puede manejar simultáneamente la estación base con una calidad de servicio fijada. La cobertura real de cada antena (estación base) viene determinada por el más limitante de estos dos factores. Como regla casi infalible, cuando la densidad de población es alta o media el más limitativo es el segundo factor, mientras que en áreas rurales es la máxima distancia física alcanzable la que determina el número necesario de estaciones base.

### 3. Arquitecturas de red

Las figuras 1 a 4 presentan las arquitecturas de red utilizadas en el modelo.

El caudal de datos que proporciona una red FTTH-GPON (figura 1) depende del número de OLT (*optical line terminal*, unidad óptica terminal de línea) y de la ratio de fraccionamiento (*splitting*). En el modelo se toma un esquema conservador de dos niveles de fraccionamiento (8x8) (Analysys Mason, 2008; Bock *et al.*, 2008), lo que implica que cada fibra maestra de la central da servicio a 64 clientes con caudales de hasta 39 Mb/s de bajada y 19,5 Mb/s de subida. Para obtener caudales superiores se requeriría sustituir las tarjetas OLT y los fraccionadores para poder trabajar con fibras maestras de 10 Gb/s, lo que supone el si-



guiente paso en la tecnología GPON.

Un esquema similar se sigue en los despliegues de VDSL (figura 2) con dos diferencias. La pri-

mera es que un 20 por 100 de los clientes pueden ser atendidos directamente desde la central local, por estar situados a una distancia inferior a 500 m de la misma; en el resto la interconexión entre las

FIGURA 3  
ARQUITECTURA DE UNA RED DE CABLE DOCSIS

DOCSIS 3.0

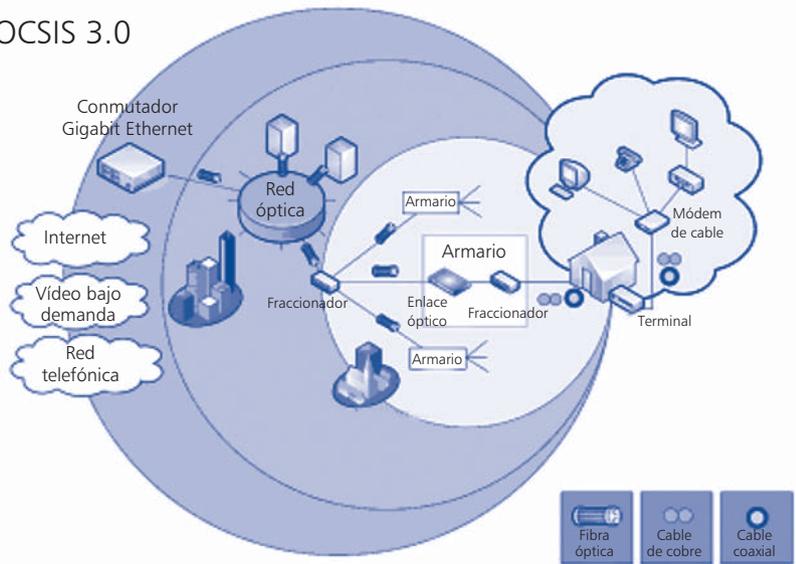
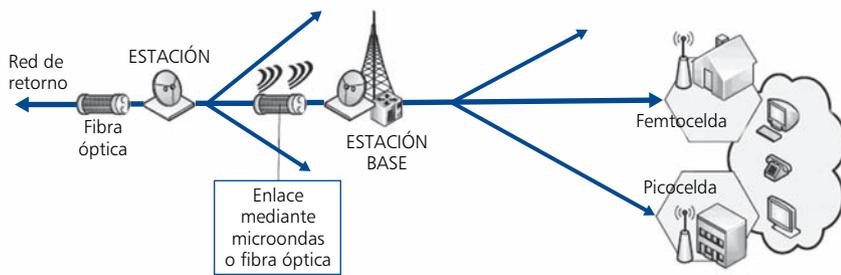


FIGURA 4  
ARQUITECTURA DE UNA RED DE COMUNICACIONES MÓVILES 4G



partes de fibra óptica y de cobre se realiza en unos «armarios» intermedios. La segunda diferencia es el número de clientes que pueden ser atendidos por una sola central, que, en este caso, es una función de la densidad de población del área.

El despliegue de redes basadas en Docsis 3.0 (figura 3) depende de si ya existe una red de

cable. De existir, la evolución hacia el estándar Docsis 3.0 puede seguir dos vías: modernización del nodo existente (que usa Docsis 1.x/2.x) o despliegue de nuevo equipo en paralelo. En el modelo que proponemos se ha elegido la segunda de las opciones, puesto que de este modo el servicio ofrecido a los clientes actuales no se ve alterado. Por otra parte, en caso de tratarse de un

despliegue completamente nuevo, el modelo garantizaría que se pudiera ofrecer 50 Mb/s al 80 por 100 de los usuarios.

En el caso de las redes inalámbricas 4G, las estaciones base son el elemento básico de cualquier despliegue. Desde un punto de vista ingenieril, el despliegue se centra en encontrar los lugares más apropiados para su instalación, siempre considerando los objetivos de cobertura y calidad de las comunicaciones. La cobertura de la red se obtiene sumando la cobertura de cada estación base, aunque la instalación de equipo adicional es necesaria si existen obstáculos insuperables para las ondas electromagnéticas (en la frecuencia a que las antenas emiten), lo que ocurre típicamente en áreas urbanas o dentro de edificios. Con este equipo se crean «picoceldas» cuando el radio de cobertura es de cientos de metros o «femtoceldas» si hablamos de solo unas decenas de metros (Andrews *et al.*, 2012; Ghosh *et al.*, 2012).

Estas pautas son, en cualquier caso, generales e imprecisas. Un análisis más completo debe considerar otros factores físicos (orografía y disposición concreta de las edificaciones) pero también tecnológicos. El grado de eficiencia espectral, el tipo de modulación y el número de sectores y canales con que se configura la emisión de la antena de la estación base también importan. Para LTE, considerando un ancho de banda dedicado a este servicio de 20 MHz, una eficiencia espectral de pico de 15 bps/Hz (IDATE, 2012), tres canales (cada uno cubriendo un ángulo de 120 grados) y una configuración 2x2 o 4x4 MIMO (Deruyck *et al.*, 2011), una estimación futura del caudal proporcionado por una estación base podría llevar el valor hasta 1.800 Mb/s.

#### 4. Análisis demográfico

Los municipios se agrupan de acuerdo con su densidad de población. Frente a otros estudios que limitan la clasificación a un número de 3 a 8 grupos (Forge *et al.*, 2005; Gómez Barroso y Robles Rovalo, 2008; Jeanjean, 2010), en el modelo que aquí se presenta se toman 10 niveles, lo que permite unas estimaciones más precisas para aquellas regiones con densidades de población intermedias que entran en su mayor parte en la categoría de áreas «grises» para la normativa europea relativa a las ayudas del Estado para el despliegue de redes (Gómez Barroso y Feijóo, 2010b). No obstante este mayor detalle, es obvio que faltaría la información acerca de la configuración urbana concreta (mayor o menor concentración de edificios), dato decisivo para la instalación de estaciones base y centrales. Para refinar el modelo, se introduce una segunda variable: la zona. Se consideran dos tipos de zona según que el grado de urbanización del territorio esté por encima o por debajo del 80 por 100 (zonas «a» y «b», respectivamente). Cada una de las agrupaciones incluye ambos tipos de zonas excepto las dos últimas (con menores densidades de población), áreas rurales en que solo existen zonas «b». Por ello el resultado final es de 18 categorías.

#### 5. Proceso de cálculo

El cálculo comienza con la determinación del área de cobertura de lo que podemos denominar unidad básica de cada tecnología (central local o cabecera de cable en las tecnologías fijas y estación base en las tecnologías inalámbricas), para así determinar el número de ellas necesario en cada una de las zonas.

En las redes móviles, debe determinarse la cobertura que puede ofrecer una estación base, tanto en extensión geográfica de la celda (transmisión de la señal) como en número máximo de usuarios. Este último cálculo resulta de la división entre el caudal máximo de datos ofrecido por la estación base y la calidad de servicio comprometida. A continuación, este número máximo de usuarios se pone en relación con la población del municipio. Si la población es mayor, se necesitarían tantas estaciones base como resulten de la división (redondeando al valor más alto para asegurar el 100 por 100 de cobertura). Si está por debajo, el factor limitante es entonces el geográfico y hay que comparar el tamaño del municipio con el de la celda. El número de pico o femtoceldas incluidas en cada celda se obtiene considerando el porcentaje de edificios urbanos sobre el total en la localidad en cuestión.

En el caso de redes fijas, el proceso de cálculo es equivalente pero usando centrales locales o cabeceras de cable en vez de estaciones base. De nuevo debe determinarse el máximo número de usuarios a los que la central puede dar servicio y comparar este resultado con el tamaño de la población.

Para permitir comparaciones entre tecnologías fijas y móviles que se refieran a la parte de acceso de la red, hay que tener en cuenta que, en general, la topología de red en los despliegues 4G implica un mayor número de «unidades básicas» (más estaciones base que centrales para cubrir un área determinada). Ello implica un mayor despliegue de fibra para conectar las unidades básicas, lo que se tiene también en cuenta en el modelo para

hacer la comparación más rigurosa.

La última etapa en este proceso es la determinación del número total de áreas que se integran en cada uno de los 10 tipos de agrupaciones territoriales. Es evidente que los operadores seguirán diferentes estrategias en cada zona. En el modelo se ha elegido la más obvia y sencilla de las estrategias: el despliegue de arriba hacia abajo. Es decir, el despliegue comenzaría por la zona más densa y seguiría, de manera sistemática y ordenada, hasta alcanzar eventualmente la zona menos densamente poblada. La lógica es simple: el coste por usuario se incrementa mientras que la rentabilidad no varía grandemente. Solo obligaciones reguladoras (obligación de llegar a determinadas zonas en un tiempo determinado) podrían alterar esta lógica.

Los costes de los diferentes elementos requeridos para el despliegue, las estrategias y los objetivos de cobertura en cada zona se detallan en la tabla n.º A1 del anexo.

#### 6. Evolución del escenario en el tiempo

Las velocidades fijadas para 2020, en concordancia con los objetivos políticos (Comisión Europea, 2010) y también con las perspectivas de la industria, se fijan en 100 Mb/s para las redes fijas y 5 Mb/s para las redes móviles. En el caso de las tecnologías inalámbricas, esto puede requerir dos importantes cambios: una mejora de la eficiencia espectral y/o un aumento del espectro disponible. En el modelo se asume una evolución de 15 a 20 bps/Hz como eficiencia espectral de pico como parte del pro-

greso de la tecnología 4G. Asimismo se considera que antes de 2020 la disponibilidad de espectro por operador habrá pasado de 20 a 40 MHz, lo que está en línea con las expectativas de asignación de «nuevo» espectro para las comunicaciones móviles en la UE. En el caso de las redes fijas, se asume un progreso de los OLT para incrementar la capacidad provista por los alimentadores de fibra óptica. También se considera que el estándar DOCSIS evolucionará hacia la versión 4.0.

En lo que respecta a la evolución de la demanda, el modelo utiliza una curva logística (curva en forma de S) que toma como valores iniciales los del mercado español de telecomunicaciones en 2012. Las curvas logísticas se han demostrado como el mejor modo con que representar una estimación de la adopción de servicios de telecomunicación en el largo plazo (Cárdenas *et al.*, 2004). En el modelo se toma una curva logística simple debido a su

fácil manipulación en los análisis de sensibilidad.

La concreción de esta curva exige algunos datos adicionales. En el caso de las redes fijas, la previsión acerca de la evolución hasta 2020 de las líneas FTTH, VDSL y DOCSIS utiliza dos estimaciones: la evolución del nivel de saturación del mercado y la cuota de mercado que gana cada tecnología. En el caso específico de DOCSIS, puesto que llegar a la totalidad del mercado no es una hipótesis real, se utiliza para los cálculos un crecimiento lineal hasta 2020. En cuanto a las tecnologías móviles se sigue un esquema similar al seguido con las redes de fibra: primero se aventura la evolución del número total de suscripciones a telefonía móvil y, luego, se estima cuántos de esos usuarios poseerán un teléfono inteligente con capacidades avanzadas. El cuadro n.º 2 sintetiza los resultados de las operaciones realizadas partiendo de esos supuestos.

## 7. Consideraciones adicionales

Los valores calculados se limitan a la parte de acceso de las redes. No se incluye la parte de tránsito de la red y por tanto el artículo no se preocupa de si el operador construye su propia red de transporte o la comparte con otras empresas. Por su parte, la red de acceso puede ser nueva o reutilizar parte de la infraestructura existente. Esta situación sí se ha tomado en consideración y el modelo realiza una estimación en cada tecnología lo más próxima posible a la situación real.

Otra puntualización necesaria es que, para que la comparación tuviera mayor sentido desde la perspectiva de posibles políticas públicas, se ha considerado que no existen efectos de sustitución entre tecnologías y, por tanto, la comparación en costes se realiza como si con cada tecnología se debiera cubrir la totalidad del

CUADRO N.º 2

### RESULTADOS DE LA PREDICCIÓN DE LA EVOLUCIÓN DE LA BANDA ANCHA FIJA Y MÓVIL EN ESPAÑA PARA 2020

		2012	2020
<b>Banda ancha fija (líneas por 100 habitantes)</b>		58,60	76,70
<b>FTTH</b>	Penetración (respecto al total de banda ancha fija)	3,77	99,90
	Penetración (por 100 habitantes)	0,99	30,34
	Número de líneas (millones)	0,46	14,18
<b>FTTx/VDSL</b>	Penetración (respecto al total de banda ancha fija)	2,80	99,80
	Penetración (por 100 habitantes)	0,73	30,31
	Número de líneas (millones)	0,34	14,17
<b>DOCSIS</b>	Penetración (respecto al total de banda ancha fija)	10,27	27,14
	Penetración (por 100 habitantes)	3,94	10,42
	Número de líneas (millones)	1,84	4,87
	Penetración (respecto al total de banda ancha fija) para simulación	10,27	99,90
<b>Penetración de la telefonía móvil (por 100 habitantes)</b>		125,30	129,64
<b>Banda ancha móvil</b>	Penetración (sobre la penetración de la telefonía móvil)	40,71	79,80
	Penetración (por 100 habitantes)	49,28	102,51
	Número de líneas (millones)	23,54	47,74

mercado. Asimismo, las condiciones de competencia (el impacto sobre los costes de despliegue de la presencia de más de un operador) no se han tenido en cuenta. De un lado, está claro que si la cantidad total de clientes se reparte entre varios operadores, el coste puede elevarse con respecto a los costes de un monopolista. Por otro lado, varios operadores (por mero interés comercial o por imposición del regulador) podrían compartir/ceder partes de la infraestructura, lo que haría decrecer el coste por usuario. Algunas de las implicaciones de no llegar a la totalidad del mercado de banda ancha y de la potencial compartición de infraestructuras se consideran más adelante en la sección de análisis de sensibilidades.

Por último, el valor de las inversiones se actualiza tomando como coste medio ponderado del capital (*weighted average cost of capital*, WACC) un 12 por 100, de acuerdo con estudios previos y con las condiciones financieras que afrontan los operadores europeos (Analysys Mason, 2009). Considerando el objetivo fijado por el Banco Central Europeo, la tasa de inflación anual se estima en el 2 por 100.

### III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados del modelo de estimación de costes para cada una de las tecnologías capaces de ofrecer RAU que han sido seleccionadas. Todos los costes han sido descontados para obtener el valor actual. La inversión en capital (*capital expenditures*, CAPEX) y los gastos de operación (*operational expenditures*, OPEX) en el periodo 2011-2020 se calculan para cada uno de los cuatro

diferentes modelos de red empleados. Los cuadros n.ºs 3 a 9 muestran los resultados de manera detallada.

#### 1. Gastos de inversión (CAPEX), de operación (OPEX) y costes totales

El cuadro n.º 3 muestra el valor actual de los gastos de inversión por área de cobertura en función de la tecnología y del tipo de zona de que se trate. Destaca el hecho de que las áreas más costosas son las de la zona VI (parte de la zona «gris» para el despliegue de RAU), donde se produce una «tormenta perfecta» combinación de densidad de población, dispersión geográfica y carencia de infraestructuras preexistentes. Otro resultado relevante es que, en media, las tecnologías móviles son las más baratas seguidas por VDSL y FTTH (estas últimas con aproximadamente el doble de costes que VDSL por área de cobertura). En el caso de DOCSIS, el cuadro muestra dos situaciones completamente diferentes: en las zonas I-V se reutiliza el despliegue existente y se convierte en la opción más barata; en

las zonas VI-X hay que desplegar infraestructuras desde cero y pasa a ser la alternativa más cara. Es precisamente este enorme salto en los costes de despliegue lo que explica el parón de las inversiones del cable en España.

Si se suman todas las zonas correspondientes a una determinada tipología, se obtiene el valor total actualizado de los gastos de capital. Las decisiones en cuanto al orden en el que se despliegan las infraestructuras influyen en este total. Así, el cuadro n.º 4A muestra los valores cuando se sigue una estrategia idéntica para todas las zonas y el cuadro n.º 4B los que se obtienen cuando se sigue el orden de despliegue más lógico de cubrir primero las zonas de mayor densidad de población. Los ahorros que se producen en el segundo caso son patentes. En cualquiera de los dos casos es en las zonas de densidad intermedia de población (IV a VIII) donde los costes de despliegue son mayores, lo que abunda en el interés del análisis pormenorizado de estas zonas. En las zonas rurales de baja densidad de población es más caro el despliegue de fibra, mientras que en zonas den-

CUADRO N.º 3

VALOR ACTUAL DEL COSTE DE CAPITAL (EN MILLONES DE EUROS) EN UN ÁREA DE COBERTURA EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ZONA Y DE LA TECNOLOGÍA

Zona	FTTH-GPON	FTTC-VDSL	DOCSIS	LTE
I (> 10.000 hab/km <sup>2</sup> ).....	4,29	2,98	1,55	2,85
II (10.000-5.000 hab/km <sup>2</sup> )..	5,58	3,61	1,55	2,84
III (5.000-3.000 hab/km <sup>2</sup> )...	5,79	3,60	1,55	2,74
IV (3.000-1.000 hab/km <sup>2</sup> )...	7,03	4,10	1,55	2,81
V (1.000-500 hab/km <sup>2</sup> ) .....	9,83	4,49	1,55	2,54
VI (500-100 hab/km <sup>2</sup> ).....	10,64	3,91	45,47	2,59
VII (100-50 hab/km <sup>2</sup> ).....	3,88	1,29	28,91	0,61
VIII (50-10 hab/km <sup>2</sup> ).....	3,42	1,03	20,85	0,30
IX (10-5 hab/km <sup>2</sup> ) .....	1,35	0,26	7,81	0,12
X (< 5 hab/km <sup>2</sup> ).....	0,90	0,26	12,11	0,12
<b>Media ponderada .....</b>	<b>6,86</b>	<b>3,29</b>	<b>15,49</b>	<b>2,24</b>

CUADRO N.º 4A

**VALOR ACTUALIZADO DE LOS GASTOS DE CAPITAL  
(EN MILLONES DE EUROS) EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ZONA Y DE LA TECNOLOGÍA  
PARA UN DESPLIEGUE IDÉNTICO EN CADA ZONA**

Zona	FTTH-GPON	FTTC-VDSL	DOCSIS	LTE
I (> 10.000 hab/km <sup>2</sup> ).....	345,96	219,17	113,65	489,56
II (10.000-5.000 hab/km <sup>2</sup> )..	976,42	576,16	246,88	1.136,91
III (5.000-3.000 hab/km <sup>2</sup> )...	574,27	325,29	139,96	665,75
IV (3.000-1.000 hab/km <sup>2</sup> ) ..	1.515,48	805,33	304,24	1.530,95
V (1.000-500 hab/km <sup>2</sup> ) .....	1.189,10	495,81	170,72	807,65
VI (500-100 hab/km <sup>2</sup> ) .....	2.840,08	951,05	11.067,33	1.858,98
VII (100-50 hab/km <sup>2</sup> ).....	1.376,50	419,43	9.365,03	555,28
VIII (50-10 hab/km <sup>2</sup> ).....	3.328,53	914,91	18.502,36	681,70
IX (10-5 hab/km <sup>2</sup> ) .....	937,85	167,28	4.932,92	169,45
X (< 5 hab/km <sup>2</sup> ).....	649,82	171,81	7.953,96	160,68
<b>Media ponderada .....</b>	<b>1.697,00</b>	<b>659,34</b>	<b>5.314,49</b>	<b>1.136,83</b>
<b>Total.....</b>	<b>13.734</b>	<b>5.046</b>	<b>52.797</b>	<b>8.057</b>

CUADRO N.º 4B

**VALOR ACTUALIZADO DE LOS GASTOS DE CAPITAL  
(EN MILLONES DE EUROS) EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ZONA Y DE LA TECNOLOGÍA  
PARA UN DESPLIEGUE ORDENADO EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DE POBLACIÓN**

Zona	FTTH-GPON	FTTC-VDSL	DOCSIS	LTE
I (> 10.000 hab/km <sup>2</sup> ).....	345,96	219,17	113,65	611,95
II (10.000-5.000 hab/km <sup>2</sup> )..	976,42	576,16	246,88	1.421,13
III (5.000-3.000 hab/km <sup>2</sup> )...	551,30	312,28	134,36	800,18
IV (3.000-1.000 hab/km <sup>2</sup> ) ..	1.454,86	773,12	292,07	1.766,48
V (1.000-500 hab/km <sup>2</sup> ) .....	1.022,62	426,39	146,82	893,07
VI (500-100 hab/km <sup>2</sup> ) .....	2.414,07	808,39	9.407,23	2.055,61
VII (100-50 hab/km <sup>2</sup> ).....	940,11	281,93	7.492,02	318,72
VIII (50-10 hab/km <sup>2</sup> ).....	-	-	-	-
IX (10-5 hab/km <sup>2</sup> ) .....	-	-	-	-
X (< 5 hab/km <sup>2</sup> ).....	-	-	-	-
<b>Media ponderada .....</b>	<b>1.330,86</b>	<b>582,88</b>	<b>2.921,19</b>	<b>1.433,83</b>
<b>Total.....</b>	<b>7.705</b>	<b>3.397</b>	<b>18.074</b>	<b>7.867</b>

CUADRO N.º 5

**INVERSIÓN ANUAL (EN MILLONES DE EUROS) NECESARIA PARA ALCANZAR UN GRADO  
DE COBERTURA CONCRETO EN UN AÑO DETERMINADO (2012-2020)**

Grado de cobertura y año	FTTH-GPON	FTTC-VDSL	DOCSIS	LTE
50 en 2015.....	1.373,40	504,62	5.279,70	805,69
60 en 2015.....	1.648,08	605,55	6.335,64	966,83
80 en 2020.....	1.098,72	403,70	4.223,76	644,55
90 en 2020.....	1.236,06	454,16	4.751,73	725,12
100 en 2020.....	1.373,40	504,62	5.279,70	805,69

samente pobladas las tecnologías FTTC-VDSL y DOCSIS son más baratas al reutilizar los despliegues ya existentes. Por su parte, las tecnologías inalámbricas con los requisitos especificados son competitivas en zonas sin ningún despliegue preexistente (zonas rurales).

Una forma diferente de aproximarse a los gastos en inversión de capital es calcular la inversión anual requerida para alcanzar un determinado nivel de cobertura en un año concreto. Los resultados de este ejercicio se presentan en el cuadro n.º 5.

Otro aspecto relevante cuando se trata de comparar posibles RAU se refiere al coste de garantizar un determinado caudal de datos a cada usuario. Esta perspectiva, básica para la comparación entre tecnologías, no es sin embargo usada frecuentemente. El cuadro n.º 6 muestra el coste que implica garantizar 10 Mb/s por usuario en cada zona y para cada tecnología. Con estas condiciones el cálculo para las tecnologías inalámbricas debe ser rehecho, pues un mayor caudal de datos implica un menor tamaño del área cubierta por cada estación base y, por tanto, un incremento del coste.

El cuadro n.º 7 presenta los resultados de los gastos de operación (OPEX) por usuario para el año 2015. Estos gastos, similares para todas las tecnologías, incluyen conceptos como operación, gestión, mantenimiento o facturación.

Por último, el valor actualizado del coste total por usuario y zona, así como el coste total de las RAU en los dos escenarios de despliegue se presenta en los

CUADRO N.º 6

**COSTE ACTUALIZADO POR USUARIO (EN EUROS) DE GARANTIZAR 10 Mb/s (PARA UNA PENETRACIÓN DEL 50 POR 100)**

Zona	FTTH-GPON-40 Mb/s	FTTC-VDSL-30 Mb/s	DOCSIS-30 Mb/s	LTE-10 Mb/s
I (> 10.000 hab/km <sup>2</sup> ) .....	124,42	133,01	76,84	435,18
II (10.000-5.000 hab/km <sup>2</sup> ) .....	146,03	145,85	77,34	423,67
III (5.000-3.000 hab/km <sup>2</sup> ) .....	149,48	145,52	80,86	406,45
IV (3.000-1.000 hab/km <sup>2</sup> ) .....	170,29	155,73	87,36	425,15
V (1.000-500 hab/km <sup>2</sup> ) .....	217,04	163,77	94,41	381,76
VI (500-100 hab/km <sup>2</sup> ) .....	230,66	151,85	998,59	389,35
VII (100-50 hab/km <sup>2</sup> ) .....	311,94	177,71	2.446,91	347,66
VIII (50-10 hab/km <sup>2</sup> ) .....	510,48	240,16	3.475,28	338,20
IX (10-5 hab/km <sup>2</sup> ) .....	777,51	244,75	5.318,06	594,08
X (< 5 hab/km <sup>2</sup> ) .....	1.018,71	412,93	15.942,07	1.188,16
<b>Media ponderada .....</b>	<b>243,89</b>	<b>166,06</b>	<b>1.048,02</b>	<b>407,40</b>

cuadros n.ºs 8A, 8B y 8C. Se observa que las tecnologías LTE y FTTH son las menos y más costosas por usuario, respectivamente. También cabe destacar que se generan ahorros muy considerables en las zonas de mayor densidad de población cuando se reaprove-

chan las infraestructuras ya existentes.

## 2. Análisis de sensibilidad

Partiendo de los cálculos básicos presentados en la sección anterior, el cuadro n.º 9 presenta el

impacto en los costes que produce la alteración de algunos parámetros (escenarios alternativos). El cuadro ilustra algunos efectos interesantes. En primer lugar, el despliegue «acelerado» de RAU incrementa considerablemente los costes, sobre todo en el caso de las tecnologías inalámbricas. El comportamiento del mercado también afecta de forma significativa a los costes: si la penetración de la banda ancha en el mercado es mayor de lo esperado, los costes se incrementan más rápidamente, indicando la probable existencia de un óptimo en cuanto a penetración en el mercado de estas tecnologías; si, por el contrario, la penetración es menor de lo esperado, el ahorro de costes es también mayor que este porcentaje, salvo en el caso de las tecnologías móviles. Son también estas tecnologías las que se ven más afectadas por un cambio en los caudales de datos que se ofrecen a los usuarios. Por último, las tres últimas filas del cuadro indican el muy importante efecto que diversas medidas no relacionadas ni con la propia tecnología ni con la demanda (costes de la obra civil, compartición de infraestructuras y mayor disponibilidad de espectro) pueden tener en la disminución de los costes de despliegue de una RAU.

CUADRO N.º 7

**OPEX TOTAL Y POR USUARIO (EN EUROS) PARA EL AÑO 2015**

	FTTH-GPON	FTTC-VDSL	DOCSIS	LTE
Opex total (M €) .....	1.200,34	1.238,08	1.156,64	1.126,47
Opex total por usuario (€) .....	210,44	217,06	381,02	106,76
Operación y gestión por usuario (€) .....	59,77	78,23	138,81	32,03

CUADRO N.º 8A

**VALOR ACTUALIZADO DEL COSTE TOTAL POR USUARIO (EN EUROS) EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ZONA Y DE TECNOLOGÍA**

Zona	FTTH-GPON	FTTC-VDSL	DOCSIS	LTE
I (> 10.000 hab/km <sup>2</sup> ) .....	497,70	399,04	230,51	250,37
II (10.000-5.000 hab/km <sup>2</sup> ) .....	584,12	437,56	232,01	249,86
III (5.000-3.000 hab/km <sup>2</sup> ) .....	597,93	436,55	242,57	240,54
IV (3.000-1.000 hab/km <sup>2</sup> ) .....	681,17	467,20	262,08	246,58
V (1.000-500 hab/km <sup>2</sup> ) .....	868,18	491,31	283,24	222,93
VI (500-100 hab/km <sup>2</sup> ) .....	922,66	455,56	2.995,78	227,24
VII (100-50 hab/km <sup>2</sup> ) .....	1.247,75	533,14	7.340,73	215,12
VIII (50-10 hab/km <sup>2</sup> ) .....	2.041,90	720,47	10.425,84	214,21
IX (10-5 hab/km <sup>2</sup> ) .....	3.110,04	734,26	15.954,18	350,86
X (< 5 hab/km <sup>2</sup> ) .....	4.074,83	1.238,80	47.826,20	701,71
<b>Media ponderada .....</b>	<b>975,55</b>	<b>498,18</b>	<b>3.144,06</b>	<b>240,68</b>

CUADRO N.º 8B

**VALOR ACTUALIZADO DE LOS COSTES TOTALES (EN MILLONES DE EUROS) EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ZONA Y DE LA TECNOLOGÍA PARA UN DESPLIEGUE IDÉNTICO EN CADA ZONA**

Zona	FTTH-GPON	FTTC-VDSL	DOCSIS	LTE
I (> 10.000 hab/km <sup>2</sup> ) .....	1.081,28	977,61	589,34	1.114,52
II (10.000-5.000 hab/km <sup>2</sup> ) ..	2.571,79	2.221,70	1.289,53	2.588,24
III (5.000-3.000 hab/km <sup>2</sup> ) ...	1.479,12	1.258,59	776,91	1.515,63
IV (3.000-1.000 hab/km <sup>2</sup> ) ...	3.481,13	2.832,78	1.869,54	3.485,30
V (1.000-500 hab/km <sup>2</sup> ) .....	2.292,89	1.634,31	1.161,04	1.838,67
VI (500-100 hab/km <sup>2</sup> ) .....	5.274,76	3.462,28	13.617,17	4.232,09
VII (100-50 hab/km <sup>2</sup> ) .....	2.186,69	1.255,10	10.456,00	1.264,12
VIII (50-10 hab/km <sup>2</sup> ) .....	4.438,16	2.059,43	19.795,72	1.551,93
IX (10-5 hab/km <sup>2</sup> ) .....	1.135,33	370,97	5.592,42	385,77
X (< 5 hab/km <sup>2</sup> ) .....	752,48	277,71	8.210,04	365,80
<b>Media ponderada.....</b>	<b>3.234,61</b>	<b>2.245,30</b>	<b>6.723,58</b>	<b>2.588,07</b>
<b>Total.....</b>	<b>24.694</b>	<b>16.350</b>	<b>63.358</b>	<b>18.342</b>

CUADRO N.º 8C

**VALOR ACTUALIZADO DE LOS COSTES TOTALES (EN MILLONES DE EUROS) EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ZONA Y DE LA TECNOLOGÍA PARA UN DESPLIEGUE ORDENADO EN FUNCIÓN DE LA DENSIDAD DE POBLACIÓN**

Zona	FTTH-GPON	FTTC-VDSL	DOCSIS	LTE
I (> 10.000 hab/km <sup>2</sup> ).....	2.439,97	2.285,62	1.753,23	1.361,59
II (10.000-5.000 hab/km <sup>2</sup> ) ..	4.630,78	4.135,26	3.350,48	3.196,77
III (5.000-3.000 hab/km <sup>2</sup> ) ...	2.277,17	1.994,89	1.647,59	1.764,53
IV (3.000-1.000 hab/km <sup>2</sup> ) ...	4.827,06	4.118,52	3.181,13	3.430,86
V (1.000-500 hab/km <sup>2</sup> ) .....	2.284,38	1.877,89	1.304,11	1.853,14
VI (500-100 hab/km <sup>2</sup> ) .....	4.571,52	3.399,19	5.245,45	3.302,52
VII (100-50 hab/km <sup>2</sup> ) .....	898,30	560,48	3.002,52	399,68
VIII (50-10 hab/km <sup>2</sup> ) .....	-	-	-	-
IX (10-5 hab/km <sup>2</sup> ) .....	-	-	-	-
X (< 5 hab/km <sup>2</sup> ).....	-	-	-	-
<b>Media ponderada.....</b>	<b>3.203,60</b>	<b>2.644,38</b>	<b>2.839,89</b>	<b>2.267,56</b>
<b>Total.....</b>	<b>21.929</b>	<b>18.372</b>	<b>19.577</b>	<b>15.309</b>

CUADRO N.º 9

**IMPACTO (EN PORCENTAJE) EN EL VALOR ACTUALIZADO DE LOS COSTES TOTALES DE LA ALTERACIÓN DE DIVERSOS FACTORES (CALCULADOS PARA EL PERIODO 2013-2020)**

Efecto	FTTH	FTTC-VDSL	DOCSIS	LTE
Referencia.....	<b>14.548,92</b>	<b>6.963,23</b>	<b>18.073,77</b>	<b>7.867,14</b>
Despliegue en 5 años en vez de en 10 años.....	22	16	-	34
Penetración de la banda ancha en el 90 del mercado en lugar del 80.....	16	11	13	15
Penetración de la banda ancha en el 70 del mercado en lugar del 80.....	-11	-10	-14	-7,3
Incremento en 10 Mb/s del caudal garantizado a cada usuario .....	1,0	12	-	69
Incremento del WACC del 12 al 15.....	-16	-14	-12	-12
Reducción en un 30 de los costes de la obra civil .....	-22	-11	-	-14
Compartición por dos operadores de infraestructuras pasivas .....	-20	-10	-	-5
Incremento de 40 MHz en el espectro reservado a las comunicaciones móviles .....	-	-	-	-10

**IV. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

El valor actualizado del coste total del despliegue de una RAU en España que llegara al 100 por 100 de hogares y empresas en 2020 es en las condiciones más favorables (reutilización eficiente de redes existentes, utilización en cada caso de la tecnología más apropiada) de 12.600 millones de euros (cálculo a partir del cuadro n.º 8B). Imaginando un operador que tuviera una cuota de mercado del 50 por 100 (un operador dominante) y que pudiera utilizar la tecnología más adecuada en cada zona, esto supondría un coste medio de 760 euros por usuario (cálculo a partir del cuadro n.º 8A, suponiendo un 50 por 100 de cuota de mercado). Estos números se incrementan espectacularmente si el despliegue es de fibra hasta el hogar (FTTH), incluso reutilizando infraestructuras y orientando el despliegue a zonas con alta densidad de población: 22.000 millones de euros y una media de 1.850 euros por cliente (cálculo a partir de los cuadros n.ºs 8A y 8C, suponiendo un 50 por 100 de cuota de mercado). Si, por el contrario, el despliegue se basa solo en FTTC (complementado de algún modo con VDSL) y siempre con la reutilización de infraestructuras, los cos-

tes totales serían 16.300 millones de euros y la media de unos 1.000 euros por cliente. Por su parte, un despliegue exclusivamente basado en tecnologías inalámbricas, con las premisas utilizadas en el modelo (provisión de 5 Mb/s de caudal asegurado, con picos muy superiores dependiendo del número de usuarios simultáneos), costaría unos 15.300 millones de euros (por debajo de las tecnologías con fibra) y el coste medio por usuario sería de unos 500 euros. Su papel parece destinado a satisfacer la demanda en zonas rurales y proporcionar velocidades medias en zonas urbanas.

Si el objetivo se hace más realista (por ejemplo, una cobertura del 50 por 100 en 2015), la reutilización de redes juega un papel más relevante, en especial para las tecnologías fijas FTTC-VDSL y cable DOCSIS. En este escenario (y considerando una velocidad de bajada de datos de 30 Mb/s en ambas tecnologías), las inversiones anuales hasta 2020 serían de unos 380 millones de euros para FTTC-VDSL y de 170 millones de euros para cable DOCSIS. La mejora de las redes de cable para que cumplan con el estándar DOCSIS 3.0 es, de hecho, la alternativa más barata para el despliegue de RAU en un 45 por 100 del número total de viviendas/empresas. Esto otorga a los operadores de cable un papel interesante en el panorama español que se complementa por el hecho de que en un 40 por 100 de casos estos operadores desplegaron además un cable de cobre en paralelo con el coaxial (y de una longitud en muchos casos inferior a 500 m), lo que les permitiría utilizar tecnologías alternativas/complementarias a DOCSIS tales como VDSL2. Esta tecnología (VDSL2) puede ser ofrecida a través del cable de

cobre tradicional (telefónico) en aproximadamente un 20 por 100 de estas líneas, que son las que están suficientemente cerca de la central. Este es el caso en que la inversión necesaria para proporcionar una RAU es menor (casi insignificante si se compara con otras alternativas tecnológicas).

Considerando todo lo anterior, puede afirmarse que un probable escenario de referencia para el mercado español de RAU en 2015 sería una competencia en infraestructuras de tipo «2+» (operador dominante, operador de cable y operadores móviles) en un 50 por 100 de empresas y hogares (unos 9 millones). Para un adicional 10 por 100 de la población, lo más probable es la existencia de una competencia de tipo «1+» (operador dominante usando tecnología del tipo VDSL y operadores móviles). Más allá de este límite, las inversiones requeridas son muy superiores y, por tanto, inciertas. Lo más probable es que las RAU no lleguen o lo hagan en algunos puntos particulares de la mano de despliegues 4G, siempre dependiendo de las posibles nuevas asignaciones de espectro. De forma conjunta, en este escenario no se alcanzarían los objetivos establecidos en el Plan Avanza para el desarrollo de la sociedad de la información en España: 80 por 100 de la población con acceso a una red de banda ancha que proporcione al menos 10 Mb/s y 50 por 100 de la población con acceso a una red de banda ancha que proporcione al menos 100 Mb/s en 2015 (SETSI, 2010) (8). La consecución de esos objetivos parece muy difícil: pese a lo que se dirá más adelante sobre posibles acciones impulsoras, no se atisba ninguna medida reguladora que pudiera ser capaz de cambiar ra-

dicalmente el actual ritmo inversor de los operadores. Mucho menos en las condiciones económicas actuales, condiciones que, por otra parte, hacen casi imposible una intervención pública que corrigiera la inacción del mercado.

Si nos fijamos en detalle en las áreas rurales o menos pobladas, el umbral de rentabilidad parecería situarse en una densidad de población cercana a 100 habitantes/km<sup>2</sup>, valor a partir del cual las cifras de inversión por usuario y año sobrepasan holgadamente los 500 euros sea cual sea la tecnología. Puesto que la rentabilidad está condicionada por esta primera inversión, y las mejoras tecnológicas tienden a hacer disminuir los costes con el paso del tiempo, podría ser posible que estas áreas se volvieran rentables en algún momento futuro, aunque quizá demasiado lejano si la valoración se realiza en términos de equidad territorial. Puede hacerse una puntualización: los cálculos de inversión (y de rentabilidad) pueden ser diferentes cuando en vez de considerar un área completa se considera un núcleo de población determinado. En consecuencia, la acción privada o, más probablemente, la colaboración público-privada, podría hacer aparecer puntos con cobertura en estas áreas «blancas» del mapa.

La acción pública no solo debe limitarse a la colaboración en el despliegue. Existe margen para diseñar políticas concretas (o medidas reguladoras) que ayuden a alterar el panorama presentado. De manera particular debe considerarse todo lo referido a la obra civil (cuyo coste puede oscilar entre un 60 y un 80 por 100 de la inversión total en el caso de despliegue de fibra). La coordinación entre administra-

ciones, operadores y otras compañías de servicios (electricidad, gas), la simplificación en el otorgamiento de derechos de paso y/o el acceso a canalizaciones, y el impulso de acuerdos para la compartición de infraestructuras podrían reducir significativamente estos costes. Otras medidas como la desagregación de redes y/o el acceso de operadores alternativos resultan más complejas y su impacto potencial merecería otro tipo de análisis. Es importante destacar que, de acuerdo con los cálculos presentados, para que el despliegue de una RAU sea rentable se hace necesario contar con una cuota de mercado significativa, algo muy difícil de conseguir para un operador alternativo que pretendiera desarrollar desde cero su propia RAU con que competir con otra ya existente.

## V. CONCLUSIONES

El despliegue de RAU, indudablemente el elemento clave en la evolución a medio plazo del sector de las comunicaciones electrónicas, está amenazado por diversas incertidumbres. Una destaca de entre ellas: pese a las promesas futuras, en la actualidad no está claro que los servicios y aplicaciones que puedan ofrecerse mediante una RAU sean lo suficientemente atractivos como para garantizar que los usuarios estén dispuestos a pagar los precios necesarios para conseguir el retorno de la inversión. En este escenario de inseguridad, en el que los operadores están actualmente invirtiendo con suma prudencia, se hace necesario investigar sobre los aspectos económicos, financieros y de regulación de las RAU. El análisis presentado, si bien sencillo, permite extraer un conjunto de importantes consecuencias que se detallan a continuación:

— La inversión necesaria para desplegar una RAU que llegara al 100 por 100 de hogares y empresas en España en 2020 es, incluso en las condiciones más favorables, casi prohibitiva (alrededor de 12.000 millones de euros).

— VDSL2 es la tecnología más barata si existe línea telefónica y está suficientemente cerca de la central (20 por 100 de los casos). La mejora de las redes de cable (para cumplir con el estándar DOCSIS3.0) es la alternativa más barata para el despliegue de RAU en un 45 por 100 del número total de viviendas/empresas. La fibra hasta el hogar (FTTH) es la tecnología más cara en toda zona y circunstancia.

— La demanda en zonas rurales, de ser satisfecha, vendrá de la mano de tecnologías inalámbricas que además servirán para proporcionar caudales de datos medios en zonas urbanas. En estas áreas poco pobladas, el umbral de rentabilidad puede situarse en una densidad de población cercana a 100 habitantes/km<sup>2</sup>.

— La consecución de los objetivos marcados por el Plan Avanza y por la Agenda Digital para España se antoja muy difícil (en particular si se quieren garantizar razonablemente umbrales mínimos de calidad).

— Pueden tomarse medidas impulsoras pero no se atisba ninguna medida reguladora que fuera capaz de cambiar radicalmente el actual ritmo inversor de los operadores.

### NOTAS

(1) Existe una literatura considerable al respecto. Véase, por ejemplo BRITO *et al.* (2011), GÓMEZ BARROSO y FEUÓO (2009, 2010a) o NOAM (2010).

(2) NGAN en el acrónimo inglés.

(3) Expresión esta utilizada por la propia Comisión Europea en documentos como las Directrices para el empleo de ayudas estatales en el despliegue de redes de banda ancha.

(4) De hecho, en España, aunque posteriormente el éxito comercial no acompañó a los adjudicatarios, en octubre de 1999 se publicaron concursos para la adjudicación de seis licencias, tres en la banda de frecuencias comprendida entre 3,4 y 3,6 GHz y otras tres en la banda de 24,5 a 26,5 GHz. Según el último informe disponible de la CMT, referido a 2011, las líneas de banda ancha que utilizaban esta tecnología eran 2.621.

(5) En el futuro, otras tecnologías podrían sumarse a esta lista. Por ejemplo, Eutelsat anuncia que la nueva generación de satélites (operando en la banda Ka) será capaz de ofrecer un caudal de datos 35 veces superior al ofrecido en la actualidad (por los satélites que operan en la banda Ku), proporcionando caudales de bajada de hasta 10 Mb/s y 2 Mb/s de subida.

(6) EB significa *exabyte*. Un *exabyte* es 10<sup>18</sup> bytes.

(7) El valor escogido para las redes móviles es alto comparado con los caudales actualmente disponibles con alguna garantía de servicio. Sin embargo es una elección necesaria si es que se quiere construir un escenario donde las redes móviles sean una verdadera RAU alternativa.

(8) La nueva Agenda Digital para España, pendiente de una estrategia nacional de redes ultrarrápidas, no recoge ningún objetivo concreto para 2020 y sigue sin especificar la calidad del servicio (el caudal garantizado).

### BIBLIOGRAFÍA

ANALYSYS MASON (2008), *The costs of deploying fibre-based next-generation broadband infrastructure*, Informe para Broadband Stakeholder Group, localizable en: <http://www.ictregulation toolkit.org/en/Publication.3971.html>.

— (2009), *Competitive models in GPON*. Informe para Ofcom, localizable en: [http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/research/technology-research/Analysys\\_Mason\\_GPON\\_Final\\_R1.pdf](http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/research/technology-research/Analysys_Mason_GPON_Final_R1.pdf).

ANDREWS, J.G.; CLAUSSEN, H.; DOHLER, M.; RANGAN, S., y REED, M.C. (2012), «Femtocells: Past, present, and future», *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 30(3): 497-508.

BOCK, C.; CHANLOU, P.; FINOCHIETTO, J.M.; FRANZL, G.; HAJDUCZENIA, M.; KOONEN, T.; MONTEIRO, P.P.; NERI, F.; PRAT, J., y DA SILVA, H.J.A. (2008), «Architecture of future access networks», en J. PRAT (Ed.), *Next-generation FTTH passive optical networks. Research towards unlimited bandwidth access*, Springer Netherlands, pp. 5-46.

<p>BRITO, D.; PEREIRA, P., y VAREDA, J. (2011), «An assessment of the equality of access and no-regulation approaches to next generation networks», <i>Telecommunications Policy</i>, 35(9-10): 818-826.</p> <p>CÁRDENAS, A.; GARCÍA-MOLINA, M.; SALES, S., y CAPMANY, J. (2004), «A new model of bandwidth growth estimation based on the gompertz curve: application to optical access networks», <i>Journal of Lightwave Technology</i>, 22(11): 2460-2468.</p> <p>CISCO (2012), <i>Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2011-2016</i>. Localizable en: <a href="http://www.cisco.com/en/US/netsol/ns827/networking_solutions_sub_solution.html">http://www.cisco.com/en/US/netsol/ns827/networking_solutions_sub_solution.html</a>.</p> <p>COMISIÓN EUROPEA (2010), <i>A digital agenda for Europe</i>. Comunicación de la Comisión, COM(2010) 245 final, de 19 de mayo de 2010.</p> <p>— (2012), <i>Digital agenda scoreboard 2012</i>. Localizable en: <a href="https://ec.europa.eu/digital-agenda/sites/digital-agenda/files/KKAH12001ENN-PDFWEB_1.pdf">https://ec.europa.eu/digital-agenda/sites/digital-agenda/files/KKAH12001ENN-PDFWEB_1.pdf</a>.</p> <p>DERUYCK, M.; TANGHE, E.; JOSEPH, W., y MARTENS, L. (2011), «Modelling and optimization of power consumption in wireless access networks», <i>Computer Communications</i>, 34(17): 2036-2046.</p>	<p>FORGE, S.; BLACKMAN, C., y BOHLIN, E. (2005), <i>The demand for future mobile communications markets and services in Europe</i>. Technical Report Series EUR 21673 EN, Institute for Prospective Technological Studies-JRC-EC.</p> <p>GHOSH, A.; MANGALVEDHE, N.; RATASUK, R.; MONDAL, B.; CUDAK, M.; VISOTSKY, E.; THOMAS, T.A.; ANDREWS, J.G.; XIA, P.; JO, H.S.; DHILLON, H.S., y NOVLAN, T.D. (2012), «Heterogeneous cellular networks: From theory to practice», <i>IEEE Communications Magazine</i>, 50(6): 54-64.</p> <p>GÓMEZ BARROSO, J.L., y FEIJÓO, C. (2009), «Policy tools for public involvement in the deployment of next generation communications», <i>Info</i>, 11(6): 3-13.</p> <p>— (2010a), «A conceptual framework for public-private interplay in the telecommunications sector», <i>Telecommunications Policy</i>, 34(9): 487-495.</p> <p>— (2010b), «Directrices comunitarias para el empleo de ayudas estatales en el despliegue de redes de banda ancha. Una novedad conceptual», <i>Revista de Derecho Comunitario Europeo</i>, 36: 441-465.</p> <p>GÓMEZ BARROSO, J.L., y ROBLES ROVALO, A. (2008), «Wireless hopes for universal service in developing countries: an assessment of the Mexican context», <i>Info</i>, 10(5-6): 83-91.</p>	<p>IDATE (2012), <i>DigiWorld Yearbook 2012. The challenges of digital world</i>. Montpellier, France, IDATE.</p> <p>JEANJEAN, F. (2010), <i>Financing the next generation infrastructures. Consumer subsidies or infrastructure subsidies?</i> Ponencia presentada en EuroCPR 2010, Bruselas, 28-30 de marzo.</p> <p>JEFFERIES (2011), <i>Mobility 2020: How an increasingly mobile world will transform TMT business models over the coming decade</i>. Jefferies Investment Banking Research, localizable en: <a href="http://www.jefferies.com">http://www.jefferies.com</a>.</p> <p>JUKAN, A., y MAMBRETTI, J. (2012), «Evolution of optical networking toward rich digital media services», <i>Proceedings of the IEEE</i>, 100(4): 855-871.</p> <p>NOAM, E. (2010), «Regulation 3.0 for telecom 3.0», <i>Telecommunications Policy</i>, 34(1-2): 4-10.</p> <p>RADIO, N.; YING, Z.; TATIPAMULA, M., y MADISSETTI, V.K. (2012), «Next-generation applications on cellular networks: trends, challenges, and solutions», <i>Proceedings of the IEEE</i>, 100(4): 841-854.</p> <p>SECRETARÍA DE ESTADO DE TELECOMUNICACIONES Y PARA LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN, SETSI (2010), <i>Estrategia 2011-2015. Plan Avanza2</i>, localizable en: <a href="https://www.planavanza.es/InformacionGeneral/Estrategia2011/Documents/Estrategia_2011-2015_PA2.pdf">https://www.planavanza.es/InformacionGeneral/Estrategia2011/Documents/Estrategia_2011-2015_PA2.pdf</a>.</p>
---	--	---

## ANEXO

TABLA N.º A1

## RESUMEN DE DATOS DEMOGRÁFICOS (2001 PARA POBLACIÓN Y HOGARES, 2009 PARA EMPRESAS)

Zona Densidad de población	I >10.000 hab/km <sup>2</sup>	II 10.000-5.000 hab/km <sup>2</sup>	III 5.000-3.000 hab/km <sup>2</sup>	IV 3.000-1.000 hab/km <sup>2</sup>	V 1.000-500 hab/km <sup>2</sup>	VI 500-100 hab/km <sup>2</sup>	VII 100-50 hab/km <sup>2</sup>	VIII 50-10 hab/km <sup>2</sup>	IX 10-5 hab/km <sup>2</sup>	X < 5 hab/km <sup>2</sup>	Total
Número de municipios .....	17	28	46	175	209	946	745	2.705	1.444	1.797	<b>8.112</b>
Población total .....	2.707.360	6.300.119	3.832.203	8.596.709	5.016.333	11.326.891	3.574.008	4.406.394	668.735	317.055	<b>46.745.807</b>
Porcentaje de la población nacional .....	5,79	13,48	8,20	18,39	10,73	24,23	7,65	9,43	1,43	0,67	<b>100</b>
Superficie total (km <sup>2</sup> ) .....	179,14	1.086,33	969,99	5.278,55	7.103,38	50.561,39	52.638,58	185.348,40	92.937,96	108.573,47	<b>504.677,19</b>
Superficie por municipio .....	10,54	38,80	21,09	30,16	33,99	53,45	70,66	68,52	64,36	60,42	<b>62,21</b>
Porcentaje de la superficie total .....	0,04	0,22	0,19	1,05	1,41	10,02	10,43	36,73	18,42	21,49	<b>100</b>
Número de edificios .....	150.991	349.457	292.268	1.001.308	768.534	2.546.655	1.195.033	2.088.085	517.713	374.469	<b>9.284.513</b>
Habitantes por edificio .....	17,93	18,03	13,11	8,59	6,53	4,45	2,99	2,11	1,29	0,85	<b>5,03</b>
Densidad de edificios (edificios/km <sup>2</sup> ) .....	842,87	321,69	301,31	189,69	108,19	50,37	22,70	11,27	5,57	3,45	<b>18,40</b>
Número de hogares .....	956.677	2.076.924	1.170.050	2.509.817	1.406.991	3.106.774	1.056.207	1.486.870	273.065	143.794	<b>14.187.169</b>
Personas por hogar .....	2,63	2,74	2,95	2,88	2,91	2,96	2,93	2,78	2,55	2,37	<b>2,85</b>
Número de empresas .....	247.676	536.081	311.978	709.653	400.875	880.898	270.780	330.552	50.376	24.361	<b>3.763.229</b>
Edificios unifamiliares .....	40.449	113.402	145.482	614.181	542.133	1.833.646	921.000	1.706.285	442.955	323.816	<b>6.683.349</b>
Porcentaje de unifamiliares .....	27	32	50	61	68	73	77	82	86	87	<b>72</b>

Fuente: INE (2004, 2009).