

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/293820207>

Aplicación del análisis tecno-económico al despliegue de LTE en zonas rurales de España en la banda de 800MHz

Thesis · January 2015

DOI: 10.13140/RG.2.1.2943.7200

CITATIONS

0

READS

96

1 author:



[Catalina Ovando](#)

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP)

13 PUBLICATIONS 15 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Telecommunications Strategies in México [View project](#)

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
TELECOMUNICACIÓN



Aplicación del análisis tecno-económico al despliegue de
LTE en zonas rurales de España en la banda de 800MHz

TESIS DOCTORAL

María Catalina Ovando Chico

Licenciada en Ingeniería Electrónica y de Comunicaciones

2015

DEPARTAMENTO DE SEÑALES, SISTEMAS Y
RADIOCOMUNICACIONES

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE
TELECOMUNICACIÓN



Aplicación del análisis tecno-económico al despliegue de
LTE en zonas rurales de España en la banda de 800MHz

TESIS DOCTORAL

AUTOR:

María Catalina Ovando Chico

Licenciada en Ingeniería Electrónica y de Comunicaciones

DIRECTOR:

Jorge Pérez Martínez

Doctor Ingeniero de Telecomunicación

Catedrático de Universidad

Madrid, 2015



CAMPUS
DE EXCELENCIA
INTERNACIONAL

Tribunal nombrado por el Magfco. Y Excmo. Sr. Rector de la Universidad Politécnica de Madrid, el día de de 20 .

Presidente: _____

Secretario: _____

Vocal: _____

Vocal: _____

Vocal: _____

Realizando el acto de defensa y lectura de la Tesis el día de de 20 en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de , este Tribunal decide otorgar la calificación de

EL PRESIDENTE

EL SECRETARIO

LOS VOCALES

Agradecimientos

Hace algunos años este momento me parecía imposible. El doctorado me suponía tan difícil como escalar una gran montaña. Es por esto que a día de hoy quisiera agradecer a tantas personas el apoyo, sobre todo, personal y su fe en mis fuerzas y en el cumplimiento de esta misión.

Primero que nada, agradecer a Dios por tantas oportunidades en mi vida, pero en concreto por su gracia para acometer esta misión. A quien tengo plena seguridad que desde el cielo ha intercedido por mí, Fernando Rielo, y a quien he encomendado este trabajo desde su concepción hasta el final. A mi familia, quienes han creído en mí incluso más que yo misma, especialmente a mi padre y a mi madre. A mis hermanos de comunidad de quienes no he recibido nunca menos de exhortaciones y fortaleza para seguir en los momentos de oscuridad. En especial agradecer a Jesús, Mari Carmen, Luis, Fernando, Juana y Lourdes y a todos los que han orado por este día, muchas gracias. También, a quienes sin ser mis hermanas han sido miembros muy queridos de nuestra familia: Manola y Amparo.

A mi tutor, Jorge Pérez, de quien he aprendido tantas cosas, y a quien aprecio y admiro. A todos mis profesores, pero en especial, en esta última etapa, a mis también amigos Luis Mendo, Luis Castejón, José Manuel Riera, Miguel Pérez, José María Hernando, y a la última incorporación Silvia Serrano. A mis amigos del GTIC Ana, Antolín, Arturo, Carlos, Zoraida, Gustavo, Susana, a todos los becarios que han pasado por aquí, así como los miembros honorarios Carmen, José Luis y Jesús. No olvido tampoco a Mari Carmen y Maite de la secretaría, vecinas de despacho.

A mis amigos mexicanos Jonathan, Joel, Lupita, Miguel y Alexis, que aunque es venezolano se unía al grupo. A mis amigas Violeta y Mailín con quienes he compartido tantas cosas. A los capellanes universitarios de esta escuela Fran, Isidro y Javier y a todos los amigos que hemos encontrado un momento de paz, ánimo y verdadera amistad en la capilla de Teleco.

No me olvido tampoco de agradecer a CONACyT que me ha dado la oportunidad de estudiar este doctorado. Tampoco a otros profesores, académicos y hasta mis revisores de las revistas que me han ayudado a mejorar mi trabajo.

Muchas gracias a todos.

ÍNDICE

RESUMEN	VII
ABSTRACT	IX
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 INTRODUCCIÓN	11
1.2 ANTECEDENTES	12
1.2.1 CAMBIO EN LA POLÍTICA DE GESTIÓN DEL ESPECTRO Y REVOCACIÓN DE LA DIRECTIVA GSM.....	12
1.2.2 UNA AGENDA DIGITAL PARA EUROPA.....	16
1.2.3 INTRODUCCIÓN DE CAMBIOS EN LA GESTIÓN DEL ESPECTRO EN LA REGULACIÓN ESPAÑOLA	18
1.2.4 AGENDA DIGITAL ESPAÑOLA	22
1.2.5 LEY 9/2014, DE 9 DE MAYO, DE TELECOMUNICACIONES	24
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA TESIS	26
1.4 OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	30
1.5 ELEMENTOS METODOLÓGICOS	32
1.6 ESTRUCTURA DE LA TESIS Y CONTRIBUCIONES.....	35
CAPÍTULO 2. CLAVES Y RETOS DE LA UNIVERSALIZACIÓN DE LA BANDA ANCHA DE 30 MBPS	39
2.1 INTRODUCCIÓN	39
2.2 ANÁLISIS COMPARADO DE LA UNIVERSALIZACIÓN DE 30 MBPS EN EUROPA.....	40
2.2.1 ALEMANIA.....	43
2.2.2 FRANCIA.....	44
2.2.3 ITALIA	45
2.2.4 REINO UNIDO	47
2.3 ESCENARIOS DE DEMANDA PREVISTOS PARA ESPAÑA.....	49
2.3.1 INVERSIONES EN EL SECTOR DE LAS COMUNICACIONES MÓVILES EN ESPAÑA.....	49
2.3.2 ESCENARIOS DE DEMANDA.....	51
CAPÍTULO 3. MODELO TECNO-ECONÓMICO	57
3.1 INTRODUCCIÓN	57
3.2 MODELO ROCKET	58
3.2.1 ESQUEMA GENERAL DEL MODELO ROCKET.....	58
3.2.2 ESTIMACIÓN DE COSTES	62
3.3 CLASIFICACIÓN GEOGRÁFICA	64
3.3.1 CLASIFICACIÓN DE MUNICIPIOS DE MENOS DE 5000 HABITANTES	65

3.3.2 CLASIFICACIÓN DE MUNICIPIOS PARA ESTUDIO INCREMENTAL	70
3.4 MODELO TÉCNICO RADIO	73
3.5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	78
3.6 DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO BASE EN CADA UNO DE LOS ESTUDIOS REALIZADOS.....	80
3.6.1 DESCRIPCIÓN DEL CASO BASE “PROVISIONANDO 30 MBPS AL TERCIO FINAL DE LA POBLACIÓN”	80
3.6.1.1 Motivación de estudio	80
3.6.1.2 Descripción del escenario base	80
3.6.2 VIABILIDAD DEL DESPLIEGUE DE LTE EN LOS MUNICIPIOS ESPAÑOLES DE MENOS DE 5000 HABITANTES .	81
3.6.2.1 Motivación del Estudio.....	81
3.6.2.2 Descripción del escenario base	82

CAPÍTULO 4. PRINCIPALES RESULTADOS DEL MODELO TECNO-ECONÓMICO: PROVISIÓN DE BANDA ANCHA MÓVIL EN LAS ZONAS RURALES DE ESPAÑA..... 87

4.1 INTRODUCCIÓN	87
4.2 PROVISIONANDO 30 MBPS AL TERCIO FINAL DE LA POBLACIÓN	88
4.2.1 CAPEX DE ACCESO REQUERIDO PARA CUBRIR EL TERCIO FINAL DE LA POBLACIÓN	88
4.2.2 REPARTO DE COSTES DE CAPEX TOTAL Y OPEX RELATIVO A LA RED.....	89
4.2. 3 COSTE POR DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL TERCIO FINAL DE LA POBLACIÓN	90
4.2. 3.1 Urban.....	91
4.2. 3.2 Suburban 1	92
4.2. 3.3 Suburban 2 y Rural 1	92
4.2. 3.4 Rural 2, 3 y 4.....	92
4.2. 3.5 Open	93
4.2. 3.6 Coste de capital y operativo de la red de acceso por usuario y por hogar	93
4.3 VIABILIDAD DEL DESPLIEGUE DE LTE EN LOS MUNICIPIOS ESPAÑOLES DE MENOS DE 5000 HABITANTES	95
4.3.1 COSTE DE LA PROVISIÓN DEL SERVICIO	95
4.3.2 ARPU REQUERIDO EN LOS TRES ESCENARIOS DE DEMANDA	100
4.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	104
4.4.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	107
4.4.2 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	109

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO 113

5.1 PRINCIPALES CONCLUSIONES.....	113
5.2 PROVISIONANDO 30 MBPS AL TERCIO FINAL DE LA POBLACIÓN	115
5.2.1 EL PUNTO DE PARTIDA DESPLIEGUE NGA FIJAS EN ESPAÑA.....	115
5.2.2 PRINCIPALES RESULTADOS	116
5.3 VIABILIDAD DEL DESPLIEGUE DE LTE EN LOS MUNICIPIOS ESPAÑOLES DE MENOS DE 5000 HABITANTES	119
5.3.1 CONSIDERACIONES INICIALES AL ESTUDIO	119

5.3.2 PRINCIPALES RESULTADOS	120
5.3.3 RESULTADO DE LA COMPARATIVA DE LA PROVISIÓN DEL SERVICIO BÁSICO EN LOS ESCENARIOS DE DEMANDA	121
5.4 PRINCIPALES RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	123
5.5 IMPLICACIÓN DE POLÍTICA PÚBLICA SOBRE LA PROBLEMÁTICA ABORDADA	125
5.5.1 SOBRE LA UNIVERSALIZACIÓN DE LA BANDA ANCHA DE 30 MBPS PROPUESTA POR LA AGENDA DIGITAL	125
5.5.2 TAKE-UP Y EL ARPU REQUERIDO	125
5.5.3 CONSUMO CRECIENTE DE DATOS	126
5.6 LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO	127
ACRÓNIMOS	129
REFERENCIAS	135

TABLA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: BANDAS DE FRECUENCIA SEÑALADAS EN LA INICIATIVA WAPECS (PÉREZ, MORAL, & OVANDO, 2009).....	13
ILUSTRACIÓN 2: REPARTO DE ESPECTRO DE LAS PRINCIPALES BANDAS DE COMUNICACIONES MÓVILES. FUENTE:(VENTURA, 2013).....	20
ILUSTRACIÓN 3: METODOLOGÍA UTILIZADA.....	34
ILUSTRACIÓN 4: PORCENTAJE DE HOGARES CON DISPONIBILIDAD DE ACCESOS NGA.....	41
ILUSTRACIÓN 5: PORCENTAJE DE LÍNEAS SUSCRITAS A BANDA ANCHA IGUAL O MAYOR A 30 MBPS.....	41
ILUSTRACIÓN 6: PORCENTAJE DE HOGARES SUSCRITOS A BANDA ANCHA	41
ILUSTRACIÓN 7: ARPU ANUAL MÓVIL E INVERSIÓN NGA MEDIA POR HOGAR. FUENTE: (YOO, 2014).	42
ILUSTRACIÓN 8: NGA RURAL: ÁREA CUBIERTA Y HOGARES CUBIERTOS. FUENTE: (YOO, 2014).	43
ILUSTRACIÓN 9: EVOLUCIÓN DE LAS LÍNEAS MÓVILES EN ESPAÑA. FUENTE: (CNMC, 2014).	50
ILUSTRACIÓN 10: EVOLUCIÓN DE LAS LÍNEAS DE BANDA ANCHA FIJA POR TECNOLOGÍA. FUENTE: (CNMC, 2014).....	50
ILUSTRACIÓN 11: EVOLUCIÓN DE HOGARES CON BANDA ANCHA EN ESPAÑA. FUENTE: (ONTSI, 2013).	52
ILUSTRACIÓN 12: PERFILES DE USUARIO CON ACCESO A INTERNET. FUENTE: (ONTSI, 2013).	52
ILUSTRACIÓN 13: PENETRACIÓN EN LOS PAÍSES EU5 Y PROLONGACIÓN CON EL ALGORITMO PROPUESTO.	53
ILUSTRACIÓN 14: ESCENARIOS FINALES DE DEMANDA DE BA Y VHBB EN PORCENTAJE DE HOGARES.	54
ILUSTRACIÓN 15: DIMENSIONAMIENTO DE RED LTE.....	58
ILUSTRACIÓN 16: DIAGRAMA DE FLUJO DEL ANÁLISIS TECNO-ECONÓMICO	59
ILUSTRACIÓN 17: MUNICIPIOS CON MENOS DE 5000 HABITANTES.....	65
ILUSTRACIÓN 18: MUNICIPIOS CON DISPONIBILIDAD DE BANDA ANCHA IGUAL O MAYOR A 50 MBPS.....	66
ILUSTRACIÓN 19: MUNICIPIOS DE MENOS DE 5000 HABITANTES EN GEOTIPOS.	67
ILUSTRACIÓN 20. INVERSIÓN ACUMULADA CON DIFERENTES NGAN PARA UN TAKE-UP DEL 25%.....	89
ILUSTRACIÓN 21: CAPEX TOTAL ACUMULADO PARA UN TAKE-UP DEL 25%.....	89
ILUSTRACIÓN 22: OPEX TOTAL ACUMULADO PARA UN TAKE-UP DEL 25%.....	90
ILUSTRACIÓN 23: CAPEX POR HOGAR CONECTADO EN LAS DIFERENTES DISTRIBUCIONES GEOGRÁFICAS.	91
ILUSTRACIÓN 24: COSTE DE LA PROVISIÓN DE 30 MBPS CON LTE POR USUARIO, HOGAR Y POR HOGAR CON TERMINAL DE USUARIO.	93
ILUSTRACIÓN 25: DELIMITACIÓN GEOGRÁFICA DEL ESTUDIO.....	95
ILUSTRACIÓN 26: CAPEX Y CAPEX+OPEX ACUMULADO EN LOS DOS ESCENARIOS DE RED.....	96
ILUSTRACIÓN 27: COMPARATIVA DE COSTES Y AHORRO EN AMBOS ESCENARIOS DE RED. SERVICIOS PLATINO Y BÁSICO.....	97
ILUSTRACIÓN 28: ARPU REQUERIDO EN EL ESCENARIO SIN COMPARTICIÓN.	99
ILUSTRACIÓN 29: ARPU REQUERIDO EN EL ESCENARIO DE COMPARTICIÓN PASIVA	99
ILUSTRACIÓN 30: ARPU REQUERIDO PARA PROVEER EL SERVICIO BÁSICO EN LOS 3 ESCENARIOS DE DEMANDA.....	100
ILUSTRACIÓN 31: PRONÓSTICO SOBRE EL VALOR ACTUAL NETO.....	104
ILUSTRACIÓN 32: PRONÓSTICO SOBRE LA TASA INTERNA DE RETORNO	105
ILUSTRACIÓN 33: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SOBRE EL VALOR ACTUAL NETO.....	106
ILUSTRACIÓN 34: ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SOBRE LA TASA DE RETORNO INTERNA.	106

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. RESULTADOS DE LA SUBASTA Y COMPROMISOS DE DESPLIEGUE EN LAS BANDAS DE 800, 900, 1800 Y 2600 MHz	21
TABLA 2. FOMENTAR EL DESPLIEGUE DE REDES Y SERVICIOS PARA GARANTIZAR LA CONECTIVIDAD DIGITAL. SUBOBJETIVOS Y LÍNEAS DE ACTUACIÓN	23
TABLA 3. INDICADORES DE BANDA ANCHA (COMISIÓN NACIONAL DE LOS MERCADOS Y LA COMPETENCIA, 2014; MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO, 2013B; MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO, 2013C).	23
TABLA 4: INDICADORES DE OBJETIVOS DE EUROPA 2020. ELABORACIÓN PROPIA A PARTIR DE:(COMISIÓN EUROPEA, 2014A; COMISIÓN EUROPEA, 2014B)	40
TABLA 5: INVERSIONES ANUALES DE LOS OPERADORES. FUENTE: (CMT, 2012)	49
TABLA 6: EVOLUCIÓN DE ACCESOS INSTALADOS POR TECNOLOGÍAS.....	51
TABLA 7: ESCENARIOS DE DEMANDA	54
TABLA 8: COSTE UNITARIO DE EQUIPAMIENTO Y ELEMENTOS DE RED MODELO ROCKET	62
TABLA 9: INDICADORES AÑADIDOS AL ESTUDIO DE VERGARA (2011) PARA EL ESTUDIO DE PROVISIÓN DE LA BANDA ANCHA DE 30 MBPS CON TECNOLOGÍA LTE.....	65
TABLA 10: RESUMEN DE LOS GEOTIPOS CONSIDERADOS. VALORES MEDIOS.....	66
TABLA 11: PARÁMETROS ROCKET PARA CADA GEOTIPO	68
TABLA 12: GEOTIPOS UTILIZADOS EN ESTUDIO DE VIABILIDAD. VALORES TOTALES.	69
TABLA 13: DESPLIEGUE NACIONAL RURAL NACIONAL.	69
TABLA 14: GEOTIPOS VERGARA (2011) ORDENADOS DE MAYOR A MENOR INVERSIÓN. FUENTE: VERGARA (2011) 5.3 INVERSIÓN REQUERIDA	70
TABLA 15: GEOTIPOS ESTUDIO INCREMENTAL DE INVERSIÓN REQUERIDA	72
TABLA 16: VARIABLES DE ENTRADA MODELO TÉCNICO	75
TABLA 17: TABLAS DE TRÁFICO VS RADIO CELULAR.....	77
TABLA 18: PREGUNTAS A RESPONDER CON EL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	79
TABLA 19: TABLA RESUMEN DE TABLA 15 Y DEMANDA BA A PARTIR DE VERGARA (2011)	81
TABLA 20: PARÁMETROS TÉCNICOS Y DE SERVICIO PARA LAS TECNOLOGÍAS UTILIZADAS	81
TABLA 21: TABLA COMPARATIVA DE PARÁMETROS TÉCNICOS DE LOS 2 ESTUDIOS DESARROLLADOS.....	84
TABLA 22: TABLA RESUMEN COMPARATIVA DE PRECIOS DE SERVICIOS DE BANDA ANCHA	102
TABLA 23: VARIABLES QUE IMPACTAN EN EL RESULTADO.....	107
TABLA 24: VARIABLES QUE NO TIENEN IMPACTO EN EL RESULTADO. TIPO DE VARIABLE D: DEMANDA, E: ECONÓMICA Y T: TÉCNICA.....	107

RESUMEN

Desde el establecimiento de la Agenda digital para Europa, los Estados sujetos a dicha regulación se han visto ante el reto de desarrollar la mejor estrategia para su cumplimiento. Pese a no ser dicha normativa de carácter obligatorio, España ha hecho de ésta, iniciativa clave en su estrategia nacional de banda ancha. El primer paso fue el establecimiento del Servicio Universal (SU) de banda ancha en 2011. Desde entonces, todo el país se encuentra totalmente cubierto. Respecto al objetivo de al menos 50% de hogares conectados a banda ancha de 100 Mbps en 2020, se asume que se alcanzará a través de redes de acceso de nueva generación (NGA) fijas. Sin embargo, existen ciertas dudas acerca del cumplimiento del objetivo de cobertura universal con 30 Mbps, especialmente en las zonas rurales. Debido a la cobertura casi nacional de redes móviles, se cree que LTE podría ser la solución más eficiente en costes para alcanzar dicho objetivo.

Esta tesis estudia el coste de provisionar banda ancha de al menos 30 Mbps a los municipios en los cuales se encuentra el tercio final de la población española, los cuales se clasifican en geotipos. Se comparan tecnologías móviles y fijas a fin de determinar la tecnología más eficiente en costes en cada caso. Asimismo, se discute el límite demográfico para las redes fijas (fibra óptica, cable o cobre). De igual manera, se evalúa si es viable para un operador proveer banda ancha móvil de 30 Mbps en la zona rural española, y de no ser posible, si la compartición pasiva de infraestructuras podría brindar la viabilidad requerida para fomentar la inversión. La investigación se realiza a través de un análisis tecno-económico en un escenario competición basada en infraestructuras. Se emplea un método de flujo de caja descontado, para determinar el coste total del despliegue y el mínimo ingreso por usuario (ARPU) requerido para recuperar la inversión en dos enfoques de red: compartición pasiva y sin compartición. Por otra parte, se construyen tres escenarios de demanda, basados en previsiones de banda ancha para el año 2020, a fin de estimar la adopción por red y el ARPU en el área estudiada.

Los resultados confirman que LTE es la tecnología más eficiente en costes para el tercio final de la población. No obstante, VDSL capaz de proveer hasta 50 Mbps en viabilidad del 75% al 90% de la población española. Para esta franja de población, debe fomentarse la competición entre las plataformas LTE y VDSL. Respecto a los municipios en los cuales se encuentran del 90% al 98,5% de la población, la plataforma móvil LTE es la más apropiada. Además, ha quedado de manifiesto que no es posible proveer de manera viable 30 Mbps al 1,5% final de la población, debido a la escasa densidad de población y las previsiones de adopción nada optimistas. Los resultados también indican que las características socioeconómicas del área estudiada, la alta sensibilidad de la población al precio y la existencia de otros productos de banda ancha, obligan al operador a reducir sus ingresos. A consecuencia de lo anterior, únicamente niveles muy altos de adopción a la red podrían brindar la viabilidad requerida al despliegue. La investigación muestra que la compartición pasiva de infraestructuras, en sí misma, no constituye una solución; mientras que un despliegue de red único podría resolver el problema de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps en las zonas rurales de España.

Palabras clave

Redes de acceso móviles de próxima generación, regulación, análisis tecno-económico, LTE, Europa 2020, Agenda Digital.

ABSTRACT

Since the Digital Agenda for Europe (DAE) was established, most of the countries involved are searching for the best strategy to achieve it. Despite the DAE objective dates not being mandatory; Spain has made them key issues in the national broadband strategy. The first step was the 2011 broadband Universal Service Commitment (USC). Since then, the country has been totally covered. As regards the at least 50% of households connected to speeds above 100 Mbps by the 2020 objective, it is assumed that this objective will be achieved through fixed Next Generation Access (NGA) networks. However, there are some uncertainties about how to achieve the objective of providing coverage of more than 30 Mbps for all citizens, especially in rural areas. Due to the almost national wide wireless networks coverage, it is believed that LTE could be the most cost-efficient solution to achieve the 30 Mbps objective.

This thesis assesses the cost of providing over 30 Mbps broadband for the final third of Spain's population in municipalities, which are classified into area types, referred to as geotypes. Fixed and mobile technologies are compared in order to determine the most cost-effective technology for each geotype. The demographic limit for fixed networks (cable, fiber and copper) is discussed. In the same vein, the thesis also evaluates whether it is feasible for an LTE operator to deliver a 30 Mbps fixed service in rural areas in Spain and if this is not the case, whether passive network sharing could make it feasible. The research is conducted through a techno-economic assessment in an infrastructure competition scenario. A discounted cash flow method is used to determine the total cost of the deployment for the operator and the minimum average revenue per user (ARPU) which would be required to recover the investment in both approaches: passive network sharing and non-sharing. On the other hand, the three demand scenarios that were considered, depending on the envisaged Spanish broadband penetration by 2020, attempt to calculate what take-up and ARPU are likely in the targeted rural areas.

The results confirm that LTE is the most cost-effective technology for the final third of the population. However, VDSL could also provide 50 Mbps from 75% to 90% of the Spanish population cost efficiently. For this population gap, facility based competition between VDSL providers and LTE providers must be encouraged. Regarding 90% to 98.5% of the Spanish population, LTE deployment is the most appropriate. Furthermore, it has become clear that it is not possible to deliver 30Mbps to the final 1.5% of the population cost-efficiently and adoption predictions are not optimistic either. The results also indicate that, given the socio-economic characteristics of the assessed area, demand is very sensitive to price and that the existence of other broadband products forces the operator to lower the ARPU. As a result, only very high take-up ratios would make the deployment feasible. The research shows that passive network sharing, by itself, does not constitute a solution; nevertheless, a single network deployment could solve the unfeasibility problem in rural areas.

Keywords

Next Generation Mobile Networks, Policy, Techno-economics, LTE, Europe2020, Digital Agenda.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

En el año 2010 la Comisión Europea publicó la comunicación “Una Agenda digital para Europa” (Comisión Europea, 2010b). En el punto 2.4 de dicho documento se contemplaba el Acceso rápido y ultrarrápido a internet bajo la siguiente consigna:

“Necesitamos una internet muy rápida para que la economía crezca vigorosamente y genere puestos de trabajo y prosperidad, así como para garantizar que los ciudadanos puedan acceder a los contenidos y servicios que desean.”.
(Comisión Europea, 2010c)

En el mismo documento continuaba explicando el motivo por el cual proponía dicho objetivo político y exponía las acciones, a este respecto, de la más conocida como Europa 2020.

La economía del futuro será una economía del conocimiento basada en redes cuyo centro será internet. Europa necesita un acceso a internet rápido y ultrarrápido generalizado y a un precio competitivo. La estrategia Europa 2020 ha subrayado la importancia del despliegue de la banda ancha para fomentar la inclusión social y la competitividad en la UE. Ha reafirmado el objetivo de poner la banda ancha básica a disposición de todos los europeos a más tardar en 2013 y se propone que, para 2020, i) todos los europeos tengan acceso a unas velocidades de internet muy superiores, por encima de los 30 Mbps, y que ii) el 50 % o más de los hogares europeos estén abonados a conexiones de internet por encima de los 100 Mbps.

Cabe señalar que para el objetivo del Servicio Universal (SU) de banda ancha, no se fijó ninguna velocidad concreta. Por el contrario, se permitió que cada Estado Miembro estableciera lo que mejor se ajustara a sus características geográficas, demográficas y económicas. Con respecto a los objetivos propuestos para el año 2020, iniciaba el debate sobre la mejor forma de conseguirlo en cada país.

En el caso concreto de España, en el año 2011 se cumplió con el primer objetivo. Así el Servicio Universal de Banda Ancha se incorporaba a la Ley de Economía Sostenible. Respecto al segundo objetivo para el año 2020, se espera que cumplan con redes fijas de nueva generación, tales como Fibra Óptica y HFC. Esta información se ha corroborado con un informe de la Comisión Europea (Comisión Europea, 2012), en el que asegura que los Estados Miembros disponen ya de un 40% de cobertura de este tipo de redes. Según publicó el Ministerio de Industria, Energía y Turismo en febrero de 2013 (MINETUR, 2013), se aseguraba que el 47% de la población está cubierta con tecnologías capaces de brindar banda ancha a más de 100 Mbps, concretamente HFC y FTTH.

Sin embargo, respecto al objetivo de brindar banda ancha de 30 Mbps al 100% de la población, hay serias dudas sobre la mejor tecnología para proveerla. Existen diferentes tecnologías de acceso fijo y móvil capaces de ofrecer banda ancha a la velocidad antes citada. Al parecer las tecnologías de acceso fijo, y especialmente, FTTH y VDSL, serán las preponderantes; sin embargo la cuestión, la dificultad y el debate se centran en cómo conseguir dar esos 30 Mbps en las zonas rurales.

Las tecnologías móviles, tales como LTE y WiMAX pueden ser la solución a éste problema, ya que ambas son capaces de brindar banda ancha a 30 Mbps. Es importante mencionar que, al ser un medio compartido, no podemos hablar de velocidad asegurada, ya que existen diferentes factores tales como ancho de banda, usuarios simultáneos y condiciones de canal, que influyen en dicha velocidad de banda ancha. LTE se ve como la tecnología con mayor éxito comercial, lo cual influye directamente en el precio de los equipos y terminales de usuario. Además, un gran número de operadores móviles se han adherido ya a esta tecnología o tienen planes de despliegue de LTE.

En la pasada Subasta de Espectro Radioeléctrico de España (MINETUR, 2011), se vincularon obligaciones de cobertura a los operadores que resultaran licenciatarios de 2 bloques de 2x5 MHz FDD en la banda de 800MHz. Esta obligación recayó en Telefónica, Vodafone y Orange, quienes están obligados a proveer, de manera conjunta, banda ancha de 30 Mbps al 90% de municipios de menos de 5.000 habitantes. Con esta medida, el gobierno pretende cumplir el objetivo más conflictivo de la Europa 2020.

La pregunta que sigue latente es si el despliegue de la tecnología LTE en la banda de 800 MHz es una solución eficiente en costes para resolver este problema, o si por el contrario, el gobierno se ha equivocado al introducir requisitos demasiado exigentes a los operadores y, si este último es el caso, qué condiciones se deben dar. Debates como la compartición de infraestructuras, activa y pasiva, y sobre la competencia de servicio en vez de infraestructuras están sobre la mesa.

En este marco, el presente trabajo de investigación analiza, mediante un estudio tecno-económico, la viabilidad de brindar banda ancha fija de 30 Mbps con la tecnología LTE en la banda de 800 MHz a municipios de menos de 5.000 habitantes en España, conforme al objetivo propuesto por la Agenda Digital Europea para el año 2020. Además, se evalúa la compartición pasiva de infraestructuras como una solución al problema de la viabilidad en dichos municipios. Finalmente, se determinan los factores de mayor influencia en el estudio a fin de brindar una recomendación acerca de la dirección de las medidas y políticas públicas para el cumplimiento del objetivo.

1.2 Antecedentes

A continuación se hará una breve revisión de los cambios regulatorios en la política de gestión del espectro que permitieron la liberalización de las bandas de 800, 900, 1800 y 2600, entre otras y la posterior utilización de esta para diferentes aplicaciones, tales como la banda ancha móvil.

1.2.1 Cambio en la política de gestión del espectro y revocación de la directiva GSM

En el año 2002, la CEPT, publicó dos documentos de gran relevancia en la política del espectro: *“Refarming and secondary trading in a changing radio-communications World”* y *“The role of spectrum pricing as a means of supporting spectrum management”* (ECC-CEPT, 2002a; ECC-CEPT, 2002b). En el mismo año, países como Australia, Reino Unido y Estados Unidos sometieron a revisión la regulación del espectro vigente. Algunos autores (Pogorel, 2003) denominaron este cambio como un punto de partida en la visión tradicional de los

Capítulo 1. Introducción

derechos de uso del espectro radioeléctrico. Cave (2002) afirmaba que el principal objetivo de la política de gestión del espectro es alcanzar la mayor eficiencia posible de su uso. De esta manera, introducía el concepto de eficiencia, técnica, económica y social que debe caracterizar dicha gestión debido a que el espectro radioeléctrico es un bien de dominio público limitado.

Entre los debates más relevantes que se introducían estaban los siguientes:

- Tipos de licencias, derechos de uso (exclusivos o no);
- Cobertura geográfica
- Flexibilidad de servicio (posibilidad de permitir cualquier servicio, una determinada categoría de servicios o un servicio exclusivo)
- Flexibilidad de tecnología (posibilidad de implementar el servicio designado o la categoría de servicio designada a través de una tecnología determinada, un grupo de tecnologías determinadas o una tecnología exclusivamente)
- Tiempos de aplicación de las nuevas medidas: las medidas de corto plazo son más acordes a la naturaleza pública del espectro y más abiertas al cambio y a la innovación. Por otro lado, las medidas a largo plazo dan lugar a derechos de propiedad más sólidos y deben proporcionar mayor visibilidad y certidumbre, aunque existe el riesgo de rigidez respecto a la competencia y los cambios tecnológicos

En el año 2005 el grupo de regulación del espectro radioeléctrico de la Comisión Europea (RSPG), identificó la región de 470-862 MHz, antes utilizadas para la radiodifusión de televisión analógica, dentro de la iniciativa WAPECS (RSPG, 2005). Dicha iniciativa alentaba a los Estados Miembros a introducir herramientas de flexibilización en las bandas señaladas en el documento, con el fin de orientarla a una mayor eficiencia. Es preciso recordar que por ese tiempo, dichas bandas estaban restringidas a un determinado uso y tecnología designada desde su adjudicación.

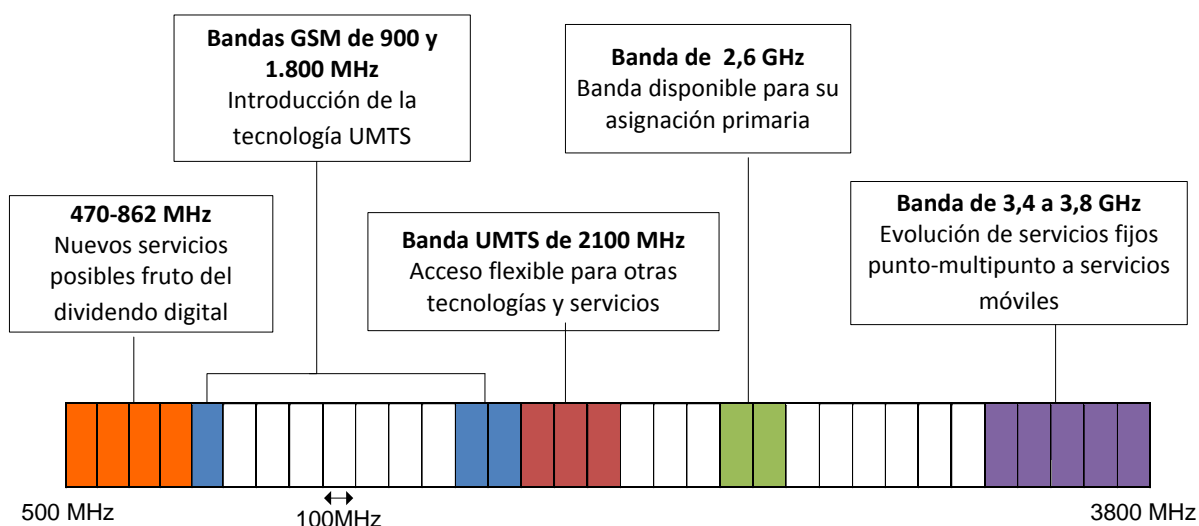


Ilustración 1: Bandas de frecuencia señaladas en la iniciativa WAPECS (Pérez, Moral, & Ovando, 2009).

Capítulo 1. Introducción

La iniciativa WAPECS (Radio Spectrum Policy Group, 2005) fue el punto de partida, en el caso de la Unión Europea, para la aplicación de un nuevo enfoque de mercado en la política de gestión del espectro. Éste fue uno de los elementos centrales de la revisión del marco regulador de las comunicaciones electrónicas llevado a cabo por la Comisión en 2007, habiéndose introducido en las diferentes directivas los principios necesarios para su implementación. Con estas medidas se esperaba aprovechar mejor la capacidad de innovación y de generación de nuevos servicios que posee el sector de las comunicaciones electrónicas así como dar respuesta a la convergencia creando oportunidades para todos los sectores involucrados en igualdad de condiciones, algo “*capaz de contribuir enormemente al impulso del crecimiento económico y la competitividad en Europa*” (Comisión Europea, 2007). A la modificación de las condiciones de las licencias otorgadas en las distintas bandas de frecuencia, se le conoce como *refarming*. La CEPT definió *refarming* como una combinación de medidas administrativas, financieras y técnicas, presentes y futuras, dentro de los límites de regulación de frecuencias, con el objeto de hacer una banda de frecuencia específica disponible a otro tipo de uso o tecnología (Pérez & Ovando, 2008).

A continuación se describen las bandas de frecuencia de la iniciativa WAPECS

Banda de frecuencias 470-862 MHz: El dividendo digital

El proceso de transición del sistema de televisión analógico al digital abrió la puerta a la introducción de nuevos servicios en las frecuencias actualmente utilizadas por los servicios de radiodifusión como consecuencia de la mayor eficiencia espectral que aporta la digitalización. Las características particulares de esta banda de frecuencias la convierten en idónea para un gran número de servicios diferentes, cada uno de ellos con sus propios beneficios sociales y económicos. Así, además de aumentar la oferta de canales de televisión y de impulsar el desarrollo de emisiones de alta definición, parte de las frecuencias se asignaron a otros usos, principalmente para la prestación de servicios móviles.

En este sentido, las excelentes propiedades de propagación de la banda de 800 MHz, similares a las de la banda de 900 MHz, reduce los costes de despliegue de servicios de banda ancha móvil en zonas rurales contribuyendo así a universalizar los servicios de acceso de banda ancha. La reserva de parte de estas frecuencias para servicios móviles se materializó en la Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones de 2007 organizada por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) con la definición de los servicios móviles como servicios primarios de manera conjunta con los servicios de radiodifusión en la banda de 790-862MHz a partir de 2015 en Europa (Pérez et al., 2009).

Las bandas GSM de 900 y 1800 MHz y la banda de UMTS 2100 MHz

La introducción de una mayor flexibilidad en las bandas asignadas a la tecnología GSM se inició mediante la enmienda a la directiva 87/372/CEE, con la directiva 2009/114/CE, que abre las bandas de frecuencia de 890-915 MHz y 935-960 MHz (la banda de 900 MHz) al Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (UMTS) y a otros sistemas terrenales capaces de prestar servicios de comunicaciones electrónicas que pueden coexistir con el Sistema Global de Comunicaciones Móviles (GSM). Respecto a las bandas de frecuencias de 1710-1785 MHz y 1805-1880 MHz (la banda de 1800 MHz), que estaban disponibles para la explotación del GSM,

indica que debe abrirse también, en las mismas condiciones que la banda de 900 MHz, a otros sistemas terrenales capaces de prestar servicios de comunicaciones electrónicas que pueden coexistir con los sistemas GSM. En ambas bandas de frecuencias debía prevalecer el principio de neutralidad tecnológica y de servicio. La aplicación de esta medida conllevaba ventajas evidentes al permitir la evolución hacia tecnologías más avanzadas capaces de prestar servicios interoperables de voz, datos y multimedia con un mayor ancho de banda. Así mismo, el despliegue de UMTS en frecuencias más bajas (900MHz) permitirá extender la cobertura actual de los servicios 3G a las zonas rurales y menos densamente pobladas así como mejorar la calidad de la cobertura en las zonas urbanas, especialmente en interiores.

Respecto a la banda de frecuencias de 2100 MHz, la iniciativa WAPECS únicamente señalaba la necesidad de flexibilizar las condiciones de la licencia con los principios de neutralidad tecnológica y de servicios.

La banda de 2,6 GHz y la banda de 3,4 a 3,8 GHz

Estas dos bandas de frecuencias se han puesto a disposición de la prestación de servicios de comunicaciones electrónicas bajo los principios de comercialización y neutralidad tecnológica y de servicios a través de dos decisiones recientes de la Comisión Europea. De esta manera, la banda de 2,6 GHz dio lugar a un conjunto de oportunidades a los países europeos al permitir el despliegue de nuevas tecnologías (como LTE, LTE Advanced o WiMAX), permitir la entrada al mercado móvil de nuevos operadores o asignar espectro adicional a los operadores existentes. En el caso de la banda de 3,5 GHz, esta decisión supuso que se pudiesen modificar las licencias de los operadores que prestan actualmente servicios fijos punto a multipunto en la banda de 3.400 a 3.600 MHz para permitir la prestación de servicios en movilidad.

Peligros a la competencia y soluciones propuestas

Las características de las bandas inferiores a 1 GHz ofrecen mejores condiciones de propagación que conllevan sustanciales beneficios económicos a la industria móvil. Dichos beneficios se derivan de brindar mayor cobertura y una mejora sustancial en la calidad de la señal en interiores usando un menor número de estaciones base. La repercusión directa del ahorro en costes se refleja en una reducción de los costes de capital (CAPEX) y los costes operativos asociados a la red. Es por esto que las bandas bajas se proponen en numerosos documentos como una solución para brindar servicios de banda ancha en zonas rurales.

Sin embargo, la disposición o no de frecuencias bajas, así como el método de asignación de éstas puede generar distorsiones a la competencia. Es por esta razón que el Grupo de Entidades Reguladoras Europeas (European Regulators Group-ERG) y el RSPG publicaron un informe concerniente a los posibles peligros a la competencia surgidos en la gestión del espectro radioeléctrico y otro específico a los problemas específicos que pudiesen surgir en la transición al cambio del modelo de gestión (ERG & RSPG, 2009a; ERG & RSPG, 2009b). El segundo documento, el cual aborda el problema de la liberalización de las bandas GSM, menciona que: *"El marco normativo europeo actual (y futuro) requiere que los procedimientos para la asignación de derechos de uso del espectro sean objetivos, no discriminatorio, transparentes y proporcionados con el fin de garantizar una competencia efectiva en el sector. Existe la necesidad de estudiar posibles estrategias para evitar distorsiones de la competencia"*

entre los operadores del espectro, tanto entre los tradicionales y como en los nuevos entrantes, debido a la transición hacia un gestión liberalizada del espectro. Sin embargo, el marco regulador de las comunicaciones y servicios electrónicos también puede cubrir los mecanismos asimétricos de regulación para potenciar la introducción de nuevos operadores". En dicho documento también deja claro que garantizar una competencia efectiva no implica necesariamente que todos los operadores tengan acceso a cantidades equivalentes de espectro.

Cave (2010) afirma que las oportunidades para la creación estratégica de barreras de entrada en los mercados del espectro se derivan, no tanto de los mercados del espectro en sí mismos, sino (como suele suceder en otros contextos) de las restricciones regulatorias sobre las operaciones comerciales del mercado, en particular las restricciones en los cambios de uso del espectro, que balcanizan los mercados y permiten que una o -más frecuentemente- un pequeño número de empresas, restrinjan la entrada al mercado de servicios *downstream*. Otra posible distorsión a la competencia, a tomar en cuenta especialmente en la liberalización de las bandas GSM, es el acaparamiento de espectro. Existe la posibilidad de que los operadores, de manera individual o conjunta, adquieran mayor cantidad de espectro del necesario para cubrir sus necesidades técnicas. (Cave, 2010; ERG & RSPG, 2009a)

- Aplicación la legislación sobre competencia;
- Intervenciones sectoriales específicas para controlar el comercio secundario;
- Medidas, como "usarlo o perderlo". Cláusulas destinadas a luchar contra el acaparamiento;
- Límites a las tenencias de espectro;
- Límites en la adquisición primaria de espectro

Las medidas y recomendaciones señaladas por Cave fueron tenidas en cuenta para la trasposición de la nueva regulación Europea en la normativa de los Estados Miembros. De esta manera, se abría la etapa de aplicación del nuevo enfoque de gestión del espectro en los países Europeos.

Una de las Agencias Nacionales de Regulación (ANR) pioneras en intentar incorporar estas reformas regulatorias fue Ofcom, la ANR Inglesa. En el año 2007, Ofcom, publicó una consulta pública respecto a liberalización de las bandas móviles de 900, 1800 y 2100 MHz. Ofcom, desde ésta que sería su primera consulta, propuso garantizar la neutralidad de red y de servicio y permitir el mercado secundario en las tres bandas 900 MHz, 1800MHz y 2100MHz. a la liberalización de las bandas GSM. En ella se explicitaban las ventajas de las bandas de frecuencias restringidas a servicios GSM (800 y 1800MHz), para el uso de servicios 3G y se proponía un nuevo reparto de espectro considerando a los operadores presentes en el mercado Inglés y la posible entrada de alguno nuevo. Asimismo aseguraba que la aplicación del *refarming* en la banda de 900 MHz podría representar ahorros de hasta 1.250 millones de libras y 10.000 estaciones base menos a los operadores.

1.2.2 Una agenda digital para Europa

En mayo de 2010, la Comisión Europea publicó la Agenda Digital, una de las siete iniciativas emblemáticas de la Estrategia Europa 2020 (Comisión Europea, 2010b) con el fin de lograr beneficios económicos y sociales sostenibles gracias a un mercado único digital basado en un acceso a internet y aplicaciones interoperativas rápidas y ultrarrápidas. Como mencionan Marengi y Badillo (2012), en el documento se fijan ejes prioritarios que subrayan

Capítulo 1. Introducción

los ámbitos en los que Europa necesita avanzar en la próxima década para maximizar los beneficios económicos y sociales sostenibles de la revolución digital tanto para los ciudadanos como para las empresas. Estos siete campos de actuación, que forman parte de una iniciativa horizontal que abarca las tres dimensiones establecidas en Europa 2020, son un mercado único digital dinámico; interoperabilidad y normas, confianza y seguridad; acceso rápido y ultrarrápido a Internet, investigación e innovación, fomento de la alfabetización, la capacitación y la inclusión digitales; y beneficios que hacen posibles las TIC para la sociedad de la UE. Para el logro de estos siete objetivos, la Agenda Digital propone más de cien medidas de apoyo; de las cuales gran parte son propuestas legislativas de la Comisión que deben adoptarse en los primeros años (Marenghi & Badillo Matos, 2012).

Dentro del “pilar” denominado acceso rápido y ultrarrápido a Internet se consideran las siguientes acciones: banda ancha para todos en 2013, acceso universal a velocidades muy superiores (al menos 30 Mbps) en 2020 y un 50% o más de hogares europeos abonados a conexiones a internet superiores a 100 Mbps (Picot, 2007). La Comisión Europea (Comisión Europea, 2010a; Radio Spectrum Policy Group, 2009), al igual que las ANR (p. ej. (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011d; Ofcom, 2011a)), señala la importancia de la banda de frecuencia de 800 MHz como clave para la provisión de servicios de banda ancha de nueva generación en las zonas de menor densidad de habitantes. La anteriormente mencionada banda de frecuencia está armonizada para tecnologías WiMAX y LTE. Debido al mayor éxito comercial de LTE, el cual tiene implicación directa en el coste de los equipamientos y terminales, y a que los operadores de redes de telecomunicación Europeos han expresado sus intenciones de despliegue (o están desplegando ya) con esta tecnología, se espera que LTE domine los servicios de banda ancha móviles. Esta aseveración ha sido corroborada por numerosos informes (Analysys Mason, 2012; Arthur D. Little, 2012; Feijoo, Gómez-Barroso, Ramos, & Coomonte, 2011; Marcus & Elixmann, 2012; Norman, 2009; Yardley, Obradors, Bates, Daly, & Vroobel, 2012).

Respecto a la magnitud de las inversiones, la primera valoración realizada por la Comisión Europea (2010a) sitúa el coste de despliegue de las infraestructuras necesarias para alcanzar el objetivo de 100 Mbps en 2020 propuesto por la Agenda Digital entre €181.000 y €268.000 millones. Las principales tecnologías consideradas por la Comisión para la provisión de servicios de 100 Mbps y superiores son la fibra hasta el hogar y la evolución de redes de cable a DOCSIS 3.0, junto con la mejora de las redes de *backhaul* para proporcionar servicios de mayor capacidad. Respecto al objetivo de la cobertura universal de banda ancha de 30 Mbps, el mismo informe señaló que, a pesar de que las cantidades exactas eran muy difíciles de calcular, estudios recientes indicaban que serían necesarios entre €38.000 y €58.000 millones para alcanzar la cobertura universal de 30 Mbps para todos en 2020 (usando una mezcla de tecnologías VDSL y Redes de Nueva Generación-NGN).

Por otro lado, un informe publicado por el Banco Europeo de Inversión (Hätönen, 2011) señala que la magnitud de las inversiones oscila entre €73.000 y €221.000 millones (incluye toda la Unión Europea) para el cumplimiento de los tres objetivos señalados por la iniciativa Europa 2020. El objetivo de 30 Mbps representaría entre el 76% y el 94% de los costes totales, dependiendo de las especificaciones de calidad del servicio (QoS). Para el objetivo de 100 Mbps, especifica que se requerirían entre €5.000 y €25.000 millones adicionales, a las

inversiones señaladas para el cumplimiento de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps. También destaca que cumplir los objetivos de 30 Mbps y de 100 Mbps en los 5 países más poblados de Europa (Alemania, Francia, España, Italia y Reino Unido) requerirá del 63% al 72% de los costes estimados. Otro resultado de vital importancia para el estudio es la afirmación de que la cobertura de redes rápidas y ultrarrápidas en zonas rurales, en donde vive menos del 20% de la población, implicaría el 40% del total de la inversión.

1.2.3 Introducción de cambios en la gestión del espectro en la regulación Española

España inició el proceso de *Refarming* mediante la adopción del Nuevo Reglamento del Dominio Público Radioeléctrico el 23 de Mayo de 2008 (Real Decreto 863/2008). En este documento se inicia un “*Refarming* total”, sin restricciones tecnológicas ni de servicio y permitiendo la introducción del Mercado Secundario en la amplia gama de frecuencias señaladas en el documento, dejando fuera las bandas de GSM. Con la aprobación del nuevo reglamento, se estableció que el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio abriría una consulta pública, acerca del uso de las frecuencias de 2500 a 2690 MHz y nuevas formas de explotación de las bandas de frecuencia de 900, 1800 MHz y 3.5 GHz. El principal objetivo de la medida es estimular el uso eficiente del espectro radioeléctrico y promover el desarrollo de nuevos servicios de telecomunicaciones en movilidad, en línea con el nuevo marco normativo del espectro que promueve un uso eficaz de este recurso escaso (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2008). Las principales cuestiones planteadas en la consulta podrían resumirse en 3 puntos (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2009):

- Destino y condiciones de otorgamiento de concesiones de frecuencias en la banda de 2,6 GHz (2500 a 2690 MHz).
- Condiciones a imponer para autorizar a los operadores la reutilización de las bandas de frecuencias de 900 y 1800 MHz, en ese momento destinado al sistema de telefonía móvil de segunda generación GSM, para el sistema de telefonía móvil de tercera generación UMTS.
- Nuevas modalidades de explotación de la banda de frecuencias de 3,5 GHz, en especial la posible autorización de movilidad en las concesiones de acceso radio fijo (LMDS).

Más adelante, se publicarían las conclusiones de la consulta, con nutrida participación entre los agentes interesados (gobierno, sociedad civil, sector privado, academia y comunidad técnica). Resultando lo siguiente (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2009):

Sobre las bandas de 900 y 1.800 MHz: Resolución unánime en permitir el uso de la tecnología UMTS, especialmente en la banda de 900 MHz, ya que contribuiría a facilitar el despliegue, mejorará la cobertura y reducirá la brecha digital. No obstante, se manifiestan opiniones muy diferentes en lo que se refiere a las contraprestaciones asociadas a dicha autorización, sobre todo diferencias en la distribución de esta frecuencia.

Banda de 2,6 GHz: Introducción de mercado secundario, neutralidad tecnológica. Se menciona que esta banda es adecuada para prestar servicios mediante LTE o WiMAX. No hay consenso con respecto al mejor procedimiento administrativo para adjudicar estas frecuencias ni sobre el ámbito regional de las licencias (nacional o regional).

Capítulo 1. Introducción

Banda de 3,5 GHz: Introducción de mercado secundario y neutralidad de servicio. Algunas respuestas opinaron que de los títulos existentes en esta banda de frecuencias, se deberían introducir condiciones ligadas a la utilización efectiva del espectro, tal como se sugiere en (Cave, 2010). De igual manera, que las frecuencias recuperadas podrían contribuir a la cobertura de zonas rurales a través de concesiones regionales.

En 2009 se publicó la Directiva 2009/114/CE que introducía la neutralidad en la banda de 900 MHz y ofrecía medidas técnicas para permitir la coexistencia entre las diferentes tecnologías. Posteriormente, mediante la Decisión 2009/766/CE se extendió su aplicación a la banda de 1800 MHz. A partir de entonces se inició un proceso de transposición de la legislación Europea en la española. El primer paso fue la aprobación en el Consejo de Ministros de la Ley de Economía Sostenible en Marzo de 2009. Sin embargo, no sería sino hasta 2011 que se aprobaría la Ley 2/2011 de la Economía Sostenible (corroborada por el Real Decreto 458/2011), que en su artículo 47 autoriza el *refarming* de las bandas 900MHz y 1800 MHz. En la misma Ley, en el artículo 51 se reorganiza la banda 790-860MHz posibilitando así la emergencia del dividendo digital en España. Es preciso recordar que el año anterior, por medio Real Decreto 365/2010 (3 de abril del 2010), ya se habían establecido los criterios para que los operadores privados de TDT pudieran acceder a un múltiple completo tras el cese de emisiones analógicas y determinado el procedimiento para la liberación de la banda del dividendo digital. De igual manera, en 2010, se llevó a cabo la revisión del Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF), se reflejan en la orden ministerial ITC/332/2010.

El 15 de Julio de 2010 que el gobierno español publicaría una segunda consulta: la “Consulta pública sobre actuaciones en materia de espectro radioeléctrico: *refarming* en las bandas de 900 y 1.800 MHz, dividendo digital y banda de 2,6 GHz” (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2010a). El objetivo de esta nueva consulta es introducir en la legislación española los recientes cambios en la normativa Europea y desarrollar una serie de actuaciones relacionadas con la asignación y uso del espectro. Así mismo, buscaba proporcionar al sector la posibilidad de exponer sus propuestas y comentarios sobre los aspectos más relevantes que determinarán la gestión del espectro en los próximos años. Con la Consulta pública se obtuvo consenso general en 3 puntos (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2010b):

- La habilitación de la banda de 900 MHz para la prestación de servicios UMTS permitirá incrementar la cobertura geográfica actual de banda ancha móvil y supondrá que un mayor número de ciudadanos podrá acceder a servicios de banda ancha a más corto plazo
- El principio de neutralidad tecnológica debe ser aplicado tanto para la banda de 2,6 GHz, como a la de 800 MHz.
- La totalidad de las bandas de frecuencia a las que se refiere la encuesta deberán ser abiertas al mercado secundario del espectro.

A principios de 2011, el Ministerio publicó una nota de prensa en donde confirmó la adjudicación de 310 MHz en las bandas de frecuencias de 800 MHz, 900 MHz, 1.800 MHz y 2,6 GHz a través de un concurso subasta (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011a). De igual manera, se anuncia la futura publicación del Real decreto que autorizaría la neutralidad tecnológica a los operadores que disponen de espectro radioeléctrico en las bandas de 900 MHz y 1.800 MHz.

Capítulo 1. Introducción

Finalmente, el 1 de abril de 2011 se publicaría el Real Decreto Real Decreto 458/2011, sobre actuaciones en materia de espectro, que supuso un cambio total en la política del espectro. En este documento se establecen las bases de la que sería la primera subasta de Espectro en la historia de España, que se desarrollaría ese año. La subasta convocada por la orden ITC/1074/2011 del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, iniciaría el 29 de junio de 2011. Es importante mencionar que el gobierno logró reflejar el objetivo de la universalización de la banda ancha a 30 Mbps de la Agenda digital Europea mediante la imposición de obligaciones a los operadores adjudicatarios de la banda de 800 MHz:

“Los operadores que resulten adjudicatarios y que dispongan de 10 MHz pareados en la banda de 800 MHz deberán completar conjuntamente, antes del 1 de enero de 2020, las ofertas proporcionadas con otras tecnologías o en otras bandas de frecuencias, con el fin de alcanzar una cobertura que permita el acceso a una velocidad de 30 megabits por segundo (Mbps) o superior, al menos, al 90 por ciento de los ciudadanos de unidades poblacionales de menos de 5.000 habitantes. El Ministerio de Industria, Turismo y Comercio aprobará un plan en el que, teniendo en cuenta las ofertas proporcionadas con otras tecnologías o en otras bandas de frecuencias distintas de las de 800 MHz, identificará aquellas unidades poblacionales en las que no sea posible acceder a la velocidad determinada anteriormente y establecerá las obligaciones de cobertura a proporcionar por los operadores afectados adjudicatarios de la banda de 800 MHz. En la aprobación, seguimiento y ejecución del plan, se podrá tener en cuenta las propuestas que formulen los operadores afectados.” (Real Decreto 458/2011, de 1 de abril, sobre actuaciones en materia de espectro radioeléctrico para el desarrollo de la sociedad digital (BOE núm.79 de 2 de abril de 2011).

También se definieron los límites de tenencia del espectro por operador:

- Máximo de 25 MHz pareados (FDD) por operador en el conjunto de las bandas de frecuencias de 800 MHz y 900 MHz.
- Máximo, en cualquier ámbito territorial, de 135 MHz por operador en el conjunto de las bandas de frecuencias de 1.800 MHz, 2.100 MHz y 2,6 GHz

A continuación se pueden observar la manera en que quedó repartido el espectro a finales de 2011 (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011b; Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011c; Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011d):

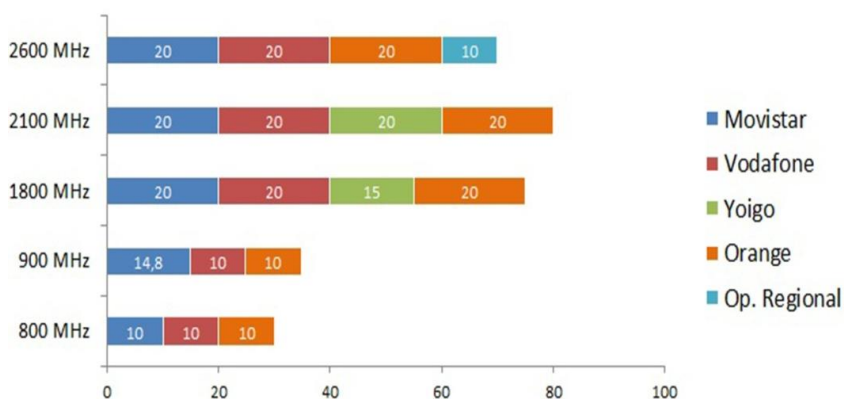


Ilustración 2: Reparto de espectro de las principales bandas de comunicaciones móviles. Fuente:(Ventura, 2013).

Capítulo 1. Introducción

Banda de 800MHz			
Telefónica	2x10 MHz FDD	€456,868 Mill	Cobertura conjunta de banda ancha a 30 Mbps al 90% de los ciudadanos de poblaciones <5.000 habitantes
Vodafone	2x10 MHz FDD	€458,518 Mill	
Orange	2x10 MHz FDD	€391,941 Mill	
Banda de 900MHz			
Telefónica	2x10 MHz FDD	Inversiones €80 Mill en entidades poblacionales < 1.000 habitantes, o cobertura de más de 500.000 habitantes en poblaciones < 1.000 habitantes	
Vodafone	2x10 MHz FDD	Inversiones €160 Mill en entidades poblacionales < 1.000 habitantes, o cobertura de más de 1.000.000 habitantes en poblaciones < 1.000 habitantes	
Orange	2x10 MHz FDD	€126 Mill	€283,2 Mill en compromisos de inversión para cobertura en poblaciones de menos de 5000 habitantes. €28,4 Mill adicionales en inversiones en red de acceso radio en poblaciones de tamaño superior a 5000 habitantes.
Telefónica	2x4,8 MHz FDD	€169 Mill	
Banda de 1800MHz			
Telefónica	2x20 MHz FDD		
Vodafone	2x20 MHz FDD		
Orange	2x20 MHz FDD		
Xfera Móviles	2x15 MHz FDD	Inversiones de €300 Mill	
Banda de 2,6 GHz (Licencias Estatales)			
Telefónica	2x20 MHz FDD	€44,438 Mill	
Vodafone	2x15 MHz FDD	€29,752 Mill	
Vodafone	2x5 MHz FDD	€29,343 Mill	Licencias regionales
Orange	2x20 MHz FDD	€45,096 Mill	
Vodafone	20 MHz TDD	€10,405 Mill	
Orange	10 MHz TDD	€5,201 Mill	

Tabla 1. Resultados de la subasta y compromisos de despliegue en las bandas de 800, 900, 1800 y 2600 MHz

Es preciso recordar que en el artículo 52 de la anteriormente citada Ley 2/2011 se introdujo una modificación al servicio universal, posteriormente corroborada mediante el Real Decreto 726/2011, del 20 de mayo, en el cual se incluía la banda ancha. Las condiciones técnicas especifican que el operador designado garantizará que la velocidad global de datos que debe proporcionar la conexión (desde una conexión fija), promediada a lo largo de cualquier periodo de 24 horas, no sea inferior a 1 Mbps. El operador designado para garantizar la prestación del servicio universal hasta el 31 de diciembre de 2016 es Telefónica. La designación del operador fue resuelta, por medio del procedimiento de concurso y dado a conocer el 17 de noviembre a través de Orden ITC/3231/2011, Orden ITC/3232/2011 y Orden ITC/3233/2011. Sin embargo, el coste neto es asumido por los operadores con peso significativo en los mercados de acceso al servicio telefónico desde una ubicación fija y a servicios de datos.

1.2.4 Agenda Digital Española

El 22 de Marzo de 2012 el Ministerio de Industria, Energía y Turismo constituyó el Grupo de Expertos de Alto Nivel formado por profesionales del sector con la finalidad de realizar una reflexión estratégica sobre la aportación de las nuevas tecnologías a los grandes retos a los que se enfrenta el sector TIC español en este momento y propusiese recomendaciones para la elaboración de la Agenda Digital. Como resultado se publicó el Informe de recomendaciones del Grupo de Expertos de Alto Nivel para la Agenda Digital para España (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2012a). Posteriormente, el Ministerio abrió una consulta pública (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2012b) recogiendo el documento anterior contando con una nutrida participación de agentes del sector TIC, Administraciones Públicas y las Comunidades Autónomas. Finalmente, la Agenda Digital Española se publicó el 15 de febrero de 2013 (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2013a), estructurada en torno a 6 grandes objetivos:

1. Fomentar el despliegue de redes y servicios para garantizar la conectividad digital.
2. Desarrollar la economía digital para el crecimiento, la competitividad y la internacionalización de la empresa española.
3. Mejorar la e-Administración y adoptar soluciones digitales para una prestación eficiente de los servicios públicos.
4. Reforzar la confianza en el ámbito digital.
5. Impulsar el sistema de I+D+i en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.
6. Promover la inclusión y alfabetización digital y la formación de nuevos profesionales TIC.

En su primer objetivo, la Agenda Digital Española incorpora los objetivos de universalización de la banda ancha planteados por la Unión Europea en la Agenda Digital para Europa. A continuación se enuncian los subobjetivos y líneas de actuación del primer objetivo (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2013a).

Subobjetivos	Líneas de actuación
1.1. Eliminar barreras para el despliegue de redes promoviendo la unidad de mercado	-Disponer en el año 2013 de una nueva Ley General de Telecomunicaciones. -Simplificar la normativa y la gestión de los procedimientos que afectan a los despliegues de infraestructura buscando el máximo grado de consenso e implicación con la FEMP y las CC.AA.
1.2. Impulsar el despliegue de redes ultrarrápidas	-Elaboración, en el primer semestre de 2013, de una Estrategia Nacional de Redes Ultrarrápidas acordada con el sector.
1.3. Conseguir un uso más eficiente del espectro radioeléctrico	-Adelantar la puesta a disposición de los operadores de telecomunicaciones de los bloques de espectro del dividendo digital para servicios de comunicaciones electrónicas. -Promover un uso más eficiente del espectro a la vez que se simplifica el acceso al mismo. -Revisar el uso del espectro en las principales bandas de frecuencia para evaluar aquellas que están infrutilizadas y que pueden ser puestas en valor con nuevos servicios mediante su puesta a disposición de los agentes de mercado bajo los principios de neutralidad tecnológica y de servicio. -Evaluar las necesidades de espectro necesario para el desarrollo de

	<p>las redes de banda ancha ultrarrápidas e identificar las bandas de frecuencia que podrán utilizarse para satisfacer dicha demanda.</p> <p>-Creación de un Foro de Tecnología Audiovisual en el que participen el conjunto de agentes relevantes en el ámbito audiovisual, con el objetivo de facilitar el desarrollo e implantación de innovaciones en el ámbito de la televisión digital como la Alta Definición, la televisión en 3D, la televisión híbrida así como distintas soluciones en movilidad.</p> <p>-Apoyar el desarrollo de la televisión híbrida en España mediante la adaptación de los marcos normativos y la utilización de mecanismos de estímulo de oferta y demanda</p>
1.4. Mejorar la experiencia de usuario de los servicios de banda ancha	<p>-Actualizar la sistemática de seguimiento y control de la calidad de servicio de los operadores en la prestación de los servicios de comunicaciones electrónicas simplificándola y primando el aporte de información relevante al usuario.</p> <p>-Asegurar la comparabilidad de los parámetros de medida e impulsar las iniciativas de difusión de información sobre calidad de servicio.</p> <p>-Desarrollo de un Plan de Mejora de la atención a los usuarios.</p>

Tabla 2. Fomentar el despliegue de redes y servicios para garantizar la conectividad digital. Subobjetivos y líneas de actuación

En junio de 2013 se publicó, conforme al subobjetivo 1.2 de la Agenda Digital Española, el Plan de telecomunicaciones y redes ultrarrápidas (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2013c). El objetivo, como se recoge en el mismo documento, es el despliegue de redes de acceso ultrarrápido a la banda ancha, tanto fijo como móvil, y fomentar su adopción por ciudadanos, empresas y administraciones. El plan, diseñado para dar cumplimientos de banda ancha fijados por la Agenda Digital en 2020, pretende tener un alcance temporal al 2015. En el plan se especifica que se hará una revisión de los planes cada año para evaluar los resultados conseguidos que podría extenderse hasta 2020. En la Tabla 3 se muestran los indicadores y punto de partida del plan y su evolución en 2013. Es preciso resaltar que, aunque la cobertura con redes 3G no entra en el plan en 2013 (debido a que como NGA se consideran tecnologías FTTx, HFC, VDSL, WiMAX y LTE) la cobertura poblacional de esta tecnología era el 96%.

Indicadores objetivo del Plan de telecomunicaciones y redes ultrarrápidas	Valor base España (2012)	Evolución 2013	Valor a Alcanzar 2015	Valor a alcanzar en 2020
Población con cobertura de más de 100 Mbps	47%	52%	50%	
Población con cobertura FTTH	9%	14%	50%	
Población con cobertura HFC	46%	47%	47%	
Hogares conectados a redes NGA	12%		25%	
Hogares conectados con más de 100 Mbps	0,06%		5%	50%
Hogares con cobertura VDSL (30 Mbps)	11%	12%		
Hogares conectados con más de 30 Mbps			12%	
Población con cobertura 4G	-		75%	
Población con cobertura de 30 Mbps		59%		100%

Tabla 3. Indicadores de banda ancha (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2014; Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2013b; Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2013c).

Capítulo 1. Introducción

A fin de incentivar el despliegue de banda ancha, el gobierno español ha lanzado dos convocatorias correspondiente a los años 2013 y 2014 de Programa de Extensión de la banda ancha de nueva generación (PEBA). Dicho programa contempla subvenciones y/o créditos en tres líneas de actuación:

Línea A: La extensión de la cobertura de las redes de acceso de nueva generación (NGA) de muy alta velocidad (100 Mbps o superior).

Línea B: La extensión de la cobertura de puntos de acceso (*backhaul*) adecuados para la conexión de redes de acceso de nueva generación de alta velocidad (30 Mbps o superior) y de muy alta velocidad (100 Mbps o superior).

Línea C: La extensión de la cobertura de las redes de acceso de alta velocidad (30 Mbps o superior).

En la última convocatoria (2014) se especificó que el importe disponible era de 60 millones de euros en forma de préstamos reembolsables con bonificación de intereses y de 7 millones de euros en subvenciones. En cuanto a las características de los préstamos, se detalló que:

- El importe máximo del préstamo será igual al coste financiable del proyecto menos el importe de la subvención.
- El plazo máximo de amortización será de quince años incluyendo un período de carencia de tres años.
- El tipo de interés de aplicación será del 0,577%.
- La cuantía de la subvención no superará el 15% del importe del presupuesto financiable del proyecto.

1.2.5 Ley 9/2014, de 9 de mayo, de Telecomunicaciones

Una de las líneas de actuación correspondiente al subobjetivo 1.1 de la Agenda Digital Española era disponer de una nueva Ley General de Telecomunicaciones. El día 10 de mayo de 2014 ha sido publicada en el BOE la Ley 9/2014, de 9 de mayo, de Telecomunicaciones. En dicho documento se cita que la nueva ley busca garantizar el cumplimiento de los objetivos de la Agenda Digital para Europa que requiere, en la actual situación de evolución tecnológica e incertidumbre económica, asegurar un marco regulatorio claro y estable que fomente la ley. Se citan 2 objetivos generales que la engloban: facilitar el despliegue de las redes de nueva generación ampliando su cobertura, y mejorar la oferta de servicios innovadores a los ciudadanos impulsando unas condiciones más efectivas de competencia.

Si bien existen informes breves de reputadas fuentes que recogen el resumen de la nueva Ley, por ejemplo (COIT, 2014), con respecto al presente documento se ve preciso destacar 3 artículos que implican una novedad regulatoria.

Artículo 12. Principios generales aplicables al acceso a las redes y recursos asociados y a su interconexión.

3. No existirán restricciones que impidan que los operadores negocien entre sí acuerdos de acceso e interconexión.

Artículo 32. Ubicación compartida y uso compartido de la propiedad pública o privada.

1. Los operadores de comunicaciones electrónicas podrán celebrar de manera voluntaria acuerdos entre sí para determinar las condiciones para la ubicación o el uso

Capítulo 1. Introducción

compartido de sus infraestructuras, con plena sujeción a la normativa de defensa de la competencia.

Las administraciones públicas fomentarán la celebración de acuerdos voluntarios entre operadores para la ubicación compartida y el uso compartido de infraestructuras situadas en bienes de titularidad pública o privada, en particular con vistas al despliegue de elementos de las redes rápidas y ultrarrápidas de comunicaciones electrónicas.

2. La ubicación compartida de infraestructuras y recursos asociados y la utilización compartida del dominio público o la propiedad privada también podrá ser impuesta de manera obligatoria a los operadores que tengan derecho a la ocupación de la propiedad pública o privada. A tal efecto, en los términos en que mediante real decreto se determine, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, previo trámite de audiencia a los operadores afectados y de manera motivada, podrá imponer, con carácter general o para casos concretos, la utilización compartida del dominio público o la propiedad privada en que se van a establecer las redes públicas de comunicaciones electrónicas o el uso compartido de las infraestructuras y recursos asociados.

Cuando una Administración pública competente considere que por razones de medio ambiente, salud pública, seguridad pública u ordenación urbana y territorial procede la imposición de la utilización compartida del dominio público o la propiedad privada, podrá instar de manera motivada al Ministerio de Industria, Energía y Turismo el inicio del procedimiento establecido en el párrafo anterior. En estos casos, antes de que el Ministerio de Industria, Energía y Turismo imponga la utilización compartida del dominio público o la propiedad privada, el citado departamento ministerial deberá realizar un trámite para que la Administración pública competente que ha instado el procedimiento pueda efectuar alegaciones por un plazo de 15 días hábiles.

3. Las medidas adoptadas de conformidad con el presente artículo deberán ser objetivas, transparentes, no discriminatorias y proporcionadas. Cuando proceda, estas medidas se aplicarán de forma coordinada con las Administraciones competentes correspondientes.

Disposición adicional decimoctava. Universalización de la banda ancha ultrarrápida.

El Gobierno establecerá una Estrategia Nacional de Redes Ultrarrápidas que tenga como objetivo impulsar el despliegue de redes de acceso ultrarrápido a la banda ancha, tanto fijo como móvil, de cara a lograr su universalización, así como fomentar su adopción por ciudadanos, empresas y administraciones, para garantizar la cohesión social y territorial.

La Estrategia adoptará las medidas precisas para alcanzar los objetivos concretos de cobertura y adopción establecidos por la Agenda Digital para Europa e incorporados a la Agenda Digital para España y, en particular, para lograr la universalización de una conexión que permita comunicaciones de datos de banda ancha que se extenderá progresivamente, de forma que en el año 2017 alcanzará una velocidad mínima de Internet de 10 Mbps y antes de finalizar el año 2020 alcanzará a todos los usuarios a una velocidad mínima de Internet de 30 Mbps, y que al menos el 50% de los hogares puedan disponer de acceso a servicios de velocidades superiores a 100 Mbps. En el desarrollo de esta iniciativa de universalización de la banda ancha se evaluará la actualización del ámbito del servicio universal en relación con este servicio, atendiendo, en todo caso, a la normativa y orientaciones de la Unión Europea a este respecto.

La Estrategia establecerá la elaboración de un informe de cobertura de banda ancha ultrarrápida que permita conocer de forma precisa la situación de provisión de

los servicios de comunicaciones electrónicas de banda ancha y que permita identificar aquellas zonas donde existan brechas de mercado.

La Estrategia contemplará políticas para incrementar la adopción y uso de la banda ancha ultrarrápida entre ciudadanos, empresas y administraciones. En particular se contemplarán las actuaciones necesarias para promover, de forma prioritaria, que los Centros de Salud comarcales, las Universidades Públicas, los Centros de Secundaria públicos y todas las Bibliotecas Públicas en la ciudad y comarcales, tengan en el año 2016 una conexión a la red pública de comunicaciones con capacidad de acceso funcional a Internet a una velocidad mínima de 30 Mbps y de 100 Mbps en el año 2020. Estas medidas se articularán con la debida colaboración y coordinación con las Comunidades Autónomas.

Al menos una vez al año, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, informará al Parlamento sobre la adopción y cumplimiento de la Estrategia Nacional de Redes Ultrarrápidas y, en especial, sobre la evolución del despliegue de las redes ultrarrápidas y el cumplimiento de los objetivos de universalización de este servicio.

De los artículos anteriores (o fragmentos), es preciso señalar que se han recogido los puntos de la Agenda Digital, tanto Europea como Española y de forma específica, del Plan de Telecomunicaciones y redes ultrarrápidas y se añade el compromiso de la universalización de la banda ancha de 10 Mbps en 2017. En el fragmento recogido del artículo 12 y en el artículo 32, se introduce en la Ley la compartición de infraestructuras tanto en la red de acceso como en la interconexión. En el artículo 32 se dice explícitamente que se fomentarán los acuerdos de compartición de infraestructuras entre operadores, siempre y cuando no se incumplan las leyes de competencia, a fin de promover la inversión eficiente.

Esta afirmación queda reforzada en el artículo 68, sección 3 donde se recoge la siguiente afirmación con respecto a la misión de los órganos reguladores:

b) Fomentar la inversión eficiente orientada al mercado y la innovación en infraestructuras nuevas y mejoradas, incluso asegurando que toda obligación relativa al acceso tenga debidamente en cuenta los riesgos en que incurren las empresas inversoras, y permitir diferentes modalidades de cooperación entre los inversores y las partes que soliciten el acceso, con el fin de diversificar el riesgo de las inversiones y velar por que se respeten la competencia en el mercado y el principio de no discriminación.

1.3 Justificación de la tesis

La aplicación Agenda Digital exige el conocimiento de la magnitud de las inversiones para el cumplimiento de los objetivos planteados en ella. Con respecto al objetivo de la adopción del 50% de la población de banda ancha de 100 Mbps, se asumen que se cumplirá a través de redes de acceso fijas de nueva generación. La Comisión Europea afirmó en 2012 (Comisión Europea, 2012) que ya se contaba con el 40% de cobertura en los Estados Miembros.

Sin embargo, la situación de las infraestructuras en Europa no es homogénea. Por el contrario, las características económicas, geográficas y demográficas de cada país son tan diversas que hacen imposible determinar prácticas exitosas de aplicación general al despliegue las NGN en Europa. La preocupación aumenta cuando se refiere a la universalización de la banda ancha del “tercio final” de la población, es decir a los hogares de

Capítulo 1. Introducción

la zona rural a donde la falta de certidumbre en el retorno de la inversión, hace el despliegue improbable.

La Comisión Europea (Comisión Europea, 2010a), Radio Spectrum Policy Group (Radio Spectrum Policy Group, 2009) y Ofcom (Ofcom, 2011b), enfatizan la importancia de la banda de frecuencia de 800 MHz como la clave para la provisión eficiente en costes para el despliegue de NGA en las zonas menos pobladas. Esta banda está armonizada para tecnologías WiMAX y LTE. Debido a la gran ventaja comercial de LTE (GSA, 2013a), la cual tiene un efecto directo en los costes de los equipamientos y dispositivos, y a los compromisos anunciados por los operadores respecto al despliegue de esta tecnología, se espera que LTE domine el mercado de la banda ancha móvil (Arthur D. Little, 2012; GSA, 2013b; Norman, 2009). En octubre de 2010, Analysys Mason (Analysys Mason, 2010) publicó un reporte en donde se estudia, mediante un análisis tecno-económico, el despliegue de redes de acceso de nueva generación en Reino Unido. Dicho estudio plantea una “fotografía” del coste de cubrir el país mediante tecnologías fijas (fibra, cable y cobre), móviles (WiMAX y LTE) y Satelitales en 2016. Uno de los principales resultados del estudio señala que las tecnologías móviles jugarán un papel fundamental en la cobertura del tercio final de la población. Indica además que, aunque requiera incrementar significativamente el número de estaciones base, las tecnologías móviles terrestres podrían soportar de manera eficiente en costes la demanda de tráfico (al menos) del último 15% de los hogares del Reino Unido.

En el último reporte de la cobertura de banda ancha en España (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2013b) se aseguró una cobertura poblacional del 52% de redes NGN fijas (HFC DOCSIS 3.0 y FTTH) en el territorio español, capaces de proveer banda ancha de 100 Mbps. Por otro lado, la cobertura de redes capaces de proveer banda ancha mayor a 30 Mbps era sólo del 59%, lo que representaría únicamente un incremento de 7% (debido a los despliegues VDSL) respecto a la anterior. Con esto quedan de manifiesto las dudas acerca del cumplimiento del objetivo de los 30 Mbps en España.

Sin embargo, el informe señala un 99% de cobertura de la población con redes móviles 3G, lo cual sugiere la existencia de emplazamientos suficientes, para cubrir casi la totalidad de la población, que podrían ser reutilizables con otras tecnologías móviles con capacidad superior. De lo anterior, se podría deducir que las redes móviles también podrían jugar un papel fundamental en la universalización de la banda ancha de 30 Mbps en España.

Los gobiernos europeos han propuesto soluciones desde la regulación para incentivar el cumplimiento de los objetivos de la Agenda Digital, especialmente en las zonas en las que existe incertidumbre respecto al despliegue de NGA por las fuerzas del mercado. Una de estas soluciones es la compartición de infraestructuras (BEREC-RSPG, 2011) entre operadores, o al menos compartir los costes de la obra civil y el equipamiento pasivo, a lo que se refiere como compartición pasiva de infraestructuras. Sin embargo, existen opiniones de expertos que afirman que este tipo de medidas no son suficientes para promover la inversión. Más aún, algunos autores reconocidos (Cave & Martin, 2010; Falch & Henten, 2010) aseguran que iniciativas públicas, tales como incentivos económicos, son cruciales para el despliegue. La

opinión anterior, se deriva de la afirmación acerca de que las redes de telecomunicaciones constituyen un bien común con fuertes externalidades.¹

Varios Estados Miembros han vinculado obligaciones de cobertura a los operadores que resultasen licenciatarios de frecuencias en la banda de 800MHz. En el caso concreto de España, esta obligación recayó en Telefónica, Vodafone y France Telecom (Orange), quienes adquirieron bloques de 2x10 MHz FDD en la subasta de 2011 (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011d). Dichos operadores están obligados a proveer **conjuntamente** banda ancha de 30 Mbps al 90% de los municipios de menos de 5000 habitantes. De esta manera se cubrirían el 98% de la población cumpliéndose, casi en su totalidad el objetivo de los 30 Mbps de la Agenda Digital.

Respecto a la magnitud de las inversiones requeridas para el cumplimiento de los objetivos de banda ancha rápida y ultrarrápida de la agenda Digital, se han publicado algunos estudios de los cuales es preciso destacar dos para el caso específico de España.

Feijóo y Gómez-Barroso (2013) publicaron recientemente un estudio tecno-económico cuyo objetivo era determinar los límites del mercado a la inversión de redes de acceso ultrarrápidas. En él afirman que se requerirán al menos €12,600 millones para cubrir el 100% de los hogares con redes NGA. En el estudio se consideraron tecnologías fijas y móviles: FTTH, VDSL, DOCSIS 3 y LTE. Se emplea una metodología de flujo de caja descontado que inicia con la clasificación los municipios en función de su densidad de población en 10 categorías y determina el despliegue de red más eficiente en costes para cada tipo de municipio. Es preciso mencionar que no está pensado directamente para el análisis de los objetivos de la Agenda Digital sino, únicamente, en la cobertura de España con redes ultrarrápidas. A este sentido, es preciso destacar que el dimensionamiento de la tecnología LTE no está pensado para proveer acceso de 30 Mbps, sino de 1 a 10 Mbps, considerando un caudal asegurado máximo de 5 Mbps (Feijóo & Gómez-Barroso, 2013). Además, considera la demanda de tráfico en el momento del estudio (2013), lo cual repercutiría directamente en los costes asociados al dimensionamiento de red. A pesar de que el modelo del escenario móvil está poco detallado (p. eje. no se especifica la frecuencia de la portadora), especificaciones técnicas no aplicables a la banda de frecuencia de 800 MHz (ancho de banda de la portadora de 2x20 MHz FDD) y condiciones hipotéticas del mercado (p. eje. se considera un operador con el 50% de cuota del mercado), el modelo arroja resultados de aplicación general de los que especialmente se podrían resaltar algunos de ellos.

Una de las conclusiones a resaltar es que en zonas rurales el único despliegue viable es LTE. Así mismo, sitúa el límite de viabilidad de un despliegue comercial de la anteriormente mencionada tecnología en 100 habitantes por kilómetro cuadrado, ya que es a partir de esta densidad de población que los costes por usuario se disparan a más de 500€ por usuario. Lo anterior implicaría que un despliegue en términos de viabilidad económica dejaría sin

¹ Por otro lado, también hay opiniones radicalmente contrarias a la política de compartición de infraestructuras y de inversiones públicas en sectores privados (Bacache, Bourreau, & Gaudin, 2014; Gaudin & Saavedra, 2014; Yoo, 2014), debido al mayor desarrollo de las NGA en otros países que no cuentan con este tipo de medidas. Al margen de debatir, el mejor modelo regulatorio para el desarrollo de las NGA, la realidad ha sido que Europa se ha decantado por el modelo de compartición de infraestructuras.

cobertura NGA a aproximadamente el 20% de la población española. Por otra parte, se afirma que los objetivos de cobertura del Plan Avanza y de la Agenda Digital se ven muy difíciles de acometer. Además, asegura que adelantar las obligaciones de cobertura al año 2015 implicaría inversiones desproporcionadas e innecesarias. Finalmente, el estudio sugiere que la inversión pública no debe limitarse únicamente a la colaboración en el despliegue, por el contrario, sugiere medidas regulatorias para la disminución del coste de la obra civil (especialmente en el caso de la fibra óptica, ésta implicaría entre un 60% y un 80% de la inversión), coordinación entre las Administraciones Públicas, operadores y otras compañías de servicio; 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.²

Otro documento que realiza un estudio mucho más detallado, pero limitado a NGA fijas, es la tesis publicada por Vergara (2011). El objetivo del estudio es analizar y caracterizar, bajo diferentes escenarios, la posible estructura de competencia entre plataformas alternativas en el mercado de banda ultra ancha en el medio y largo plazo en España (Vergara, 2011). Para ello, emplea la combinación de metodología cualitativa y metodología de análisis tecno-económico, siguiendo un enfoque de distinción geográfica de las estrategias y comportamiento de los agentes. En él se analizó la viabilidad del despliegue de las principales plataformas de acceso de próxima generación consideradas en el debate sobre las infraestructuras fijas en España: FTTH/GPON, FTTH/P2P, FTTN/VDSL2 y HFC/DOCSIS 3.0. El análisis se realiza mediante un enfoque geográfico basado en el uso de técnicas de conglomerados K-medias para agrupar los municipios en 17 geotipos en base a 7 parámetros geográficos.

Varias son las conclusiones que podríamos resaltar de este trabajo. Una de las más importantes es que se afirma que la estrategia seguida por los operadores dependerá de la escala y la cuota de mercado en cada geotipo, así como del modelo regulador y no será homogénea en todas las regiones de un país. La necesidad de alcanzar unas cuotas de mercado y niveles de *take-up*³ altos en la red de acceso es fundamental para el despliegue de NGA fijas. Es por esto que escenarios de inversión conjunta o de consolidación entre los agentes del sector, como se han dado en otros países, se prevé que se establezcan en España.

Conforme al orden de despliegue que se plantea en el trabajo, se prevé competición entre plataformas NGA fijas entre el 13,5%, y el 50,2% de la población. A partir de este valor y hasta el 72% se prevé que solamente exista un sólo despliegue NGA, ya que el coste de la red de acceso en el mejor escenario (en el caso de un despliegue FTTH/GPON por parte del operador incumbente) sería 6.766 millones de euros. Finalmente, del 72,1% en adelante, no se prevé ningún despliegue NGA fijo. Vergara denomina zonas blancas a los municipios en donde habitan el 27,9% de la población española, en los cuales el despliegue de redes fijas de banda ancha de próxima generación quedará muy limitado, debido a las menores economías de

² Es preciso mencionar que a este respecto ha habido un avance muy significativo en la recientemente aprobada Ley General de Telecomunicaciones.

³ Al igual que Vergara (2011), *take-up* se define como la adopción a la red desplegada: “Por ejemplo en una zona con tres despliegues NGA coincidentes en cobertura, y con una penetración de banda ancha del 75% sobre el total de viviendas y locales, si los tres agentes tuviesen la misma cuota de mercado alcanzarían niveles de *take-up* del 25%.” (Vergara, 2011)

alcance y a una mayor dispersión de usuarios. De esta manera, afirma que es conveniente buscar soluciones más viables con otros tipos de tecnología, como LTE.

Las dos fuentes antes mencionadas coinciden en la incertidumbre del despliegue de redes NGA fijas en el último tercio de la población. Además, contemplan despliegues de redes móviles como única solución para proveer cobertura de NGA al último cuarto de la población española. En definitiva, existe un gran consenso, no sólo en España sino en Europa, tanto de fuentes académicas, como organismos internacionales y reguladores, que afirman que las redes móviles y satelitales son las únicas soluciones para proveer banda ancha de 30 Mbps en las zonas rurales, y de forma más específica, en las zonas en las que los operadores de redes NGA fijas no ven un claro retorno de la inversión. Debido a las obligaciones impuestas a los operadores licenciatarios de la banda de 800 MHz, la plataforma móvil escogida en España para el cumplimiento del objetivo de los 30 Mbps de la Agenda Digital en España es LTE. Sin embargo, ni Feijóo y Gómez-Barroso (2013) ni Vergara (2011) abordan en profundidad las implicaciones técnicas, económicas y regulatorias de la plataforma LTE para la provisión de la banda ancha de 30 Mbps en las zonas rurales (municipios menores a 5000 habitantes) de España. Es por esto que se hace preciso realizar un estudio tecno-económico, con un enfoque geográfico similar al de Vergara, diferenciando las zonas rurales de España en función de su capacidad de desarrollar una competencia entre plataformas NGA móviles y/o fijas con el fin de evaluar el cumplimiento de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps de la Agenda Digital en las zonas rurales de España.

1.4 Objetivos y preguntas de Investigación

Esta tesis doctoral tiene como objetivo analizar el cumplimiento de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps propuesta para el año 2020 por la Agenda Digital Europea en las zonas rurales de España. Para ello, se propone, dando continuidad a las líneas futuras expuestas en Vergara (2011), la elaboración de un estudio tecno-económico, con un enfoque geográfico. Lo anterior, a fin de ampliar el anteriormente citado estudio al incorporar la plataforma móvil LTE y caracterizar las zonas rurales de España en función de su capacidad de desarrollar una competencia entre plataformas y servicios. Además, en el caso de las zonas en que la competencia entre plataformas móviles resulte inviable, se debería valorar si la compartición de infraestructura pasiva podría jugar un papel importante en brindar viabilidad al despliegue, o si por el contrario otro tipo de medidas, como un despliegue único o ayudas públicas, serían necesarias para el cumplimiento de este objetivo.

El estudio consistirá en la caracterización geográfica de los municipios españoles de menos de 5000 habitantes y un estudio tecno-económico, por medio del modelo tecno-económico del proyecto Europeo Rocket (Moral, Arambarri, Bravo, Armas, & Vidal, 2010; Moral, 2011), mediante el cual se analizarán las implicaciones técnicas, económicas y regulatorias de del despliegue de LTE 2x10 MHz FDD en 800 MHz. Finalmente, los resultados obtenidos se someterán a un análisis de sensibilidad para medir el impacto de las variables de entrada del estudio. Es preciso mencionar que, un despliegue se considera viable si cumpliendo con los parámetros de inversión propuestos, es posible, al menos, recuperar la inversión al final del periodo de estudio.

Capítulo 1. Introducción

Dado el alto impacto de los niveles de adopción en la viabilidad del despliegue, se utilizarán escenarios de adopción al servicio y a la red para realizar un análisis prospectivo para evaluar y discutir las implicaciones regulatorias y los objetivos políticos establecidos a nivel de España y de Europa, del objetivo de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps en zonas rurales.

Los objetivos de la Tesis Doctoral pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Analizar, mediante un estudio tecno-económico, el cumplimiento de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps propuesta para el año 2020 por la Agenda Digital Europea en las zonas rurales de España, por medio de la tecnología móvil LTE en 800 MHz.

De igual manera, centrándose en la problemática de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps, el presente estudio comprende los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar, mediante un análisis geográfico, los municipios de menos de 5000 habitantes y analizar la estructura competitiva diferenciando las distintas zonas en función de su capacidad de desarrollar una competencia entre infraestructuras fijas, móviles, o servicios.
- Determinar el coste de la provisión de la banda ancha de 30 Mbps por medio de LTE a los hogares de las zonas rurales de España.
- Evaluar la viabilidad económica del despliegue, así como determinar las mejores estrategias de inversión para el cumplimiento del objetivo de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps.
- Evaluar la propuesta de compartición pasiva de infraestructuras como solución a la inviabilidad, en aquellas zonas en las que por sus características sociales, económicas y orográficas, la competencia entre infraestructuras móviles no sea viable.
- Analizar la obligación impuesta a los operadores móviles licenciatarios de espectro en la banda de 800 MHz de cobertura del 90% de la población de los municipios de menos de 5000 habitantes con banda ancha de 30 Mbps.
- Determinar los elementos clave en brindar viabilidad al despliegue y evaluar las medidas regulatorias y de política pública, que contribuyan a este fin.

Así mismo, se tratará de dar respuesta a las siguientes preguntas:

1. ¿Es el despliegue de LTE 2x10 MHz en 800MHz la solución para la universalización de la banda ancha de 30 Mbps en las zonas rurales de España?
2. ¿Son asumibles las obligaciones impuestas a los operadores en la subasta de espectro de 2011?
3. ¿Es la compartición pasiva de infraestructura capaz de brindar viabilidad al despliegue móvil en las zonas menos densamente pobladas?
4. ¿Qué escenarios de despliegue serían los más eficientes en coste para las distintas zonas que comprenden el tercio final de la población?
5. En caso de un despliegue de mercado incierto ¿qué medidas públicas adicionales serían convenientes para brindar viabilidad al despliegue?
6. ¿Es adecuado y viable el objetivo de universalización de la banda ancha de 30 Mbps impulsado por la Agenda Digital para el caso de España?

1.5 Elementos metodológicos

Como se ha mencionado anteriormente, el presente documento tiene como objetivo analizar el cumplimiento de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps en las zonas rurales de España. Para ello, es necesario cuantificar la magnitud de la inversión mediante alguna metodología orientada al análisis de futuros posible (FTA) (Keenan, Barré, & Cagnin, 2008; Scapolo & Porter, 2008; Technology Futures Analysis Methods Working Group, 2004). Dadas las características del estudio y siguiendo las líneas de investigación desarrolladas por el GTIC (Espías, 2008; Frias & Perez, 2012; Moral, 2011; Vergara, 2011), se ha optado por el modelo tecno-económico como herramienta de análisis. Esta metodología incluye análisis de coste-beneficio, análisis de escenarios, análisis de tendencias, opiniones de expertos y modelos cuantitativos; y es ampliamente utilizado tanto en el ámbito académico como en la industria. El uso de esta herramienta tampoco se limita al sector de las telecomunicaciones, por el contrario, se ha extendido a otros sectores como la energía y la biotecnología (Smura, 2012).

En concreto, para el estudio aquí desarrollado se ha empleado el modelo del proyecto Europeo Rocket (Moral et al., 2010), adaptado para la tecnología LTE y las bandas de frecuencias armonizadas para ésta. Es preciso mencionar que el Modelo Rocket inicialmente se utilizó para estudiar la viabilidad económica de la entrada de un nuevo operador en el mercado de las comunicaciones móviles utilizando el espectro TDD de la banda de 2.6GHz con la tecnología WiMAX. La estimación de costes del modelo Rocket, emplea la metodología de Flujo de Caja Descontado o DCF (Discounted Cash Flow), que está ampliamente documentado en (Moral et al., 2010; Moral et al., 2011). Respecto al dimensionamiento de elementos de red y equipos, el modelo Rocket utiliza un modelado geométrico del modelo Costa (Vergara, Moral, & Pérez, 2010), que a su vez, está basado en el ampliamente conocido modelo ICT BREAD (Falch & et al., 2006). La principal característica de este tipo de modelado es que el área de cobertura, asume como de forma cuadrada, es dividida recursivamente en sub-áreas, también en forma cuadrada, para los diferentes niveles de agregación que conforman la red de agregación. Para el caso concreto de este estudio, se han considerado 4 niveles de agregación. En Capítulo 3. Modelo Tecno-económico, se explicará con detalle la estructura del modelo y las modificaciones llevadas a cabo con el fin de adaptarlo a nuestro objeto de estudio.

Antes de la ejecución del análisis tecno-económico, era necesario definir las variables de entrada que alimentarían el modelo: caracterización geográfica de las zonas analizadas y valores de propagación de la señal. El primer paso que se siguió fue la caracterización geográfica y demográfica de los 6809 municipios españoles de menos de 5000 habitantes, que representan el 69% del territorio español y el 24% de las viviendas principales en España.

A diferencia de otros estudios en donde se clasifican directamente las entidades poblaciones por alguna(s) variable(s) (Coomonte, Feijóo, Ramos, & Gómez-Barroso, 2013; Feijóo & Gómez-Barroso, 2013), se ha preferido el método de conglomerados (Anderberg, 1973). La información utilizada para la clasificación fue extraída del censo (INE, 2009), informes del regulador (CMT, 2013; Ministerio de Industria, Turismo y Energía, 2011), informes de banda ancha (ONTSI, 2013) y otras fuentes (La Caixa, 2011). Mediante el análisis estadístico, se determinaron las variables y los ratios más influyentes en el estudio y siguiendo la misma

metodología que Vergara (2011), se realizó una clasificación k-medias, con el paquete estadístico SPSS.

Respecto a las variables técnicas de entrada, el modelo Rocket requiere una tabla de tráfico (Mbps por Km²), procedentes de otro modelo técnico. Para ello, basado en los modelos técnicos de Ofcom (Ofcom, 2009a; Ofcom, 2011b; Real Wireless, 2012), un modelo técnico radio. Dicho modelo sigue un enfoque macrocelular que inicia con un balance de enlace en el cual se fijan los parámetros técnicos de la portadora y de calidad de servicio (QoS) con el fin de determina el tráfico y el radio de la célula.

El modelo Rocket considera un estudio a 10 años, iniciando en 2014, y está enfocado a cumplir con la cobertura universal de 30 Mbps en el año 2020. Si bien es cierto que el modelo tecno-económico es capaz de calcular los costes de despliegue en cualquier banda de frecuencia comercial, el modelo se ha enfocado en un despliegue 2x10 MHz FDD MHz en 800 MHz, en concordancia con la obligación de cobertura impuesta a los operadores en la subasta. Con él se han realizado dos estudios:

1. Se continúa el estudio de Vergara (2011), añadiendo el escenario de LTE. Consiste en el cálculo de la inversión de la red de acceso requerida para cubrir con LTE la zona suburbana y rural de España, para ello se ha fijado el Valor Presente Neto (NPV) a Cero y el *take-up* de red al 25%.
2. La evaluación de la obligación impuesta a los operadores en la subasta de 2011, de cobertura del 90% de los municipios de menos de 5000 habitantes. En este estudio, el NPV se fija en cero, para calcular el ARPU (Average Revenue Per User) mensual mínimo, pero se compara con 3 escenarios de demanda futuros, en dos estrategias de despliegue diferentes: compartición pasiva de infraestructuras y sin compartición.

Los resultados estarán sometidos a un análisis de sensibilidad con el fin de determinar las variables de mayor impacto económico en el estudio. Finalmente, en el primero de los casos, como resultado del estudio cuantitativo estático, se discute la mejor estrategia para cada uno de los geotipos analizados. Por otro lado, en el segundo caso, al tener como resultado una gráfica en función del *take-up*, se hace un análisis prospectivo en función de la demanda esperada, que da pie a la discusión de las mejores políticas públicas.

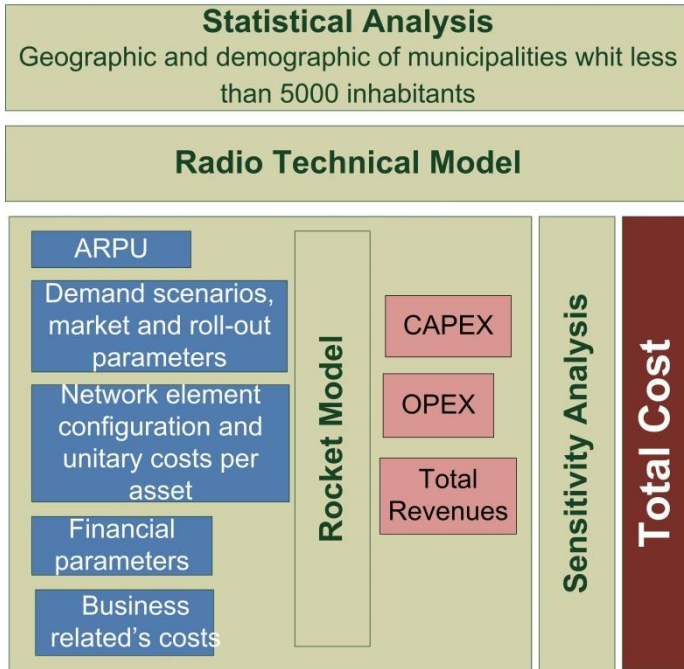


Ilustración 3: Metodología utilizada

1.6 Estructura de la tesis y contribuciones

El presente documento se estructura en 5 capítulos.

El Capítulo 2, Claves y Retos de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps, se realiza un estudio comparado de las políticas públicas de 4 países Europeos, con respecto al dividendo digital y las políticas públicas destinadas al cumplimiento del objetivo de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps. En segundo lugar se estudia el avance de la banda ancha en España y se detallan la construcción de los escenarios de demanda propuestos para estudiar la problemática en España.

En el Capítulo 3, Modelo Tecno-económico, se describen detalladamente los elementos metodológicos empleados en los dos estudios propuestos, así como el origen de las variables de entrada. En la última sección se exponen los escenarios base utilizados, precedidos por la motivación de cada uno de ellos.

En el capítulo 4, Principales resultado del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España, se describen los resultados de los 2 estudios que la componen: Provisionando 30 Mbps al tercio final de la población y Viabilidad del despliegue de LTE en los municipios españoles de menos de 5000 habitantes. También se exponen los resultados del estudio de sensibilidad.

Finalmente, en el Capítulo 5, Conclusiones y trabajo futuro, se exponen las principales conclusiones y las líneas de investigación abiertas en esta investigación. En base a los resultados, se ofrece la visión de la autora acerca de las medidas regulatorias y políticas públicas respecto a la universalización de la banda ancha de 30 Mbps.

Contribuciones en ponencias y congresos

Moral, A., Vergara, A., Pérez, J., & Ovando, C. (2010, December). *Assessment of the benefits of introducing a HSDPA carrier at 900MHz*. In *GLOBECOM Workshops (GC Wkshps), 2010 IEEE* (pp. 834-838). IEEE.

Moral, A., Vergara, A., Perez, J., & Ovando, C. (2010, September). A model to estimate the costs of a partial clearance of spectrum in the 900MHz band. In *Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2010 IEEE 21st International Symposium on* (pp. 2320-2325). IEEE.

Catalina Ovando, Antolín Moral and Jorge Pérez, "GSM band's *Refarming* Public Policy Review," Proc. 48th FITCE Congress, Prague, Czeck Republic. 3-5 September 2009

Contribuciones en Revistas

Ovando, C., et al. (2015) LTE techno-economic assessment: The case of rural areas in Spain. *Telecommunications Policy*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.telpol.2014.11.004>

Ovando, C. & Pérez, J. (2014). Providing 30Mbit/s to Spain's final third. -A techno-economic assessment. *The Journal of The Institute of Telecommunications Professionals*, 8, 29-34.

Ovando Chico, M. C., Moral Caballero, A., & Pérez Martínez, J. (2010). El "refarming" de las bandas GSM en Europa. *Revista AHCIET: revista de telecomunicaciones*, (121), 10-26. ISSN: 0213-1226

Pérez, J., Moral, A., & Ovando, C. (2009) "Claves y retos de la gestión del espectro". Regulatory and Economic Policy in Telecommunications. Editorial: Gabinete de Estudios de Economía de la Regulación (GEER) Telefónica España. Nº 2, pág. 14-26. Marzo 2009. Madrid, Spain. ISSN 2172-2900

Pérez, J., & Ovando, C. (2008). El "refarming" de las bandas de servicios móviles en España. *Bit*, (170), 63-64.

Capítulo 1. Introducción

CAPÍTULO 2. CLAVES Y RETOS DE LA UNIVERSALIZACIÓN DE LA BANDA ANCHA DE 30 MBPS

2.1 Introducción

“El cumplimiento de los objetivos de despliegue y adopción de redes ultrarrápidas propuestos por la Agenda Digital Europea, se complica aún más debido a las diferencias evidentes entre el coste del despliegue y el precio máximo que los consumidores están dispuestos a pagar”. (Marcus & Elixmann, 2012).

Con la cita anterior el informe de WIK Consult enmarcaba el principal debate de los Estados Europeos respecto a las políticas públicas en zonas más rezagadas en despliegue de redes ultra rápidas e inclusión digital. El retorno de la inversión al final del periodo de estudio, está directamente relacionada con el *take-up*, y por tanto, con la adopción al servicio. En las zonas menos pobladas, la adopción tiende a ser menor que en zonas urbanas, resultando en barreras al despliegue. En un estudio de los motores (“*drivers*”) de crecimiento de la adopción de la banda ancha en la zona rural y remota de Escocia (Howick & Whalley, 2008), se reportó que la disposición de la banda ancha en dichas zonas no conduce en la misma medida a la adopción. Por ejemplo, en el caso de Estados Unidos, Davidson, Santorelli, y Kamber (2012), pusieron de relieve que a pesar del acceso casi universal a la banda ancha, menos del 70% de los hogares se suscriben a ella. En el caso de la zona rural británica, se confirma que la adopción a la banda ancha tiende a ser mucho más baja que la media nacional, ya que a pesar de estar a disposición del 99,9% de los hogares y empresas del Reino Unido, las tasas de adopción varían entre 48 y 59%. Finalmente, (Howick y Whalley, 2008) afirman que para que se concreten los beneficios socioeconómicos derivados de la banda ancha, se debe concienciar y estimular la adopción de la misma.

Respecto a los factores de mayor impacto en la adopción de la banda ancha en las zonas rurales, en estudios ampliamente reconocidos (Davidson, Santorelli, & Kamber, 2012; FCC, 2011; Geroski, 2000; Howick & Whalley, 2008; Prieger, 2012) se consideran básicamente tres: coste del servicio, disposición de dispositivos y la alfabetización digital. Howick y Whalley (2008) identifican el coste del servicio como el factor de mayor impacto en la adopción, confirmando de esta manera, el estudio realizado por Geroski (2000). En éste último se menciona que la política de precios y servicios de los operadores es un factor de éxito o fracaso, al generar una barrera de entrada, en la adopción de tecnología. Prieger (2012), por su parte, afirma que los hogares en zonas rurales tienen ingresos inferiores a la media nacional, es por esto que esta población es especialmente sensible al precio.

Otros factores que se identifican en el estudio de Howick y Whalley (2008) son las características de la banda ancha (velocidad, disponibilidad del servicio, ubicuidad), contexto social del usuario (educación e ingresos, alfabetización digital y disponibilidad de dispositivos) y la consciencia de la utilidad de la banda ancha. Davidson, Santorelli y Kramber (2012) describen los resultados del programa “*Intenet Essentials*”, enfocado a fomentar la adopción de la banda ancha en hogares de bajos ingresos. Allí se confirma como la carencia de dispositivos constituye una barrera de entrada fundamental para la adopción de la misma en

dichos hogares. El programa propuso brindar la oportunidad a los usuarios de adquirir un netbook libre de impuestos. De esta manera, se implementa una vez más, la conocida política de subvención de terminales como solución para la reducción de la brecha digital.

En España, la adopción de la banda ancha en función de la población de los municipios se refleja en los informes periódicos del regulador. En el último informe de 2013 (CMT, 2013), la penetración de la banda ancha fija en los municipios de menos de 5000 habitantes era de 17,9 líneas por cada 100 habitantes, mientras que la media nacional era de 24,3. Aún más notoria era la caída en los municipios de menos de 1000 habitantes en donde la media se situaba en 12,6 líneas por cada 100 habitantes (cabe resaltar que al tiempo del informe ya se había implantado el servicio universal de banda ancha en España), confirmándose que la adopción de banda ancha en zonas rurales en España, sigue la misma tendencia que la que se reporta en la zona rural escocesa den los estudios de Howick y Whalley (2008).

En el caso específico de España los municipios de menos de 5000 habitantes representan el 69% del territorio nacional, el 12,15% de la población nacional (que asciende a 46,746 millones de habitantes), y el 24,08% de las viviendas principales de España. Dadas las proporciones demográficas nada despreciables en cuanto a territorio, población y hogares, es preciso realizar un estudio de despliegue que contenga previsiones de adopción, ya que esta juega un papel fundamental en la viabilidad de un despliegue de mercado.

En este apartado se realiza un estudio comparado de las políticas públicas de 4 países Europeos, el caso español se analizó en el capítulo 1, con respecto al dividendo digital y las políticas públicas destinadas al cumplimiento del objetivo de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps. En segundo lugar se estudia el avance de la banda ancha en España y se detallan la construcción de los escenarios de demanda propuestos para estudiar la problemática en España.

2.2 Análisis comparado de la universalización de 30 Mbps en Europa

A continuación se enuncian las principales políticas públicas de los 4 países más grandes de Europa, comparable en población y territorio a España. En general, se podría decir que el país con mayor éxito en sus políticas de desarrollo de NGA tanto fijas como móviles es Reino Unido y el de menor éxito Italia. En Tabla 4 se muestran en rojo los valores inferiores y en verde los superiores de los principales indicadores respecto al cumplimiento de los objetivos propuestos en el pilar IV de la iniciativa Europa 2020.

	Alemania	Francia	Italia	Reino Unido	España
ARPU anual móvil	190 €	260 €	153 €	241 €	214 €
cobertura BA 144Kbps	97,50%	99,70%	98,50%	99,80%	99,80%
cobertura NGA fija	74,75%	41%	20,80%	81,60%	64,90%
Penetración BA 144 Kbps*	34,9	38,2	23,3	34,1	26
Penetración BA 30 Mbps*	5,6	3,2	0,1	8,7	3,9
Penetración BA 100 Mbps*	0,09	0,2	0	0,5	1,5
Penetración BA móvil	45,10%	48,70%	66,30%	77,60%	73,40%
cobertura LTE	81%	68%	39,30%	61%	47,10%
*Líneas por 100 habitantes					

Tabla 4: Indicadores de objetivos de Europa 2020. Elaboración propia a partir de:(Comisión Europea, 2014a; Comisión Europea, 2014b) .

Capítulo 2. Claves y retos de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps

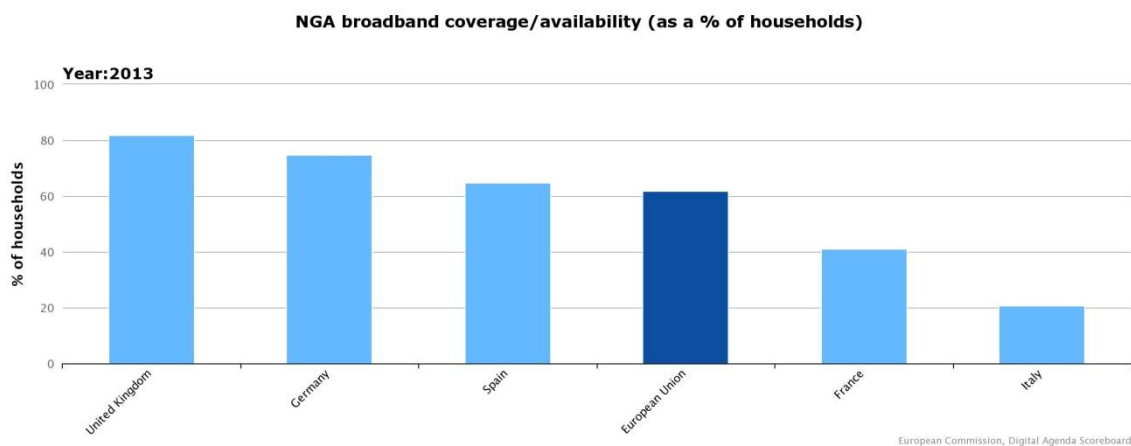


Ilustración 4: Porcentaje de hogares con disponibilidad de accesos NGA

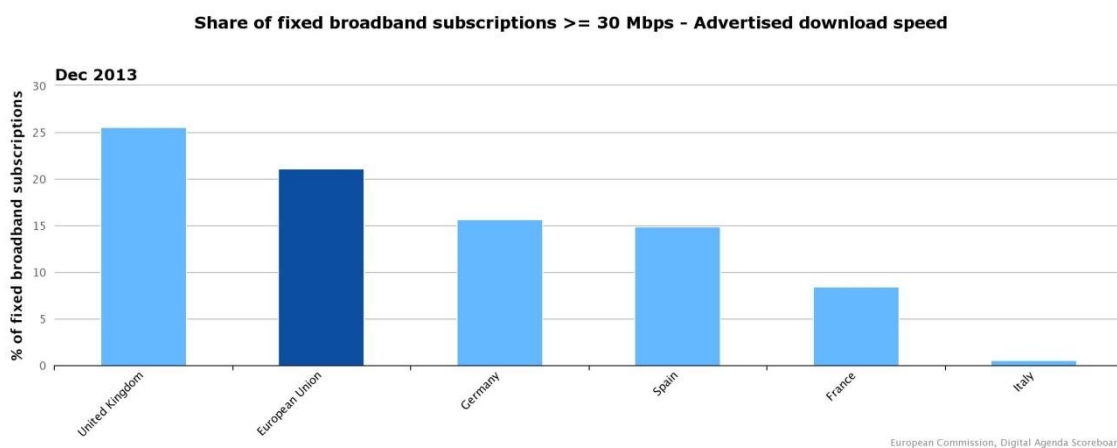


Ilustración 5: Porcentaje de líneas suscritas a banda ancha igual o mayor a 30 Mbps

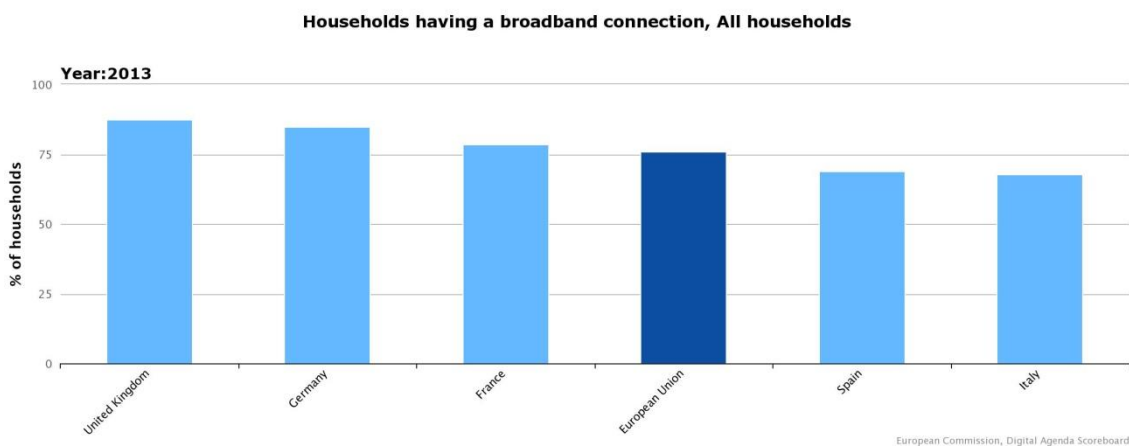


Ilustración 6: Porcentaje de hogares suscritos a banda ancha

La estrategia de despliegue NGA Europea se basa en accesos de fibra (FTTx) para la mayoría de la población. Respecto a las ayudas públicas para el cumplimiento de los objetivos de Europa 2020, son en su mayoría fondos mixtos (sector público-privado) destinados a extender infraestructura de fibra o para construcción del *backhaul* de redes móviles en zonas rurales.

España se sitúa por encima de la media Europea, respecto al porcentaje de hogares cubiertos por NGA fijas. En el caso español el despliegue de HFC es muy significativo, de tal manera que algunas fuentes lo califican como el principal “*driver*” de la cobertura NGA (Yoo, 2014). La estrategia española, líder en el segmento de penetración de la banda ancha de 100 Mbps, es FTTH y HFC, en las grandes y medianas ciudades y LTE en zonas rurales, aunque se reconoce que VDSL jugará un papel fundamental en las ciudades pequeñas. Sin embargo, es preciso comentar que, como se observa en la Ilustración 4 y la Ilustración 6, la adopción no acompaña al despliegue, ya que el porcentaje de hogares que se suscriben a líneas de banda ancha, están por debajo de la media Europea. De igual manera, en la Ilustración 5, se aprecia que queda mucho por hacer respecto a la penetración de líneas de banda ancha de 30 Mbps. Respecto a la penetración de la banda ancha móvil, España, sigue muy de cerca al líder Europeo, Reino Unido, fundamentalmente por servicios 3G, puesto que el despliegue comercial de LTE en España, ha iniciado con retraso.

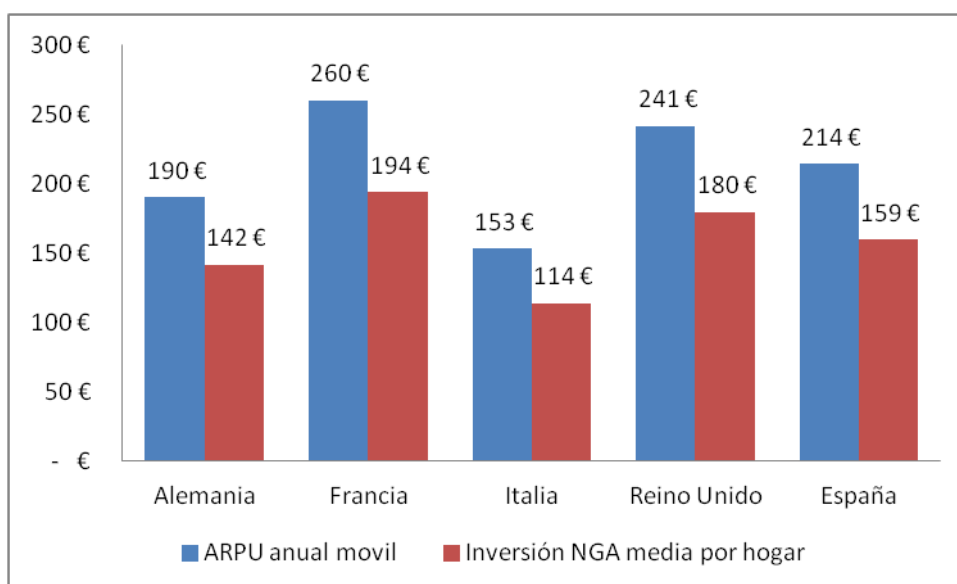


Ilustración 7: ARPU anual móvil e inversión NGA media por hogar. Fuente: (Yoo, 2014).

Otra fuente reciente (Yoo, 2014), destaca la inversión media por hogar cubierto por NGA fija en los países estudiados. En este rubro, España se sitúa un poco por encima de la media, aunque no se especifica ni la tecnología de acceso ni las características del entorno, que al parecer es urbano. Por otro lado, el ARPU anual de un usuario móvil en España se encuentra justo en la media. Dado el coste de servicios asociados a las telecomunicaciones suele estar entre los más altos de Europa, se hace necesaria una mayor precisión de las características del servicio, asociadas al ARPU, y por desgracia, este informe carece de ello.

Finalmente, del mismo informe, destacar a modo informativo, que también se menciona la cobertura NGA rural en porcentaje de área cubierta. En el porcentaje de hogares cubiertos,

España se ubica en el máximo nivel respecto al resto de los países comparados, mientras que se sitúa en la media de área rural cubierta. Lo anterior, implica la cobertura de ciudades rurales de densidad media, probablemente con tecnología HFC, aunque no se especifica.

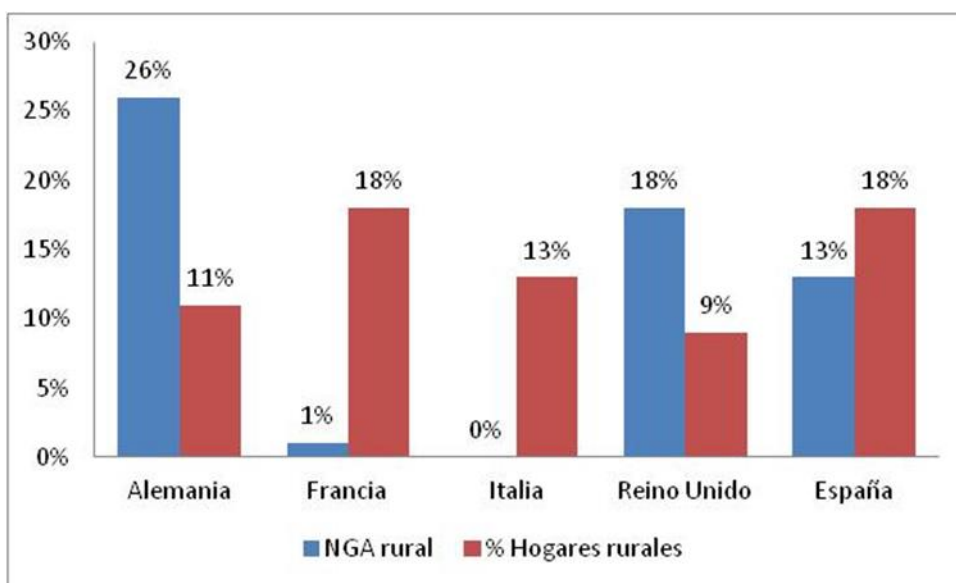


Ilustración 8: NGA rural: área cubierta y hogares cubiertos. Fuente: (Yoo, 2014).

A continuación se recopilan brevemente las principales iniciativas de política pública de los países mencionados, a excepción de España, que se ha tratado en el capítulo 1, extraídas en su mayoría de la Comisión Europea (Comisión Europea, 2014a; Comisión Europea, 2014b).

2.2.1 Alemania

Alemania cuenta con una estrategia nacional de banda ancha desde 2009 y revisada en 2013. El objetivo principal es cubrir el 75% de los hogares con conexiones capaces de proveer banda ancha de 50 Mbps en 2014 y alcanzar la universalización de este servicio en 2018. Con el fin de alcanzar estos objetivos, el gobierno alemán ha propuesto 4 pilares de políticas públicas enfocadas a incentivar la inversión y el despliegue (Comisión Europea, 2014a; Comisión Europea, 2014b):

- Capitalizar las sinergias en la construcción de infraestructuras (entre agentes privados o público-privados, con el fin de conseguir una mayor eficiencia en costes)
- Garantizar políticas de apoyo al espectro (favorable al mercado y orientadas al crecimiento)
- Compromiso con políticas públicas orientadas a la innovación y al crecimiento
- Proveer el apoyo financiero apropiado (programas de ayudas financieras donde sea necesario)

En 2010 se llevó a cabo la subasta de las bandas de 800, 1800, 2000 y 2600 MHz. Los grandes operadores presentes en el mercado alemán adquirieron 41 bloques de frecuencias por €4,4 mil millones, a fin de establecer sistemas basados en LTE. Las bandas de frecuencias de LTE conllevan la condición de cubrir el 80% de las “áreas blancas” con ésta tecnología. En concreto, O2 (Telefónica), T-Mobile (Deutsche Telecom) y Vodafone; fueron sujetos a la

obligación de cubrir el 90% de la población de menos de 5.000 habitantes, para posteriormente empezar a desplegar LTE en las zonas urbanas. El gobierno alemán ha afirmado que confía en los compromisos de cobertura antes mencionados como estrategia a corto y medio plazo para el cumplimiento de los objetivos de despliegue de su estrategia nacional.

Respecto a los incentivos económicos en zonas rurales desprovistas por el mercado, Alemania ha destinado €150 millones en programas de ayuda pública al despliegue: las ayudas GAK (“Tarea conjunta para el mejoramiento de infraestructura agrícola y protección de costas”) otorgadas por los estados federados alemanes en un máximo de €200 mil por proyecto; y las ayudas GRW (“Tarea conjunta para el mejoramiento de estructuras económicas regionales”) otorgadas por el gobierno federal. En 2009 se reportó que el 60% de las zonas blancas alemanas se habían subsidiado con este tipo de fondos (German Federal Ministry of Economics and Technology (BMWV), 2009).

Como medidas de estímulo a la demanda se pueden destacar principalmente 3

- Promoción y desarrollo de aplicaciones relacionadas al tele trabajo y al sector de la salud.
- Equipamiento de hogares.
- Deducciones fiscales del coste de la instalación de banda ancha ultrarrápida fija en edificios y hogares.

A finales de 2012 entró en vigor una nueva ley de Telecomunicaciones que complementa la estrategia de banda ancha del gobierno federal y optimiza el esquema para la expansión y la construcción de redes ultrarrápidas y crea incentivos para la inversión en nuevas redes. Requerimientos como el uso conjunto de infraestructuras alternativas como las canalizaciones o la energía, o el uso de tecnologías eficiente en costes como *micro-trending*, son las medidas por las que apuesta la nueva Ley como vía para alcanzar con los compromisos de cobertura de redes rápidas y ultrarrápidas. Además, la nueva ley fortalece la competencia entre operadores de servicio al proscribir acceso abierto a las redes y protección al consumidor en el sector de las Telecomunicaciones.

El atlas de banda ancha se establece en la nueva ley como medio central de información de la disponibilidad actual de la banda ancha en los hogares de Alemania. Así mismo se establece la publicación de un informe semestral sobre el atlas de banda ancha que provea de un análisis detallado de la disponibilidad de banda ancha a los gobiernos federal y estatal.

2.2.2 Francia

Francia fijó en 2012 el servicio universal de banda ancha en 500 Kbps. En 2011 estableció su estrategia nacional de banda “Plan Francia muy alta velocidad” designando a ARCEP como órgano regulador responsables de designar las políticas concernientes a la expansión de las redes de banda ancha en Francia. El plan se extenderá hasta 2022 con el fin de asegurar acceso universal a la banda ancha, favoreciendo acceso FTTH, en éste año.

Capítulo 2. Claves y retos de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps

A pesar de que la disponibilidad de la fibra es baja aún, la velocidad del despliegue de este tipo de acceso se incrementó considerablemente en 2013, de tal manera que el 40% de los hogares cuenta con cobertura FTTH. La tecnología HFC lidera las conexiones de redes ultrarrápidas en Francia. Respecto a las redes móviles LTE, empezó a comercializarse a finales de 2012, progresando rápidamente.

En el sector de las comunicaciones móviles, el mercado francés está compuesto por 4 (Orange, Bouygues, SFR y Free) operadores licenciatarios de espectro, y 20 operadores móviles virtuales. El último operador con red ingresó en el mercado francés en 2012, provocando un notable incremento de la competencia y un decremento en los precios. El incumbente es Orange con una cuota de mercado del 34%. Free y SFR mantienen un acuerdo de compartición de infraestructuras para cubrir las ciudades menos densamente pobladas. Al momento de este documento, el segundo operador de mayor peso significativo en el mercado (PSM) se encuentra a la venta, SFR, con los que se prevé una etapa de fusiones y/o adquisiciones. En 2011 se desarrolló la subasta conjunta de las bandas de 800 MHz y 2,6 GHz. Dicho procedimiento, conllevó un plan incremental en el tiempo, hasta 2020, de obligaciones conjuntas de cobertura en zonas rurales.

Medida principal: Misión velocidad ultrarrápida

- Además de la obligación de cobertura impuesta a los operadores móviles licenciatarios, el gobierno francés ha anunciado la movilización de €20 mil millones en los próximos 10 años para el desarrollo de redes ultrarrápidas, de los cuales, €3 mil millones son subsidios del Estado para apoyar proyectos de autoridades locales. Para dirigir este plan (Fonds pour la Société Numérique FSN), el presidente de la república ha anunciado la creación de una institución pública para coordinar, asegurar el soporte financiero y supervisar el despliegue de red.

Medidas de estímulo financiero

- Préstamos: Fondos para la sociedad Digital (FSN); es una combinación entre fondos públicos y privados dirigidos al sector. Además Fondos digitales de la banca de inversión pública (bpi France) se ofrecen a las pymes.
- Ayudas del Estado (Actividades especiales- ERDF *European Regional Development Fund*); el programa operacional FEDER “competitividad regional” es una ayuda suplementaria de hasta el 30% que provee la Unión Europea.
- Ayudas del Estado (Actividades Especiales –EARFD, *European Agricultural Fund for Rural Development*); existen ayudas EAFRD para regiones específicas.
- Ayudas del Estado (Actividades Especiales –Instrumentos nacionales de financiación); los FSN son ayudas de gobierno francés para apoyar e incentivar el despliegue de redes ultrarrápidas.

2.2.3 Italia

El plan nacional de banda ancha “Plan Italia Digital: banda ancha ultrarrápida” fue adoptado en 2011 y estará vigente hasta 2020. El plan de 2011 constituye la base para las

ayudas estatales aprobadas en 2012 (SA.34199). En dicho documento se definen tres modos diferentes de aplicación en función del tipo de intervención a realizar para implementar la infraestructura de banda ancha. Se definen 3 tipos diferentes de implementación dependiendo del tipo de intervención:

- Tipo A: se centra en el desarrollo del acceso (NGA) redes de próxima generación que permanezcan en la propiedad pública, después de haber comprobado la inexistencia de infraestructura básica que permita el *backhaul* de red.
- Tipo B: se dirige a los operadores de telecomunicaciones para la ejecución de proyectos de inversión en infraestructura para eliminar el déficit en la última milla de la red de acceso. La última milla en este contexto se entiende en un sentido amplio como el conjunto de dispositivos activos y portadoras.
- Tipo C: proporciona soporte a los usuarios para la compra de terminales de usuario especiales, en zonas aisladas, generalmente montañosas y/o de muy baja densidad de población, donde las condiciones geomorfológicas son particularmente difíciles y realizar inversiones de infraestructura resulta económicamente poco viable o inviable. Italia tiene por objeto particular garantizar el crecimiento económico, la diversificación y la innovación a través de conexiones de banda ancha en aquellas zonas aisladas. Un enfoque de neutralidad tecnológica ayudará a lograr estos objetivos.

Medidas de estímulo financiero

Ayudas Estatales (Actividades Especiales – EARFD.): Un total de 1,74 millones de euros procedentes de los fondos FEASR, *European Fund for Rural and Agricultural Development*, y FESR, *European Fund of Regional Development*, de la Unión Europea, así como el Fondo Nacional Áreas Subutilizadas (FAS, *European Agricultural Fund for Rural Development Underutilized Areas Fund*) se planificaron para ser divididos, casi por igual, entre proyectos para la construcción de infraestructura de banda ancha y despliegue de infraestructura de acceso de última milla. De acuerdo con el Ministerio de Desarrollo Económico (*Ministero dello Sviluppo Economico*), 1106 millones de euros se han utilizado para el desarrollo de la banda ancha (incluidos los fondos nacionales y regionales), además de 553 millones de euros procedentes de las regiones y el 30% de los solicitantes privados para planes NGA.

Italia ha hecho algunos avances hacia el logro de los objetivos básicos de la DAE de banda ancha en los últimos dos años. Sin embargo, las penetraciones y generales, NGA fijas de banda ancha están todavía muy por debajo de la media de la UE (y la última en la UE con respecto a la penetración y cobertura 30Mps NGA) progresan más lentamente que en el resto del continente. Si bien esto también está relacionado con la baja alfabetización (34% de las personas nunca han utilizado Internet, el cuarto número más alto de la UE en 2013), también la calidad de las líneas de banda ancha existentes en términos de velocidad parece ser muy bajo en comparación con el media de la UE (sólo el 18,4% de las suscripciones ofrece velocidades superiores a 10 Mbps, en comparación con 66% en el conjunto de la Unión). Esta situación dio lugar a una recomendación específica del Consejo de la UE en 2013, destacando la necesidad de mejorar la capacidad de infraestructura para la banda ancha de alta velocidad.

Se han experimentado ligeras mejoras en los últimos meses en líneas de banda ancha y accesos NGA.

Respecto al mercado de las comunicaciones móviles, Italia está compuesta por cuatro operadores licenciatarios: Telecom Italia (TIM), Vodafone, Wind y 3 y 13 OMV. Los 3 primeros adquirieron espectro en la banda de 800 MHz, en la subasta llevada a cabo en 2011. La peculiaridad de la licitación se centró en vincular cada bloque de 2x5 MHz FDD de la banda de 800 MHz, un listado de municipios de menos de 3.000 habitantes. El operador licenciatario de dicho bloque está sujeto a la obligación de cobertura periódica (30% en 3 años y 75% en 5 años) de dicho listado. AGCOM el regulador Italiano, ha incentivado la compartición de infraestructuras y la neutralidad tecnológica, con el fin de lograr una mayor oferta de servicios de banda ancha rápida y ultrarrápida.

2.2.4 Reino Unido

La Consejería de Cultura, Medios y Deporte (DCMS) es responsable de establecer la dirección del Programa de distribución de banda ancha: *“Broadband Delivery United Kingdom”* (BDUK). DCMS es el responsable de las políticas del Gobierno en materia de estimular la inversión del sector privado mediante la financiación disponible en el Reino Unido. Las administraciones descentralizadas desarrollan y gestionan programas de banda ancha en sus propias naciones, que complementan el trabajo llevado a cabo a nivel estatal, y gestionan la asignación de fondos en sus territorios. Las oficinas del gobierno local en Inglaterra desarrollan planes de banda ancha locales, desarrollan proyectos individuales, involucran a grupos de la comunidad, aseguran el cumplimiento y la entrega de las ayudas estatales y de la UE e informan al regulador, Ofcom, de las necesidades y deficiencias de las comunicaciones locales.

Objetivos

“Britains’s super fast broadband Future”, es la estrategia adoptada en 2010 y ha sido reformada en 2012 y 2013 y estará vigente hasta 2017. Con el fin de alcanzar los objetivos de proveer banda ancha ultrarrápida en todo Reino Unido, serán necesarias un conjunto de tecnologías fija, móviles y satelitales. Reino Unido ha escogido un enfoque de neutralidad tecnológica, pero ha hecho de la fibra óptica su estrategia emblemática en vista al futuro desarrollo de las TIC. Con su aspiración a ser puntero en la economía digital, los despliegues FTTH, FTTC, o FTTN juegan el papel más relevante en su estrategia a la cual destinan la mayor parte de las ayudas públicas. En 2011, el gobierno asignó £ 100 millones para un Fondo de banda ancha urbana con el fin de desarrollar infraestructuras en diez ciudades superconectadas alrededor de Reino Unido. En 2012 dicho fondo se amplió en £ 50 millones para que 12 ciudades más pudiesen beneficiarse de este programa. El programa *“Banda ancha rural Británica”* otorga dinero a las autoridades locales (y las administraciones descentralizadas, en Escocia, Gales e Irlanda del Norte), que han propuesto planes adicionales para recaudar dinero del sector privado para ofrecer banda ancha a las áreas que no tienen todavía acceso. La inversión de DCMS en programas para el desarrollo de la banda ancha fija y móvil se ha distribuido de la siguiente manera: Programa de Banda Ancha Rural EUR 530m, Programa de Extensión de redes ultrarrápidas EUR 250m, Fondos pilotos de competitividad de la banda ancha £ 10 mil, Programa ciudades Súper-conectadas EUR 150 millones. El Reino Unido

Capítulo 2. Claves y retos de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps

también invierte hasta 150 millones de libras para mejorar la calidad y la cobertura de telefonía móvil de voz y servicios de datos (proyecto de infraestructura móvil).

- Servicio Universal de 2 Mbps en 2015
- 24 Mbps al 95% de la población en 2017

Medidas de estímulo financiero:

- Ayudas estatales (Actividades Especiales - FEADER): El Reino Unido está proporcionando apoyo financiero a determinados proyectos de banda ancha de la Comunidad que tengan por objetivo la entrega de banda ancha súper rápida a las comunidades rurales marginadas. Estos proyectos son un complemento al programa principal de cobertura de banda ancha BDUK. Hay un fondo de combinado de £ 20 millones en total entre RDPE, *Rural Development Programme for England*, y FEADER puesto a disposición para apoyar los despliegues de banda ancha ultrarrápida para el último 10% de la población del Reino Unido bajo el Fondo de Banda Ancha Rural Comunitario (RCBF).
- Ayudas Estatales (Actividades Especiales - FEDER): La financiación del gobierno central y local para la consecución de los objetivos primordiales: un 95% de cobertura súper rápido en 2017 en todo el Reino Unido y un mínimo de 2 Mbps para todos para el año 2015.
- Otros: El programa ciudades súper conectadas proporciona financiación directa a pequeñas y medianas empresas para fomentar la adopción de banda ancha rápida y ultrarrápida. Un elemento clave de esta actividad de estimulación de la demanda es el uso de un Vale de conexión de amplia disposición a todas las PYME.

El sector de las comunicaciones móviles en Reino Unido está compuesto por EE (Fusión de Orange y Deutsche Telekom), O2, Vodafone y 3. La subasta de la banda de 800 MHz se desarrolló en 2013, vinculando un bloque de 2x10 MHz FDD al compromiso de cobertura universal de banda ancha de 2 Mbps en 2017. A los 3 operadores restantes se les atribuyó un bloque de 2x5 MHz, exento de condiciones de despliegue.

2.3 Escenarios de demanda previstos para España

2.3.1 Inversiones en el sector de las comunicaciones móviles en España

8. INVERSIÓN POR OPERADOR Y TASA DE VARIACIÓN INTERANUAL

	(millones de euros y porcentaje)							
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Telefónica de España	1.206	1.388	1.497	1.578	1.461	1.271	1.405	1.416
Movistar	630	730	739	745	713	559	590	1.474
Vodafone	667	716	846	958	724	633	675	578
Orange	537	757	716	647	548	435	402	990
Ono	697	760	593	530	351	219	244	292
Mediaset España	137	126	137	160	152	164	128	230
Hispasat	5	1	2	2	31	130	81	37
Grupo Abertis	32	41	66	69	109	106	91	33
RTVE	71	70	61	57	67	89	98	77
Jazztel	14	135	136	20	52	69	93	89
R	51	59	72	102	80	56	76	52
Yoigo	43	42	78	77	85	53	51	94
Euskaltel	130	117	139	91	66	47	45	60
Canal+	49	139	123	99	79	40	110	108
Televisió de Catalunya		100	91	101	99	5	81	84
BT		31	37	38	20	15	18	24
Atento		0	0	0	0	0	0	36
Resto	406	290	340	502	521	379	286	244
Total	4.715	5.515	5.686	5.788	5.172	4.277	4.474	5.919

Se ha modificado el dato de inversión del 2010. La inversión del año 2011 incluye las cantidades destinadas al espectro radioeléctrico declaradas por los operadores, cuya cuantía total fue de 1.562 millones de euros.

Tabla 5: Inversiones anuales de los operadores. Fuente: (CMT, 2012)

Antes de describir los escenarios de adopción de banda ancha previstos para España, es preciso mostrar la situación en la cual se encuentran los operadores del sector de telecomunicaciones en términos de inversión. La Tabla 5 muestra las inversiones por operador desde 2004 a 2011. Se puede observar que los tres principales operadores de telefonía móvil han invertido más de €500 millones al año: Vodafone €758 millones, Telefónica (bajo la marca Movistar) €679 millones y Orange €583 millones. Anteriormente se expusieron los precios a los cuales los operadores adquirieron espectro en la banda de 800 MHz (ver Tabla 1). De los tres operadores sujetos a la obligación de cobertura del 90% de los municipios de menos de 5000 habitantes, sólo hay uno que (en el momento de la elaboración de la tabla) únicamente provee servicios móviles: Vodafone, por lo tanto, el total de las cantidades expresadas en la tabla están destinadas a dicho segmento.

Actualmente, el sector de las telecomunicaciones en España se encuentra en un proceso de consolidación. En marzo de 2014, el segundo operador en número de clientes, Vodafone, adquirió ONO, el mayor operador de cable en España. Dicha operación se fijó en €7200

millones. De esta manera, Vodafone incorporó 1,1 millones de clientes, aumentando su cuota de mercado en el sector de la banda ancha del 7,5% al 21%, mientras que su cuota de mercado total en el sector de las telecomunicaciones aumentaría del 24,8% al 26%. Posteriormente, tan sólo unos meses después de la operación anterior, Orange, el tercer operador, adquirió Jazztel por €3400 millones. Con dicha fusión Orange agregó 1,5 millones de clientes de banda ancha fija.

La evolución en las líneas móviles por operador hasta septiembre de 2014, puede observarse en la Ilustración 9. Por otro lado, las series correspondientes a las líneas de banda ancha fijas hasta septiembre de 2014 se observan en la Ilustración 10. Respecto al número de líneas exclusivas de banda ancha fija, se sitúan en 1.817.851 (CNMC, 2014). La CNMC no dispone de datos desagregados, que nos permitan conocer el número de líneas de banda ancha móvil exclusivas de datos por operador, ni el número de dichas líneas destinadas a brindar banda ancha fija residencial.

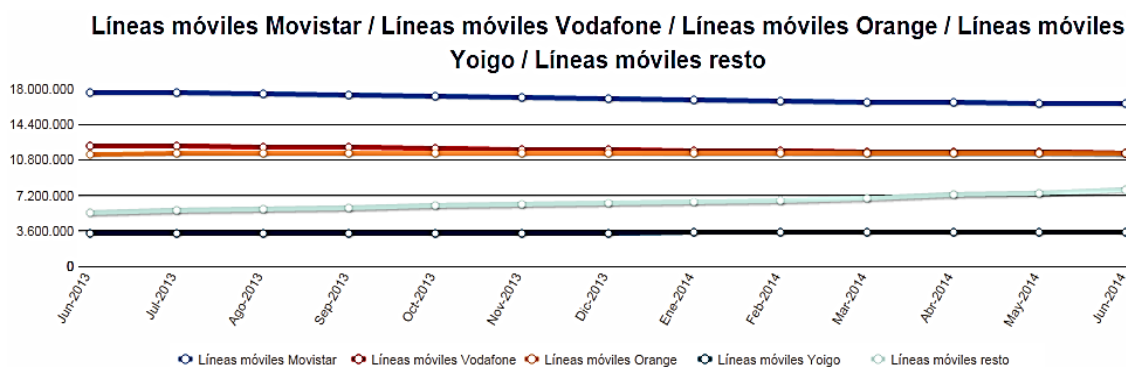


Ilustración 9: Evolución de las líneas móviles en España. Fuente: (CNMC, 2014).

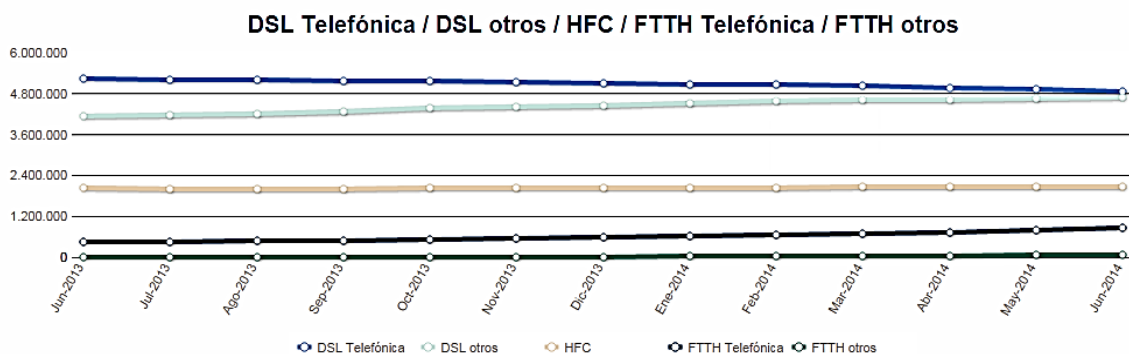


Ilustración 10: Evolución de las líneas de banda ancha fija por tecnología. Fuente: (CNMC, 2014)

Últimamente, se han generalizado las ofertas agregadas conocidas como “triple play” (internet, móvil y fijo) y “cuádruple play” (internet, móvil, fijo y televisión de pago) como medidas de estímulo de la demanda. Es, por tanto, importante conocer los datos correspondientes a la evolución de líneas móviles, en conjunto con los accesos instalados de banda ancha para tener una visión general a los posibles escenarios de demanda a los que España se puede enfrentar en un futuro no muy lejano. Complementando la información de la Ilustración 10, la Tabla 6 muestra de manera ordenada, en forma descendente, la evolución del número de accesos instalados por tecnologías en España. Se observa un fuerte liderazgo de las tecnologías basadas en par cobre. En la Ilustración 10, se muestra que cerca de 5 millones

de accesos xDSL son cubiertos por el operador incumbente y sólo un poco inferior es el número de dichos accesos cubiertos por otros operadores. En segundo lugar, la tecnología HFC cuenta con la mitad de accesos instalados que XDSL. En tercer lugar, lejos de las dos anteriores, pero creciendo de forma exponencial en los últimos años, se encuentran los accesos de Fibra, de los cuales cerca de un millón son provistos por Telefónica. Respecto a las redes móviles y satelitales, éstas se encuentran muy lejos de los anteriores. Las tecnologías satelitales se han incrementado en los últimos años, muy seguramente a raíz de la puesta en marcha del servicio universal de banda ancha. En general, se puede observar la evolución de las líneas de banda ancha hacia tecnologías capaces de brindar velocidades de descarga mayores, como es el caso de FTTH y HFC. Sin embargo, se prevé aún un largo recorrido, debido a que la tecnología dominante, xDSL, tiene una cuota de mercado muy grande.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Accesos instalados par de cobre	16.325.077	16.100.379	15.865.857	15.996.403	16.065.690	15.740.106
Accesos instalados HFC	8.778.068	9.146.308	9.307.653	9.439.863	9.497.692	9.797.680
Accesos instalados fibra	436.783	604.620	1.024.559	1.193.094	2.298.543	3.951.051
Accesos instalados radio	203.559	235.189	233.335	226.186	236.807	219.532
Accesos instalados satélite	6.834	12.252	13.492	11.290	10.757	15.222

Tabla 6: Evolución de accesos instalados por tecnologías

Respecto a los accesos de banda ancha por municipios por número de habitantes, en el informe geográfico publicado a principios de 2013 (CMT, 2013), es el único que brinda dicha información. En él se reseña que tanto HFC como FTTH tienen una presencia incipiente en los municipios de menos de 5000 habitantes (2,8 y 0,5 accesos por 100 habitantes respectivamente) y casi nula en los municipios de menos de 1000 habitantes (0,2 y 0 accesos x 100 habitantes respectivamente). Por otro lado, VDSL se sitúa como la tecnología “líder” NGA, pero con una cobertura y penetración muy incipiente: en las zonas rurales con 8,6 accesos por 100 habitantes en municipios menores a 5000 habitantes y 2,5 en municipios con población menor a 1000 habitantes. Se puede observar con claridad, la falta cobertura NGA en la zona rural Española.

2.3.2 Escenarios de demanda

En la Ilustración 11, se puede observar la evolución de líneas de banda ancha en España. Ya en la Ilustración 6, se mostraba que España se sitúa por debajo de la media Europea y en el cuarto lugar de los países estudiados. A pesar de contar con cobertura NGA por encima de la media Europea y del considerable incremento en este indicador en los últimos años (Ilustración 4), queda de manifiesto la necesidad de estimular la demanda.

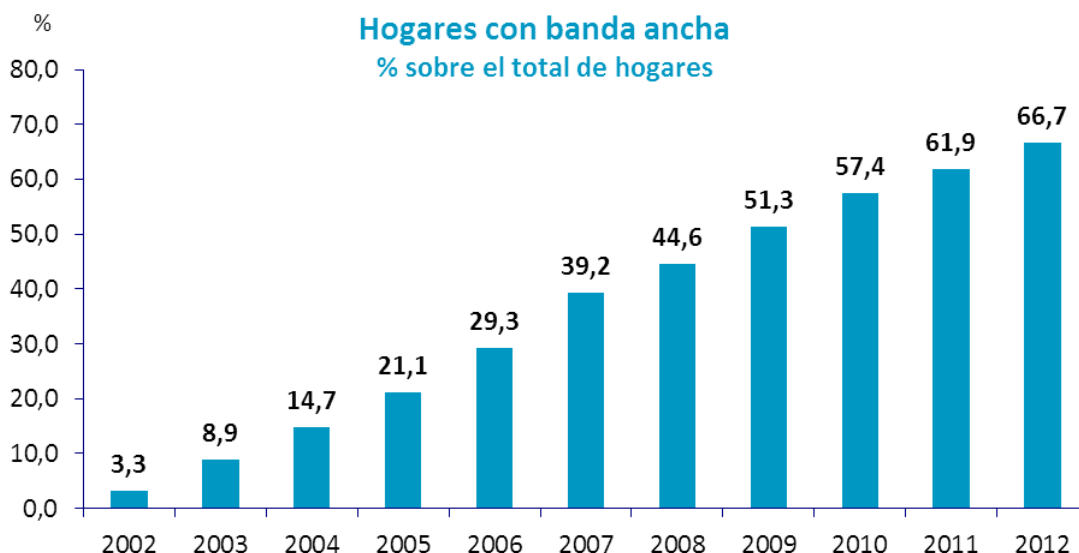


Ilustración 11: Evolución de hogares con banda ancha en España. Fuente: (ONTSI, 2013).

El perfil de usuario de acceso a internet, como puede observarse en Ilustración 12, no es precisamente el más característico de la población en las zonas rurales de España: ingresos medio-bajos y bajos y edad media de los habitantes superior a 50 años (INE, 2009). Dicha información se complementa con la reciente encuesta del INE (INE, 2013), en donde se documentan las principales razones por las que los usuarios no contratan Internet. Las tres más relevantes son: la falta de percepción como una necesidad (66%), la falta de habilidades digitales (30%) y los precios altos. Con estas características, nos encontramos con una población que requiere un esfuerzo mayor en medidas de estímulo y muy sensible a los precios de los productos de telecomunicación.

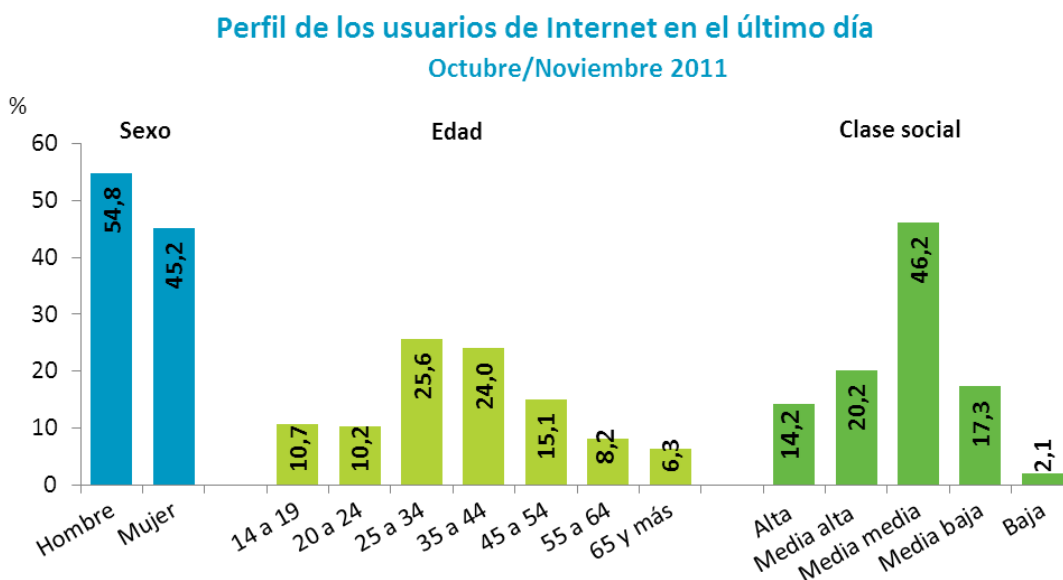


Ilustración 12: perfiles de usuario con acceso a internet. Fuente: (ONTSI, 2013).

En el presente documento se desarrollan dos casos de estudio. El primero, es la evaluación del coste de la provisión de banda ancha de 30 Mbps con diferentes tecnologías para el tercio final de la población española. El segundo caso es el estudio de la viabilidad del

despliegue de LTE en los municipios españoles de menos de 5000 habitantes. Para evaluar la viabilidad de un despliegue de LTE en zonas rurales mediante un modelo tecno-económico, es preciso compararlo con la demanda. Con este fin, se han planteado diferentes escenarios, en función de la evolución de las líneas de banda ancha en España.

Se han considerado tres escenarios de demanda en función de las previsiones de penetración en el año 2020. Del portal de la banda ancha de la OCDE (OECD, 2013) se han extraído las series históricas de penetración de banda ancha por cada 100 habitantes de los 10 últimos cuatrimestres de Alemania, Francia, Italia, Reino Unido y España (EU5).

Se ha escogido la ecuación de Gompertz frente a otras alternativas, dado su amplio uso para modelar la banda ancha en reconocidos estudios (Crandall, Jackson, & Singer, 2003; Dippon, 2012; Kovács, Mogensen, Christensen, & Jarvela, 2011; Song, Orazem, & Singh, 2006). Los datos se han modelado en Matlab con el algoritmo Levenberg-Marquardt para extraer los coeficientes de Gompertz que los definen. En concreto la ecuación utilizada ha sido, $y(t) = ae^{-be^{-ct}}$.

El coeficiente “a” indica la máxima penetración en términos de banda ancha por cada 100 habitantes. Se ha considerado un incremento del 10% en la tendencia mostrada en los últimos 10 cuatrimestres anteriores. En 2012 la penetración de la banda ancha en España fue de 24,6 por 100 habitantes, que representa un 58% de penetración de la banda ancha, mientras que la penetración de líneas fijas (100%) fue de 42,8 por cada 100 habitantes. El escenario de baja demanda implica que España mantendrá la tendencia de crecimiento actual, en el escenario de media demanda que España seguirá la tendencia de crecimiento actual de los países que conforman EU5 y en el escenario de alta demanda que España alcanzará el 100% de penetración, con lo cual se confirmaría el éxito de las medidas de estímulo de la demanda de la Agenda Digital.

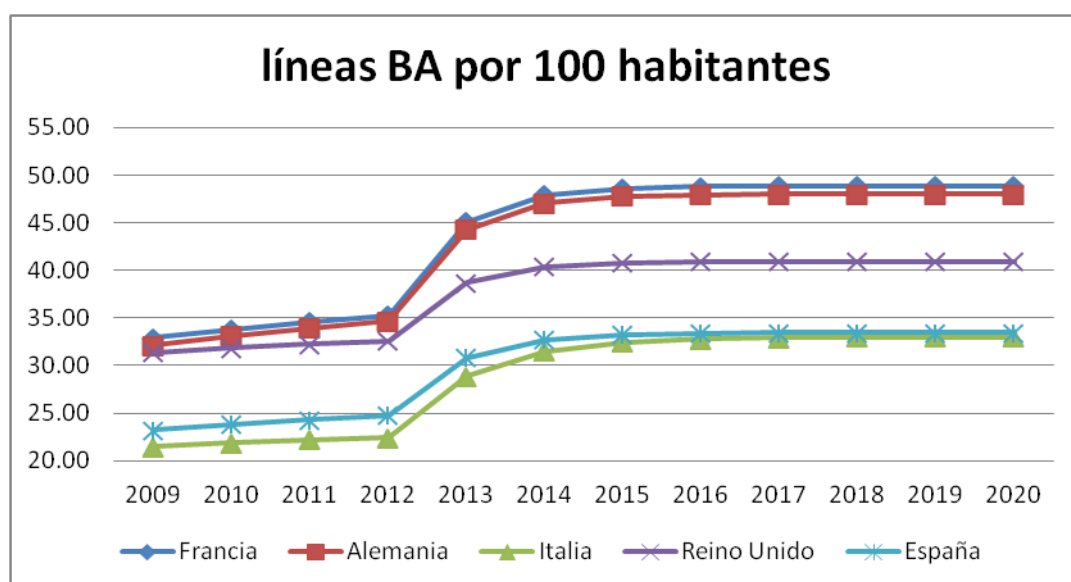


Ilustración 13: Penetración en los países EU5 y prolongación con el algoritmo propuesto.

Capítulo 2. Claves y retos de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps

Los coeficientes “b” y “c” determinan el desplazamiento y la tasa de crecimiento, de acuerdo con los escenarios previstos. Finalmente, “e” determina el error de aproximación del algoritmo.

Escenarios	Penetración	Ecuación
Demanda Baja	Tendencia actual de España	$a=33,47$ $b=1,12$ $c=1,31$ $e=5,77 \times 10^{-17}$
Demanda Media	Tendencia media EU5	$a=40,84$ $b=1,86$ $c=1,31$ $e=1,22 \times 10^{-26}$
Demanda Alta	Penetración BA = penetración telefónica fija	$a=42,77$ $b=1,69$ $c=1,13$ $e=6,77 \times 10^{-17}$

Tabla 7: Escenarios de demanda

Finalmente un factor escalar de 2.4, desarrollado por Altran (Altran Business Consulting, 2013), basado en predicciones (EIU, 2013; Heavy Reading, 2013; Morgan Stanley, 2013; Telefónica, 2010), ha sido utilizado para pasar de penetración de la banda ancha a banda ancha de alta velocidad (VHBB). Se ha realizado un ajuste en las gráficas de VHBB, debido a la falta de disponibilidad de espectro en la banda de 800 MHz hasta el año 2014. Se asume que VHBB en zonas rurales será LTE. En la Ilustración 14 se pueden observar las predicciones de crecimiento de banda ancha y de banda ancha de alta velocidad, que es la que se utilizará finalmente para el estudio de viabilidad. De esta manera, se prevé que la adopción de banda ancha de 30 Mbps en zonas rurales se sitúe entre el 36% y el 44% de los hogares en 2020.

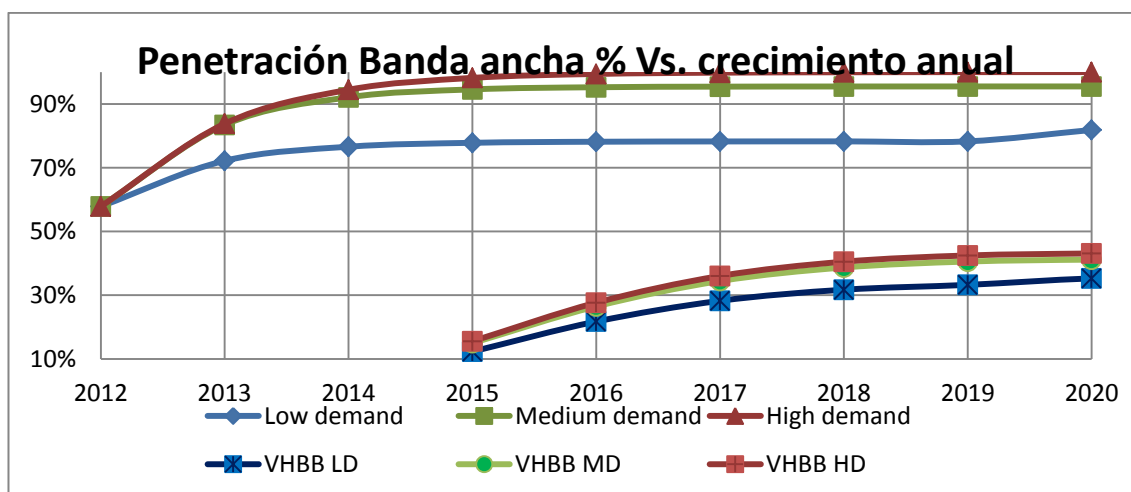


Ilustración 14: Escenarios finales de demanda de BA y VHBB en porcentaje de hogares.

CAPÍTULO 3. MODELO TECNO-ECONÓMICO

3.1 Introducción

Como se ha mencionado anteriormente esta investigación surge de la necesidad de evaluar la obligación impuesta a los operadores licenciatarios de 2x10 MHz FDD en la banda de 800 MHz de cubrir el 90% de los municipios de menos de 5000 habitantes. Ante esta cuestión surgen muchas preguntas, las cuales se detallaron en la sección 1.4 Objetivos y preguntas de Investigación, pero que se podrían resumir a grandes rasgos en 2:

- Mucho se ha escrito respecto al despliegue de NGN fijas en el territorio español (Feijóo & Gómez-Barroso, 2013; Vergara, 2011) ¿Cuándo cuesta el despliegue con LTE en la zona rural de España, para cumplir con el compromiso de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps propuesto por la iniciativa Europa 2020?
- ¿Es factible el despliegue por las propias fuerzas del mercado de LTE en 800 MHz en dichos municipios?, y en el caso de no ser viable, ¿la compartición pasiva de infraestructuras podría brindar la viabilidad requerida?

Para responder estas cuestiones, se ha propuesto la metodología de análisis tecno-económico. De forma específica, se ha utilizado el modelo del proyecto Europeo Rocket (Moral et al., 2010), adaptado para la provisión de servicio de banda ancha fija a hogares, mediante la tecnología móvil LTE en las bandas de frecuencias armonizadas para ésta. Dicho modelo, emplea un enfoque de Flujo de Caja Descontado. No es el objetivo de este estudio someter a evaluación el funcionamiento del modelo Rocket, debido a que ya ha sido ampliamente validado en artículos publicados en revistas especializadas (Frías, 2011; Frías & Perez, 2012; Moral, 2011; Moral et al., 2011; Ventura, 2013), sino su adaptación y aplicación para resolver las cuestiones anteriormente planteadas.

En el estudio, se utilizó, fundamentalmente⁴, una portadora de 2x10 MHz FDD, en la banda de frecuencia de 800 MHz, para un estudio a 10 años, pero cumpliendo los objetivos de cobertura propuestos para el año 2020. El despliegue considerado para LTE es *greenfield* (no existe ninguna red LTE por parte de ningún operador en el área estudiada) y en el caso de la comparación con otras tecnologías, se consideran las presentes en el mercado español. El coste del servicio se expresa en términos de coste por hogar conectado y de ARPU mensual en el segundo caso. El segundo caso se evalúa la compartición pasiva de infraestructuras como solución a brindar la viabilidad requerida para un despliegue de mercado. Para este fin, se ha realizado un estudio comparado entre un escenario sin compartición de infraestructuras y otro con compartición pasiva de infraestructuras. El despliegue se considera viable si es capaz de, al menos, recuperar la inversión (considerando los parámetros financieros impuestos al proyecto), esto es que el valor presente neto (NPV) al final del proyecto sea mayor o igual a cero. Los resultados se someten a un análisis de sensibilidad, con el fin de determinar la influencia que éstos ejercen en el estudio.

⁴ Sin embargo, para el caso referente al coste del despliegue, se utilizó una portadora en bandas más altas en los escenarios urbano denso, urbano y suburbano1 para evadir la saturación por capacidad.

El presente capítulo tiene como fin explicar detalladamente los elementos metodológicos empleados en los dos estudios propuestos, así como el origen de las variables de entrada. La columna principal del estudio es el modelo tecno-económico Rocket, que su vez se alimenta de una clasificación geográfica y un modelo radio técnico. Los resultados del estudio tecno-económicos se someten, finalmente, a un análisis de sensibilidad a fin de evaluar los riesgos al despliegue y el impacto de las variables de entrada en la viabilidad del despliegue. En la última sección se exponen los escenarios base utilizados, antecedidos por una breve descripción del origen (motivación) de cada uno de ellos.

3.2 Modelo Rocket

En este estudio se ha utilizado el modelo del proyecto Europeo Rocket (Moral et al., 2010) adaptado para LTE. Dicho modelo fue originalmente diseñado para analizar los beneficios económicos de la introducción de portadoras WiMAX en la banda de frecuencia de 2,6GHz. A pesar de la necesidad de adaptar aspectos técnicos (banda de frecuencia, configuración de antenas, equipamiento LTE necesario), el modelo Rocket tiene la capacidad de presentar y describir modelos de negocio y de estimar los costes de despliegue, operación y mantenimiento para un sistema 4G basado en OFDM. Se ha escogido el modelo Rocket en concordancia con las líneas futuras expuestas en el reporte del proyecto Rocket (Moral et al., 2010) y en la tesis doctoral resultante del mismo (Moral, 2011), en donde se menciona como “principal” el desarrollo de un modelo de simulación de redes LTE puesto que es esta la tecnología elegida por la mayoría de los operadores móviles para la evolución futura de sus redes móviles.

3.2.1 Esquema general del modelo Rocket

Rocket utiliza un modelado geométrico, como fue aplicado originalmente en el modelo Costa (Vergara et al., 2010), que ha sido desarrollado en conjunto por Telefónica y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). Los elementos comunes y fundamentales de Rocket y Costa, se basan en proyectos Europeos ampliamente conocidos y validados en el ámbito académico como el modelo ICT BREAD (Falch & et al., 2006), de donde proviene su modelado geométrico. La principal característica de este tipo de modelos es asumir los elementos de red distribuidos uniformemente en cuadrados y agregar recursivamente cuadrados para formar el siguiente nivel de agregación. Cuatro estaciones base conectadas en topología bus al *switch Ethernet* constituyen el segundo nivel de agregación.

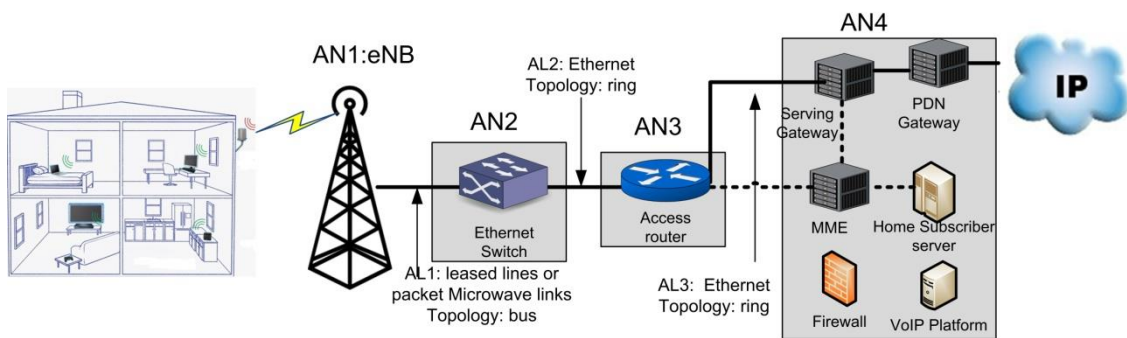


Ilustración 15: Dimensionamiento de red LTE

El dimensionamiento de red asumido para este estudio es el mostrado en la Ilustración 15, está compuesto por cuatro niveles de agregación (en la imagen Aggregation Nodes, o AN), unidos por enlaces *Ethernet* o microondas (en la imagen Aggregation links o AL), dependiendo del Geotipo. En el primer nivel de agregación, corresponde a la red de acceso radio (RAN). Los usuarios, en este caso los hogares, se distribuyen de manera uniforme sobre el área del cuadrado hasta alcanzar el límite de capacidad o de área de la estación base (AN1). El siguiente nivel se constituye por cuatro elementos AN1, unidos en su mayoría por líneas *Ethernet* alquiladas en topología bus. En este nivel de agregación se consideran enlaces microondas en las zonas de menor densidad de población. Para cada uno de los casos estudiados se dará la proporción, expresada en porcentaje, de enlaces microondas utilizados en los geotipos más rurales. El segundo (AN2) y el tercer nivel de agregación (AN3), constituyen la red de transporte. AN2 está conformado por ocho *switches Ethernet* unidos por enlaces *Ethernet* en topología anillo. Finalmente, ocho elementos (AN3), se unen por enlaces *Ethernet* en topología de anillo a los elementos del núcleo de red (AN4).

Una limitación de este modelado, a consecuencia del dimensionamiento recursivo cuadrado que lo caracteriza, es la incapacidad de determinar un posicionamiento específico y/o la distancia entre elementos de red. Esto sería de muchísima utilidad en el caso, por ejemplo, del estudio de provisión de banda ancha de 30 Mbps en los municipios españoles de menos de 5000 habitantes, ya que considera que el área de los municipios estudiada es contigua. El posicionamiento de las estaciones base, en este caso de los eNodeB, se realiza, únicamente, en función de consideraciones de tráfico. En un despliegue de red real, esto no es así, debido a la existencia de diversos factores que influyen en el mismo, por ejemplo: orografía, disponibilidad de emplazamientos, restricciones regulatorias o administrativas, etc. En este sentido, la mejor forma que se encontró para reflejar esta limitación en el modelo, para el caso concreto del estudio en los municipios de menos de 5000 habitantes, fue aplicar un factor de reducción escalar, que surgió después de realizar un estudio para todo el territorio nacional. La obtención de dicho factor se explicará en la sección correspondiente.

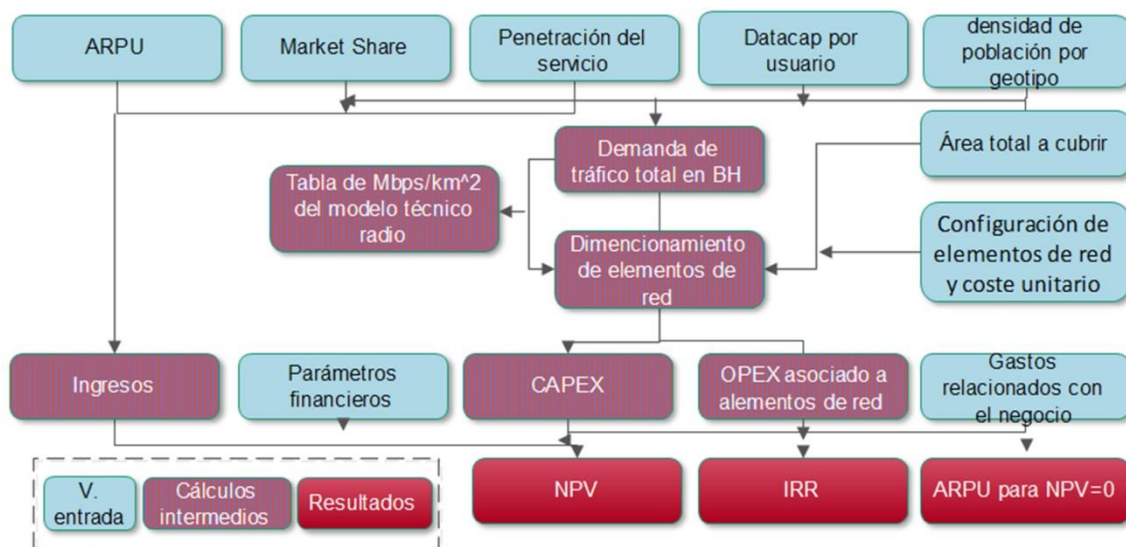


Ilustración 16: Diagrama de flujo del análisis tecno-económico

Capítulo 3. Modelo tecno-económico

En la Ilustración 16, se puede observar el esquema general del modelo tecno-económico utilizado. Rocket utiliza un método DCF, que es un enfoque frecuentemente utilizado por otros proyectos europeos, operadores y reguladores, p. e. (Harno, 2006; Loizillon, 2002). Al ser un modelo DCF, el ARPU mensual es un punto de partida. Las otras variables de entrada se subdividen en 3 categorías: parámetros de tráfico (Market share, penetración y límite de descarga máximo por usuario o datacap), valores geográficos (densidad de población por Geotipo y área total a cubrir) e información financiera y económica (configuración de elementos de red y coste unitario, tasa de descuento, periodo de estudio, gastos relacionados con el negocio). Es importante definir las variables de demanda para planificar y dimensionar las infraestructuras y equipamientos necesarios, teniendo en cuenta las capacidades y características de la tecnología, en este caso LTE. A continuación, el modelo realiza los cálculos para determinar los costes tanto de capital como operativos y los ingresos esperados, a fin de determinar el valor presente neto, la tasa de retorno interna (IIR) y el ARPU mínimo para la viabilidad del proyecto. En el caso del estudio incremental de comparación de tecnologías, el estudio termina justo antes de determinar los indicadores finales (NPV, IRR y ARPU⁵), ya que por la naturaleza del modelo, se obtienen datos agregados que no son significativos⁶.

El origen de los parámetros geográficos y los parámetros de tráfico provienen de la clasificación geográfica y del modelo radio técnico respectivamente que se explicará a continuación. Por otro lado, la información económica y los parámetros financieros proceden de información de los operadores (CMT, 2012; Telefónica, 2010), informes de consultoras (Analysys Mason, 2010; SVP Advisors, 2011), informes del sector (GSA, 2013b; Heavy Reading, 2013). Los parámetros utilizados y los costes unitarios se encuentran en la Tabla 8.

Categoría	Elemento de red/activo	Inversión unitaria (€) año 1	Años de vida útil	Coste anual unitario (€) año 1	Evolución anual del precio	Fuente
Espectro	Adquisición de la licencia (MHz por habitantes)	0,463	15			(Real decreto 726/2011, 2011)
	Tasas anuales licencia 800MHz (por MHz)			775.763		(Real decreto 726/2011, 2011)
Estaciones base (bs)	ENodeB	26.046,11	20	2.609,94	-3%	(SVP Advisors, 2011)
	Antena adaptativa usada en bs	258.74	10		-5	(Moral et al., 2011)
	Equipamiento. ENodeB-SW	13.136	4			(SVP Advisors, 2011)
Equipo de Usuario	Terminal de usuario (CPE) externo con antena integrada	131	10		-5%	(Analysys Mason, 2010)
	Instalación CPE	134	10		-5%	(Analysys Mason, 2010)
Emplazamientos	Obra civil necesaria para un emplazamiento existente	18.501	20		2,5%	(Analysys Mason, 2010)

⁵ Se ha preferido utilizar los índices financieros en inglés, debido a que en las publicaciones precedentes así se han manejado y a que, dado su amplísimo uso en el ámbito académico, se emplean más comúnmente en inglés.

⁶ En el estudio incremental, el modelo Rocket calcula los costes considerando un área y población totales, cada vez que se agrega un nuevo Geotipo se va agregando más área y más población. Con lo cual, los indicadores se calculan considerando la población de zonas urbanas fuera del estudio, más los geotipos, ordenados de forma incremental.

Capítulo 3. Modelo tecno-económico

	(BTS, Nodo B)								
	Obra civil para un emplazamiento nuevo en zona suburbana	137.258	20			2,5%	(Analysys 2010)	Mason,	
	Obra civil para un emplazamiento nuevo en zona rural	133.599	20			2,5%	(Analysys 2010)	Mason,	
	Obra civil para un emplazamiento nuevo en zona rural abierta (open)	94.165	20			2,5%	(Analysys 2010)	Mason,	
	Alquiler de emplazamiento					13.761,9	2%	(Moral et al., 2011)	
Enlace de transmisión (Backhaul)	Enlace microondas de transmisión de la BS (AL2 en zonas rurales) 300Mbps	3.941,9	8		355		-5%	(Analysys 2010)	Mason,
	Línea <i>Ethernet</i> 100Mbps -válida hasta 12 km	1.060,26	10		4.347,07		-5%	(Telefónica, 2010)	
	Línea <i>Ethernet</i> 100Mbps (de 12km a 35km)	2.472,41	10		6.922,75		-5%	(Telefónica, 2010)	
	Construcción de línea aérea de fibra óptica	7.700	x	20	145		-2%	(Vergara, 2011)	
	Construcción de línea enterrada de fibra óptica	37.290,58		20	627		-2%	(Vergara, 2011)	
	<i>Switch Ethernet</i>	2.578,12		10	232,03		-4%	(Analysys 2009)	Mason,
	Router de Acceso	29.273,77		10	3.067,43		-4%	(Vergara, 2011)	
	Adaptador de red Router de Acceso GbE	2.578,12		10	232		-4%	(Analysys 2009)	Mason,
	Alquiler de torre de punto de agregación			0	28.639			(Vergara, 2011)	
	ROM – 12	514		20	13		-4%	(Vergara, 2011)	
	ADM - STM64	39.782		10	3.167		-4%	(Vergara, 2011)	
	Línea alquilada Gigabit <i>Ethernet</i>				18.481		-5%	(Telefónica, 2010)	
	Red de transporte	Línea alquilada Fast <i>Ethernet</i> –por Km adicional				29		-5%	(Telefónica, 2010)
Línea alquilada Gigabit <i>Ethernet</i> –por km adicional					44		-5%	(Telefónica, 2010)	
Construcción de línea aerea de transmisión de fibra óptica		7.284		20	182		-5%	(Federal Communications Commission, 2010)	
Construcción de línea de transmisión enterrada de fibra óptica		38.369		20	584		-5%	(Moral et al., 2011)	
Alquiler del emplazamiento y otros puntos de presencia					48.536		-2%	(Moral et al., 2011)	
Núcleo de red		Router del núcleo	89.733,23		10	7.532,09		-4%	(Moral et al., 2011)
	Adaptador de red GbE del router del núcleo	56.303,71		10	6.321,64		-4%	(Moral et al., 2011)	
	Adaptador de red STM1 del router del núcleo	69.292,77		10	6.201,40		-4%	(Moral et al., 2011)	
	Adaptador de red STM4 del router del núcleo	50.609,81		10	4.805,95		-4%	(Moral et al., 2011)	
	Adaptador de red STM16 del router del núcleo	200.357,1		10	20.953,5		-4%	(Moral et al., 2011)	
	Adaptador de red STM64	137.657,6		10	14.337,5		-4%	(Vergara, 2011)	

Capítulo 3. Modelo tecno-económico

del router del núcleo	5		3		
ROM – 12	753,34	20	13	-4%	(Vergara, 2011)
ADM - STM64	41.547,44	10	3.729,73	-4%	(Moral et al., 2011)
Punto de presencia de tráfico en Internet			5		(Moral et al., 2011)
Firewall	101.922	8	6.115	-4%	(Moral et al., 2011)
Plataforma para la prestación de servicios de voz sobre IP €/usuario		0	6		(Moral et al., 2011)
HSS	477.569	8	208.705	-2%	(SVP Advisors, 2011)
HSS Software	950.496	4		-1%	(SVP Advisors, 2011)
MME	435.637	8	135.414	-3%	(SVP Advisors, 2011)
MME Software	716.500	4		-1%	(SVP Advisors, 2011)
SGW	486.143	8	134.316	-3%	(SVP Advisors, 2011)
SGW Software	264.372	4		-1%	(SVP Advisors, 2011)
PGW	486.143	8	134.316	-3%	(SVP Advisors, 2011)
PGW Software	264.372	4		-1%	(SVP Advisors, 2011)

Tabla 8: Coste unitario de equipamiento y elementos de red Modelo Rocket.

3.2.2 Estimación de costes

Como se ha mencionado anteriormente, el modelo Rocket utiliza el método DCF para calcular los resultados. A continuación se recogen las fórmulas con las que se realizan los cálculos; sin embargo, información más detallada a este respecto puede consultarse en (Moral et al., 2010; Moral, 2011; Moral et al., 2011).

En primer lugar, es importante mencionar que el modelo Rocket realiza un análisis estático de los costes de despliegue, sobre la totalidad del área estudiada. El modelo desde su concepción ha puesto énfasis en la estimación de los costes de la red de acceso, puesto que, como menciona Moral (2011), la evaluación completa de todos los costes de un operador, especialmente de los costes asociados al negocio, resulta muy difícil de estimar. Sin embargo, Rocket realiza una aproximación robusta, pero consistente a fin de estimar los costes totales del despliegue y determinar la viabilidad del mismo.

Para la estimación de los costes asociados a un despliegue de red normalmente se suelen distinguir dos tipos de costes diferentes: costes de capital (denominados CAPEX, *CAPital Expenditures*), que hacen referencia a la inversión en equipamiento así como a los costes para el diseño e implementación de la infraestructura de red, adquisición de emplazamientos, trabajo civil, etc.; y costes operativos (OPEX, *OPerational Expenditures*), que representan todos aquellos gastos en los que incurre la compañía como resultado de la operación normal de sus actividades, y suelen dividirse entre costes relacionados con la red (operación y mantenimiento, costes de transmisión, alquiler de emplazamientos, etc.) y costes relacionados con el negocio (costes de adquisición de los clientes, marketing, costes comerciales, políticas de subvención de terminales, comisiones a las cadenas de distribución, costes de personal y servicios, etc.) (Vergara, 2011).

$$OPEX^i = \sum_j M_j^{(i)} c_j^{OPEX} (1 + P_j^{OPEX})^{i-1} \quad (1)$$

$$CAPEX^i = \sum_j N_j^{(i)} c_j^{CAPEX} (1 + P_j^{CAPEX})^{i-1} \quad (2)$$

$$CAPEX \text{ Anualizado}^{(i)} = \sum_j \frac{\sum_{k=\max(i-LF_j+1,1)}^i CAPEX_j^k (1+WACC)^{i-k}}{LF_j} \quad (3)$$

Las ecuaciones 1 y 2 muestran el cálculo del OPEX y del CAPEX. Donde j es cada uno de los activos considerados, $N_j^{(i)}$ es el número de elementos del tipo j adquiridos durante el año i, $M_j^{(i)}$ es el número de los activos del tipo j adquiridos en el año i, (es decir, $M_j^{(i)} = \max\{N_j^{(i)} - N_j^{(i-1)}; 0\}$). c_j^{CAPEX} y c_j^{OPEX} son los costes unitario y operativos, respectivamente en el año 1. P_j^{CAPEX} y P_j^{OPEX} es la tendencia anual considerada para el CAPEX y el OPEX. $CAPEX_j^{(i)}$ es la inversión en el activo j en el año i, es decir: $CAPEX_j^{(i)} = M_j^{(i)} \cdot c_j^{CAPEX} \cdot (1 + P_j^{CAPEX})^{i-1}$. LF es la vida útil del activo.

Al igual que (Giles et al., 2004; Markendahl & Maandkitalo, 2010), se utilizará una distribución típica de los costes de un operador eficiente con un 45% del OPEX correspondiente a costes relacionados con la red y el resto (55%) estando relacionado con costes relativos al negocio.

Para tener en cuenta el valor del dinero en el tiempo en un estudio de diez años de duración, Rocket calcula el Valor Presente Neto (NPV). El valor presente neto NVP se calcula de la siguiente manera

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Ingresos}^i - OPEX^{(i)} - CAPEX^{(i)}}{(1+WACC)^i} \quad (4)$$

El coste asociado a la financiación del proyecto (*WACC, Weighted Average Cost of Capital*), es un parámetro de entrada en Rocket. Esta tasa de descuento viene a representar el coste asociado a la financiación del operador y se suele denominar coste de capital. Los costes anuales, en términos de CAPEX anualizado y OPEX, son entonces descontados por una tasa de descuento durante el periodo de estudio considerado de acuerdo con las ecuaciones (5) y (6) para tener en cuenta el valor en el tiempo del dinero.

$$\text{Valor presente OPEX} = \sum_{i=1}^n \frac{OPEX^{(i)}}{(1+WACC)^i} \quad (5)$$

$$\text{Valor Presente CAPEX Anualizado} = \sum_{i=1}^n \frac{CAPEX \text{ anualizado}^{(i)}}{(1+WACC)^i} \quad (6)$$

3.3 Clasificación geográfica

España está compuesta por 8113 municipios (INE, 2009) en los cuales están distribuidos los 46.745.807 habitantes que la integran. El área total de España asciende a 504.495 km², en donde se distribuyen 14.187.169 primeras viviendas (o viviendas principales, así declaradas por los habitantes) en España. La distribución de la población es muy heterogénea, un ejemplo de esto se encuentra en la clasificación hecha por Vergara (2011) en donde los geotipos 14 y 15, que corresponden únicamente a los 5 municipios más poblados, concentran a 6.303.587 habitantes en un área de 803,53 Km², resultando una densidad de población de 7.054,62 hab/km², mientras que la media nacional se sitúa en 92,64 hab/km². Por otro lado, los geotipos 1 y 2 de Vergara (2011) que aglutinan 4.065 municipios, tienen una densidad de 7,19 hab/km².

Como se ha comentado anteriormente, el presente documento da continuidad al trabajo de Vergara (2011), y a la base de datos realizada por el autor que origina el trabajo. Se han actualizado y añadido algunos nuevos indicadores a la base de datos. Asimismo, se han adaptado ratios más adecuados al estudio. Además de las características geográficas básicas para cualquier estudio (población superficie, superficie urbana, número de viviendas), se observó que, al ser un estudio de provisión de banda ancha fija, la densidad de habitantes por kilómetros cuadrados, no era un indicador tan representativo como la densidad de viviendas principales por kilómetros cuadrados (viviP/Km²). Otros indicadores utilizados y añadidos en el estudio están descritos en la Tabla 9

Indicador	Descripción y Fuente
vivP/km²	Densidad de Viviendas Principales. Ratio del número total de viviendas principales de un municipio y la superficie del mismo. Fuente: elaboración propia a partir de Vergara (2011)
Ratio de Población diseminada	Mide la población fuera de los núcleos de población: Población diseminada del municipio / población total (basado en nomenclator 2008). Fuente: Vegara (2011)
Pob cubierta con BA de 1 Mbps	Fuente: Plan Avanza (Ministerio de Industria, Turismo y Energía, 2011)
Pob cubierta disperso	Cobertura de BA de 1Mbps en la población diseminada del municipio. Fuente: Plan Avanza. Línea A (Ministerio de Industria, Turismo y Energía, 2011)
BA de al menos 10 Mbps	Entidades de población en las que además de no disponer de cobertura de redes de acceso de nueva generación ni de previsiones para su dotación en los próximos tres años, tampoco disponen de una cobertura de servicios finales de banda ancha, a velocidades de al menos 10 Mbps, superior al 90 por cien de la población, ni planes para su dotación en los próximos tres años, ni ofertas alternativas a través de cable o de bucle de acceso desagregado y cuentan, además, con una población inferior a los 10.000 habitantes. Fuente Listado C Plan de Extensión de la Banda Ancha (PEBA) (Ministerio de Industria, Turismo y Energía, 2013)
Ratio de población cubierta con BA de 1 Mbps	$R_POB_CUB_1Mbps = (población - población no cubierta) * 100 / población$. Fuente: elaboración propia a partir de (Ministerio de Industria, Turismo y Energía, 2011)
Municipios con	Municipios en los que existen infraestructuras capaces de ofrecer servicios de más 50 Mbps en sentido red-usuario o planes para su despliegue en los

disponibilidad de BA mayor o igual a 50 Mbps próximos tres años o competencia en infraestructuras (existencia de redes xDSL y redes de cable) Fuente: Listado B PEBA (Ministerio de Industria, Turismo y Energía, 2013)

Tabla 9: Indicadores añadidos al estudio de Vergara (2011) para el estudio de provisión de la banda ancha de 30 Mbps con tecnología LTE.

3.3.1 Clasificación de municipios de menos de 5000 habitantes

De los 8.113 municipios que integran la geografía española, se encontraron 6.809 (ver Ilustración 17) con menos de 5000 habitantes (INE, 2009). De estos, hay 6.681, que no están incluidos en la relación de municipios con disponibilidad de banda ancha igual o mayor a 50 Mbps (ver municipios excluidos en Ilustración 18). Dichos municipios representan el 64% del territorio nacional español, el 24% de las viviendas principales en España y el 12% de la población española.

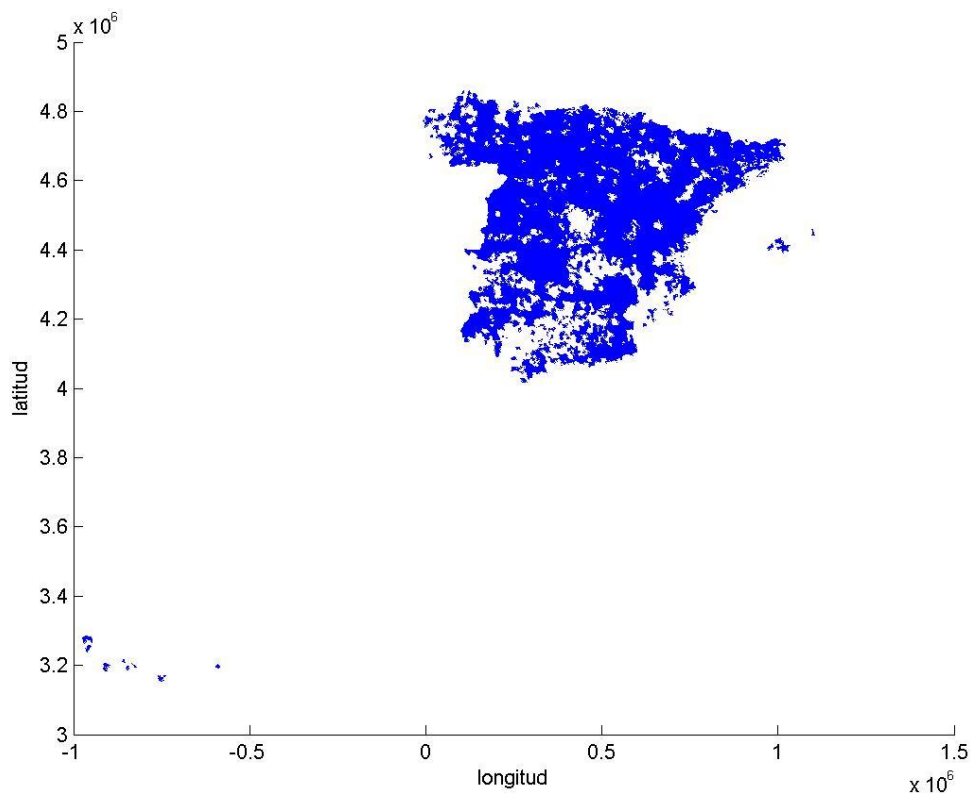


Ilustración 17: Municipios con menos de 5000 habitantes. Coordenadas UTM

Capítulo 3. Modelo tecno-económico

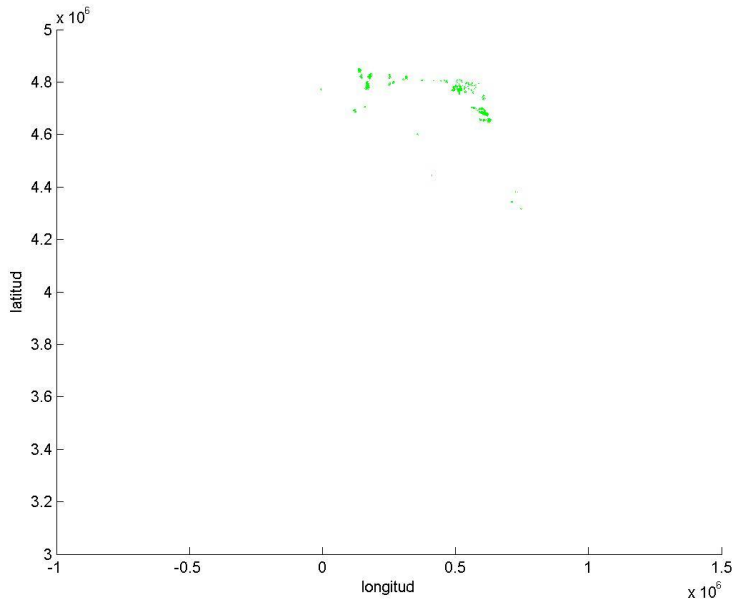


Ilustración 18: Municipios con disponibilidad de banda ancha igual o mayor a 50 Mbps. Coordenadas UTM

A diferencia de otros estudios donde los municipios se clasifican directamente por una variable (p. e. Coomonte et al., 2013; Feijóo & Gómez-Barroso, 2013), para el presente estudio se realizó una clasificación mediante conglomerados (Anderberg, 1973). Siguiendo la misma metodología que Vergara (2011), se desarrolló una clasificación k-medias con el programa estadístico SPSS. Este tipo de clasificación emplea un algoritmo con criterio de error cuadrático que tiene por objetivo el agrupamiento de datos en torno a centros “o medias” de las variables más representativas para el estudio (Jain, Murty, & Flynn, 1999). Debido a la diferencia en objetivos y enfoque del estudio aquí desarrollado, se ha optado por definir nuevos grupos (a diferencia de los planteados en Vergara (2011)) en función de tres variables comunes en toda la clasificación: Densidad de viviendas principales, porcentaje de cobertura de banda ancha de 1 Mbps (en 2011) y ratio de población diseminada. Sin embargo, sí se hizo una primera distinción entre dos grandes grupos: los municipios que contaban con el 100% de cobertura de banda ancha de 1Mbps antes de la entrada en vigor del SU de BA (geotipos 5 y 6) y los que aún no cumplían esta condición en 2011. En la Tabla 10 se pueden observar los valores medios de los municipios, mientras que en la Ilustración 19 se puede observar gráficamente su ubicación geográfica.

Geotipo	Municipios	Población	Sup (km ²)	SUP_U (km ²)	VIV_P	R_PO B_D	BA +10Mbps	DvivP/su p	R_POB_C UB_1Mbps
1	47	2768,45	6,12	0,96	795,62	0.04	77%	148,35	98,09
2	533	1347,26	52,38	0,84	422,17	0.21	69%	12,68	91,42
3	3515	925,68	61,54	0,54	321,54	0.02	58%	8,00	91,88
4	734	428,04	46,32	0,24	155,09	0.26	27%	3,90	39,86
5	33	932,09	24,37	0,27	278,94	0.43	73%	16,04	100,00
6	1818	679,05	37,58	0,34	232,93	0.01	53%	10,26	100,00

Tabla 10: Resumen de los geotipos considerados. Valores medios.

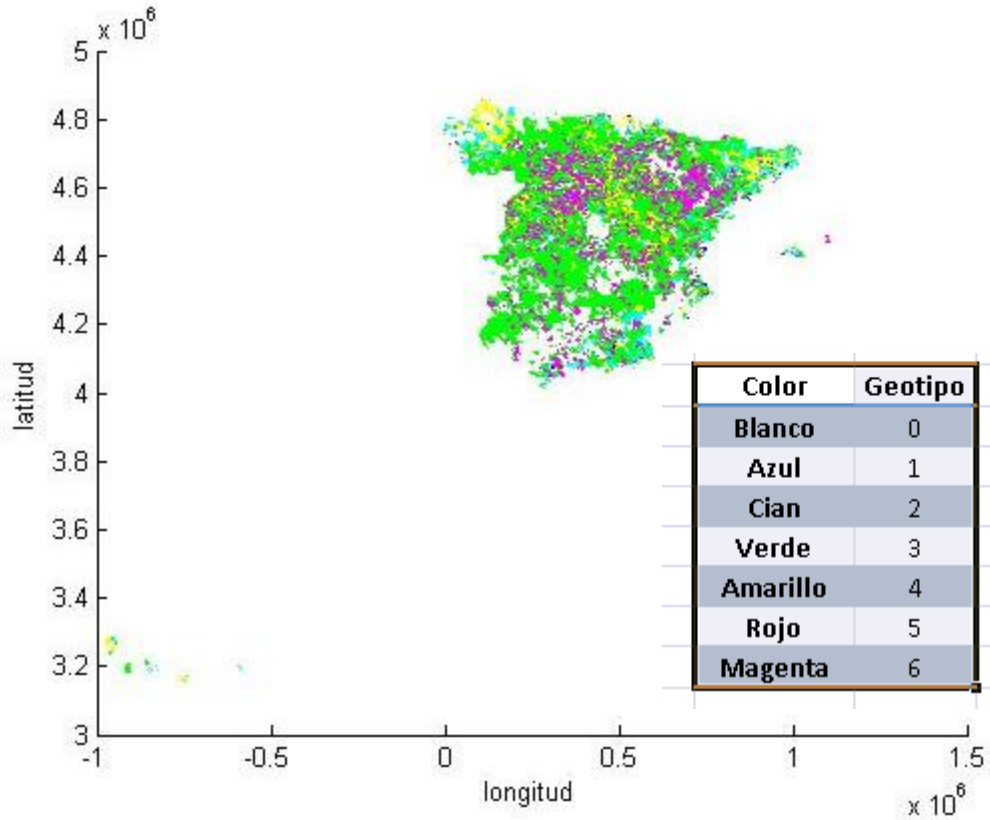


Ilustración 19: Municipios de menos de 5000 habitantes en geotipos. Coordenadas UTM

En la Tabla 11 se muestran los valores de cada Geotipo en parámetros del modelo Rocket. Dicho modelo precisa que se distribuyan las variables demográficas y geográficas en cinco tipos de distribución geográfica (Dense Urban, Urban, Suburban, Rural y Open). Los nombres de la distribución requerida por Rocket se han conservado en inglés para no ser confundida por los geotipos. Los parámetros que dan lugar a la distribución son los resultados geográficos característicos de cada Geotipo, conforme a los resultados del estudio estadístico y de la clasificación k-medias en conglomerados. Es preciso mencionar que cuando se hace referencia a hogares se refiere a viviendas principales, al igual que HH/km², hace referencia a la densidad de viviendas principales.

Geotipo 1								
	Área (km ²)	Hogares	HH/km ²	Habitantes	Área	Pob	Tráfico	% población Española
Dense urban	0	0	0,0	0	0%	0%	0%	0,28%
Urban	0	0	0,0	0	0%	0%	0%	% Área
Suburban	45	60.384	1.341,9	124.626	16%	95%	80%	0,06%
Rural	0	0	0,0	0	0%	0%	0%	%municipios
Open	242	2.658	11,0	5.486	84%	5%	20%	0,58%

Capítulo 3. Modelo tecno-económico

Geotipo 2								
	Área (km ²)	Hogares	HH/km ²	Habitantes	Área	Pob	Tráfico	% población Española
Dense urban	0	0	0,0	0	0%	0%	0%	1,54%
Urban	0	0	0,0		0%	0%	0%	% Área
Suburban	0	0	0,0		0%	0%	0%	5,53%
Rural	449	284.742	635,0	565.949	2%	79%	80%	%municipios
Open	27.467	76.545	3,0	152.142	98%	21%	20%	6,57%
Geotipo 3								
	Área (km ²)	Hogares	HH/km ²	Habitantes	Área	Pob	Tráfico	% población Española
Dense urban	0	0	0,0	0	0%	0%	0%	6,96%
Urban	0	0	0,0		0%	0%	0%	% Área
Suburban	0	0	0,0		0%	0%	0%	42,88%
Rural	1.907	1.997.664	1.049,0	3.180.842	1%	98%	95%	%municipios
Open	214.401	45.793	1,0	72.917	99%	2%	5%	43,33%
Geotipo 4								
	Área (km ²)	Hogares	HH/km ²	Habitantes	Área	Pob	Tráfico	% población Española
Dense urban	0	0	0,0	0	0%	0%	0%	0,67%
Urban	0	0	0,0		0%	0%	0%	% Área
Suburban	0	0	0,0		0%	0%	0%	6,74%
Rural	178	146.061	820,0	232.830	1%	74%	80%	%municipios
Open	33.823	51.035	2,0	81.355	99%	26%	20%	9,05%
Geotipo 5								
	Área (km ²)	Hogares	HH/km ²	Habitantes	Área	Pob	Tráfico	% población Española
Dense urban	0	0	0,0	0	0%	0%	0%	0,07%
Urban	0	0	0,0	0	0%	0%	0%	% Área
Suburban	0	0	0,0		0%	0%	0%	0,16%
Rural	9	9.238	1.023,6	17.527	1%	57%	80%	%municipios
Open	795	6.975	8,8	13.232	99%	43%	20%	0,41%
Geotipo 6								
	Área (km ²)	Hogares	HH/km ²	Habitantes	Área	Pob	Tráfico	% población Española
Dense urban	0	0	0,0	0	0%	0%	0%	2,64%
Urban	0	0	0,0	0	0%	0%	0%	% Área
Suburban	0	0	0,0		0%	0%	0%	13,54%
Rural	613	726.391	1.187,6	1.219.007	1%	99%	95%	%municipios
Open	67.698	9.238	0,1	15.505	99%	1%	5%	22,41%

Tabla 11: Parámetros Rocket para cada geotipo

La Tabla 11 se complementa con la Tabla 12 que resume los valores utilizados en el estudio de viabilidad de la obligación de provisión de BA de 30 Mbps al 90% de los municipios con menos de 5000 habitantes. Se exponen valores totales por geotipos, previamente acomodados en función de la densidad de viviendas principales. Se puede observar que los geotipos rurales analizados siguen en su mayoría una morfología de concentrado y disperso

Capítulo 3. Modelo tecno-económico

(Montagne et al., 2005). Dado que la condición regulatoria obliga a los operadores licenciatarios de espectro en la banda de frecuencia en 800 MHz de proveer BA de 30 Mbps al 90% de los anteriormente mencionados municipios, en el estudio de viabilidad se desestimo el Geotipo 4. En la Tabla 13 se muestran los parámetros Rocket finales para un despliegue rural nacional, en el cual están comprendidas el 22,7% de las viviendas principales españolas.

Geo tipo	Población	Área (km ²)	Área urbana (Km ²)	Hogares (HH)	VivP/sup (HH/Km ²)	Suburbana HH/km ²	Rural HH/km ²	Abierta HH/km ²
1	130.117	287,67	45,00	37.394	148,35	1.341,87		10,97
5	30.759	804,18	9,04	9.205	16,04		1.023,56	8,79
2	718.089	27.916,30	448,97	225.016	12,68		635,00	3,00
6	1.234.509	68.312,40	612,86	735.629	10,26		1.187,62	0,14
3	3.253.757	216.305,00	1.907,37	1.130.203	8,00		1.049,00	1,00
4	314.183	34.000,30	178,45	113.839	3,90		820,00	2,00

Tabla 12: Geotipos utilizados en estudio de viabilidad. Valores totales.

Municipios población <5000 habitantes (todos los geotipos excepto el 4)								
	Área (km ²)	Hogares	HH/km ²	Habitantes	Área	Pob	Tráfico	% población Española
Dense urban	0	0	0,0	0	0%	0%	0%	11,48%
Urban	0	0	0,0	0	0%	0%	0%	% Área
Suburban	45	60.384	1.341,9	124.632	0%	2%	5%	62,17%
Rural	2.979	3.018.036	1.013,3	5.216.155	1%	92%	92%	%municipios
Open	310.604	141.208	0,5	340.627	99%	6%	3%	73,30%

Tabla 13: Despliegue nacional rural nacional.

3.3.2 Clasificación de municipios para estudio incremental

Respecto al estudio incremental, el primer paso fue equiparar los geotipos (del 1-6) a sus equivalentes en la sección 5.3 Inversión requerida del estudio de Vergara (2011). En ella se analiza la inversión requerida para un despliegue de ámbito nacional de las diferentes plataformas consideradas, dentro de las cuales no se contempla ningún despliegue de BA móvil. En la Tabla 14 se pueden observar los geotipos ordenados de Vergara (2011) y los parámetros principales para su equiparación en el estudio aquí realizado. Con respecto al coste de despliegue de las plataformas analizadas, Vergara distingue 4 zonas señalando que, bajo el escenario de competencia, un porcentaje de la zona A (urbana) soportaría competencia entre 3 plataformas, mientras que el resto de la zona A y la zona B (suburbana) soportarían competencia entre el operador incumbente y el operador de cable en aquellas zonas con cobertura previa de cable. Mientras, las zonas C y D (rural y rural remota, respectivamente) no soportarían ningún despliegue de redes NGA fija.

	Geotipo	Municipios	Población	Sup (Km ²)	Sup urbana	Viv P
A Urbana	15	3	2.692.783	246	95	957.918
	14	2	3.610.804	647	233	1.209.649
	12	18	2.753.849	1.259	220	869.752
	11	15	2.435.918	1.095	257	759.304
	13	11	4.721.750	4.650	617	1.479.180
	9	103	2.912.426	6.123	572	857.065
	Total Zona A	152	19.127.530	14.020	1.993	6.132.868
B Suburbana	6	105	586.677	3.233	152	178.103
	10	96	8.311.716	20.135	1.595	2.308.734
	8	380	7.167.338	51.289	1.732	2.001.128
	Total Zona B	581	16.065.731	74.658	3.479	4.487.965
C Rural	5	1.792	6.067.931	119.672	2.876	1.775.337
	4	605	1.726.957	88.347	668	609.292
	3	795	390.102	37.660	193	156.077
	7	122	2.254.307	15.000	896	589.540
	Total Zona C	3.314	10.439.297	260.679	4.633	3.130.246
D Rural remota	1	1.860	502.616	91.686	330	219.407
	2	2.205	610.633	63.452	552	216.683
	Total Zona D	4.065	1.113.249	155.138	882	436.090

Tabla 14: Geotipos Vergara (2011) ordenados de mayor a menor inversión. Fuente: Vergara (2011) 5.3 Inversión requerida

Las zonas A y B contienen municipios de población mayor a 5000 habitantes, es por esto que para el estudio incremental se introdujeron los parámetros geográficos de Vergara en el Modelo Rocket. Por otra parte, las zonas C y D contienen, casi en su totalidad, municipios de menos de 5000 habitantes, sin embargo en la zona C hay municipios mayores en población. El primer paso que se desarrolló fue extraer de la zona C los municipios fuera del análisis, los datos se extrajeron de las tablas 27 y 28 de Vergara (2011). A partir de este procedimiento se

Capítulo 3. Modelo tecno-económico

fueron añadiendo los geotipos obtenidos del análisis k medias en el orden mostrado en la Tabla 12. En la Tabla 15 se ilustran los parámetros Rocket para el estudio incremental.

URBAN: Zona A: 43,23% viviendas principales								
	Área (km ²)	Hogares	HH/km ²	Habitantes	Área	Pob	Tráfico	% población Española
Dense urban	717	1.734.054	2.419,6	5.355.708	5%	28%	28%	40,92%
Urban	1.277	2.675.174	2.095,4	8.416.113	9%	44%	44%	% Área
Suburban		1.670.957	0,0	5.164.433	0%	27%	27%	2,78%
Rural	12.027	52.684	4,4	191.275	86%	1%	1%	% municipios
Open			0,0	0	0%	0%	0%	1,87%
Zona Ay B: 74,86% viviendas principales								
	Área (km ²)	Hogares	HH/km ²	Habitantes	Área	Pob	Tráfico	% población Española
Dense urban	717	1.734.054	2.419,6	5.745.971	1%	16%	16%	75,29%
Urban	1.590	3.421.225	2.151,8	11.336.593	2%	32%	32%	% Área
Suburban	3.166	3.222.320	0,0	10.677.499	4%	30%	30%	17,64%
Rural	34.685	2.127.370	61,3	7.049.267	39%	20%	20%	% municipios
Open	48.833	115.865	0,0	383.931	55%	1%	1%	9,03%
SUBURBAN1: Zona A, B y C>5000 habitantes: 75,92% viviendas principales								
	Área (km ²)	Hogares	HH/km ²	Habitantes	Área	Pob	Tráfico	% población Española
Dense urban	717	1.734.054	2.419,6	5.745.971	0%	14%	14%	87,85%
Urban	1.590	3.421.225	2.151,8	11.336.593	1%	28%	28%	% Área
Suburban	16.741	3.342.009	199,6	15.374.404	11%	37%	37%	31,09%
Rural	88.986	2.157.293	24,2	8.223.494	57%	20%	20%	% municipios
Open	48.833	115.865	2,4	383.931	31%	1%	1%	17,66%
SUBURBAN2: Zona A, B, C>5000 habitantes y geotipo 1: 76,36% viviendas principales								
	Área (km ²)	Hogares	HH/km ²	Habitantes	Área	Pob	Tráfico	% población Española
Dense urban	717	1.734.054	2.419,6	5.745.971	0%	14%	14%	88,12%
Urban	1.635	3.481.609	2.129,5	11.461.219	1%	28%	28%	% Área
Suburban	16.741	3.342.009	199,6	15.374.404	11%	37%	37%	31,15%
Rural	89.229	2.159.950	24,2	8.228.985	57%	20%	20%	% municipios
Open	48.833	115.865	2,4	383.931	31%	1%	1%	18,24%
RURAL1: Zona A, B, C>5000 habitantes, geotipos 1 y 5: 76,48% viviendas principales								
	Área (km ²)	Hogares	HH/km ²	Habitantes	Área	Pob	Tráfico	% población Española
Dense urban	717	1.734.054	2.419,6	5.745.971	0%	14%	14%	88,19%
Urban	1.635	3.481.609	2.129,5	11.461.219	1%	28%	28%	% Área
Suburban	16.751	3.351.248	200,1	15.391.931	11%	37%	37%	33,31%
Rural	90.024	2.166.925	24,1	8.242.216	57%	20%	20%	% municipios
Open	48.833	115.865	2,4	383.931	31%	1%	1%	18,65%

Capítulo 3. Modelo tecno-económico

RURAL2: Zona A, B, C>5000 habitantes, geotipos 1, 5 y 2: 79,02% viviendas principales								
	Área (km ²)	Hogares	HH/km ²	Habitantes	Área	Pob	Tráfico	% población Española
Dense urban	717	1.734.054	2.419,6	5.745.971	0%	14%	7%	89,73%
Urban	1.635	3.481.609	2.129,5	11.461.219	1%	27%	15%	% Área
Suburban	16.751	3.635.990	217,1	15.957.879	9%	38%	31%	36,84%
Rural	90.473	2.243.470	24,8	8.394.357	49%	20%	13%	% municipios
Open	76.300	115.865	1,5	383.931	41%	1%	0%	25,22%
RURAL3: Zona A, B, C>5000 habitantes, geotipos 1, 5, 2 y 6: 84,21% viviendas principales								
	Área (km ²)	Hogares	HH/km ²	Habitantes	Área	Pob	Tráfico	% población Española
Dense urban	717	1.734.054	2.419,6	5.745.971	0%	13%	7%	92,37%
Urban	1.635	3.481.609	2.129,5	11.461.219	1%	27%	15%	% Área
Suburban	16.751	4.362.381	260,4	17.176.885	7%	40%	33%	50,38%
Rural	91.086	2.252.707	24,7	8.409.860	36%	19%	13%	%municipios
Open	143.997	115.865	0,8	383.931	57%	1%	0%	47,63%
RURAL4: Zona A, B, C>5000 habitantes, geotipos 1, 5, 2, 6 y 3: 98,61% viviendas principales								
	Área (km ²)	Hogares	HH/km ²	Habitantes	Área	Pob	Tráfico	% población Española
Dense urban	717	1.734.054	2.419,6	5.745.971	0%	12%	7%	99,33%
Urban	1.635	3.481.609	2.129,5	11.461.219	0%	25%	14%	% Área
Suburban	16.751	6.360.045	379,7	20.357.727	4%	44%	37%	93,26%
Rural	92.993	2.298.500	24,7	8.482.775	20%	18%	12%	% municipios
Open	358.398	115.865	0,3	383.931	76%	1%	0%	90,95%
OPEN: Zona A, B, C>5000 habitantes, geotipos 1, 5, 2, 6, 3 y 4: 100% viviendas principales								
	Área (km ²)	Hogares	HH/km ²	Habitantes	Área	Pob	Tráfico	% población Española
Dense urban	717	1.734.054	2.419,6	5.745.971	0%	12%	12%	100,00%
Urban	1.635	3.481.609	2.129,5	11.461.219	0%	25%	25%	% Área
Suburban	16.751	6.506.106	388,4	20.590.556	3%	44%	44%	100,00%
Rural	93.171	2.349.535	25,2	8.564.129	18%	18%	18%	% municipios
Open	392.221	115.865	0,3	383.931	78%	1%	1%	100,00%

Tabla 15: Geotipos estudio incremental de inversión requerida

3.4 Modelo Técnico Radio

El modelo técnico radio se basa en los modelos técnicos Ofcom (Ofcom, 2009b; Ofcom, 2010), específicamente en el descrito en el anexo 13 (Ofcom, 2009a). El modelo de Ofcom para UMTS y HSPA fue diseñado para determinar el número de estaciones base requeridas dadas las características de calidad de servicio exigidas en una determinada distribución geográfica (dense urban, urban, suburban, rural y open). Dicho modelo estático con enfoque macrocelular puede resumirse en 4 pasos:

1. Se establecen las características tecnológicas y perfiles de tráfico previstos
2. Se fijan los parámetros geográficos de la zona estudiada. Estos pueden incluir el nivel de calidad de servicio requerido, características de propagación en una banda de frecuencias y la morfología y distribución de la población.
3. Proceso de cálculo: determina la densidad de estaciones base necesarias para proveer un una calidad de servicio aceptable en cada una de las distribuciones geográficas contenidas en el modelo. El cálculo se realiza a partir de un balance de enlace, determina el número de usuarios por célula y añade la ganancia multiusuario. Finalmente calcula el número final de usuarios por célula.
4. Extrapolación de las densidades de estaciones base en el área estudiada

Las diferencias del modelo técnico radio con respecto al de Ofcom son:

- El uso de LTE en las bandas de frecuencia de 800, 1800 y 2600 MHz. Con ello se introducen los parámetros técnicos respecto a esta tecnología. Las principales aportaciones técnicas son de diferentes fuentes técnicas (3GPP, 2012a; Dahlman, 2007; Dahlman, Parkvall, & Sköld, 2011; Holma & Toskala, 2009).
- El balance de enlace tiene por objetivo determinar las características de las células para proporcionar una velocidad de descarga de 30 Mbps con una portadora LTE FDD. Estas características son el número medio de usuarios por célula y el radio de la célula. Es importante destacar que la posibilidad de que un usuario pueda alcanzar velocidades de descarga de 30 Mbps con LTE, al ser un medio compartido, depende de diferentes parámetros tales como ancho de banda, usuarios simultáneos, y condiciones de canal (Agustí et al., 2010). Nokia reportó en octubre de 2011, que Telia estaba proporcionando velocidades medias de 21 Mbps por usuario en un suburbio de Estocolmo a través de LTE con una portadora 2x10 FDD en 800 MHz (Nokia Siemens Networks, 2012). En nuestro modelo, estamos estableciendo los parámetros de calidad de servicio y el uso de antenas directivas al aire libre para aumentar la calidad de la señal recibida y de este modo ofrecer 30 Mbps. De igual manera, estamos reduciendo la superficie celular, a fin de asegurar una velocidad de descarga de al menos 24 Mbps a los usuarios del borde, mediante la reserva de bloques de recursos.

El radio de la célula viene expresado por la ecuación 7 (Ofcom, 2009a):

$$r = \sqrt{\left(\frac{\text{Capacidad BS / km}^2}{\text{tráfico} * 9 * \frac{\sqrt{3}}{8}} \right)} \quad [7]$$

Otra consideración que es preciso mencionar es que para el estudio de la obligación de cobertura del 90% de municipios de menos de 5000 habitantes, el modelo técnico al igual que Rocket, se encuentran ante la limitación de diseño que consiste en considerar que toda el área estudiada se encuentra unida. Ante dicha limitación, se aplicó un factor de reducción “F” a los radios celulares, expresado en la Tabla 16 proveniente del estudio incremental en el cual sí se consideró el territorio nacional en su totalidad. Esta metodología también se ha utilizado en estudios de referencia (Analysys Mason, 2010)

- Está pensado para proveer banda ancha fija a hogares. El usuario final cuenta con una antena externa, con lo cual se añadió una ganancia de antena y se eliminaron las pérdidas por penetración en edificios, al igual que la atenuación respecto al cuerpo del usuario.

Los perfiles de tráfico son determinados por el modelo Rocket, por lo que el modelo técnico radio termina con una tabla de valores de radio de la célula en relación con el tráfico (Tabla de tráfico Mbps por Km²). La construcción de dicha tabla inicia con la determinación del número de usuarios activos. En (Holma & Toskala, 2009) se denomina multiplexación estadística (o factor de multiplexación estadística) a la diferencia entre los abonados y los usuarios activos en un momento determinado. En los sistemas IP esta diferencia es aún mayor que en sistemas 2G, ó 3G en donde se reserva un canal por usuario activo. Ofcom (Ofcom, 2009a) en los párrafos A13.390-A13.394 de su modelo de tráfico HSPA propone una forma simplificada para determinar el número de usuarios activos, que se recoge en la ecuación [8]. Dicha fórmula ha sido utilizada para modelar el tráfico en LTE y LTE Advanced por (Frias & Pérez, 2012; Frías, 2011).

La probabilidad de transmisión de un dispositivo está definida por [8] (Frias & Pérez, 2012; Ofcom, 2009a).

$$P_{tx} = \frac{(\text{Volúmen / día [Kbytes]})*\text{prop. orción de tráfico en BH} \cdot 8}{\text{Data rate} \left[\frac{\text{Kbits}}{\text{s}} \right] \cdot 3600 [\text{s}]} \quad [8]$$

Finalmente, en [9], se puede observar la fórmula para determinar la tabla de tráfico, expresada en términos de Mbps/km² que es variable de entrada del modelo Rocket. Esta fórmula se aplica a todas las distribuciones geográficas (dense urban, urban, suburban, rural y open), como se muestra en la parte superior (tráfico DL y UL) de la Tabla 17. En la misma tabla se muestra en negritas el volumen de tráfico por día [MB] considerado en para cada valor obtenido. En la parte inferior de la misma tabla se muestran los radios celulares para cada valor de tráfico, señalando en negrita los valores más utilizados en el modelo.

$$\text{Tráfico} \left[\frac{\text{Mbps}}{\text{km}^2} \right] = (\text{Data rate})(P_{tx}) \left(\text{densidad de hogares por dist geo} \left[\frac{\text{HH}}{\text{km}^2} \right] \right) \quad [9]$$

Las principales limitaciones del modelo, al igual que el de Ofcom, es que no toma en cuenta las atenuaciones de la señal respecto a la orografía de la zona estudiada ni dispone de la posibilidad de introducir perfiles de tráfico reales. Es importante mencionar que se intentó buscar información respecto al número de estaciones base por operador por municipio, ya que se consideró que esto brindaría mucha más solidez al modelo. Sin embargo, al ser una información confidencial de los operadores, no se pudo continuar con esta línea. Por otro lado,

Capítulo 3. Modelo tecno-económico

la metodología aquí utilizada se ha empleado en un informe con las mismas pretensiones que este documento para el caso del Reino Unido (Analysys Mason, 2010). Las variables de entrada se han cogido de diferentes referencias técnicas y están resumidas en la Tabla 16.

Parameter		
Sectores por emplazamientos	3	
Modelo de propagación	Okumura-Hata Extended Hata	(ECC, 2010; ITU-R SM.2028-1, 2002)
Banda de frecuencia de portadora	800, 1800, 2600 MHz	
Ancho de banda de portadora	2x 10, 15 y 20 MHz FDD	
Eficiencia espectral	$\alpha S(\text{SNIR})$; donde α factor de atenuación del codeset $S(\text{SNIR}) = \log_2(1 + \text{SNIR})$	(3GPP, 2012b)
Ganancia Multiusuario	Downlink	(Pokhariyal, Kolding, & Mogensen, 2006)
	Uplink	(Holma & Toskala, 2009)
Potencia BS	800 MHz 46 dBm 1800 MHz 47 dBm 2600 MHz 49 dBm	(3GPP, 2010)
Ganancia de antena eNB	800 MHz 16 dBi 1800 MHz 18 dBi 2600 MHz 21 dBi	(Ofcom, 2011b)
Ganancia de antena exterior (terminal de usuario)	800 MHz 13.5 dBi 1800 MHz 14.5 dBi 2600 MHz 16 dBi	(Analysys Mason, 2010)
Atenuación por cables	800 MHz 4 dB 1800 MHz 5 dB 2600 MHz 6 dB	(Analysys Mason, 2010)
Valores SINR medios	800 MHz 21,4dB 1800 MHz 16,8 dB 2600 MHz 17,5dB	Annex B (Ofcom, 2011c)
Valores SINR en el borde	800 MHz 1,95dB 1800 MHz -4,7 dB 2600 MHz -11.16dB	Annex B (Ofcom, 2011c)
Ruido térmico	800 MHz -104 dBm 1800 MHz -102 dBm 2600 MHz -101 dBm	(3GPP, 2008)
Margen de interferencias	1 dB	(Analysys Mason, 2010)
Recursos consumidos por los canales de control	0,8 dB	(Ofcom, 2009a)
Técnicas de diversidad de antenas	SISO, SIMO, MIMO 2x2 and MIMO 4x4	(3GPP, 2012a)
Shadow fading	Dense Urban 21,5 dB Urban 19,5 dB Suburban 9,2 dB Rural 7,8 dB Open 7,8 dB	(Ofcom, 2009a)
Área de la Célula	$0,95 * r^2 * F$	(Ofcom, 2009a)
Proporción de tráfico en Hora Cargada	20%	
Relación de tráfico ascendiente respecto al descendiente en hora cargada	20%	
F (sólo utilizado para el estudio de las zonas rurales de España)	Suburban: 0,13 Rural: 0,26 Open: 0,20	

Tabla 16: variables de entrada modelo técnico

Capítulo 3. Modelo tecno-económico

		Tráfico DL					
Geotype	Unidad	223,9	307,2	341,3	413,0	454,3	549,7
Dense Urban	Mbps/km2	472,8	648,5	720,6	871,9	959,1	1160,5
Urban	Mbps/km2	378,2	518,8	576,5	697,5	767,3	928,4
Suburban	Mbps/km2	253,8	348,1	386,8	468,0	514,8	622,9
Rural	Mbps/km2	191,6	262,9	292,1	353,4	388,7	470,4
Open	Mbps/km2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2

		Tráfico UL					
Geotype	Unidad	223,9	307,2	341,3	413,0	454,3	549,7
Dense Urban	Mbps/km2	57,9	79,4	88,3	106,8	117,5	142,2
Urban	Mbps/km2	46,3	63,6	70,6	85,4	94,0	113,7
Suburban	Mbps/km2	31,1	42,6	47,4	57,3	63,1	76,3
Rural	Mbps/km2	23,5	32,2	35,8	43,3	47,6	57,6
Open	Mbps/km2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Ancho de banda	Frec	Geo	Antena DL	Radio de celda para los valores de las tablas de tráfico DL y UL					
10	1800	Dense Urban	MIMO 2x2	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
15	1800	Dense Urban	MIMO 2x2	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
20	1800	Dense Urban	MIMO 2x2	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4
10	1800	Dense Urban	MIMO 4x4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3
15	1800	Dense Urban	MIMO 4x4	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4
20	1800	Dense Urban	MIMO 4x4	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5
10	2600	Dense Urban	MIMO 2x2	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3
15	2600	Dense Urban	MIMO 2x2	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4
20	2600	Dense Urban	MIMO 2x2	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4
10	2600	Dense Urban	MIMO 4x4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3
15	2600	Dense Urban	MIMO 4x4	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4
20	2600	Dense Urban	MIMO 4x4	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5
10	800	Urban	MIMO 2x2	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3
15	800	Urban	MIMO 2x2	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
10	800	Urban	MIMO 4x4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
15	800	Urban	MIMO 4x4	0,8	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
10	1800	Urban	SISO	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
10	1800	Urban	MIMO 2x2	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3
15	1800	Urban	MIMO 2x2	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
20	1800	Urban	MIMO 2x2	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
10	1800	Urban	MIMO 4x4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
15	1800	Urban	MIMO 4x4	0,8	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
20	1800	Urban	MIMO 4x4	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6
10	2600	Urban	MIMO 2x2	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3
15	2600	Urban	MIMO 2x2	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
20	2600	Urban	MIMO 2x2	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5

Capítulo 3. Modelo tecno-económico

10	2600	Urban	MIMO 4x4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
15	2600	Urban	MIMO 4x4	0,8	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
20	2600	Urban	MIMO 4x4	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6
10	800	Suburban	SISO	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3
15	800	Suburban	SISO	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4
10	800	Suburban	MIMO 2x2	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6
15	800	Suburban	MIMO 2x2	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6
20	800	Suburban	MIMO 4x4	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7
10	1800	Suburban	SISO	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3
15	1800	Suburban	SISO	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4
20	1800	Suburban	SISO	0,8	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
10	1800	Suburban	MIMO 2x2	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4
15	1800	Suburban	MIMO 2x2	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
20	1800	Suburban	MIMO 2x2	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6
10	1800	Suburban	MIMO 4x4	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
15	1800	Suburban	MIMO 4x4	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6
20	1800	Suburban	MIMO 4x4	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7
10	2600	Suburban	SISO	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3
15	2600	Suburban	SISO	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4
20	2600	Suburban	SISO	0,8	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
10	2600	Suburban	MIMO 2x2	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4
15	2600	Suburban	MIMO 2x2	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
20	2600	Suburban	MIMO 2x2	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6
10	2600	Suburban	MIMO 4x4	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
15	2600	Suburban	MIMO 4x4	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6
20	2600	Suburban	MIMO 4x4	1,1	1,0	0,9	0,8	0,8	0,7
10	800	Rural	SISO	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
15	800	Rural	SISO	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
10	800	Rural	MIMO 2x2	0,8	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
15	800	Rural	MIMO 2x2	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6
10	1800	Rural	SISO	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
15	1800	Rural	SISO	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5
20	1800	Rural	SISO	0,9	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6
10	1800	Rural	MIMO 2x2	0,8	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
15	1800	Rural	MIMO 2x2	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6
10	800	Open	SISO	19,4	19,4	19,4	19,4	19,4	18,5
15	800	Open	SISO	24,7	24,7	24,7	24,7	24,7	23,0

Tabla 17: Tablas de tráfico Vs radio celular.

3.5 Análisis de sensibilidad

Cuando los supuestos (en este caso variables de entrada) del escenario base que sustentan la hipótesis pueden variar como resultado de factores externos, se requiere de un análisis de sensibilidad a fin de evaluar el impacto de la política regulatoria en los elementos clave del estudio. (Comisión Europea, 2009)

En cualquier tipo de análisis cuantitativo es preciso estudiar el impacto de las variables de entrada en el resultado final de estudio. El análisis de sensibilidad se define como es el estudio de cómo la variación en el resultado de un modelo (numérico o de otra índole) se puede atribuir, cualitativa o cuantitativamente, a diferentes causas (Comisión Europea, 2014c). El uso de este tipo de análisis es fundamental en los modelos tecno-económicos a fin de incorporar un estudio de los posibles riesgos a la viabilidad que un proyecto puede afrontar. Smura (2012), que desarrolló una tesis doctoral acerca del análisis tecno-económico aplicado al diseño de redes móviles y arquitecturas industriales, realizó una tabla de recopilación de otros estudios tecno-económicos del sector de las telecomunicaciones en los cuales queda de manifiesto el uso del análisis de sensibilidad. (ver tabla 2.3 de Smura, (2012)). Además, Smura (2012), afirma que los resultados de un estudio DCF son importantes, pero insuficientes para determinar por sí mismos el resultado de un proyecto. Lo anterior a consecuencia de las incertidumbres inevitables en la multitud de variables de entrada, supuestos y pronósticos, que dicho enfoque requiere, haciendo imprescindible la necesidad de información derivada de un análisis de sensibilidad, que permita determinar el impacto de dichas incertidumbres en el resultado final.

Al igual que otros estudios tecno-económicos (Katsianis et al., 2001; Krizanovic, Grgic, & Zagar, 2010; Kyriakidou, Katsianis, Orfanos, Chipouras, & Varoutas, 2011), el presente estudio utiliza el método de simulación Monte Carlo, a través del *software Crystal BallTM*. En concreto, las principales variables de este análisis de se han sometido a un estudio de 1000 iteraciones con una variación del $\pm 10\%$, en distribución gaussiana. El fin del estudio es determinar el impacto de éstas en el NVP e IRR. Este análisis permite tener una visión mayor para determinar los riesgos del proyecto, el mejor y el peor escenario y análisis de suposición Y si...

En el caso concreto de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps, surgen varios interrogantes que pueden jugar un rol importante en la viabilidad del proyecto; p. ej. la penetración del servicio, el impacto del coste del servicio, el coste concreto de algunos activos, el coste de la financiación, el consumo de tráfico del usuario, etc. Las principales preguntas surgidas en el proceso de publicación de esta investigación, que se resuelven a través de un análisis de sensibilidad se exponen en la Tabla 18. Los resultados de dicho análisis permiten sugerencias regulatorias en lo concerniente a la obligación de cobertura del 90% de los municipios de menos de 5000 habitantes impuesta a los operadores y a la universalización de la banda ancha de 30 Mbps en general.

Capítulo 3. Modelo tecno-económico

Tipo de variables	Variables	Preguntas
Técnicas	Radio de cobertura de la célula, F, ancho de banda, coubicación de estaciones base, tráfico en hora cargada	<p>¿Qué impacto ejerce la reducción o ampliación del radio de cobertura de la célula?</p> <p>¿Qué impacto tendría una mejora en la calidad de servicio (p. ej. velocidad de descarga por usuario, incremento del tráfico en hora cargada) en el coste del proyecto?</p> <p>¿Qué impacto ejerce la reducción de la cobertura en las agrupaciones Open y Rural en la viabilidad del proyecto?</p> <p>¿Qué impacto tiene el facto F en la viabilidad del proyecto?</p> <p>Si se dispusiese de mayor ancho de banda en la banda de 800 MHz, ¿qué impacto tendría?</p> <p>¿Qué impacto ejerce la reducción o el aumento en el porcentaje de coubicación de estaciones base?</p>
Económicas	WACC, tiempo del estudio, coste de los activos	<p>¿Qué impacto ejerce el coste de capital en la viabilidad del proyecto?</p> <p>¿Qué papel juegan p. ej. el alquiler de los emplazamientos, o el coste de la licencia en la viabilidad del proyecto?</p>
Demanda	ARPU, adopción al servicio, <i>take-up</i> , consumo de tráfico mensual	<p>¿Qué impacto ejerce el ARPU en la viabilidad del proyecto?</p> <p>¿Qué impacto ejerce la variación del <i>take-up</i> en la viabilidad del proyecto?</p> <p>¿Qué impacto en el coste ejerce el incremento de tráfico?</p>

Tabla 18: Preguntas a responder con el análisis de sensibilidad

3.6 Descripción del escenario base en cada uno de los estudios realizados

Como se ha mencionado anteriormente, en el presente documento se analizan dos problemáticas. El primer caso, desarrollado en la sección 4.2, tiene por objetivo la evaluación del coste de inversión para la provisión de banda ancha de 30 Mbps con diferentes tecnologías para el tercio final de la población española. A este mismo análisis, nos referimos de forma breve como estudio incremental, debido a que el modelo está pensado para cubrir de forma incremental de los municipios más densamente poblados a los menos poblados. De esta manera, se complementa el análisis de Vergara (2011), expuesto en la sección 5.3, conservando los mismos parámetros del estudio. El segundo caso, desarrollado en la sección 4.3, es el estudio de la viabilidad del despliegue de LTE en los municipios españoles de menos de 5000 habitantes, al que en otras ocasiones se refiere de forma breve como estudio de viabilidad. Éste tiene por objeto estudiar la obligación de cobertura del 90% de los anteriormente señalados municipios en la subasta de espectro. A continuación se explica detalladamente tanto la motivación de la investigación en cada caso como los parámetros de cada estudio.

3.6.1 Descripción del caso base “Provisionando 30 Mbps al tercio final de la población”

3.6.1.1 Motivación de estudio

El contenido de esta sección se describe en Ovando & Perez (2014). En 2010 Analysys Mason desarrolló un estudio con el fin de determinar los costes de despliegue, capacidades y limitaciones de redes NGA fijas, móviles y satelitales para Reino Unido. En dicho estudio se puso de manifiesto que las NGA móviles jugarían un rol muy importante en el tercio final de la población, a pesar de requerir un aumento considerable en el número de emplazamientos necesarios. Ésta situación era aún más evidente en el último 15% de la población, mientras que en el último 1-2%, dependiendo del escenario seleccionado, el despliegue satelital era el más eficiente en costes. Igualmente se exponía la necesidad de disponer de más espectro para las comunicaciones móviles para satisfacer la demanda futura y cumplir el objetivo de los 30 Mbps propuesta en la Agenda Digital (Analysys Mason, 2010).

3.6.1.2 Descripción del escenario base

A fin de determinar si la conclusión de Analysys Mason en la cual se afirma que LTE es la solución más efectiva en costes para el tercio final de la población era aplicable al caso español, se replicó el estudio. Este estudio tiene como objetivo evaluar, a través de un análisis técnico-económico, el coste de suministrar banda ancha de 30 Mbps al tercio final de la población española. De igual manera, se discute el límite demográfico para redes fijas (cable, fibra y cobre). La evaluación tiene un enfoque centrado en la oferta y los resultados muestran, únicamente, los costes de la red de acceso.

La viabilidad del despliegue se define como la capacidad de recuperar la inversión al final del período de estudio. Esta capacidad está muy relacionada con el *take-up* y, por lo tanto, con la adopción del servicio. Los municipios españoles se clasificaron en base a las características geográficas y demográficas (ver Tabla 15) en 8 distribuciones geográficas (desde Urban a Open). Despliegue de red en cada distribución geográfica se compara con el coste de

despliegue en “Urban” y las tasas de penetración de la banda ancha definidas por Vergara (2011) en la tabla 37 sección 4.3. En la Tabla 19 se encuentra un resumen de la Tabla 15 y la tasa de penetración esperada de servicios de banda ancha, que no debe confundirse con la tasa de adopción al servicio. Otra característica importante del estudio, es que al igual que en la sección 5.3 de Vergara (2011), el *take-up* se fijó en 25% para todas las tecnologías. Otros parámetros del análisis se muestran en la Tabla 20.

Distribución Geográfica	Cobertura poblacional	HH/km ²	Población (media)	% superficie nacional	Tasa de penetración de BA
Urban	41,0%	269,48	28.276	13,3%	80%
Suburban1	75,0%	54,50	18,.61	7,8%	75%
Suburban2	88,0%	148,35	2.768	0,1%	65%
Rural1	88,5%	16,04	932	0,2%	40%
Rural2	90,0%	12,68	1.347	5,5%	20%
Rural3	92,4%	10,26	679	13,5%	40%
Rural4	98,5%	8,00	926	42,9%	20%
Open	100,0%	3,90	428	6,7%	20%

Tabla 19: Tabla resumen de Tabla 15 y demanda BA a partir de Vergara (2011)

Tecnologías consideradas	Velocidad DL	Velocidad UL	Tráfico en BH	Tráfico usuario (Kbps)	DL en	Límite de descarga mensual	WACC
LTE	24-35 Mbps	10 Mbps	20%	6144		10 GB	13%
FTTN/VDSL	50 Mbps	10 Mbps	40%	8000		Ilimitado	10.82%
FTTH/GPON	100 Mbps	10 Mbps	40%	8000		Ilimitado	12.5%
HFC/DOCSIS 3.0	100 Mbps	10 Mbps	40%	8000		Ilimitado	12.5%

Tabla 20: Parámetros técnicos y de servicio para las tecnologías utilizadas

3.6.2 Viabilidad del despliegue de LTE en los municipios españoles de menos de 5000 habitantes

El contenido de este estudio está descrito en el artículo aceptado en *Telecommunications Policy*, titulado “*LTE techno-economic assessment; the case of rural areas in Spain*”. Como su nombre lo indica, este análisis tecno-económico tiene por objeto evaluar si es viable la provisión de banda ancha de 30 Mbps por medio de la tecnología móvil LTE en el 90% de los municipios de menos de 5000 habitantes, conforme a los compromisos adquiridos por los operadores en la subasta de espectro de 2011 (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011d). Asimismo, en el caso de no ser viable el despliegue, se analiza si la compartición pasiva de infraestructuras podría brindar viabilidad al despliegue.

3.6.2.1 Motivación del Estudio

Existe una especial preocupación por la prestación del servicio de banda ancha de 30 Mbps en las zonas con baja densidad de población, donde la ausencia de un claro retorno de la inversión (ROI) hace improbable un despliegue de mercado. Como solución, los gobiernos instan a los operadores de redes a la compartición de infraestructuras (BEREC-RSPG, 2011), al menos, compartir la obra civil y equipos pasivos (compartición pasiva de infraestructuras) (Kan, Kellerer, Kozu, & Yabusaki, 2011). Sin embargo, hay algunos expertos (Cave & Martin, 2010; Falch & Henten, 2010; Ragoobar, Whalley, & Harle, 2011) que creen que este tipo de medidas es insuficiente para incentivar a los operadores a invertir. Más aún, consideran que los incentivos económicos son cruciales para el despliegue de redes de banda ancha, además de constituir éstas un bien público.

En los últimos tiempos han surgido nuevas tecnologías que prometen mejoras económicas y técnicas. La compartición activa de infraestructuras puede dotar de flexibilidad al reducir el coste total de la propiedad. Además, en numerosos artículos se asegura que el uso de técnicas de radio cognitiva en la compartición activa de infraestructuras, permitirían la coexistencia rentable de operadores primarios y secundarios en la misma sección de espectro radioeléctrico (Ballon, Lehr, & Delaere, 2013a; Ballon, Lehr, & Delaere, 2013b). Por otro lado, la característica de agregación de portadora de LTE Advanced, muy seguramente podría mejorar la velocidad de descarga por usuario, sin suponer un coste excesivo a los operadores.

Existe bibliografía abundante que refiere la avalancha de tráfico que está por venir y diferentes modelos de negocio para monetizarlo (Markendahl, Molleryd, Makitalo, & Werding, 2009; Markendahl & Maandkitalo, 2010; Werding, Markendahl, Mäkitalo, & Mölleryd, 2010; Zander, 2013). Técnicas de descarga de tráfico o *offloading* se han propuesto para hacer frente a la limitación por capacidad que se prevé venir a corto plazo (GrøNsund, GrøNdalen, & Lähteenoja, 2013; Markendahl, Mölleryd, Beckman, & Mäkitalo, 2011; Popescu, Ghanbari, & Markendahl, 2013). Una de las técnicas más prometedoras es el uso de femtoceldas para descargar el tráfico. Como se señala en GrøNsund et al., (2012). La red troncal de la femtocelda se apoya en un acceso de fibra óptica instalado o en un enlace de transmisión a la estación base, con el inconveniente de utilizar la capacidad de la estación base. En el estudio que aquí se presenta, al ser el área estudiada zona rural carente de accesos de banda ancha rápida y ultrarrápida, la única opción disponible sería la segunda. Sin embargo, dicha opción no constituye una solución ni una mejora a maximizar la capacidad de la celda.

Todas las técnicas y tecnologías mencionadas en el párrafo anterior están fuera del alcance de este estudio, básicamente, por tres motivos. El primero, debido a que el estudio se desarrolla a corto plazo, se contemplan únicamente tecnologías presentes en el mercado. De esta manera tecnologías como LTE Advanced, no se contemplan. El segundo, porque en la zona geográfica en la que se enmarca el presente análisis, no se encuentra ante la problemática de una sobrecarga de red. Al contrario, las zonas rurales enfrentan el problema de buscar tecnologías móviles en bandas de frecuencias menores a 1 GHz, para cubrir un área mayor. El tercer punto se debe a que el despliegue que se plantea para redes móviles LTE es *greenfield*. Si bien es cierto que la cobertura de redes 3G en España es cercana a la totalidad de la población, la banda de frecuencia en 800 MHz no está disponible hasta 2015, por lo que se parte de un despliegue nuevo de red LTE en dicha banda.

3.6.2.2 Descripción del escenario base

A diferencia del estudio incremental, en este análisis se estudia el coste de la medida regulatoria en el área total de los municipios de menos de 5000 habitantes, excluyendo el área rural extrema, que corresponde al último 0,7 de la población (ver Tabla 13). En cuanto a los parámetros técnicos, todo el análisis se desarrolla con un despliegue LTE 2x10 MHz FDD en la banda de frecuencia de 800 MHz, conforme a la disposición de espectro en 2015 de cada uno de los tres operadores con mayor peso significativo en el mercado español: Telefónica, Vodafone y France Telecom (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011d). De esta manera, el estudio es válido para cualquiera de los operadores previamente mencionados.

La viabilidad del despliegue se define como la capacidad de, al menos, recuperar la inversión al final del periodo del estudio de diez años. El estudio considera que el despliegue de red iniciaría en 2014 y terminaría en 2020, cumpliendo la obligación de cobertura impuesta por la Agenda Digital en el año 2020. Para el estudio se emplearon los 3 escenarios de demanda descritos en la Ilustración 14 y se evaluaron 3 diferentes servicios de banda ancha, diferenciados por el límite de descarga mensual: Básico 10 GB/mes, Platino 20 GB/mes y Premium 30 GB/mes. Dichos servicios de banda ancha y escenarios de demanda fueron utilizados para evaluar dos escenarios de red: el escenario de compartición pasiva de infraestructura y el escenario sin compartición.

El estudio se dirige a la provisión de banda ancha fija a hogares. El hecho de que otro tipo de servicios (banda ancha móvil, televisión) se puedan brindar bajo la misma red no se ha considerado en el estudio. Lo anterior es un factor que contribuye a la viabilidad del despliegue, pero se ha dejado fuera debido a que el estudio se centra en evaluar el coste del cumplimiento de la obligación de cobertura para la impuesta a los operadores de provisión de banda ancha de 30 Mbps a hogares en el 90% de los municipios de menos de 5000 habitantes, en función del *take-up*, previsto a través de escenarios de demanda de banda ancha residencial. El coste de la terminal de usuario, equipo de usuario con antena fija externa (CPE), así como su instalación está incluido en el estudio como “costes de terminal de usuario”.

El despliegue de red de 2014 a 2020 se modela usando una curva S, al igual que en (Moral et al., 2011). Para determinar el coste de la provisión del servicio, se iguala el valor presente neto a cero al final de los diez años que dura el estudio ($NVP=0$). El modelo Rocket determina el ARPU mensual requerido para alcanzar dicha condición. Nótese que el ARPU es variable de entrada, al ser un modelo DCF, pero al mismo tiempo resultado. Para el cálculo general de los costes operativos, se supone que el 45% de éstos corresponden al OPEX relativo a la red, y el resto (55%) a los gastos relacionados con el negocio. Los valores del OPEX que se manejan son parámetros propios del modelo Rocket (Moral et al., 2010; Moral et al., 2011), que derivan de otros estudios reconocidos (Markendahl et al., (2009). El coste de adquisición de la licencia, y los costes del núcleo de red son proporcionales a los usuarios en zonas rurales.

Los resultados del estudio se presentan en dos secciones. En la sección 4.3.1 Coste de la provisión del servicio, se analizan los tres servicios de banda ancha estudiados en los dos escenarios de red considerando un *take-up* fijo del 25%. El estudio prosigue mostrando la curva del mínimo requerido para recuperar la inversión ARPU en función de un *take-up* variable. En la sección 4.3.2, se analiza y discute la viabilidad del despliegue en función del ARPU requerido en cada escenario de demanda. Finalmente, los resultados se someten a un análisis de sensibilidad, con el fin de determinar su impacto en el coste y la viabilidad del proyecto.

En la Tabla 21 se resumen, para mayor claridad, las características básicas de los dos estudios realizados en el presente documento.

Capítulo 3. Modelo tecno-económico

Parámetros	Provisionando 30 Mbps al tercio final de la población	Viabilidad del despliegue de LTE en los municipios españoles de menos de 5000 habitantes
Límite de descarga mensual	10 GB/mes	Básico 10 GB/mes Platino 20 GB/mes Premium 30 GB/mes
Penetración del servicio en 2020	Urban 100% Suburban 100% Rural 95% Open 70% (Ver Tabla 15)	Suburban 100% Rural 95% Open 70% (Ver Tabla 13)
Portadora y técnicas de diversidad de antenas utilizadas	Dense Urban: MIMO 2x2, 2x20 MHz FDD en 1800MHz Urban: MIMO 2x2, 2x15 MHz FDD en 1800MHz MIMO 2x2, 2x10 MHz FDD en 800MHz Suburban1: MIMO 2x2, 2x10 MHz FDD en 800 MHz SISO, 2x10 MHz FDD en 800 MHz Suburban2: SISO, 2x10 MHz FDD en 800 MHz Rural: SISO 2x10 MHz FDD en 800 MHz Open: SISO 2x10 MHz FDD en 800 MHz	2x10 MHz FDD en 800 MHz
BS que pueden ser coubicadas	80% (SVP Advisors, 2011)	80%
BH por mes	60	60
Periodo de estudio	10 años	10 años
WACC	13%	13%
Coste de adquisición de clientes	5€ (Vergara, 2011)	5€
Crecimiento anual del límite de descarga mensual	1%	1%
Tendencia anual del precio de productos de banda ancha por usuario	-4% (CMT, 2012)	-4%
Take-up final	25%	Market share 100% 1 operador a. 25% b-Escenarios de demanda Ilustración 14
Constitución del OPEX	Únicamente se considera el OPEX derivado de la red de acceso	45% OPEX relativo a la red 55% gastos relacionados con el negocio (Markendahl et al., 2009)
Definición de Viabilidad	Comparación con el coste de despliegue en Urban y tasa de penetración BA	Habilidad de al menos recuperar el coste del despliegue, según escenarios de demanda, al final del periodo de estudio

Tabla 21: Tabla comparativa de parámetros técnicos de los 2 estudios desarrollados.

CAPÍTULO 4. PRINCIPALES RESULTADOS DEL MODELO TECNO-ECONÓMICO: PROVISIÓN DE BANDA ANCHA MÓVIL EN LAS ZONAS RURALES DE ESPAÑA.

4.1 Introducción

El presente apartado comprende dos estudios y el análisis de sensibilidad de las variables de entrada. El primer estudio, se denominada “Provisionando 30 Mbps al tercio final de la población española”, analiza el coste de la provisión de dicho servicio de banda ancha a los municipios, ordenados de forma descendente, que contienen del 41% al 100% de la población española. A semejanza del estudio de Vergara (2011), esta sección se centra en los costes de capital requeridos, cuando el *take-up* se fija en 25%. La viabilidad en esta sección se define en función del coste de la inversión por hogar en cada una de las franjas de población, comparado con el coste de la provisión del servicio en la franja de población más poblada. Para este estudio se considera, también, la tasa de penetración de la banda ancha en la distribución geográfica analizada descrita en la Tabla 19.

El segundo apartado se denomina “Viabilidad del despliegue de LTE en los municipios españoles de menos de 5000 habitantes”, aborda el estudio de la obligación regulatoria impuesta a los operadores licenciatarios de 2x10 FDD en 800 MHz. Con este fin, se realiza el estudio tecno-económico sobre la totalidad del área sujeta a dicha obligación, en dos escenarios de red: sin compartición, y de compartición pasiva de infraestructuras. Dicho apartado, se subdivide, a su vez en dos apartados: 4.3.2 Coste de la provisión del servicio y 4.3.3 ARPU requerido en los tres escenarios de demanda. En la sección 4.3.2 se analizan 3 productos de banda ancha diferentes en el límite de descarga mensual, con un *take-up* fijo, que permite mostrar con claridad los ahorros en ambos escenarios de red considerados. Asimismo, permite determinar si la inversión requerida para el despliegue es acorde a las inversiones anuales de los operadores. En la misma sección se muestran los resultados de un *take-up* variable, a fin de designar el ARPU mínimo para garantizar la recuperación de la inversión al final del periodo de estudio. Por otra parte, en la sección 4.3.3, se analiza la provisión de un solo producto de banda ancha en los escenarios descritos en la sección 2.3.2.

La tercera sección tiene como fin determinar los factores clave que impactan en la viabilidad del despliegue. Ésta se aborda en la sección denominada “Análisis de sensibilidad”, en donde además de mostrar los resultados directos del análisis, se responden a las pregunta concretas planteadas en la Tabla 18. Finalmente, se discuten los resultados del mismo y se brindan conclusiones generales.

4.2 Provisionando 30 Mbps al tercio final de la población

4.2.1 CAPEX de acceso requerido para cubrir el tercio final de la población

La Ilustración 20 muestra la comparativa del coste (de acceso) de la inversión para la provisión de banda ancha de 30 Mbps o mayor con diferentes tecnologías presentes en el mercado para cubrir el tercio final de la población española. Para un escenario urbano, el 25% de *take-up* representa un valor intermedio de adopción. Sin embargo, conforme la densidad de población disminuye, este valor representa el más alto nivel de adopción (y de penetración). Los niveles más bajos de inversión, en el caso de las redes fijas, están asociados a las plataformas de mayor reutilización, como el escenario de despliegue *brownfield* (despliegue existente) HFC o un despliegue FTTH / VDSL del operador incumbente. Por otra parte, un despliegue nuevo o *greenfield*, tanto de HFC como de FTTH / GPON implicaría inversiones mayores.

El coste del OPEX de acceso juega un papel muy relevante en los despliegues FTTH/P2P y LTE. En el caso del escenario LTE, si se reflejase únicamente el CAPEX de la red de acceso, se excluirían las tasas anuales de la licencia, el alquiler del emplazamiento y el coste de mantenimiento del enodeB. Los costes del OPEX de red duplican el CAPEX al alcanzar la cobertura del 100% de los hogares. Por esta razón se muestran en Ilustración 20 dos series para el escenario LTE: CAPEX de la red de acceso (LTE RAN CAPEX*) y CAPEX + OPEX de la red de acceso. Respecto al escenario FTTH/P2P*, se considera la inversión que realiza un operador alternativo, a consecuencia de esto se excluyen los costes de la obra civil, ya que acceden vía oferta mayorista. Por el contrario, para el cálculo de los costes de inversión de la plataforma FTTH/GPON, se consideró un despliegue del operador incumbente que incluye obra civil, portadores y equipos (Vergara, 2011).

A partir del 72% de los hogares cubiertos, la plataforma más eficiente en costes es LTE (regiones C y D de la figura 44 de Vergara (2011)), y la única viable entre las tecnologías evaluadas. Se observa en el último 8% de los hogares, que en el coste de despliegue de LTE hay un notable incremento en la tendencia de la curva.

En cuanto a las cantidades requeridas, la Ilustración 20 muestra que se requieren entre €2.700 millones, en el caso de un despliegue VDSL, y €5.400 millones para un despliegue HFC, para cubrir la primera mitad de la población con cualquier tipo de plataforma fija NGA analizada. A diferencia de las grandes cantidades requeridas por las NGA fijas, la red de acceso LTE total (CAPEX + OPEX), no excede en ningún momento los €3000 millones para cubrir el país entero. Sin embargo, debe considerarse que la capacidad por usuario (o velocidad de descarga) que pueden suministrar las redes fijas, es mayor que la que puede proveer LTE.

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

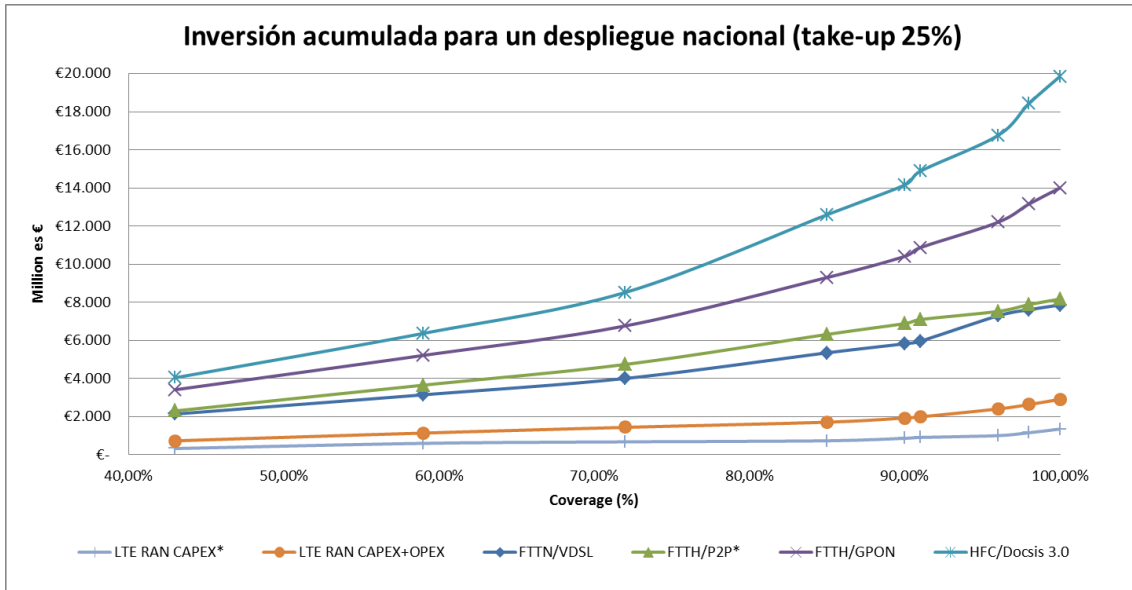


Ilustración 20. Inversión acumulada con diferentes NGA para un take-up del 25%.

4.2.2 Reparto de costes de CAPEX total y OPEX relativo a la red

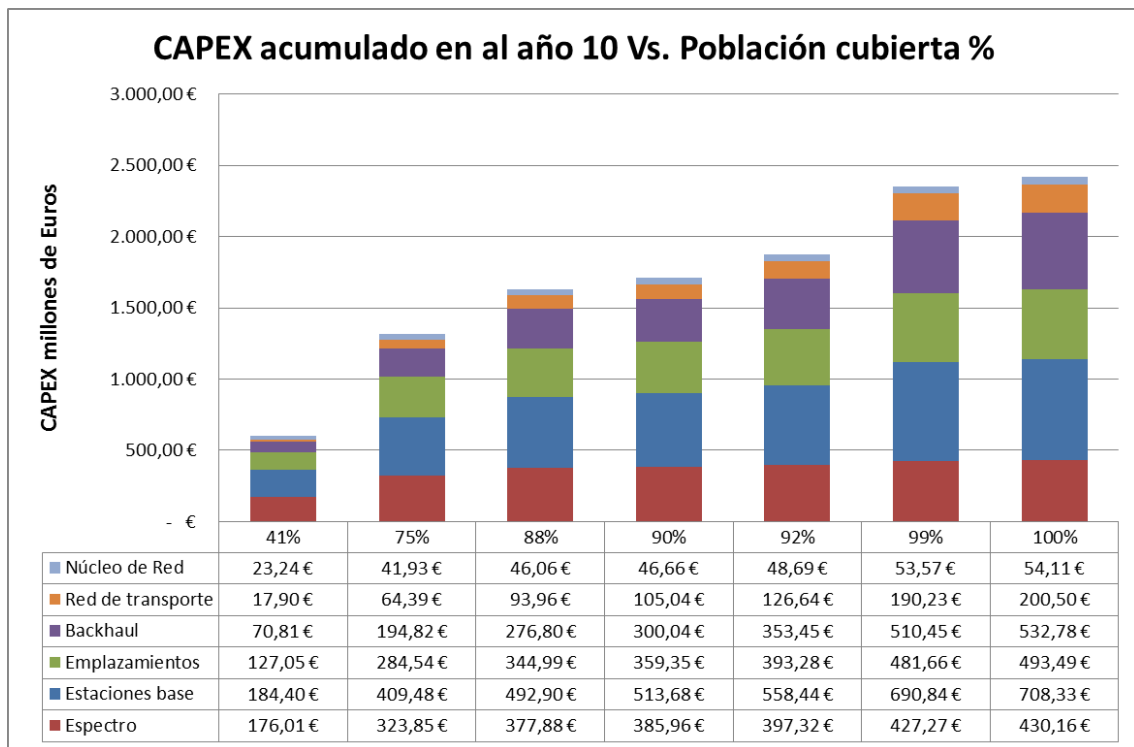


Ilustración 21: CAPEX total acumulado para un take-up del 25% para LTE

La Ilustración 21 muestra la inversión total. A diferencia de la gráfica anterior, aquí no sólo se muestran los costes de acceso, sino el reparto de los costes en las diferentes categorías de red (ver Tabla 8). En general, se observa una tendencia incremental exponencial al cubrir el último 25% de los hogares. Se ve claramente que el mayor impacto en la inversión total corresponde a la red de acceso, a pesar de considerar un 80% en la cubrición de emplazamientos y de suponer el coste de adquisición de la licencia de espectro de forma proporcional a los habitantes. Estaciones base, emplazamientos y espectro son las categorías a

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

las que corresponden las mayores inversiones. El *backhaul* y la red de transporte, juegan, también, un papel importante en los costes totales; sin embargo, dado que parte de estos puede ser común a otras tecnologías, se podría considerar que se encuentra desplegada ya por los operadores analizados en este estudio.

De la misma manera la Ilustración 22 muestra los costes operativos totales de red. Salta a la luz el impacto que los costes del núcleo de red. Es preciso destacar que casi un 50% de dichos costes, lo integra el coste por usuario de la plataforma VOIP (6€) (ver Tabla 8), que siendo fiel al original parámetro de Rocket, es muy alto con respecto a los costes actuales. Respecto del resto de costes, el alquiler de emplazamientos juega un papel fundamental y altamente notorio en los costes operativos. De nuevo el alquiler de emplazamientos de los nodos de agregación (Alquiler del emplazamiento y otros puntos de presencia en Tabla 8) se reflejan visiblemente en los costes de *backhaul*. Dado que este caso se orienta a analizar un despliegue de cualquiera de los tres operadores con licencia en 800 MHz ya presentes en el mercado español, es preciso mencionar que una parte importante de los costes operativos pueden ser utilizados por varias tecnologías, por ejemplo el alquiler de emplazamientos, parte de la red de transporte y *backhaul*. Es por esta razón que el presente estudio pretende incidir especialmente en el presente estudio en los costes la red de acceso.

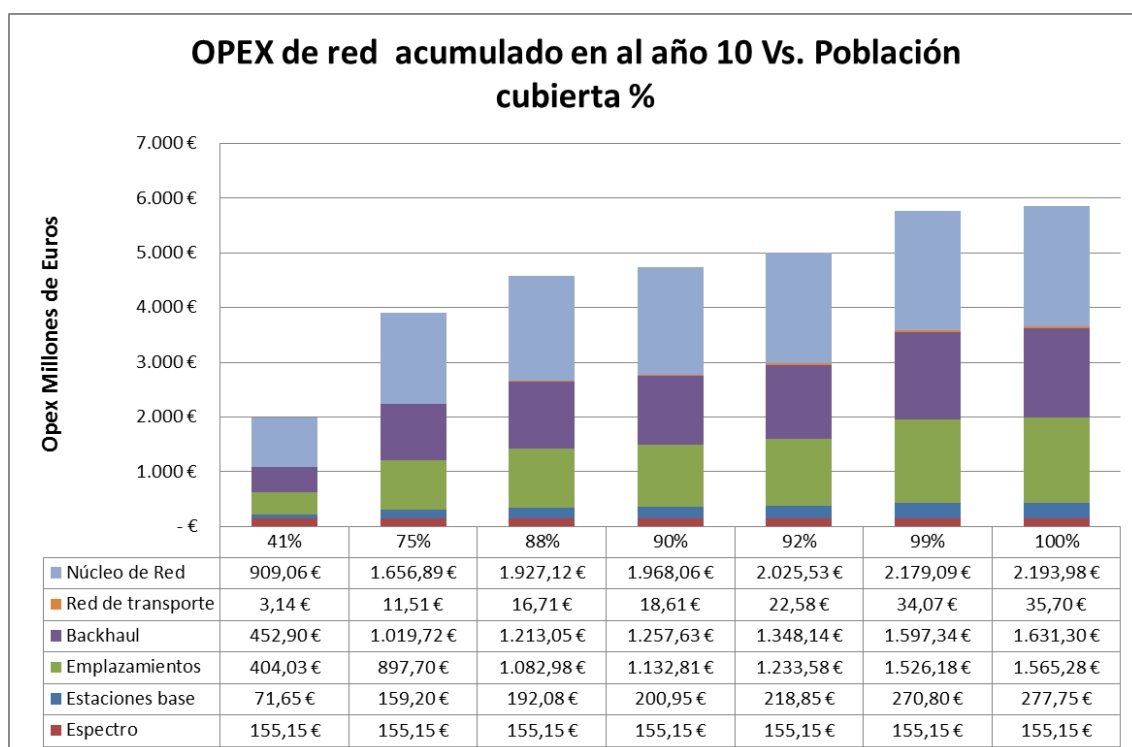


Ilustración 22: OPEX total acumulado para un *take-up* del 25%

4.2. 3 Coste por distribución geográfica del tercio final de la población

En la Ilustración 23 se muestra el CAPEX de acceso para cubrir los hogares ubicados en las distintas distribuciones geográficas del tercio final de la población. Las distribuciones geográficas corresponden a los valores de la Tabla 19. Al igual que en todas las gráficas de esta sección, se ha considerado un *take-up* de un 25%. En este apartado se comparará el coste de despliegue en las distintas distribuciones geográficas con el coste de despliegue en Urban. Con

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

el fin de simplificar el análisis, se considera que el despliegue de una plataforma es inviable cuando ésta duplica el coste de la inversión por hogar en Urban y la tasa de penetración de la banda ancha en la distribución geográfica analizada es inferior al 25% (ver Tabla 19). Es preciso mencionar que conforme se señala en (Davidson et al., 2012; Howick & Whalley, 2008), la adopción de la banda ancha tiende a disminuir conforme la densidad de población disminuye. Lo anterior es debido a los elementos asociados a ésta, como pueden ser la disminución de los ingresos, la falta de conocimientos tecnológicos y la falta de percepción de necesidad de la banda ancha. A consecuencia de esto, la población de las zonas rurales es más sensible al precio de los productos de banda ancha.

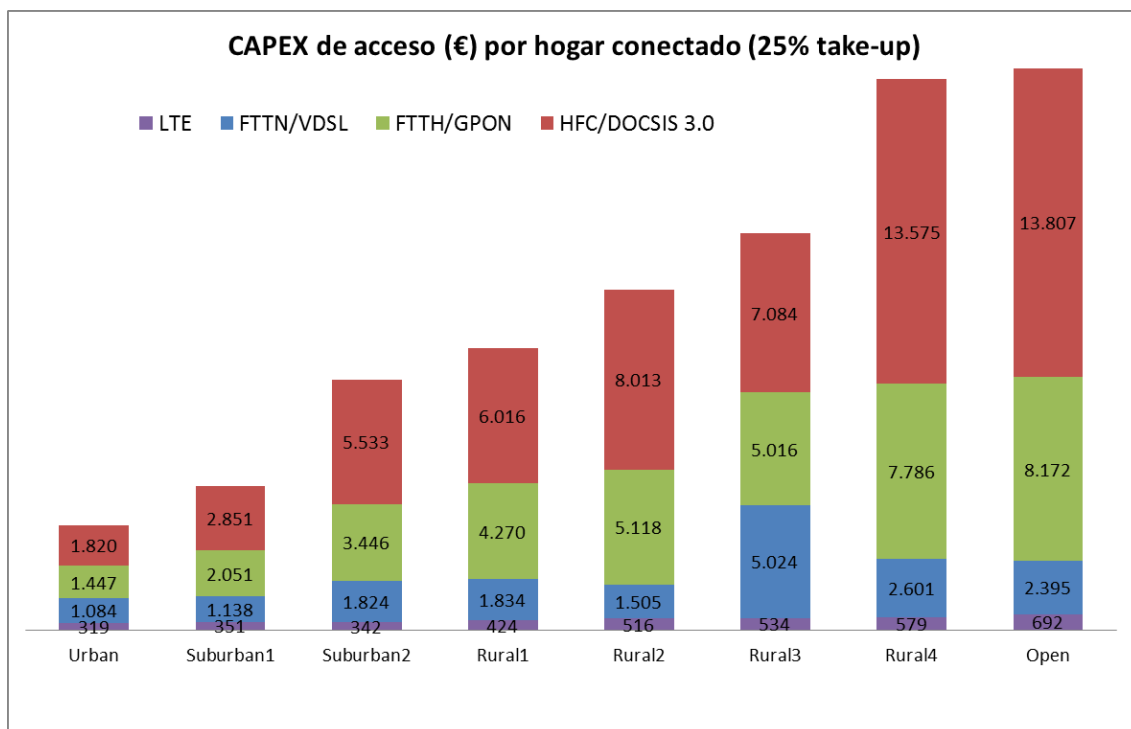


Ilustración 23: CAPEX por hogar conectado en las diferentes distribuciones geográficas.

4.2. 3.1 Urban

Como se puede observar en Tabla 19, la penetración esperada para Urban es alrededor del 80%. Si el mercado evoluciona positivamente, hasta 3 despliegues NGA diferentes capaces de proporcionar conexiones de 100 Mbps, podrían desplegarse de forma rentable. En este tipo de distribución geográfica son más adecuados los despliegues FTTH y HFC, ya que el incremento del número de usuarios tiene un efecto directo en la amortización de la red, sin tener un impacto considerable en la calidad del servicio. Además de brindar mucha más velocidad de descarga, el servicio ofrecido por los operadores de banda ancha fija de fibra o de cable consideran límites de descarga de datos mucho mayores a las plataformas de banda ancha móvil, lo cual es un aliciente para la contratación de este servicio.

A pesar de ser el despliegue más barato, LTE, no se recomienda como plataforma para provisión de banda ancha fija a hogares dentro de esta distribución geográfica, ya que un *take-up* mayor al aquí reflejado conllevaría un incremento considerable en el dimensionamiento de red, con las consecuencias económicas que de ello se derivan. Asimismo, para asegurar 30 Mbps por usuario, la red móvil debería fortalecerse para no encontrarse limitada por

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

capacidad, con lo cual se requerirían muchas más estaciones base. Sin embargo, si se analizara la provisión de banda ancha móvil y, en consecuencia, el número de clientes aumentara (al tarifarse por usuarios de terminal móvil y no por hogares), incluso manteniendo las mismas características de calidad del servicio y límite de descarga mensual, los resultados del estudio serían muy diferentes. Como se aprecia en la Ilustración 24, el coste de provisión de servicio para un *take-up* del 25%, por usuario sería de 300€ aproximadamente, sólo un poco superior al ARPU anual de un usuario móvil en España (Yoo, 2014).

4.2. 3.2 Suburban 1

En la distribución geográfica Suburban 1, ninguna de las plataformas analizadas duplica el coste por hogar conectado de Urban. Como la tasa de penetración de la banda ancha es del 75%, al menos dos despliegues de NGA fijas (probablemente FTTH y HFC), prodrían ser viables. Respecto al mercado de redes rápidas de banda ancha (de 30 a 50 Mbps), en este escenario el despliegue más adecuado sería VDSL, debido a que la conclusión de Urban acerca de banda ancha móvil para servicio fijo, es válida también para este caso.

4.2. 3.3 Suburban 2 y Rural 1

No existe mucha diferencia entre los costes por hogar conectado con las plataformas estudiadas entre Suburban 2 y Rural 1. El coste del despliegue de las plataformas FTTH y HFC excede el doble del coste por hogar conectado en Urban. Lo anterior hace improbable la inversión, por parte de los operadores de dichas plataformas, en los municipios de esta distribución geográfica. Por otro lado, en el escenario de despliegue de redes rápidas de banda ancha (de 30 a 50 Mbps), el coste por hogar conectado se encuentra dentro de los márgenes de viabilidad exigidos en este estudio. Al encontrarse la penetración de banda ancha en el 65% y el 40%, respectivamente, es posible el despliegue eficiente en costes de más de una red VDSL y LTE.

4.2. 3.4 Rural 2, 3 y 4

De este análisis se concluye que la viabilidad de las redes fijas alcanza su límite al final de la distribución geográfica Rural 1. En Rural 2 podría surgir la duda acerca de la viabilidad de la plataforma VDSL, ya que ésta no duplica el coste por hogar conectado de Urban. A pesar de lo anterior, la penetración de la banda ancha en Rural 2 es menor al 25%, lo cual implicaría un incremento en los costes que deja esta plataforma fuera de los límites de viabilidad definidos en este análisis. Por esta razón, el despliegue en Rural 2 es comparable con los despliegues en Rural 3 y Rural 4, por tanto, recibirá la misma consideración que éstos.

El 10% final de los hogares españoles se ubica a partir de la distribución geográfica Rural 2. Para Rural 2, 3 y 4, el despliegue más eficiente en costes es LTE, puesto que es la única plataforma que no duplica su coste de despliegue en Urban. Considerando las bajas tasas de penetración de la banda ancha en dicha área, se recomienda una única red LTE con capacidad de proveer banda ancha fija de 30 Mbps a los hogares que la componen. Sin embargo, al encontrarse el despliegue de red LTE dentro de los límites de viabilidad exigidos en este análisis, si se da el caso poco probable de una tasa de adopción mayor (a consecuencia de medidas de estímulo de la demanda exitosas) a la aquí considerada, incluso podrían existir dos redes LTE capaces de proveer 30 Mbps de banda ancha fija. No obstante, se recomienda el despliegue de una sólo red, debido a que, dadas las características del área estudiada, la red LTE no enfrentaría una limitación por capacidad. Por el contrario, un aumento en el número de

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

usuarios se reflejaría en una mejora en la recuperación de la inversión y la capacidad de ofrecer servicios a costes menores. Un único despliegue LTE con las características de calidad de servicio especificadas no implicaría necesariamente la presencia de un único operador, ya que existen amplia experiencia en compartición de infraestructuras y acuerdos comerciales de provisión de servicio entre operadores.

4.2. 3.5 Open

En esta distribución geográfica se ubica el último 1,5% de la población, con la densidad de población más baja, muy probablemente, en una situación geográfica complicada. Como el coste por hogar conectado en todas las plataformas aquí analizadas duplica (ampliamente) los costes en Urban y la tasa de penetración es aún más baja de la aquí reflejada se concluye que únicamente será posible cubrir los hogares de esta distribución geográfica por medio de financiación pública. Además, esta área está fuera de los compromisos de cobertura impuestos a los operadores en la subasta de espectro de 2011, ya que la obligación del cubrir el 90% de los municipios con menos de 5000 habitantes finaliza en Rural 4. Otro factor que restringe el despliegue en esta área, es la falta de estaciones base en el último 1% de la población, lo cual implicaría un considerable incremento en el coste de provisión de servicio de banda ancha móvil de 30 Mbps.

Por otro lado, en las áreas menos propensas para despliegues NGA, existen soluciones satelitales que ofrecen banda ancha de hasta 20 Mbps, a un coste por hogar conectado inferior. La velocidad de descarga de la banda ancha satelital se ha incrementado considerablemente en los últimos años y se espera que alcancen valores mayores. Con la entrada en vigor del servicio universal de banda ancha, se utiliza esta tecnología para cubrir el área rural remota de España (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2014). Lo anterior, antecede a la pregunta lógica de la necesidad de cobertura con NGA del 100% de la población, conforme a los objetivos propuestos para el año 2020 de la Agenda Digital, especialmente cuando ya existe un servicio universal de banda ancha, tecnologías capaces de brindar BA de hasta 20 Mbps y un despliegue de mercado parece muy improbable.

4.2. 3.6 Coste de capital y operativo de la red de acceso por usuario y por hogar

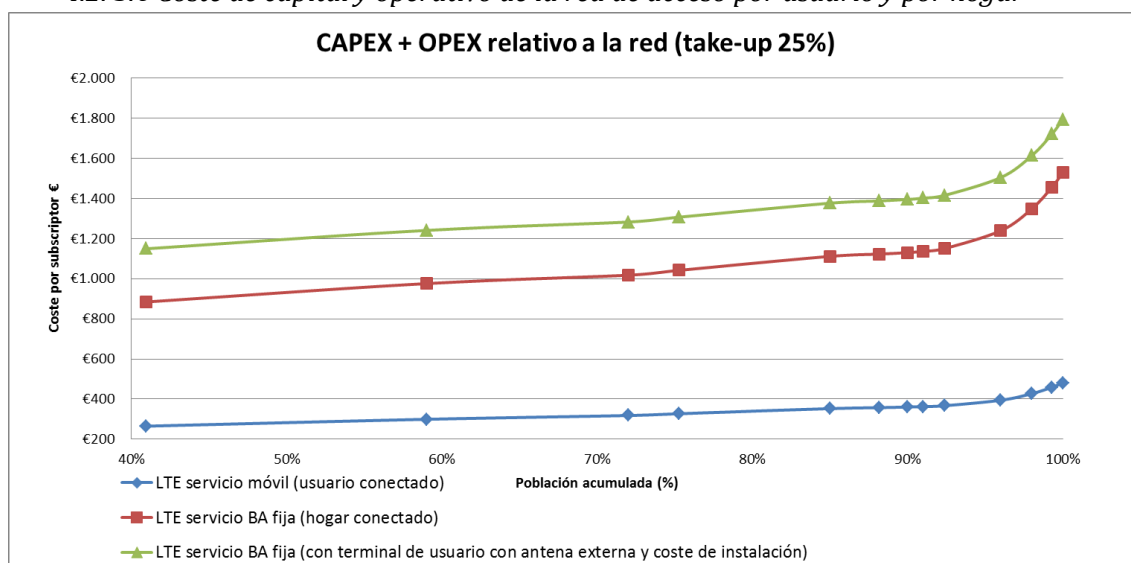


Ilustración 24: Coste de la provisión de 30 Mbps con LTE por usuario, hogar y por hogar con terminal de usuario.

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

Finalmente, en la Ilustración 24 muestra el CAPEX total y el OPEX relativo a la red (no sólo el acceso) acumulado por subcriptor (hogar y usuario móvil), para brindar banda ancha de 30 Mbps manteniendo las características de calidad de servicio especificadas y un límite de descarga mensual de 10GB, para un *take-up* del 25%, en un estudio de 10 años. En el caso del servicio de banda ancha móvil, los costes disminuyen dramáticamente al incrementar el número de usuarios. Además, las tarifas de banda ancha móvil no suelen asegurar una tasa de descarga de datos ni un límite de descarga mensual tan alto como los aquí reflejados, con lo cual, el coste sería aún menor. Por otra parte, en el escenario de banda ancha fija se muestra el coste por hogar conectado y el coste por hogar conectado añadiendo el coste terminal de usuario y su instalación. Éste último es útil para visualizar el impacto que ejercen las conocidas políticas de estímulo de la demanda de subvención de terminales. De este tema se profundizará en las secciones posteriores y en el análisis de sensibilidad.

4.3 Viabilidad del despliegue de LTE en los municipios españoles de menos de 5000 habitantes

4.3.1 Coste de la provisión del servicio

El presente estudio tiene como fin analizar la viabilidad de la provisión de banda ancha de 30 Mbps por medio de la tecnología móvil LTE en el 90% de los municipios de menos de 5000 habitantes, conforme a los compromisos adquiridos por los operadores en la subasta de espectro de 2011 (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2011d). Asimismo, en el caso de no ser viable el despliegue, se analiza si la compartición pasiva de infraestructuras podría brindar viabilidad al despliegue. Continuando con el enfoque incremental de la sección anterior, el presente estudio comprende entre 87,9% y el 99,3% de la población española y entre el 76,3% y el 98,6% de los hogares principales. Los parámetros demográficos del estudio se encuentran descritos en la Tabla 12. La delimitación geográfica del estudio se muestra en Ilustración 25, que ilustra también el CAPEX acumulado y el OPEX relativo a la red acumulado para el servicio básico (límite de descarga mensual 10 GB), tras el periodo de estudio de 10 años. En el estudio del cual la imagen es resultado, no se considera ningún tipo de compartición de infraestructuras. A continuación se ilustra de manera más detallada esta información.

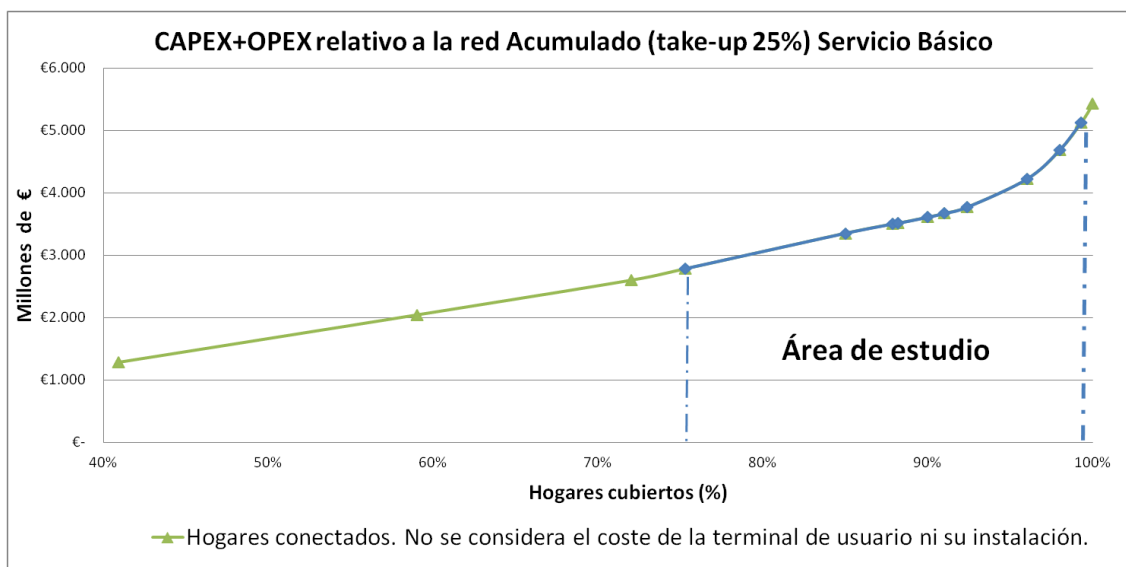


Ilustración 25: Delimitación geográfica del estudio

En la Ilustración 26 se muestran el CAPEX y el CAPEX+OPEX acumulado para los dos escenarios de red considerados. Debido al enfoque geométrico del modelo, el coste del despliegue varía en función del *take-up*. A consecuencia de un aumento en el número de usuarios, es necesario incrementar el dimensionamiento de la red troncal y la red de transporte para satisfacer la demanda con los términos de calidad del servicio especificados. Sin embargo, el coste de la red mantiene estable para valores inferiores o iguales al 25% del *take-up*, esto representa la inversión mínima requerida para suministrar el servicio.

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

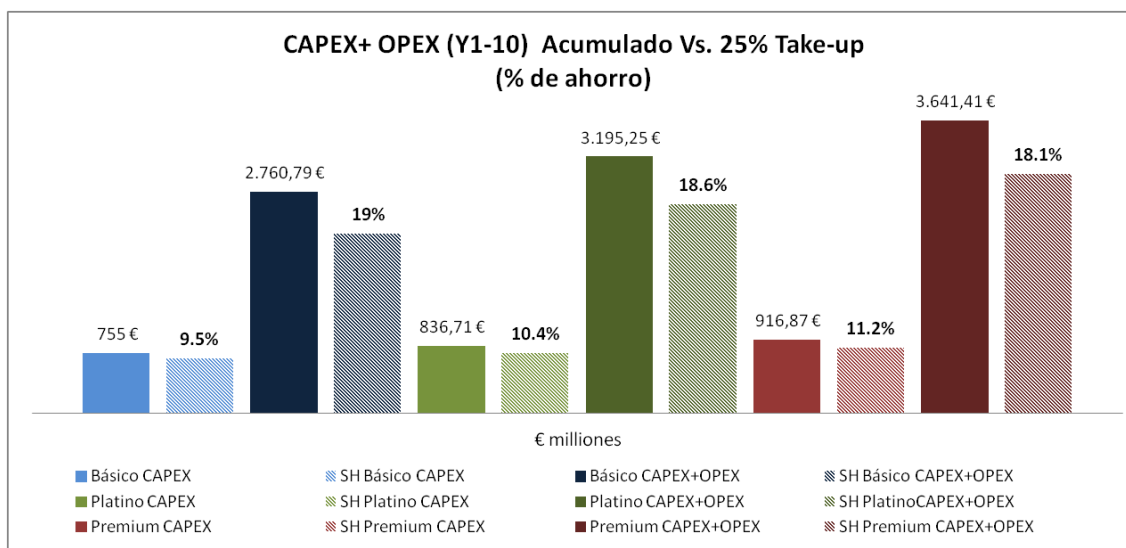


Ilustración 26: CAPEX y CAPEX+OPEX acumulado en los dos escenarios de red

El CAPEX total varía entre € 755 y € 916,87 millones para los servicios Básico y Premium respectivamente. El CAPEX medio por hogar conectado, incluyendo el coste del terminal de usuario (TE), en el área evaluada es de € 860, € 954 y € 1.045, para los tres servicios evaluados, en el escenario sin compartición y de € 779, € 854 y € 928 en el escenario de compartición pasiva para el servicio Básico, Platino y Premium respectivamente. El ahorro de costes debido a la compartición de infraestructuras aumenta a medida que el límite de descarga mensual se incrementa. De esta manera, se produce un ahorro del 9,5% en el servicio básico, mientras que en el servicio Premium el ahorro asciende hasta el 11,2%. La suma de CAPEX y OPEX varía de €2.760 millones, en el servicio básico, a €3.641 millones para el servicio Premium. En contraste con el CAPEX, los ahorros respecto al importe total de CAPEX+OPEX siguen una tendencia ligeramente descendente del servicio básico al servicio Premium.

Es importante destacar que los costes reflejados son por red en el área estudiada, Lo anterior implica que si existen tres operadores interesados en cubrir el área estudiada, cada uno deberá invertir €3.000 millones para brindar el servicio básico en el escenario sin compartición y €2.500 en el escenario de compartición pasiva. De igual manera, la adopción total del servicio se repartiría entre los tres operadores. Sin embargo, es importante señalar que el impacto económico de las externalidades de red y la mejora en el servicio de LTE móvil (derivado de la cobertura nacional), al igual de la subvención cruzada entre zonas rentables y las menos, no se reflejan en el estudio.

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

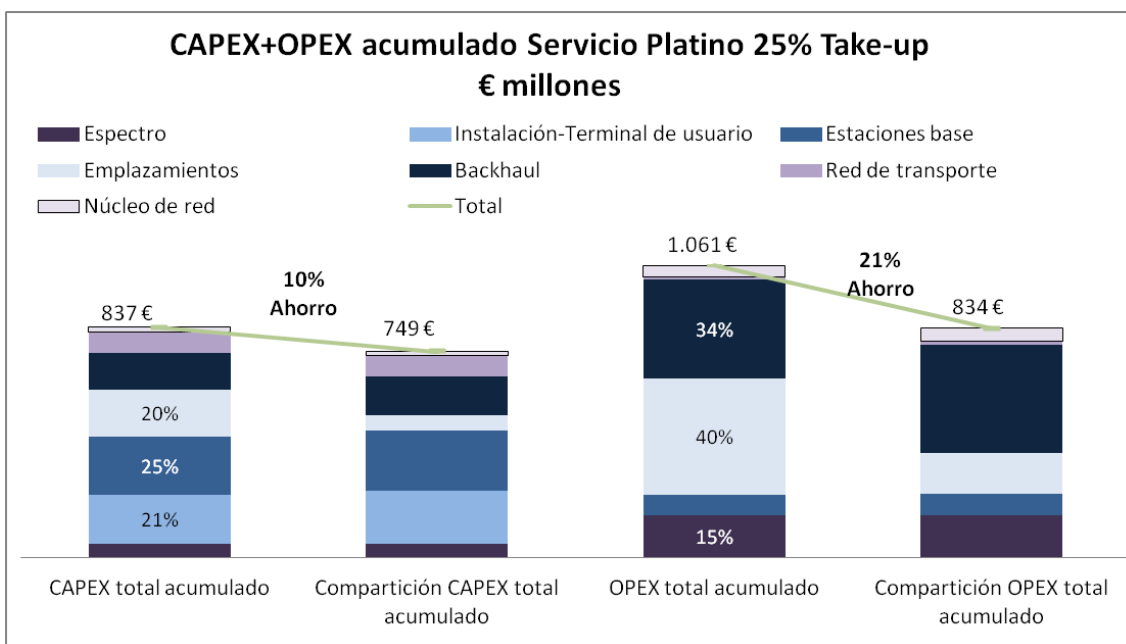
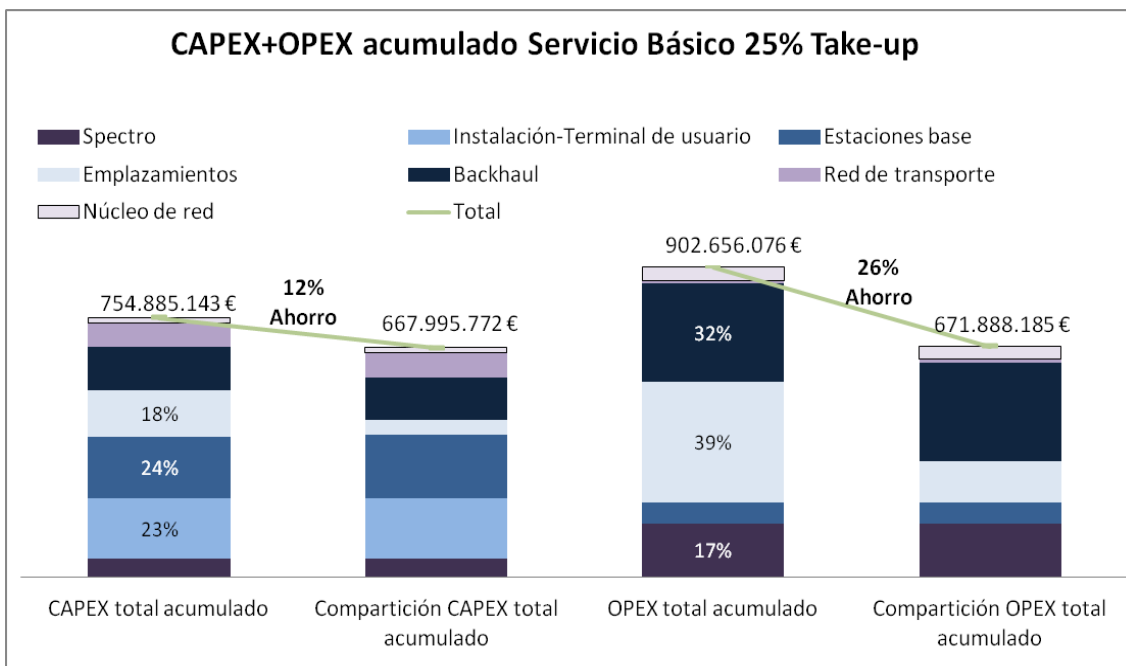


Ilustración 27: Comparativa de costes y ahorro en ambos escenarios de red. Servicios Platino y Básico

En la Ilustración 27 se observa claramente la procedencia del ahorro. En el escenario de compartición de infraestructuras hay una reducción significativa en el coste de capital de los emplazamientos. El ahorro es aún más notorio en los costes operativos, al compartirse el coste del alquiler entre los tres operadores sujetos a la provisión de banda ancha de 30 Mbps al 90% de los municipios de menos de 5000 habitantes. Los costes de capital del servicio Básico más representativos se ilustran en la imagen. Estos son: Estaciones base 24% (27% en el escenario de compartición), terminal de usuario e instalación del mismo 23% (26% en el escenario de compartición) y emplazamientos 18% (únicamente 7% en el escenario de compartición). Por otro lado, los mayores costes operativos se componen por el coste de alquiler del emplazamiento 39% (17% en el escenario de compartición) y los costes de *backhaul* (líneas

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

alquiladas, alquiler de torres, etc.) 32% del total (43% en el escenario de compartición). Los costes asociados al espectro, tales como las tasas anuales, juegan también un papel importante en los costes operativos: 17% del total (33% en el escenario de compartición). En general, hay una reducción del coste operativo acumulado total del 12% respecto al escenario sin compartición y de un 26% de los costes operativos relativos a la red.

Los costes de capital y operativos del servicio Platino también muestran la misma tendencia respecto a los ahorros derivados de la compartición. Se observa el aumento de los costes de las estaciones base y de emplazamientos como es esperado en este caso, al reducirse el tamaño de las células. Es importante destacar que el *backhaul* aumenta significativamente con el incremento de tráfico. En el servicio Premium, no ilustrado en la imagen, se incrementa aún más el peso del *backhaul*.

A pesar de que la inversión requerida para el despliegue es acorde con las inversiones anuales de los operadores (ver sección 2.3.1), dicha inversión está directamente relacionada a la posibilidad de la recuperación de la misma. El *take-up* y, por supuesto, la adopción del servicio en el área estudiada juegan un papel fundamental en la viabilidad del despliegue. En las zonas rurales el *take-up* es una preocupación de los operadores, debido a los diversos factores, sociales, económicos y educativos a los que la población en dichas zonas se enfrenta (ver sección 2.3.2), constituyen barreras de entrada a la adopción.

La Ilustración 28 muestra el ARPU requerido en el escenario sin compartición, mientras que en la Ilustración 29 se ilustra el escenario de compartición pasiva. Dichos datos se obtienen, conforme a los parámetros mostrados en la sección 3.6.2, igualando el valor presente neto a cero al final del periodo de estudio. Lo anterior, implica que tan sólo se recupera la inversión al final del periodo de estudio. El *take-up* se encuentra en el eje de las abscisas, mientras que el ARPU mensual por cliente se sitúa en el eje de las ordenadas⁷. Es preciso señalar que los costes del terminal de usuario así como los de su instalación se han incluido en el cálculo del ARPU. En el caso de que el usuario no contrastase un terminal con antena externa y, por ejemplo, decidiese conectarse mediante un módem USB (USB *dongle*), se daría una reducción en el ARPU. Sin embargo, la calidad de la señal recibida disminuiría, así como la velocidad de descarga de datos y, por lo tanto, no cumpliría con las especificaciones de QoS exigidas en este estudio.

El escenario de compartición, representa unos ahorros en el ARPU del 40% (servicio Básico) al 37% (servicio Premium) en los tres productos analizados. Si consideramos un *take-up* de red del 25%, es decir 877.483 hogares conectados en el área estudiada, el ARPU requerido para asegurar la viabilidad del despliegue deberá ser mayor a €69,9 (o €66,50 sin TE) en el escenario sin compartición, mientras que en el escenario con compartición se situaría arriba de €41,13 (o €38,15 sin TE).

⁷ Los valores aquí reflejados son exclusivos para el área estudiada, no reflejan ningún tipo de subvención cruzada ni oferta de otros productos y servicios en la misma red.

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

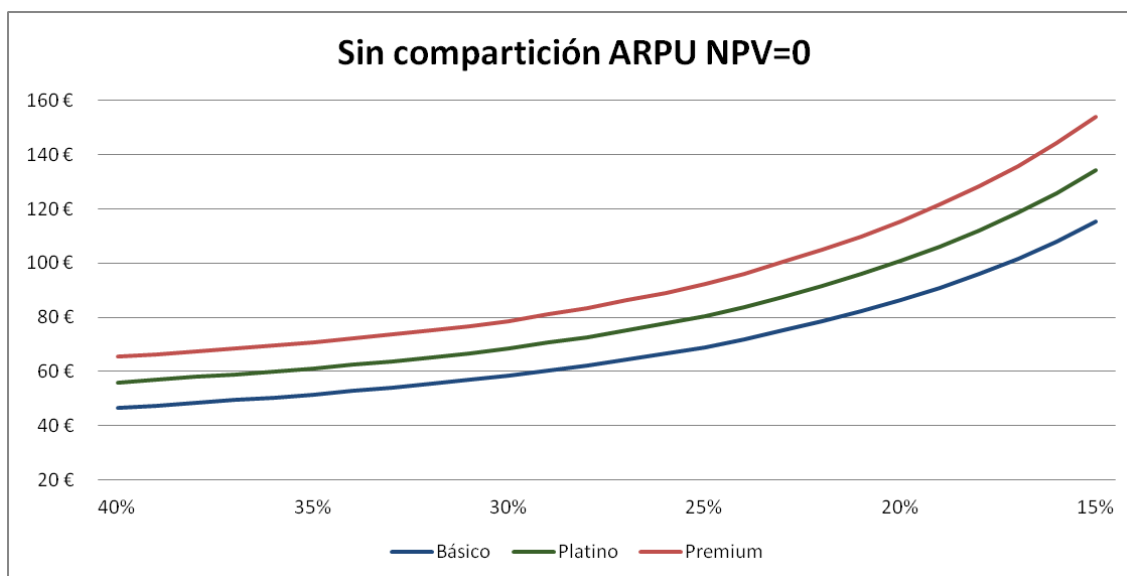


Ilustración 28: ARPU requerido en el escenario sin compartición.

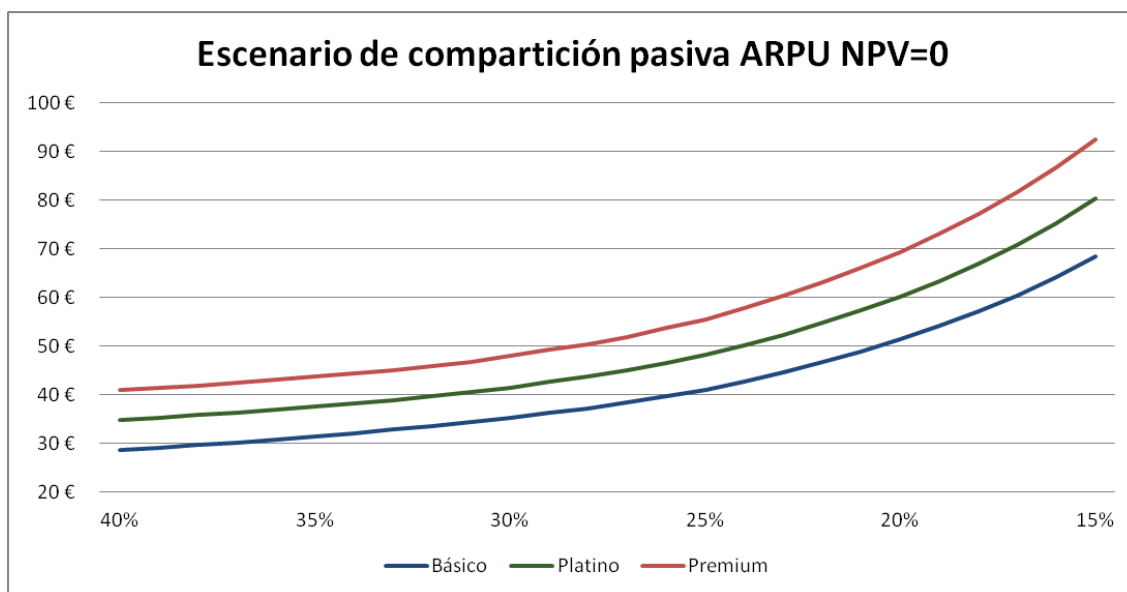


Ilustración 29: ARPU requerido en el escenario de compartición pasiva

4.3.2 ARPU requerido en los tres escenarios de demanda

Para evaluar la viabilidad del despliegue en los municipios sujetos a estudio en esta sección, se compara el ARPU necesario para asegurar el retorno de la inversión al final del periodo de estudio (NPV=0) con los escenarios expuestos en la sección 2.3.2.

El escenario de demanda baja (LD en la imagen) representa una adopción al servicio propuesto⁸ del 12% al 36% de los hogares principales de la zona. Por otro lado, el escenario de demanda media (MD) representa un *take-up* de entre el 15% y el 42% de los hogares principales, mientras que el escenario de demanda alta (HD) implicaría un *take-up* entre el 16% y el 44% de los mismos.

En todos los casos el *take-up* es menor al 45% y únicamente se considera la posibilidad de proveer servicio de banda ancha fija conforme a las características de QoS especificadas por la Agenda Digital para la provisión de 30 Mbps. Los resultados económicos del estudio, supone los costes en los que incurre cualquier operador sujeto a la obligación de cobertura por red desplegada. De esta manera, en el caso de existir tres redes, la adopción se dividiría entre las mismas. Ciertamente, el mismo despliegue se podrá utilizar para proveer BA móvil y otros servicios. Sin embargo, dado que el objetivo de este análisis es el estudio de la viabilidad de LTE como solución de BA fija de 30 Mbps en el 90% de los municipios de menos de 5000 habitantes, se centra únicamente en cumplir dicho compromiso, considerando un límite de descarga mensual de 10 GB.

La Ilustración 30 muestra que el ARPU mínimo se estabiliza al final del periodo de estudio entre €69,64 y €62 en el escenario sin compartición y entre €30,80 y €27 en el escenario de compartición pasiva de infraestructuras. Las cifras anteriores incluyen el coste del terminal de usuario, así como su instalación. Conforme a lo expuesto en la sección 2.3.2, la población del área estudiada es altamente sensible al precio de los servicios de telecomunicaciones. Es, por tanto, preciso comparar el coste de los mismos con otros productos y servicios de banda ancha, que aunque no cuenten con la misma calidad del servicio ni especificaciones, dada la sensibilidad de la población, entran en competencia directa con los aquí estudiados.

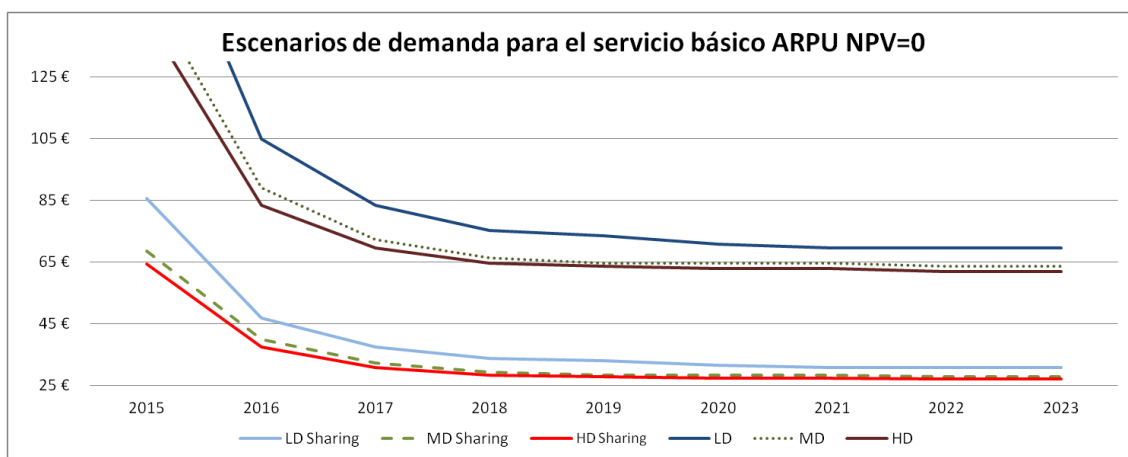


Ilustración 30: ARPU requerido para proveer el servicio básico en los 3 escenarios de demanda.

⁸ En este caso, adopción al servicio propuesto hace referencia al *take-up*

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

Par mayor claridad en la comparativa con otros productos de banda ancha, se elaboró una tabla resumen (Tabla 22) en la cual se muestra, en forma descendente, el ARPU requerido para cada uno de los tres escenarios de demanda, en los dos escenarios de red considerados. Salvo en el caso del Servicio Universal, cuyo límite es de 5 GB, los productos considerados tienen en común la capacidad de descarga mensual de al menos 10 GB. Sin embargo, es preciso mencionar que no todos los productos están disponibles en el área, ni son capaces de proveer banda ancha de 30 Mbps (p. ej. El servicio universal y HSPA+). Los precios de los servicios de banda ancha fueron obtenidos de las páginas web de los operadores en marzo de 2014.

El primer producto a comparar es el Servicio Universal de banda ancha, servicio provisto por Telefónica a un precio regulado de €24,08, con una cuota de alta de 46,10€. El precio del terminal de usuario no está incluido en dicho precio, puesto que al usuario se le provee de un modem router (sin antena externa) propiedad de Telefónica. No existe ningún escenario que pueda igualar el precio de este producto. Sin embargo, el ARPU del escenario de alta demanda en compartición pasiva (HD Sh) se acerca mucho, y dado que no se incluye el coste del terminal de usuario, ambos precios son casi comparables. Es por esta razón que se muestra en amarillo en la Tabla 22.

A continuación se comparan los escenarios de demanda con el precio medio en España de productos de banda ancha en el segmento de 12 a 30 Mbps. En un estudio reciente (Van Dijk Management Consultants, 2014), se señala que España se encuentra entre los países con precios más altos de banda ancha en la Unión Europea. En el segmento anteriormente mencionado, con un límite de descarga mensual de 10 GB (igual al reflejado en el presente estudio) los precios varían entre €38,73 y €56,33. Se observa que el precio medio es inferior a los escenarios de demanda sin compartición (LD, MD y HD). Por otro lado, en el escenario de red de compartición pasiva (LD Sh, MD Sh, y HD Sh) el precio es menor que el límite inferior de la media, incluso en el escenario de baja demanda.

VDSL es la única tecnología de banda ancha fija capaz de proveer más de 30 Mbps que podría competir en precio con la banda fija provista con LTE, en los municipios más poblados de la zona estudiada (ver sección 4.2.3). El precio promedio del servicio es de €54,45 (banda ancha y línea fija) siendo Telefónica el único operador capaz de proveer dicho servicio en todo el territorio nacional. Si se excluye el coste de la línea fija, la cuota mensual del servicio de banda ancha es de €42,23. La Ilustración 30, al igual que la Tabla 22, muestran claramente que la banda ancha fija provista con LTE únicamente puede igualar los precios anteriormente mencionados en el escenario de compartición pasiva. El escenario sin compartición tampoco puede igualar los precios de las soluciones de banda ancha a través de HSPA+ con un límite de descarga mensual de 10 GB ofrecidos en las ciudades más pobladas de España, como Madrid y Barcelona. Los precios de este servicio oscilan entre €40, provisto por Telefónica, y €35, provisto por Yoigo. No obstante, en el escenario de compartición pasiva el ARPU varía entre 27€ y 30,80€, y por lo tanto, el servicio de banda ancha fija por medio de LTE, se encuentra en capacidad de competir en precios en ambas plataformas: VDSL y HSPA+.

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

	ARPU mensual	Servicio Universal	Precio medio 12-30 Mbps	VDSL*	HSPA+*			
LD	69,64							
MD	63,67							
HD	61,97							
LD Sh	30,80							
MD Sh	27,77					€38,73 y €56,33	42,23	€35-€40
HD Sh	26,96					€24,08 + €46,10 alta		

*No disponible en la mayoría del área estudiada

Tabla 22: Tabla resumen comparativa de precios de servicios de banda ancha

A pesar de que el escenario de compartición pasiva parece la solución para competir en costes de manera eficiente, tanto en los precios de su segmento como en las plataformas VDSL y HSPA+, deberán tenerse en cuenta algunas consideraciones. En primer lugar, que dadas las características socioeconómicas de la población de las zonas rurales de España, parece poco realista tener más de dos redes con *take-up* cercanos al 45%, puesto que esto implicaría una adopción del servicio del 90%. Si se observan los valores de penetración de la banda ancha para los geotipos entre Suburban1 y Rural 4 de la Tabla 19, los cuales son exactamente los municipios del presente análisis, se observan valores que oscilan entre el 75% y el 20%. Dicha tasa de adopción incluye a todos los servicios de banda ancha, entre los que se incluye el Servicio Universal. Por desgracia, no se disponen datos de la adopción de banda ancha específicas del Servicio Universal en el área estudiada. Sin embargo, dado su precio regulado y disponibilidad nacional, parece lógico pensar que la mayoría de la tasa de adopción de banda ancha se refiere a dicho servicio. Lo anterior, para afirmar que, salvo que las políticas de estímulo de la demanda surtan un efecto muy positivo, lo más probable es que nos encontremos con tasas de adopción, para el servicio de 30 Mbps por medio de LTE, totales cercanas al escenario de demanda alta, la cual se tendrá que dividir entre el número de redes desplegadas.

Por otro lado, a pesar de parecer improbable que es servicio de banda ancha de 30 Mbps por medio de LTE consiga tasas de penetración altas, también se habría de considerar que la posibilidad de proveer otros servicios no considerados en el análisis (servicios de banda ancha con diferente límite de descarga mensual, tv, móvil, servicios empaquetados) a través de la misma red, implicaría un aumento en el *take-up*. En los últimos tiempos, las ofertas de servicios empaquetados de banda ancha se han vuelto muy comunes en España y han resultado políticas de estímulo de demanda efectivas. Si tal fuese el caso, la tasa de adopción del servicio se podría incrementar. No obstante, parece improbable que dicha tasa de adopción aumentase a niveles que permitan el despliegue eficiente en costes de tres redes, aún en el escenario de compartición pasiva, con capacidad de competir con los precios actuales de las plataformas VDSL y HSPA+ reflejados en la Tabla 22.

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

De lo anterior mencionado, se podría concluir que la compartición de redes pasiva, no es suficiente para asegurar la viabilidad de tres despliegues de red LTE con capacidad de proveer banda ancha de 30 Mbps, en el área estudiada. Por otro lado, una disminución en el número de redes desplegadas, podría permitir la provisión del servicio a precios muy similares a los actualmente ofrecidos por las plataformas VDSL y HSPA+. Asimismo, la existencia de una única red, al concentrarse la adopción, permitiría brindar el servicio de banda ancha fija de 30 Mbps a precios cercanos al estipulado para el Servicio Universal. Finalmente, es preciso mencionar que la existencia de un menor número de redes no implicaría necesariamente un problema de competencia, ya que se podrían establecer obligaciones regulatorias o acuerdos comerciales de compartición del servicio entre operadores, tal como se hacen para servicios 3G, 4G.

4.4 Análisis de sensibilidad

Conforme a lo expuesto en la sección 3.5, las variables de entrada del modelo Rocket fueron sujetas a un análisis de sensibilidad a través del *software Crystal Ball™*. A fin de determinar el impacto de éstas en los resultados del presente estudio, se sometieron a varias simulaciones de 1000 iteraciones con una variación del +-10%, en distribución gausiana. A continuación se muestran 2 imágenes directas del reporte de sensibilidad elaborado por Crystal Ball™.

Para el estudio se seleccionó el servicio básico (10 GB de límite de descarga mensual) con una *take-up* del 25%, y un ARPU de 70€, en el escenario de red sin compartición, para las características geográficas y demográficas de la sección 4.3. Mediante el estudio de este caso, el análisis de sensibilidad es válido para ambos estudios: los correspondientes a la sección 4.3 y la sección 4.2. El ARPU necesario es de 66 €, para que el Valor actual neto sea cero (NPV=0) al final de los 10 años del periodo de estudio; pero se aumentó ligeramente (5%) a fin de evitar que produjesen errores de celdas durante la simulación derivados de valores negativos. A continuación se presentan los valores sobre NPV e IRR. Es muy evidente que el ARPU seleccionado para el presente estudio es muy superior al precio de otros productos de banda ancha que, dada las características socio demográficas anteriormente señaladas, se encuentran en competencia directa con el servicio aquí propuesto (ver sección 4.3.2 y Tabla 22). Para reducir el ARPU requerido, es fundamental alcanzar valores superiores de *take-up*, y reducir en los costes de mayor impacto resultantes de este análisis.

La viabilidad del despliegue, con los parámetros de ARPU y *take-up* anteriormente descritos, es igual a la probabilidad de tener valores de NPV mayores a cero. Lo anterior se cumple para el 53,41% de los casos, con lo cual se determina que es un proyecto viable. Al ser un despliegue en zona “blanca”, no hay grandes exigencias de viabilidad.

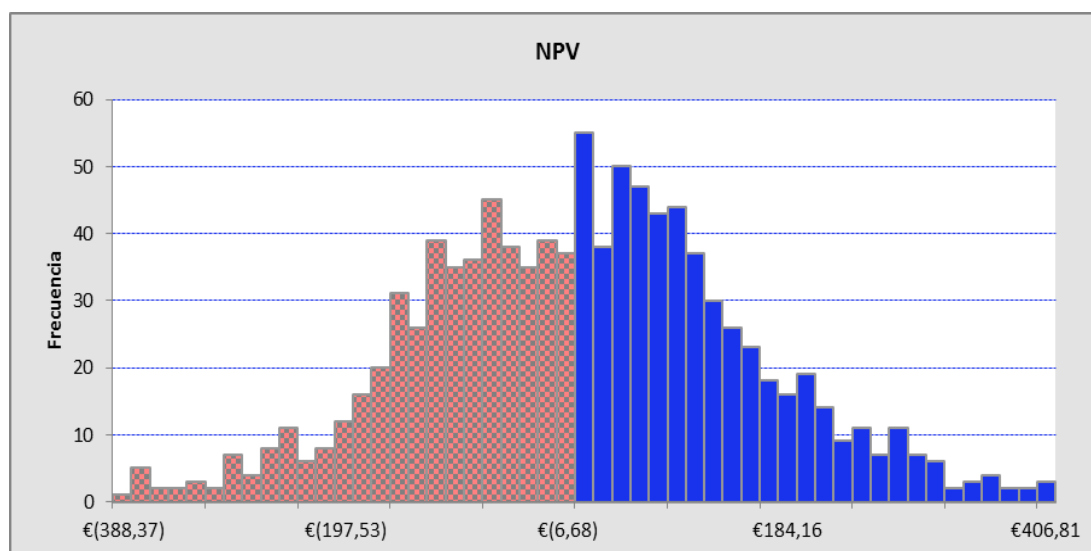


Ilustración 31: Pronóstico sobre el valor actual neto

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

Asimismo, la tasa de retorno interna (IRR), por definición, debe ser mayor al coste de oportunidad a fin de que la inversión resulte atractiva. En este caso, el despliegue no responde a un coste de oportunidad menor, ya que se realiza por una obligación regulatoria. De igual manera, es preciso mencionar los valores entre los cuales éste oscila para después exponer los factores de mayor impacto sobre el indicador. Cuando el valor actual neto es igual a cero, con un ARPU de 66€, la tasa de retorno interna es ligeramente menor al uno por ciento (NVP=0, IRR=0,85%). Para este análisis el ARPU se fija en 70€, y el valor medio para el IRR se sitúa en 7,6%. Además, hay un 75% de posibilidades de obtener una tasa interna de retorno positiva y un 26% de posibilidades de obtener un IRR mayor al coste asociado a la financiación (WACC), que es del 13%.

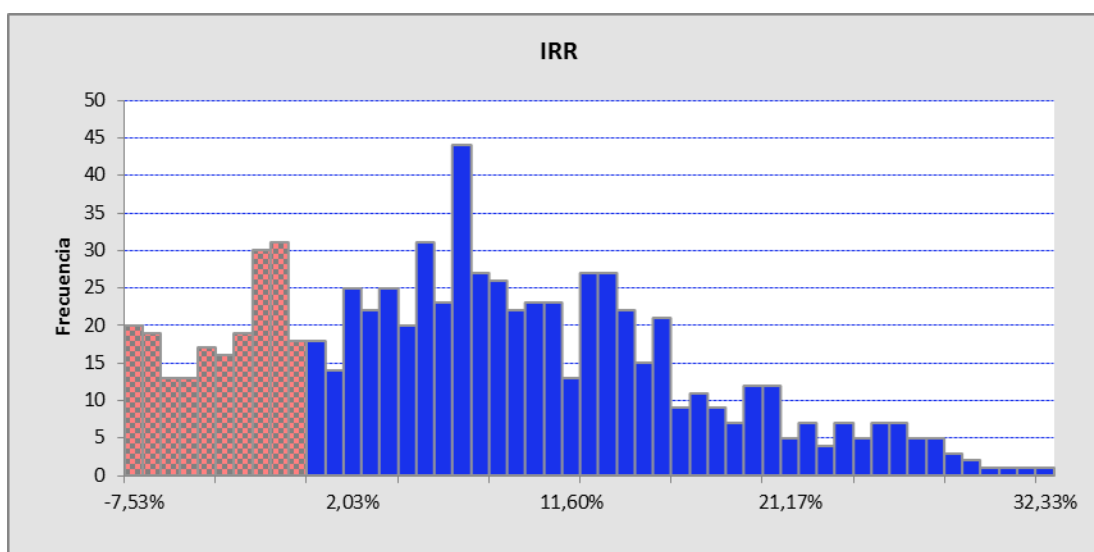


Ilustración 32: Pronóstico sobre la tasa de retorno interna

Los resultados del análisis de sensibilidad sobre los dos índices financieros anteriormente descritos, NVP e IRR, se encuentran ilustrados en la Ilustración 33 y la Ilustración 34 respectivamente. Para mayor claridad, se han elaborado dos tablas resumen que ilustran las variables que, en mayor o menor grado, impactan en el estudio (Tabla 23) y las que no tienen impacto alguno (Tabla 24) en los resultados del estudio. En la primera columna de la izquierda de ambas tablas, se describe el tipo de variable según la clasificación expuesta en la Tabla 18: “D” indica que la variable a la que se hace referencia es de demanda, “E” indica las variables económicas y finalmente, “T” señala a las variables técnicas.

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

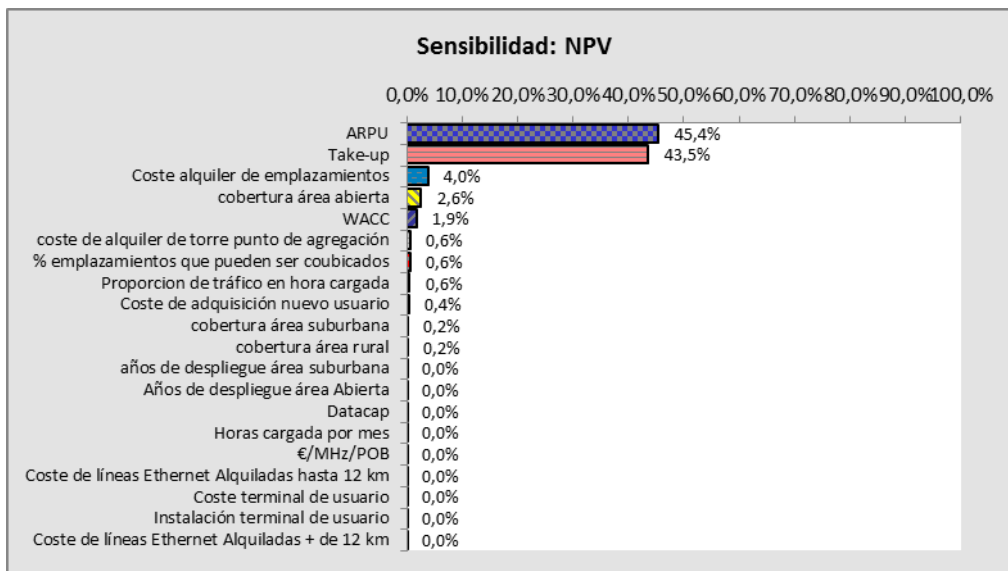


Ilustración 33: Análisis de sensibilidad sobre el valor actual neto

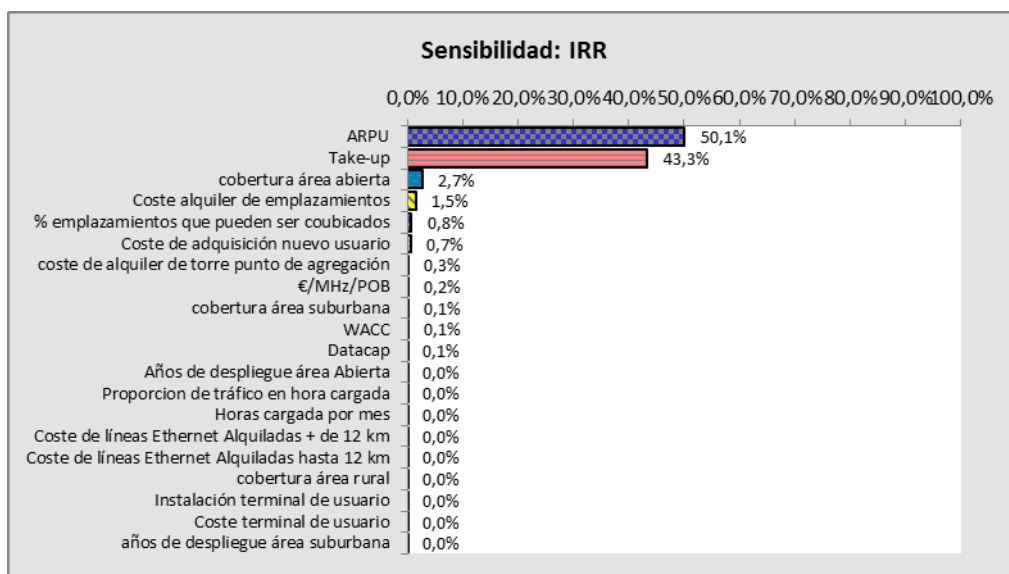


Ilustración 34: Análisis de sensibilidad sobre la tasa de retorno interna.

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

Tipo	Variable	Valor inicial	IRR	NPV
D	ARPU	€70	50,2%	45,4%
D	Take-up	25%	43,3%	43,5%
E	Alquiler de emplazamientos	€13.762	1,5%	3%
T	Cobertura en área abierta	75%	2,7%	2,6%
T	Estaciones base que se pueden coubicar	80%	0,8%	0,6%
E	Coste de adquisición de nuevo cliente	5€	0,7%	0,4%
E	Alquiler de torres (<i>backhaul</i>)	€28.639	0,3%	0,6%
E	Adquisición de la licencia 800 €/MHz/POB	€0,46	0,2%	0%
T	Cobertura en área rural	95%	0%	0,2%
D	Tráfico diario en hora cargada	20%	0%	0,6%
T	Cobertura en área suburbana	100%	0,1%	0,2%
E	WACC	13%	0,1%	1,9%
D	Datacap (límite de descarga mensual)	10 GB	0,1%	0%
E	Años para completar el despliegue en área suburbana	4	0%	0,2%
D	Horas cargada por mes	60	0,0%	0,6%
E	Instalación terminal de usuario	134€	0,0%	0,2%

Tabla 23: Variables que impactan en el resultado

Tipo	Variables	Valor inicial	IRR	NPV
D	Crecimiento anual del límite de descarga mensual	1%	0%	0%
E	Años para completar el despliegue en área rural	6	0%	0%
E	Coste de Líneas alquiladas (<i>backhaul</i>)	€4,347.07	0,0%	0,0%
E	Coste terminal de usuario	131€	0,0%	0,0%

Tabla 24: Variables que no tienen impacto en el resultado. Tipo de Variable D: demanda, E: Económica y T: técnica

4.4.1 Resultados del análisis de sensibilidad

En general se puede observar una correlación en los resultados de las variables que impactan a ambos índices. Las dos variables que impactan más y con diferencia respecto al resto, son el ARPU y el *take-up*, en primer y segundo lugar respectivamente, sobre los dos índices. Ambas variables, al ser un modelo de flujo de caja descontado, son al mismo tiempo de entrada y salida, por tanto es lógico que ejerzan el mayor impacto sobre ambos índices.

A continuación, se sitúan el coste de alquiler de emplazamientos y el porcentaje de cobertura en área abierta, respecto al valor actual neto. Sin embargo, el orden de las mismas variables se invierte, muy ligeramente, respecto a la tasa interna de retorno. El resto de las variables tienen un impacto menor al uno por ciento en los índices, lo cual no implica que su impacto no sea significativo, sino que en proporción con el impacto que ejercen el ARPU, *take-up*, coste de alquiler de emplazamientos y cobertura en área abierta, juegan un papel mucho menor en la viabilidad del proyecto.

Siguiendo la clasificación propuesta en la Tabla 18, se observa, la gran predominancia de las variables de demanda sobre los índices estudiados, que ejercen un impacto del 93,6% sobre el IRR y 90,1% sobre el NPV. En este grupo se incluyen el *take-up* y el ARPU,

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

anteriormente mencionados, y se añaden el límite de descarga mensual (Datacap), número de horas cargadas por mes, y la proporción de tráfico en hora cargada.

Las variables económicas impactan, a su vez, 2,8% sobre el IRR y 6,3% sobre el NPV. Dentro de este grupo se encuentran, a parte del anteriormente mencionado coste de alquiler de emplazamientos, el coste del alquiler de torres para el *backhaul*, el coste de adquisición de nuevos clientes, el coste de adquisición de la licencia de espectro, el WACC, el coste de instalación del terminal de usuario y los tiempos (expresados en años) en completar la cobertura en zona abierta y rural. Por otro lado, las variables técnicas tan sólo impactan el 3,6% en ambos índices. Se engloban aquí el porcentaje de emplazamientos que pueden ser cubricados y el porcentaje de cobertura tanto en área abierta y suburbana. Respecto a éste último, únicamente mencionar que impacta de manera muy incipiente y únicamente sobre el NVP.

Por otro lado, es preciso mencionar las variables económicas que inicialmente parecería que juegan un papel muy relevante en la viabilidad del proyecto y cuyo impacto ha resultado insignificante son el tiempo (expresado en años) en completar el despliegue en zona rural, el coste de las líneas alquiladas y el coste del terminal de usuario. Con éste último resultado, se indica claramente que la política de subvención de terminales, no tiene mayor relevancia en la viabilidad del proyecto. Sin embargo, el enfoque del estudio no permite el análisis del efecto de dicha política como medida de estímulo de la demanda, que al impactar en el *take-up*, podría originar un resultado diferente. El crecimiento anual del límite de descarga mensual tampoco representa ningún impacto sobre los índices del proyecto, tal vez debido a que el valor fijado es muy pequeño.

4.4.2 Discusión y conclusiones del análisis de sensibilidad

En la Tabla 18 de la sección 3.5, se propusieron preguntas concretas a las que se les daría respuesta mediante el análisis de sensibilidad. A continuación se brinda una respuesta concreta a cada una de ellas, así como, una conclusión general.

Respecto a las variables de demanda, las preguntas hacen referencia al impacto que ejercen el ARPU y el *take-up* en la viabilidad del proyecto. En este sentido, la primera gran conclusión del análisis de sensibilidad es el hecho de la altísima dependencia de ambas variables en la viabilidad del proyecto. Lo anterior, indica que las políticas públicas deben enfocarse a incentivar la adopción del servicio entre los usuarios de zonas rurales. Por otro lado, la variación en el límite de descarga mensual ejerce apenas un incipiente impacto sobre el IRR, mientras otras variables de demanda no tienen impacto alguno.

Las denominadas variables económicas son sujetas a estudio a fin de conocer el impacto de variables financieras, como el coste de capital, así como, otros costes muy comúnmente señalados cruciales en la viabilidad de despliegues de redes móviles (p. ej. alquiler de emplazamientos, o el coste de la licencia). El resultado es claro, el impacto de todas estas variables, es mínimo en proporción con el ejercido por las variables de demanda, especialmente el ARPU y el *take-up*. Por otro lado, es preciso señalar que de todas las variables anteriormente señaladas, la más importante es el coste del alquiler de emplazamientos. De esta manera, queda de manifiesto la necesidad de reducir los costes de este apartado. La compartición de infraestructuras, en cualquier grado, contribuiría directamente a este objetivo.

En esta categoría de variables se incluye el coste del terminal de usuario, que llama la atención el ver reflejado que no ejerce ningún impacto en la viabilidad del proyecto, mientras que el coste de instalación juega un papel incipiente sobre el NPV. Lo anteriormente citado se debe a que los costes de instalación son parte de los costes operativos y, por las características de diseño del modelo Rocket, los costes operativos totales se escalan en función del OPEX relativo a la red. Por lo tanto, el impacto relativo a la terminal de usuario es prácticamente insignificante.

Respecto a las variables técnicas, el análisis de sensibilidad ha dejado de manifiesto su bajo impacto sobre la viabilidad del proyecto. Las variaciones en el radio de cobertura de la célula, los cambios en el tráfico dentro de la misma, variaciones en los parámetros de calidad de servicio, así como el factor de reducción utilizado para el análisis de la sección 4.3, no tienen ningún impacto en la viabilidad. Esta era una de las principales preocupaciones del estudio, y el análisis de sensibilidad demuestra que variaciones de 10% en cada una de las variables anteriormente descritas no generan impactos económicos significativos en los índices considerados. Por otro lado, el porcentaje de emplazamientos que pueden ser cubiertos, el porcentaje de área abierta cubierta y, en menor medida el porcentaje de área rural cubierta, sí generan variaciones considerables sobre los índices financieros estudiados. De esta manera, si, por ejemplo, se reduce el número de emplazamientos en zona abierta, habría un ahorro en el coste de despliegue. Nuevamente, se vuelve a constatar que la compartición o cubrición de emplazamientos juega un papel importante en la viabilidad.

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

También en la Tabla 18, se cuestiona el impacto económico de disponer un mayor ancho de banda en la banda de frecuencias de 800 MHz. Es preciso resaltar que el análisis de sensibilidad no se ha podido aplicar a esta variable por diversos motivos. El primero de ellos y más importante, es que las variaciones a las que se someten todas las variables es del 10%, lo cual es incompatible con las características técnicas de LTE, cuyas portadoras son de 2,5, 5, 10, 15 y 20 MHz. Lo más cercano a dichos valores debiera ser una portadora de 10 MHz y otra de 2,5 MHz, por lo tanto superior a los valores considerados en el estudio. El modelo técnico por otro lado, sí brinda resultados técnicos de portadoras de 10, 15 y 20 MHz, como se refleja en el estudio desarrollado en la sección 4.2.

Sin embargo, el análisis de sensibilidad deja claro que las variaciones técnicas ejercen un impacto en la viabilidad económica casi insignificante comparado con las variables de demanda. Desde el punto de vista de la eficiencia técnica, el resultado sería, probablemente, diferente al anteriormente descrito, pero en congruencia con la metodología del estudio cabe resaltar que su impacto económico parece irrelevante.

Finalmente, la conclusión general del estudio de sensibilidad es el hecho de que la viabilidad del despliegue es altamente dependiente del *take-up* y del ARPU. Dado que el ARPU considerado para este análisis es muy superior al precio actual de otros productos de banda ancha, es necesario enfocar todos los esfuerzos en incentivar la adopción al servicio. Por tanto, es fundamental, que operadores y gobierno unan sus fuerzas para crear y promover medidas de estímulo de la demanda. Por otro lado, los ahorros procedentes de la compartición de infraestructuras sí contribuyen, aunque en menor medida, a la viabilidad del despliegue. Sin embargo, la compartición de infraestructuras no constituye en sí misma la solución para brindar la viabilidad del despliegue.

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

Capítulo 4. Principales resultados del modelo tecno-económico: provisión de banda ancha móvil en las zonas rurales de España

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1 Principales conclusiones

La incorporación de los objetivos de la Agenda Digital para Europa referente a las redes rápidas y ultrarrápidas han sido motivo de análisis y debate a fin de encontrar la mejor estrategia para alcanzarlos. Respecto al objetivo que el 50% o más de los hogares europeos estén abonados a conexiones de internet por encima de los 100 Mbps es un hecho que dicho objetivo recaerá sobre las NGA fijas. Sin embargo, respecto al objetivo de brindar banda ancha de 30 Mbps al 100% de la población, no hay un consenso general sobre la mejor tecnología para proveerla, especialmente en las zonas rurales.

La dificultad en las zonas rurales radica en las características socio demográfica de su población: escasa densidad de población, ingresos medio bajos, edad avanzada de los habitantes y escasa alfabetización digital. Las características geográficas, tales como la accidentalidad orográfica del territorio, son también inconvenientes técnicos con grandes consecuencias económicas. Ante dichas dificultades existen 2 estrategias: apostar en su gran mayoría por el desarrollo de redes fijas o utilizar redes móviles. La primera estrategia es la que países como Reino Unido han seguido, haciendo del despliegue de fibra iniciativa insignia, conlleva el gran inconveniente de costes muy superiores a los requeridos para despliegues de redes móviles. Las denominadas zonas blancas aumentan considerablemente en los despliegues de fibra o HFC de forma que la ayuda pública, en cualquier grado, es imprescindible. Por otra parte, tiene la ventaja de brindar la robustez necesaria a las infraestructuras, a fin de prepararlas para las necesidades de tráfico a largo plazo.

La segunda estrategia, por la que han optado países como Alemania, tiene la gran ventaja que el despliegue, en su mayoría podría desarrollarse en términos de mercado, ya que el coste es menor y gran parte de la infraestructura está desplegada (emplazamientos y red troncal). Sin embargo, las velocidades de descarga son menores y, a largo plazo, la red podría saturarse por capacidad. Ambos enfoques cuentan con numerosos seguidores y detractores del ámbito académico e industrial.

España ha escogido la segunda estrategia, mediante la vinculación de obligaciones de cobertura a los operadores que resultaron licenciatarios de 2 bloques de 2x5 MHz FDD en la banda de 800MHz. Esta obligación recayó en Telefónica, Vodafone y Orange, quienes están obligados a proveer, de manera conjunta, banda ancha de 30 Mbps al 90% de municipios de menos de 5.000 habitantes. El gobierno pretende cumplir, de esta manera, el objetivo más conflictivo de la Europa 2020. Así, se ha corroborado tanto en la Agenda Digital Española y como en la Estrategia Nacional de redes ultrarrápidas.

En este marco, la pregunta principal que motiva el presente estudio es determinar si el despliegue de la tecnología LTE en la banda de 800 MHz es una solución eficiente en costes para proveer banda ancha de 30 Mbps a las zonas rurales de España. Al mismo tiempo, se han sometido a análisis las obligaciones de cobertura impuestas por el gobierno a los operadores, a fin de determinar si éstas conllevan inversiones superiores a las requeridas para un despliegue de mercado. De igual manera, se ha estudiado el caso específico de la compartición de

infraestructuras pasiva, propuesta del gobierno español, como solución para brindar viabilidad al despliegue en dichas zonas.

El enfoque escogido para el presente análisis es el análisis tecno-económico, ampliamente validado en el sector de las telecomunicaciones y, en muchos otros, para brindar una visión integrada a los múltiples factores que intervienen en los despliegues de infraestructuras. En concreto, se ha utilizado el modelo del proyecto europeo Rocket, adaptado para la tecnología LTE y las bandas de frecuencias armonizadas para ésta, en continuación con las líneas de investigación abiertas por el GTIC. Dicho modelo emplea la metodología de Flujo de Caja Descontado o DCF (Discounted Cash Flow), aplicada a un despliegue de 10 años de duración.

A diferencia de otros estudios donde los municipios se clasifican directamente por una variable, para el presente análisis se realizó una clasificación de conglomerados mediante el paquete estadístico SPSS. Debido a la diferencia en objetivos y enfoque del estudio, se optó por definir grupos diferentes a los planteados por Vergara, en función de tres variables comunes en toda la clasificación: Densidad de viviendas principales, porcentaje de cobertura de banda ancha de 1 Mbps (en 2011) y ratio de población diseminada. Cabe resaltar que, se hizo una primera distinción entre dos grandes grupos: los municipios que contaban con el 100% de cobertura de banda ancha de 1 Mbps antes de la entrada en vigor del SU de BA y los que aún no cumplían esta condición en 2011. Dicha clasificación se utilizó para los dos estudios aquí desarrollados.

El escenario LTE se dimensionó para proveer banda ancha fija de 30 Mbps (*best effort*) a los hogares españoles. El periodo de estudio fue de 10 años, iniciando en 2014, pero cumpliendo los objetivos de cobertura especificados en la Agenda Digital Europea y Española para el año 2020. En ambos estudios se consideraron especificaciones técnicas para asegurar la provisión de banda ancha de al menos 24 Mbps a los usuarios del borde. En grandes rasgos cabe destacar que las medidas más representativas fueron la reducción de área celular, perfiles de tráfico muy superiores a los usualmente utilizados en despliegues para servicio móvil y, en el caso del segundo estudio, la inclusión de una antena directiva externa en el terminal del usuario.

Finalmente, los resultados son sometidos a un análisis de sensibilidad con el fin de determinar las variables de mayor impacto económico en el estudio. Los resultados en conjunto permiten realizar un análisis prospectivo para evaluar y discutir las implicaciones regulatorias y los objetivos políticos establecidos a nivel de España y de Europa, del objetivo de la universalización de la banda ancha de 30 Mbps en zonas rurales.

A continuación se describen los resultados generales para los casos estudiados.

5.2 Provisionando 30 Mbps al tercio final de la población

En esta sección se estudió el coste de acceso de la provisión de banda ancha de 30 Mbps o más para los municipios en los cuales se ubica el tercio final de la población española. Para ello se consideraron las plataformas FTTH, HFC, VDSL y LTE. Los municipios se clasificaron en ocho distribuciones geográficas en función de las características geográficas y demográficas más representativas. Se comparó el coste dicha provisión mediante diferentes NGA fijas y móviles presentes en el mercado español, con el fin de determinar la tecnología más eficiente en costes en cada distribución geográfica. Así mismo, se determinaron los límites demográficos para de cada plataforma para un despliegue de mercado. El principal propósito del estudio es debatir los despliegues más eficientes en costes en cada distribución geográfica y la viabilidad del cumplimiento de los objetivos respecto al despliegue de redes rápidas y ultrarrápidas propuestos por la iniciativa Europa 2020.

Continuando con el estudio de la estructura competitiva de España respecto al despliegue de NGA fijas desarrollado por Vergara (2011), el estudio aquí desarrollado añade la plataforma móvil, considerando las previsiones de demanda del estudio original. El análisis se centra en los costes de la red de acceso y el *take-up* para la plataforma móvil fue del 25%, al igual que el estudio que le antecede. Respecto a la clasificación geográfica de los municipios Españoles en términos del estudio que le antecede, el análisis implicó equiparar los geotipos resultantes de la clasificación por conglomerados a sus equivalentes en la sección 5.3 Inversión requerida del estudio de Vergara. El primer paso que se desarrolló fue extraer de la zona C los municipios con población mayor a 5000 habitantes. El modelo Rocket se aplicó a los valores de zona A del estudio de Vergara. Posteriormente, se añadieron de forma incremental los valores de la zona B y de la zona C. A partir de este procedimiento se fueron añadiendo los geotipos obtenidos del análisis k medias.

La viabilidad del despliegue, en este estudio, se definió como la capacidad de recuperar la inversión al final del periodo de estudio. Dicha capacidad está altamente relacionada con el *take-up* y, por supuesto, con la adopción al servicio. El coste del despliegue de red en cada geotipo se comparó con el coste de despliegue en la distribución geográfica urbana y por las tasas de penetración de la banda ancha, también especificadas por Vergara.

5.2.1 El punto de partida despliegue NGA fijas en España

El último informe de la CNMC, publicado en el primer semestre de 2013, señala la cobertura de banda ancha de 30 Mbps hasta el 59% de la población. Dicho informe considera las plataformas VDSL, HFC y FTTH. Por otro lado, el mismo documento establece la disponibilidad para el 52% de la población de banda ancha de 100 Mbps, considerando únicamente las plataformas FTTH y HFC, con un 14% y un 47% de cobertura poblacional respectivamente. La diferencia entre los segmentos de banda ancha mayor a 30 Mbps y hasta 100 Mbps, es debida a la plataforma VDSL, que cuenta con una cobertura del 12% de la población.

A pesar de no estar considerada en ninguno de los segmentos de banda ancha anteriormente señalados, el reporte informa que la cobertura poblacional debido a la red HSDPA es del 99% de la población. De lo anterior y debido a la obligación regulatoria impuesta los tres operadores móviles de mayor peso significativo en el mercado español de cobertura

conjunta de banda ancha de 30 Mbps al 90% de los municipios de menos de 5000 habitantes, se considera como hipótesis de partida que las redes móviles de nueva generación jugarán un papel clave en la universalización de banda ancha de 30 Mbps en el tercio final de la población española.

Las contribuciones de Vergara y del recientemente publicado artículo de Feijóo y Gómez-Barroso (Feijóo & Gómez-Barroso, 2013) confirman lo anterior. Los autores anteriormente citados coinciden en la incertidumbre del despliegue de redes NGA fijas en el último tercio de la población. Además, contemplan despliegues de redes móviles como única solución para proveer cobertura de NGA al último cuarto de la población española.

Vergara, por su parte, destaca que la necesidad de alcanzar unas cuotas de mercado y niveles de *take-up* altos en la red de acceso es fundamental para el despliegue de NGA fijas. Es por esto que se prevé que se establezcan en España escenarios de inversión conjunta o de consolidación entre los agentes del sector. Además, afirma que, siguiendo un orden de despliegue descendente en función de la población de los municipios, se prevé competición entre plataformas NGA fijas entre el 13,5%, y el 50,2% de la población. A partir de este valor y hasta el 72% se considera que solamente existirá un sólo despliegue NGA, ya que el coste de la red de acceso en el mejor escenario (en el caso de un despliegue FTTH/GPON por parte del operador incumbente) sería 6.766 millones de euros. Finalmente, del 72,1% en adelante, no se prevé ningún despliegue NGA fijo. Vergara denomina zonas blancas a los municipios en donde habitan el 27,9% de la población española, en los cuales el despliegue de redes fijas de banda ancha de próxima generación quedará muy limitado, debido a las menores economías de alcance y a una mayor dispersión de usuarios. De esta manera, afirma que es conveniente buscar soluciones más viables con otros tipos de tecnología, como LTE.

Feijóo y Barroso afirman que se requerirán al menos €12,600 millones para cubrir el 100%. Además indican claramente que en zonas rurales el único despliegue viable es LTE. Así mismo, sitúa el límite de viabilidad de un despliegue comercial de la anteriormente mencionada tecnología en 100 habitantes por kilómetro cuadrado, ya que es a partir de esta densidad de población que los costes por usuario se disparan a más de 500€ por usuario. Lo anterior implicaría dejar sin cobertura NGA a aproximadamente el 20% de la población española. Por otra parte, se afirma que los objetivos de cobertura del Plan Avanza y de la Agenda Digital se ven muy difíciles de acometer. Finalmente, el estudio sugiere que la inversión pública no debe limitarse únicamente a la colaboración en el despliegue, sino que sugiere medidas regulatorias para la disminución del coste de la obra civil (especialmente en el caso de la fibra óptica implicarían de 60% a 80% de la inversión), coordinación entre las Administraciones Públicas, operadores y otras compañías de servicio; 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.

5.2.2 Principales resultados

Los resultados del análisis tecno-económico muestran que la inversión requerida, únicamente en la red de acceso, para cubrir con NGN fijas la primera mitad de la población española varía entre €2.700 millones con la plataforma más económica, VDSL, y €5.400 millones con HFC. Por otro lado se indica que, únicamente, se requerirían €3.000 millones para

cubrir los costes de acceso de la totalidad de la población española con la plataforma móvil LTE. Sin embargo, si se considera la capacidad de descarga que las redes fijas son capaces de ofrecer y el cumplimiento del objetivo del 50% de la población conectada a banda ancha de 100 Mbps propuesto por la Agenda Digital, se recomienda el despliegue de NGN fijas hasta el 90% de la población. Los despliegues de fibra óptica y HFC podrían cubrir hasta un máximo del 88% de la población española de manera eficiente en costes. No obstante, ya que se ha mencionado la fuerte dependencia de la viabilidad de los despliegues en la adopción al servicio, se recomienda que el último 25% de la población se cubra mediante tecnologías capaces de proveer banda ancha menor a 50 Mbps, esto es VDSL y LTE.

A pesar de ser LTE la plataforma que conlleva el coste de despliegue más económico de todos los estudiados, se considera que VDSL tiene la ventaja de proveer banda ancha a velocidades de descarga superiores cercanas a 50 Mbps. Por lo anterior, se sugiere VDSL para cubrir la franja donde se encuentra entre el 75% y el 90% de la población. Ya que en dicha franja, tanto VDSL como LTE pueden desplegarse de forma viable, se propone al regulador promover a los operadores la competencia entre ambas plataformas.

La franja de población que comprende entre el 90% y el 98% alberga la zona rural de la población española. Dicha franja cuenta con el agravante las características socio demográficas que no favorecen, al menos a la fecha del estudio, la contratación de productos de banda ancha: alta sensibilidad a la precio, percepción falta de utilidad de los mismos y escasa (o nula) formación digital. Además las características de dispersión de la población, hacen inviable un despliegue fijo. Es por esto que se determinó que el despliegue de LTE es el más apropiado. A fin de poder ofrecer banda ancha de 30 Mbps a precios más bajos, se recomienda el despliegue de una sola red, debido a que dadas las características del área estudiada, ésta no enfrentaría una limitación por capacidad. Por el contrario, un aumento en el número de usuarios se reflejaría en una mejora en la recuperación de la inversión y la capacidad de ofrecer servicios a costes menores. Un único despliegue LTE con las características de calidad de servicio especificadas no implicaría necesariamente la presencia de un único operador, ya que existe amplia experiencia en compartición de infraestructuras y acuerdos comerciales de provisión de servicio entre operadores.

Finalmente, ha quedado de manifiesto que no es posible ningún despliegue eficiente en costes para el último 1,5% de la población que representa la zona rural extrema de España. Lo anterior es debido a que los costes de inversión de todas las plataformas estudiadas superan los parámetros de viabilidad sugeridos en este análisis y las predicciones de adopción de banda ancha son menores a las utilizadas para el análisis. La provisión de banda ancha de 30 Mbps, incluso con LTE, implicaría necesariamente de financiación pública.

Cabe resaltar que esta región está fuera de la obligación de cobertura resultante de la adjudicación de espectro en la banda de 800 MHz, por lo cual los operadores no cuentan con ningún estímulo regulatorio para cubrir dicha región. Además, la falta de estaciones base en el último 1% de la población, es otro factor que restringe el despliegue, ya que esto implicaría un considerable incremento en el coste de provisión de servicio de banda ancha móvil de 30 Mbps. Por otro lado, en las áreas menos propensas para despliegues NGN, existen soluciones satelitales que ofrecen banda ancha de hasta 20 Mbps, a un coste inferior por hogar

conectado. La velocidad de descarga de la banda ancha satelital se ha incrementado considerablemente en los últimos años y se espera que alcancen valores mayores.

Lo anterior, abre el debate acerca de la necesidad de cobertura con NGA del 100% de la población, conforme a los objetivos propuestos para el año 2020 de la Agenda Digital, especialmente cuando existen tecnologías capaces de brindar banda ancha de hasta 20 Mbps y la provisión de 30 Mbps implicaría, necesariamente, de financiación pública. Dadas las características anteriormente mencionadas, se considera que la banda ancha en dichas zonas, debería seguir recayendo, como hasta ahora, en tecnologías satelitales.

Los límites de competencia entre plataformas se resumen a continuación sin considerar consolidaciones ni despliegues conjunto. Se espera un máximo de 3 despliegues NGA con capacidad de proveer banda ancha de 100 Mbps hasta el 41% de la población, probablemente desarrollados por el incumbente (FTTH), el operador de cable (HFC) y algún operador alternativo (o dos en despliegue conjunto). En la franja del 41% al 75% dos despliegues NGA pueden desplegarse de forma eficiente en costes. Dichos despliegues podrían ser por parte del operador incumbente (FTTH) y el operador de cable (HFC). Se fija el límite de viabilidad de NGA con capacidad de ofrecer banda ancha de 100 Mbps en el 75% de la población.

En la zona suburbana y rural concentrada que abarca del 75% al 88,5% de la población, se contemplan la competencia de dos plataformas VDSL y LTE, la primera por parte del operador incumbente y la segunda, probablemente, por los 3 operadores sujetos a la obligación de cobertura resultante de la subasta de la banda de 800 MHz. El siguiente segmento representa la zona rural española que comprende del 88,5% al 98,5% en donde únicamente se comprende el despliegue de la plataforma móvil. Aunque en esta región podrían existir un máximo de dos redes LTE capaces de proveer 30 Mbps de banda ancha fija, se recomienda un único despliegue a fin de poder ofrecer precios menores. Finalmente, se propone que el 1,5% final de la población que vive en la zona rural extrema debiera cubrirse mediante tecnologías satelitales, a pesar de no ser capaces de proveer banda ancha de 30 Mbps, a día de hoy, ya que otro tipo de despliegue implicaría necesariamente financiación pública.

Dada la evolución positiva del despliegue de redes NGA en los últimos años en España, los resultados aquí expuestos son un poco más optimistas a los planteados por (Vergara, 2011) y guardan ciertas similitudes a los expuestos por (Feijóo & Gómez-Barroso, 2013).

5.3 Viabilidad del despliegue de LTE en los municipios españoles de menos de 5000 habitantes

El propósito de este estudio fue aplicar el análisis tecno-económico a fin de determinar si la viabilidad de proveer banda ancha fija de 30 Mbps mediante la tecnología móvil LTE al 90% de los municipios de menos de 5000 habitantes, dado que ésta es uno de los objetivos propuestos por la Agenda Digital Europea y cuestión clave de la estrategia nacional de banda ancha. Asimismo, en el caso de no ser viable el despliegue, se analiza si la compartición pasiva de infraestructuras podría brindar viabilidad al despliegue. El estudio cubre del 87,9% al 99,3% de la población española, excluyendo la zona rural extrema del último 0,7%.

5.3.1 Consideraciones iniciales al estudio

La motivación del estudio surge de la preocupación por la prestación del servicio de banda ancha de 30 Mbps en las zonas con baja densidad de población, donde la ausencia de un claro retorno de la inversión (ROI) hace improbable un despliegue de mercado. Como solución, los gobiernos instan a los operadores de redes a la compartición de infraestructuras (BEREC-RSPG, 2011), al menos, compartir la obra civil y equipos pasivos (compartición pasiva de infraestructuras) (Khan et al., 2011). Por otro lado, hay algunos expertos (Cave & Martin, 2010; Falch & Henten, 2010; Ragoobar et al., 2011) que creen que este tipo de medidas es insuficiente para incentivar a los operadores a invertir. Más aún, consideran que los incentivos económicos son cruciales para el despliegue de redes de banda ancha, además de constituir éstas un bien público.

Se realizó una extensa revisión bibliográfica que contempla el estudio de nuevas tecnologías que prometen mejoras económicas y técnicas. Se mencionan: la compartición activa de infraestructuras, el uso de técnicas de radio cognitiva, la característica de agregación de portadora de *LTE Advanced*, técnicas de descarga de tráfico y el uso de femtoceldas. De igual manera, se expusieron los motivos por los cuales se excluyeron del estudio. En primer lugar se menciona que, debido al desarrollo a corto plazo del análisis, se consideran, únicamente, tecnologías presentes en el mercado. En segundo lugar, porque en la zona geográfica en la que se enmarca el presente análisis, no se encuentra ante la problemática de una sobrecarga de red, al menos en el periodo del análisis. Finalmente, se expone la naturaleza *greenfield* del despliegue.

En cuanto a los parámetros técnicos, el análisis se desarrolla con un despliegue LTE 2x10 MHz FDD en la banda de frecuencia de 800 MHz, conforme a la disposición de espectro en 2015 de cada uno de los tres operadores con mayor peso significativo en el mercado español: Telefónica, Vodafone y France Telecom. De esta manera, el estudio es válido para cualquiera de los operadores previamente mencionados. La viabilidad del despliegue en este estudio se especificó como la capacidad de, al menos, recuperar la inversión al final del periodo del estudio (diez años). Se evaluaron 3 diferentes servicios de banda ancha (Básico 10 GB/mes, Platino 20 GB/mes y Premium 30 GB/mes), en ambos escenarios de red contemplados: compartición pasiva de infraestructuras y sin compartición. Es preciso mencionar que se incluye el coste del terminal de usuario, así como su instalación en los resultados.

En la última sección del estudio se analiza y discute la viabilidad del despliegue en función del ARPU requerido en los 3 escenarios de demanda considerados. Éstos fueron construidos en función de previsiones de penetración para el año 2020.

5.3.2 Principales resultados

La inversión requerida para proveer banda ancha de 30 Mbps a hogares de la zona rural varía entre €755 millones para el servicio Básico y €916,87 millones para el servicio Premium. En el caso del CAPEX, el ahorro en costes debido a la compartición de infraestructuras aumenta a medida que el límite de descarga mensual se incrementa. De esta manera, se produce un ahorro del 9,5% en el servicio básico, mientras que en el servicio Premium el ahorro asciende hasta el 11,2%. No obstante, la compartición pasiva de infraestructuras tiene un mayor impacto en el OPEX.

Las estaciones base, el terminal de usuario e instalación del mismo y los emplazamientos son los elementos que mayor impacto ejercen en el CAPEX, mientras que el coste de alquiler de los emplazamiento, los costes de *backhaul* (líneas alquiladas, alquiler de torres, etc.) y los costes asociados al espectro (tasas anuales) son los tres costes más representativos del OPEX. Se observó que compartir los costes de alquiler de emplazamientos representa una reducción del 26% del OPEX relativo a la red en la provisión del servicio Básico. En contraste con el CAPEX, los ahorros respecto al importe total de CAPEX+OPEX siguen una tendencia ligeramente descendiente del servicio Básico al servicio Premium.

El estudio mostró la composición del CAPEX y OPEX en el servicio Platino, a fin de comparar las variaciones entre éste y el servicio Básico, debido a que en el análisis de sensibilidad nos se muestra el impacto económico en los diferentes elementos de red ante un incremento del 100% en la capacidad de descarga mensual. Como era previsible, el mayor impacto se mostró en las estaciones base y en los emplazamientos. No obstante, es preciso mencionar que el aumento en los costes asociados al *backhaul* es superior a un incremento proporcional. Por lo anterior, no sólo debe prestarse atención a los costes derivados del acceso radio al variar considerablemente la capacidad de descarga mensual, ya que los costes de la red troncal y del núcleo registran incrementos nada despreciables.

El estudio también determinó el impacto económico que ejerce la compartición de infraestructuras pasiva respecto al ARPU necesario para recuperar el coste del despliegue (NVP=0). Los resultados muestran que el escenario de compartición representa unos ahorros del 40% (servicio Básico) al 37% (servicio Premium) en los tres productos analizados.

La suma de CAPEX y OPEX varía de €2.760 millones, en el servicio Básico, a €3.641 millones para el servicio Premium en el escenario sin compartición, mientras que en el escenario de compartición ascienden a €2.236 millones, para el servicio Básico y €2.982 millones para el servicio Premium. Las cantidades anteriormente mencionadas, en ambos escenarios de red, son inferiores las inversiones anuales de los tres operadores de mayor peso significativo en el mercado español, las cuales superan los €500 mil millones. Por lo anterior, se considera que la obligación de cobertura impuesta en la subasta de espectro de 800 MHz, son asumibles por dichos operadores.

Por otro lado, la inversión requerida para un despliegue de mercado está altamente relacionada con la adopción al servicio. En concreto, el *take-up* juega un papel fundamental en la viabilidad del despliegue. En las zonas rurales éste es una preocupación de los operadores, debido a los diversos factores, sociales, económicos y educativos a los que la población de las se enfrenta, ya que éstos constituyen barreras de entrada a la adopción.

5.3.3 Resultado de la comparativa de la provisión del servicio Básico en los escenarios de demanda

Para evaluar la viabilidad del despliegue en los municipios sujetos a estudio en esta sección, se comparó el ARPU necesario para asegurar el retorno de la inversión al final del periodo de estudio (NPV=0) con los escenarios en tres escenarios de demanda. El único producto de banda ancha evaluado en esta sección fue el servicio Básico, es decir 10 GB/mes.

El escenario de demanda baja (LD) representa una adopción al servicio propuesto del 12% al 36% de los hogares principales de la zona. LD implicaría que España seguiría la tendencia de penetración de banda ancha. Por otro lado, el escenario de demanda media (MD) representa un *take-up* de entre el 15% y el 42% de los hogares principales. MD surge de la media de la tendencia de penetración de cinco países Europeos: (Alemania, Francia, Italia, Reino Unido y España). Por otro lado, el escenario de demanda alta (HD) considera un *take-up* entre el 16% y el 44%, el cual hace referencia a que la penetración de la banda ancha será igual a la penetración de la línea telefónica fija.

Como se especificó anteriormente, la población del área estudiada es altamente sensible al precio de los servicios de telecomunicaciones. Por este motivo, se precisó comparar el coste del servicio básico en los tres escenarios de demanda con otros productos y servicios de banda ancha, que aunque no cuenten con la misma calidad del servicio ni especificaciones, dada la sensibilidad de la población, entran en competencia directa con los aquí estudiados. Por la misma razón, los servicios Platino y Premium fueron excluidos del análisis, ya que los costes de su provisión eran muy superiores a los servicios considerados.

Los servicios considerados fueron el servicio universal de banda ancha, el coste promedio de banda ancha en España en el segmento de 12 a 30 Mbps, VDSL y HSPA+ ofrecido en las ciudades españolas densamente pobladas. Los resultados confirman que únicamente en el escenario de red de compartición de infraestructuras se puede ofrecer un servicio capaz de competir en precios con el coste promedio de banda ancha en España en el segmento de 12 a 30 Mbps, VDSL y HSPA+. Por otro lado, si bien es cierto que el coste del servicio universal es inigualable con ninguna de las soluciones propuestas, el escenario de demanda alta en el escenario de compartición se acerca considerablemente.

A pesar de que los resultados parecen indicar que la compartición de infraestructuras no sólo es una solución viable al problema de brindar banda ancha de 30 Mbps, sino que además permite la competencia entre infraestructuras, existen algunos aspectos a considerar. En primer lugar, debido a las características socio-económicas de la población, parece poco realista tener más de dos redes con *take-up* cercanos al 45%, puesto que esto implicaría una adopción del servicio del 90%. Lo anterior, se confirma con las tasas de penetración de la banda ancha consideradas para el estudio incremental, que oscilan entre el 75% y el 20% para los municipios dentro del área del estudio en función directa con la densidad de población.

Dichas tasas incluyen todos los servicios de banda ancha y, dado el precio regulado y disponibilidad nacional del servicio universal, muy probablemente la mayor parte se refiera a este servicio. Por lo tanto, salvo que las políticas de estímulo de la demanda surtan un efecto muy positivo, lo más probable es que, para el servicio de 30 Mbps por medio de LTE, nos encontremos con tasas de adopción totales cercanas al escenario de alta demanda. Ésta, a su vez se tendrá que dividir entre el número de redes desplegadas.

Por otro lado, también habría que considerar que la posibilidad de proveer otros servicios no estudiados en el análisis (servicios de banda ancha con diferente límite de descarga mensual, tv, móvil, servicios empaquetados) a través de la misma red, implicaría un aumento en el *take-up*. En los últimos tiempos las políticas de empaquetamientos de servicios de banda ancha han resultado políticas de estímulo de demanda efectivas. Si tal fuese el caso, la tasa de adopción del servicio se podría incrementar. No obstante, parece improbable que dicho aumento permita el despliegue eficiente en costes de tres redes, aún en el escenario de compartición pasiva, con capacidad de competir con los productos estudiados.

De lo anterior, se podría concluir que la compartición de redes pasiva, no es suficiente para asegurar la viabilidad de tres despliegues de red LTE con capacidad de proveer banda ancha de 30 Mbps, en el área estudiada. Por otro lado, una disminución en el número de redes desplegadas, podría permitir el la provisión del servicio a precios muy similares a los actualmente ofrecidos por las plataformas VDSL y HSPA+. Asimismo, la existencia de una única red, al concentrarse la adopción, permitiría brindar el servicio de banda ancha fija de 30 Mbps a precios cercanos al estipulado para el Servicio Universal. Finalmente, es preciso mencionar que la existencia de un menor número de redes no implicaría necesariamente un problema de competencia, ya que los podrían establecer obligaciones regulatorias o acuerdos comerciales de compartición del servicio entre operadores, tal como se hacen para servicios 3G, 4G.

5.4 Principales resultados del análisis de sensibilidad

Las variables de entrada del modelo Rocket fueron sujetas a un análisis de sensibilidad a través del software Crystal Ball™. A fin de determinar el impacto de éstas en los resultados del presente estudio, se sometieron a varias simulaciones de 1000 iteraciones con una variación del +-10%, en distribución gaussiana. Para el estudio se seleccionó el servicio básico (10 GB de límite de descarga mensual) con un *take-up* del 25%, y un ARPU de 70€, en el escenario de red sin compartición. A pesar de que el ARPU necesario para un que el valor actual neto sea cero (NPV=0) al final de los 10 años del periodo de estudio es de 66€, este se aumentó ligeramente (5%) a fin de evitar valores negativos que produjesen errores de celdas durante la simulación. Los índices sobre los cuales se muestran los resultados son la tasa interna de retorno (irr) y el valor actual neto.

Las dos variables que impactan más y con diferencia respecto al resto, son el ARPU y el *take-up*, en primer y segundo lugar respectivamente, sobre los dos índices. Ambas variables, al ser un modelo de flujo de caja descontado, son al mismo tiempo de entrada y salida, por tanto es lógico que ejerzan el mayor impacto sobre ambos índices. A continuación, se sitúan el coste de alquiler de emplazamientos y el porcentaje de cobertura en área abierta, respecto al valor actual neto. Sin embargo, el orden de las mismas variables se invierte, muy ligeramente, respecto a la tasa interna de retorno. El resto de las variables tienen un impacto menor al uno por ciento en los índices, lo cual no implica que su impacto no sea significativo, sino que en proporción con el impacto que ejercen el ARPU, *take-up*, coste de alquiler de emplazamientos y cobertura en área abierta, juegan un papel mucho menor en la viabilidad del proyecto.

Respecto a las variables económicas como el coste de capital, el alquiler de emplazamientos, o el coste de la licencia, el resultado muestra que el impacto de dichas variables, es mínimo en proporción con el ejercido por las variables de demanda. Por otro lado, es preciso señalar que la variable que mayor impacto ejerce de la categoría es el coste del alquiler de emplazamientos. De esta manera, queda de manifiesto que la compartición de infraestructuras, en cualquier grado, contribuiría directamente la reducción de costes.

En esta categoría de variables se incluye el coste del terminal de usuario, que llama la atención el ver reflejado que no ejerce ningún impacto en la viabilidad del proyecto, mientras que el coste de instalación juega un papel incipiente sobre el NPV. Lo anterior se debe a que los costes de instalación son parte de los costes operativos y, por las características de diseño del modelo Rocket, los costes operativos totales se escalan en función del OPEX relativo a la red. Por lo tanto, el impacto relativo a la terminal de usuario es prácticamente insignificante

El análisis de sensibilidad deja claro que las variaciones técnicas ejercen un impacto en la viabilidad económica casi insignificante comparado con las variables de demanda. Las variaciones en el radio de cobertura de la célula, los cambios en el tráfico dentro de la misma, variaciones en los parámetros de calidad de servicio, así como el factor de reducción utilizado para el análisis de la sección 4.3, no tienen ningún impacto en la viabilidad. Por otro lado, el porcentaje de emplazamientos que pueden ser cubiertos, el porcentaje de área abierta cubierta y, en menor medida el porcentaje de área rural cubierta, sí generan variaciones considerables sobre los índices financieros estudiados. De esta manera, si, por ejemplo, se reduce el número de emplazamientos en zona abierta, habría un ahorro en el coste de

Capítulo 5. Conclusiones y trabajo futuro

despliegue. Nuevamente, se vuelve a constatar que la compartición o coubicación de emplazamientos juega un papel importante en la viabilidad.

La conclusión general del estudio de sensibilidad es el hecho de que la viabilidad del despliegue es altamente dependiente del *take-up* y del ARPU. Por otro lado, las variables económicas y técnicas requerirían variaciones superiores al 10% para impactar en la viabilidad económica del proyecto. Dado que el ARPU considerado para este análisis es muy superior al precio actual de otros productos de banda ancha, es necesario enfocar todos los esfuerzos en incentivar la adopción al servicio. Por tanto, es fundamental, que operadores y gobierno unan sus fuerzas para crear y promover medidas de estímulo de la demanda. Por otro lado, los ahorros procedentes de la compartición de infraestructuras sí contribuyen, aunque en menor medida, a la viabilidad del despliegue. Sin embargo, la compartición de infraestructuras no constituye en sí misma la solución para brindar la viabilidad del despliegue.

5.5 Implicación de política pública sobre la problemática abordada

5.5.1 Sobre la Universalización de la banda ancha de 30 Mbps propuesta por la Agenda Digital

El presente estudio ha demostrado que LTE es la solución más eficiente en costes para la franja del 75% al 98,5% de la población. En concreto se observa que es la única solución para el rango del 90% al 98,5% de la población, ya que VDSL no se prevé que cubra esa región. Por otra parte, el último 1,5% se recomienda que se cubra mediante banda ancha satelital.

Respecto a los compromisos impuestos a los operadores, se ha corroborado que son asumibles por éstos, puesto que no superan la tendencia de inversión anual de años anteriores. Sin embargo, a parte de la obligación regulatoria, no tienen suficientes incentivos para invertir en zonas rurales debido a que la adopción al servicio esperada es muy baja.

La compartición pasiva de infraestructuras, es una herramienta efectiva en la reducción de costes. Sin embargo, la viabilidad del despliegue depende, en mayor grado, de la capacidad de alcanzar *take-up* altos. Por lo anterior, se requerirán medidas adicionales a fin de asegurar el retorno de la inversión en las zonas rurales. Dichas medidas, vienen de la mano de estimular la demanda y reducir el número de redes desplegadas. No obstante, la existencia de un menor número de redes no implicaría, necesariamente, un problema de competencia, ya que se podrían establecer obligaciones regulatorias o acuerdos comerciales de compartición del servicio entre operadores, tal como se hacen para servicios 3G, 4G.

Los Estados se encuentran ante el reto de incorporar mayor flexibilidad en las regulaciones referente al espectro ante el surgimiento de nuevos modelos de compartición que buscan reducir costes (Falch & Henten, 2010; Khan et al., 2011). En los últimos tiempos han surgido técnicas y tecnologías que prometen introducir mayor eficiencia al espectro (Yoonaidharma & Bunaramrueang, 2014), y hacer frente, de forma eficiente en coste, a la demanda futura de tráfico. De igual manera, se deberán revisar las condiciones de las licencias a fin de permitir la innovación y hacer frente a nuevas necesidades (Clarke, 2014). En este sentido, existe, por ejemplo, un creciente debate respecto a destinar espectro sin licencia de bandas bajas, para acceso secundario (Elsner & Weber, 2014), en gran parte motivado por el gran desarrollo de técnicas como radio cognitiva (Granelli et al., 2010). Lo anterior, permitiría la existencia de operadores primarios con licencia y operadores secundarios con licencia a un coste menor o sin licencia. El gobierno español deberá estar atento a la evolución de estos temas, así como a las propuestas regulatorias, a fin de lograr un mayor desarrollo del sector, sin que éste se encuentre en detrimento de la competencia.

5.5.2 Take-up y el ARPU requerido

En el estudio aquí conducido se ha quedado de manifiesto la gran sensibilidad en el despliegue respecto al *take-up* y al ARPU. La encrucijada de la alta sensibilidad al precio de los productos por parte de la demanda en la zona estudiada y la necesidad de amortizar los costes del despliegue, parece mostrar una única salida: buscar *take-up* altos. A este respecto, la realidad española no es diferente a la que enfrentan otros países europeos. Los resultados muestran que la compartición pasiva de infraestructuras, si bien ayuda a reducir los costes, no

constituye en sí misma la solución para brindar banda ancha de 30 Mbps a un precio suficientemente atractivo para competir en precios con otros productos presentes.

Por tal motivo, se sugiere reducir el número de redes presentes a una o máximo dos en los municipios más poblados. De esta manera, los operadores podrían ofrecer precios que permita la competencia con el servicio universal de banda ancha, y estimular la demanda. Esta propuesta es consistente con (Chapin, John and Lehr, William, 2011), quienes afirman que esta encrucijada terminará en un duopolio en el mejor de los casos. Lo anterior debido al limitado crecimiento de los ingresos de los clientes y el incremento de costes de cobertura, que lleva a los operadores a una lucha continua por alcanzar mayores cuotas de mercado.

5.5.3 Consumo creciente de datos

Por otra parte, quizá la mayor preocupación de los operadores móviles sean los pronósticos de tráfico que enfrentarán las redes móviles en la próxima década. De éstos, el más conocido es el de Cisco (Cisco, 2014), que describe cifras alarmantes de crecimiento. Aunque existen algunos detractores que aseguran que el incremento de tráfico no será tan exagerado (Mehta & Musey, 2014), existe una gran preocupación acerca de la incapacidad de las redes móviles para cubrirlo y gestionarlo (p. e:(FCC, 2010; Feldman, 2011; Lawson, 2012; Noam, 2011; Rysavy Research, 2010; Tselekounis, Varoutas, & Martakos, 2014)). Clarke (2014), señala que aún con consideraciones conservadoras, se necesitarán al menos 530 MHz adicionales destinados a comunicaciones móviles para satisfacer la demanda de la próxima década.

Dicha introducción es muy adecuada al estudio aquí presentado, ya que en su mayoría se centró en el análisis del servicio básico (10 GB/mes), puesto que un incremento en el límite a 20 ó 30 GB/mes, conlleva precios muy elevados en el área estudiada. El aumento en costes de dicha provisión, no son únicamente derivados del espectro ni del acceso radio, sino del *backhaul*. (Chapin, John and Lehr, William, 2011) también señalan que el coste de reforzar la red troncal y el núcleo para la el tráfico previsto implicará un coste muy considerable. Otros autores (Tselekounis et al., 2014), afirman que la única solución “a prueba de futuro” son los despliegues FTTH.

En zonas rurales el consumo de tráfico será más lento que las zonas urbanas y por tanto LTE se contempla como una solución a corto y medio plazo. Por otro lado, en la zona suburbana sí que habrá que buscar soluciones. Sin embargo, es preciso preparar las infraestructuras, especialmente la red troncal, para la demanda futura. En este sentido, se cree que el uso de portadoras en frecuencias más altas será una solución efectiva para cubrir la demanda de las zonas limitadas en capacidad. Además, LTE-Advanced promete el uso de la agregación de portadora para solucionar este problema.

5.6 Líneas de trabajo futuro

El presente trabajo deja abierta varias líneas que podría ser muy interesante seguir.

Soluciones a las limitaciones del modelo técnico radio:

- Las principales limitaciones del modelo técnico radio, al igual que el de Ofcom, es que no toma en cuenta las atenuaciones de la señal respecto a la orografía de la zona estudiada ni dispone de la posibilidad de introducir perfiles de tráfico reales. Como solución o línea futura se podrían emplear modelos que emplean perfiles orográficos y determinen perfiles de tráfico mediante simulaciones y procesos estocásticos.
- El uso de simulador LTE a nivel de sistema desarrollado en MATLAB por la Universidad de Viena.

Incorporación y estudio de nuevas técnicas

- En primer lugar la compartición activa de infraestructura es una realidad ya en algunos países y un debate en otros. Algunos países, está evaluando adjudicar espectro a operadores primarios y secundarios y sugieren técnicas de radio cognitiva para detectar las necesidades de los usuarios y distribuir recursos (Clarke, 2014).
- El análisis tecno-económico de provisión de banda ancha fija rural con LTE-Advanced, con el fin de determinar si hay un mayor ahorro respecto a LTE
- Técnicas de descarga de tráfico o offloading se han propuesto para hacer frente a la limitación por capacidad que se prevé venir a corto plazo (GrøNsund et al., 2013; Markendahl et al., 2011; Popescu et al., 2013). Una de las técnicas más prometedoras es el uso de femtoceldas para descargar el tráfico. Como se señala en (GrøNsund et al., 2012). La red troncal de la femtocelda se apoya en un acceso de fibra óptica instalado o en un enlace de transmisión a la estación base, con el inconveniente de utilizar la capacidad de la estación base.
- El uso de la red de acceso radio virtuales es otra solución que se plantea como exitosa debido a que permite, mediante software radio, que cada proveedor que comparte la red seleccione la tecnología estándar con la que desea trabajar.(Chapin, John and Lehr, William, 2011)

Medidas de estímulo de la demanda

- Desde la visión de la sociedad de la información, sería interesante realizar el estudio de diferentes medidas de estímulo de la demanda y aplicar un modelo cuantitativo para evaluar el impacto y posibles soluciones a este problema en las zonas rurales

Aplicación de nuevas metodologías para evaluar los despliegues

- El uso de herramientas económicas como teoría de juegos y análisis de opciones reales, son enfoques alternativos al uso de análisis tecno-económico que ha adquirido gran acogida en la comunidad científica últimamente.

Capítulo 5. Conclusiones y trabajo futuro

ACRÓNIMOS

A

ADSL	Asymmetric DSL
AL	Aggregation Link
AN	Aggregation Node
ANR	Autoridad Nacional de Regulación
ARCEP	L'Autorité de Régulation des Communications Électroniques et des Postes
ARPU	Average Revenue Per User

B

BA	Banda ancha
BKUD	Broadband Delivery UK
BMWi	German Federal Ministry of Economics and Technology
BNetzA	BundesNetzAgentur

C

CAPEX	Capital Expenditures
CE	Comisión Europea
CMT	Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones
CNAF	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias
CNMC	Comisión Nacional del Mercado de la Competencia
COSTA	COSTes de redes de Acceso
CPE	Customer Premises Equipment

D

DCF	Discounted Cash Flow
DCMS	Consejería de Cultura, Medios y Deporte Reino Unido
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification
DSL	Digital Subscriber Line
DSLAM	DSL Access Multiplexer

E

EAFRD	European Agricultural Fund for Rural Development
EBITDA	Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation, and Amortization

EPON	<i>Ethernet</i> PON
ERDF	European Regional Development Fund
ERG	European Regulators Group
ETSI	European Telecommunications Standards Institute

F

FAS	European Agricultural Fund for Rural Development Underutilized Areas Fund
FCC	Federal Communications Commission
FDD	Frequency Division Duplex
FEADER	Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural
FEASR	European Fund for Rural and Agricultural Development
FEDER	Fonds européen de développement regional
FESR	European Fund of Regional Development
FSN	Fonds pour la Société Numérique
FTTB	Fibre To The Building
FTTC	Fibre To The Curb
FTTH	Fibre To The Home
FTTN	Fibre To The Node
FTTx	Fibre To The X

G

GAK	Tarea conjunta para el mejoramiento de infraestructura agrícola y protección de costas
GEPON	Gigabit <i>Ethernet</i> PON
GPON	Gigabit-capable PON
GRW	Tarea conjunta para el mejoramiento de estructuras económicas regionales
GSM	Global System for Mobile Communications

H

HDTV	High Definition Television
HFC	Hybrid Fibre-Coaxial

I

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
INE	Instituto Nacional de Estadística
IMS	IP Multimedia Subsystem

IP	Internet Protocol
IPTV	Internet Protocol Television
IRR	Internal rate of return (TIR)
ISP	Internet service provider
ITU	International Telecommunication Union (UIT)

L

LAN	Local Area Network
LRIC	Long Run Incremental Cost
LTE	Long Term Evolution

M

MPLS	Multiprotocol Label <i>Switching</i>
------	--------------------------------------

N

NGA	Next Generation Access
NGAN	Next Generation Access Network
NGN	Next Generation Network
NPV	Net Present Value (VAN)

O

OECD	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OFCOM	Office of Communications
OLT	Optical Line Terminal
ONT	Optical Network Termination
ONU	Optical Network Unit
OPEX	Operational Expenditures

P

P2P	Point To Point
PEBA	Plan de extensión de la banda ancha
PON	Passive Optical Network
PSM	Peso Significativo en el Mercado
PYME	Pequeña y mediana empresa

R

RCBF	Rural Community Broadband Fund
RDPE	Rural Development Programme for England
ROM	Repartidor Óptico Modular
RSPG	Radio Spectrum Policy Group

S

SU	Servicio Universal
SUBA	Servicio Universal de Banda Ancha

T

TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TE	Terminal de usuario
TIR	Tasa Interna de Retorno

U

UHF	Ultra High Frequency
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System

V

VAN	Valor Actual Neto
VDSL	Very high bit-rate DSL
VHBB	Very High Broadband

W

WACC	Weighted Average Cost of Capital
WDM	Wavelength Division Multiplexing
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WAPECS	Wireless Access Policy for Electronic Communications Services

REFERENCIAS

- 3GPP. (2008). *TS 36.101. Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); user equipment (UE) radio transmission and reception*. 3GPP ETSI. Disponible en: http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136101/10.03.00_60/ts_136101v100300p.pdf
- 3GPP. (2010). *TS 36.814. further advancements for e-utra physical layer aspects*. 3GPP TSG / WG R1. Disponible en: <http://www.3gpp.org/dynareport/36814.htm>
- 3GPP. (2012a). *TR 36.942 V8.4.0. Annex A. Technical report: LTE E-UTRA radio frequency systems scenarios*. (Technical Report No. TR 136 942 V8.4.0 (2012-07)). 3GPP website. ETSI. (LTE). Disponible en: http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/136900_136999/136942/08.04.00_60/tr_136942v080400p.pdf
- 3GPP. (2012b). *TR 36.942 version 8.4.0 release 8*. (Technical Specification Group Radio Access Network No. RTR/TSGR-0436942v840). Valbonne - FRANCE: Third generation Partnership Project.
- Agustí, R., Bernardo, F., Casadevall, F., Ferrús, R., Pérez, J., & Sallent, O. (2010). In Vodafone S. F. (Ed.), *LTE: nuevas tendencias en comunicaciones móviles*. (Fundación Vodafone). Barcelona: Vodafone, Spain Foundation.
- Altran Business Consulting. (2013). *Socio-economic impact of VHBB networks – Spain 2020 [PowerPoint slides]*. COIT, Día mundial de las Telecomunicaciones 2013: Altran Business Consulting. Disponible en http://www.coit.es/web/servicios/eventos/comunicacionesmoviles2020/comunicacionesmoviles2020_2.html
- Analysys Mason. (2009). *Competitive models in GPON*. (Final Report for Ofcom No. 15340-493).BSG. Disponible en: http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/research/technology-research/Analysys_Mason_GPON_Final_R1.pdf
- Analysys Mason. (2010). *The cost and capabilities of wireless and satellite technologies-2016 snapshot*. (Report for Broadband Stakeholder Group No. 14712-432).BSG. Disponible en: <http://superfastnorthamptonshire.files.wordpress.com/2011/11/cost-and-capabilities-of-wireless-and-satellite-technologies.pdf>
- Analysys Mason. (2012). *Support for the preparation of an impact assessment to accompany an EU initiative on reducing the costs of high-speed broadband infrastructure deployment*. (FINAL REPORT A study prepared for the European Commission DG Communications Networks, Content & Technology). London, UK: European Commission. Disponible en: <http://ec.europa.eu/digital-agenda/en/news/support-preparation-impact-assessment-accompany-eu-initiative-reducing-costs-high-speed>

- Anderberg, M. R. (1973). *Cluster Analysis for Applications*, (No. OAS-TR-73-9). Office of the assistant for study support Kirtland AFB N MEX
- Arthur D. Little. (2012). *LTE spectrum and network strategies: Strategic options for mobile operators in dynamic 4G mobile markets*. (No. 2013). Arthur D. Little. Disponible en: http://www.adlittle.com/downloads/tx_adlreports/ADL_LTE_Spectrum_Network_Strategies.pdf
- Bacache, M., Bourreau, M., & Gaudin, G. (2014). Dynamic entry and investment in new infrastructures: Empirical evidence from the fixed broadband industry. *Review of Industrial Organization*, 44(2), 179-209.
- Ballon, P., Lehr, W., & Delaere, S. (2013a). Editorial: Cognitive radio: Regulation and markets. *Telecommunications Policy*, 37(2-3), 83-86.
- Ballon, P., Lehr, W., & Delaere, S. (2013b). Cognitive radio: Regulation and markets. *Telecommunications Policy*, 37(2-3), 83-86. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.telpol.2012.11.004>
- BEREC-RSPG. (2011). *BEREC-RSPG report on infrastructure and spectrum sharing in mobile/wireless networks*. BoR (11) 26, RSPG11-374. Disponible en: http://berec.europa.eu/eng/document_register/subject_matter/berec/reports/224-berec-rspg-report-on-infrastructure-and-spectrum-sharing-in-mobilewireless-networks
- Cave, M. (2002). Review of radio spectrum management. *An Independent Review for Department of Trade and Industry and HM Treasury*. (www.Spectrumreview.Radio.Gov.) Disponible en: http://www.ofcom.org.uk/static/archive/ra/spectrum-review/2002review/1_whole_job.pdf
- Cave, M. (2010). Anti-competitive behaviour in spectrum markets: Analysis and response. *Telecommunications Policy*, 34(5-6), 251-261. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.telpol.2009.12.003>
- Cave, M., & Martin, I. (2010). Motives and means for public investment in nationwide next generation networks. *Telecommunications Policy*, 34(9), 505-512. doi:10.1016/j.telpol.2010.07.003
- Cisco. (2014). *Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2012-2017*. Cisco Web page: Cisco. Disponible en: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html
- Clarke, R. N. (2014). Expanding mobile wireless capacity: The challenges presented by technology and economics. *Telecommunications Policy*, 38(8-9), 693-708. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.telpol.2013.11.006>

- CMT. (2012). *2011 Informe económico sectorial*. CMT. Disponible en: <http://www.cnmc.es/es-es/telecomunicacionesysaudiovisuales/informes/informesanuales.aspx>
- CMT. (2013). *Análisis geográfico de los servicios de banda ancha y despliegue de NGA en España (diciembre 2012)*. Madrid: CMT. Disponible en: <http://www.cnmc.es/es-es/telecomunicacionesysaudiovisuales/informes/informes%C3%A1mbitogeogr%C3%A1fico.aspx>
- CNMC. (2014). *CNMC Data (Base de datos online)*. Disponible en: <http://cmtdata.cmt.es>
- COIT. (2014). *Publicación de la Ley 9/2014, de 9 de mayo, de telecomunicaciones*. Página web COIT: COIT. Disponible en: <https://www.coit.es/index.php?op=legislacion>
- Comisión Europea. (2007). *Comunicación de la comisión al consejo y al parlamento europeo: Sobre un acceso rápido al espectro para los servicios de comunicaciones electrónicas inalámbricas a través de una mayor flexibilidad*. Bruselas: Comisión Europea. Disponible en: <http://www.boe.es/doue/2008/144/L00077-00081.pdf>
- Comisión Europea. (2010a). *Communication from the commission. European broadband: Investing in digitally driven growth*. Comisión Europea. Bruselas. Disponible en: http://europa.eu/legislation_summaries/information_society/strategies/si0017_en.htm
- Comisión Europea. (2010b). *Communication from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions A digital agenda for Europe*. (COM/2010/0245 final. Brussels: European Commission. Disponible en: [http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52010DC0245R\(01\)](http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52010DC0245R(01))
- Comisión Europea. (2012). *Digital agenda for Europe scoreboard 2012*. (Annual report Communication Networks, Content and Technology No. 2012). Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2012. Disponible en: http://ec.europa.eu/digital-agenda/sites/digital-agenda/files/KKAH12001ENN-PDFWEB_1.pdf
- Comisión Europea. (2014a). *High speed broadband*. Página Web: Comisión Europea. Disponible en: <http://ec.europa.eu/digital-agenda/about-broadband>
- Comisión Europea. (2014b). *Implementation of the EU regulatory framework for electronic communications - 2014*. Página Web: Comisión Europea. Disponible en: http://europa.eu/legislation_summaries/information_society/legislative_framework/l24216a_en.htm
- Comisión Europea. (2009). *Impact assessment guidelines. SEC (2009) 92*. JRC-IPSC: EC. Disponible en: http://ec.europa.eu/smart-regulation/impact/commission_guidelines/docs/iag_2009_en.pdf
- Comisión Europea. (2014c). Joint research center. institute for the protection and security of the citizen. econometric and applied statistics. Disponible en: <http://ipsc.jrc.ec.europa.eu/?id=155>

- Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (2014). *Análisis geográfico de los servicios de banda ancha y despliegue de NGA en España*. CNMC. Disponible en: http://www.cnmc.es/Portals/0/Ficheros/Telecomunicaciones/Informes/20140324_InfGeografico_jun13.pdf
- Coomonte, R., Feijóo, C., Ramos, S., & Gómez-Barroso, J. (2013). How much energy will your NGN consume? A model for energy consumption in next generation access networks: The case of Spain. *Telecommunications Policy*, 37(10), 981-1003.
- Crandall, R., Jackson, C., & Singer, H. (2003). *The effect of ubiquitous broadband adoption on investment, jobs, and the US economy*. Criterion Economics, LLC Released by New Millennium Research Council. Disponible en: http://newmillenniumresearch.org/archive/bbstudyreport_091703.pdf
- Chapin, John and Lehr, William. (2011). Mobile broadband growth, spectrum scarcity, and sustainable competition. *TPRC 2011*, Arlington, VA. Disponible en: http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1992423
- Dahlman, E. (2007). In Academic Press (Ed.), *3G evolution: HSPA and LTE for mobile broadband* Academic Press.
- Dahlman, E., Parkvall, S., & Sköld, J. (Eds.). (2011). *LTE: The 4G solution for mobile broadband* Academic Press.
- Davidson, C. M., Santorelli, M. J., & Kamber, T. (2012). Toward an inclusive measure of broadband adoption. *International Journal of Communication*, 6, 2555-2575.
- Dippon, C. M. (2012). Is faster necessarily better? 3G take-up rates and the implications for next generation services. *International Journal of Communications, Network & System Sciences*, 5(8)
- ECC. (2010). *SEAMCAT handbook A.15.4 extended hata and extended hata (SRD) models*. SEAMCAT manual: European Communication office. Disponible en: <http://www.cept.org/files/1050/documents/SEAMCAT%20Handbook%20January%202010.pdf>
- ECC-CEPT. (2002a). *Refarming and secondary trading in a changing radio-communications world*. CEPT. Disponible en: <http://www.ictregulationtoolkit.org/en/toolkit/docs/Document/2744>
- ECC-CEPT. (2002b). *The role of spectrum pricing as a means of supporting spectrum management*. CEPT. Disponible en: <http://www.erodocdb.dk/docs/doc98/official/pdf/Rep076.pdf>
- EIU. (2013). EIU. Página Web. Disponible en: www.eiu.com

- Elsner, J., & Weber, A. (2014). Beachfront commons. *Telecommunications Policy*, 38, 8–9, 709-714. DOI: 10.1016/j.telpol.2014.05.003
- ERG, & RSPG. (2009a). *ERG-RSPG report on radio spectrum competition issues..* ERG, RSPG: ERG (09) 22 RSPG09-278 Rev.2. Disponible en: http://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2013/05/rspg09_278_erg_rspg_report_on_radio_spectrum_competition_issues_0906041.pdf
- ERG, & RSPG. (2009b). *ERG-RSPG report on transitional radio spectrum issues: ERG-RSPG report on competition issues arising from the transition towards more flexible radio spectrum management for electronic communications networks and services.* ERG; RSPG: ERG (08) 60 rev 1; RSPG09-277. Disponible en: http://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2013/05/rspg09_277_erg_rspg_report_on_transitional_spectrum_issues_090603.pdf
- Espías, M. (2008). *Contribución al estudio de la viabilidad de operadores de telecomunicaciones de acceso inalámbrico fijo mediante el desarrollo de escenarios tecno-económicos.* (UPM, Telecomunicacion). *Contribución Al Estudio De La Viabilidad De Operadores De Telecomunicaciones De Acceso Inalámbrico Fijo Mediante El Desarrollo De Escenarios Tecno-Económicos,*
- Falch, M., & et al. (2006). *ICT BREAD project, technoeconomic study.* (No. Deliverable FP6-IST-507554/COM/R/Pub/D2.4-3.4). Disponible en: <http://viskan.net/publications/BREAD-DeliverableD24-D34-draft.pdf>
- Falch, M., & Henten, A. (2010). Public private partnerships as a tool for stimulating investments in broadband. *Telecommunications Policy*, 34(9), 496-504. doi:10.1016/j.telpol.2010.07.010
- FCC. (2010). *Mobile broadband: The benefits of additional spectrum. FCC staff technical paper.* FCC. Disponible en: <http://transition.fcc.gov/national-broadband-plan/mobile-broadband-paper.pdf>
- FCC. (2011). *In the matter of applications of comcast corporation, general electric company and NBC universal, INC. for consent to assign licenses or transfer control of licensees, memorandum opinion & order.* (No. FCC11-4).FCC. Disponible en: <http://transition.fcc.gov/FCC-11-4.pdf>
- Feijóo, C., & Gómez-Barroso, J. L. (2013). El despliegue de redes de acceso ultrarrápidas: Un análisis prospectivo de los límites del mercado. *Papeles De Economía Española*, (136), 116-130.
- Feijoo, C., Gómez-Barroso, J., Ramos, S., & Coomonte, R. (2011). The mobile communications role in next generation networks: The case of Spain.

- Feldman, B., et al. (2011). Coping with the spectrum crunch: Part 1. deutsche bank securities. *U.S. Wireless Services*. September 29, 2011.
- Frías, Z. (2011). *Análisis tecnoeconómico de LTE considerando tecnologías femtocelulares*. (Máster en Tecnologías y Sistemas de Comunicaciones, Universidad Politécnica de Madrid).
- Frias, Z., & Pérez, J. (2012). Techno-economic analysis of femtocell deployment in long-term evolution networks. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2012(1), 1-15.
- Gaudin, G., & Saavedra, C. (2014). Ex ante margin squeeze tests in the telecommunications industry: What is a reasonably efficient operator? *Telecommunications Policy*, 38(2), 157-172. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.telpol.2013.08.005>
- German Federal Ministry of Economics and Technology (BMWi). (2009). *The federal government's broadband strategy*. BMWi. Disponible en: www.bmwi.de:
- Geroski, P. A. (2000). Models of technology diffusion. *Research Policy*, 29(4), 603-625.
- Giles, T., Markendahl, J., Zander, J., Zetterberg, P., Karlsson, P., Malmgren, G., & Nilsson, J. (2004). Cost drivers and deployment scenarios for future broadband wireless networks-- key research problems and directions for research. *IEEE 59th Vehicular Technol Conference, VTC 2004-Spring, 4*, 2042-2046.
- Granelli, F., Pawelczak, P., Prasad, R. V., Subbalakshmi, K., Chandramouli, R., Hoffmeyer, J. A., & Berger, H. S. (2010). Standardization and research in cognitive and dynamic spectrum access networks: IEEE SCC41 efforts and other activities. *Communications Magazine, IEEE*, 48(1), 71-79.
- GrøNsund, P., GrøNdalen, O., & LäHteenoja, M. (2013). Business case evaluations for LTE network offloading with cognitive femtocells. *Telecommunications Policy*, 37, 2-3, 140-153. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.telpol.2012.07.006>
- GSA. (2013a). *3GPP systems mobile broadband wallchart*. GSA. Disponible en: http://www.gsacom.com/gsm_3g/info_papers.php4
- GSA. (2013b). *Evolution to LTE report*. (GSM/3G Market/Technology Update). UK. Disponible en: http://www.gsacom.com/gsm_3g/info_papers.php4
- Harno, J. e. a. (2006). *Final techno-economic results on mobile services and technologies beyond 3G*. ECOSYS Deliverable 19, September 2006. Disponible en <http://lib.tkk.fi/Diss/2010/isbn9789526033327/article3.pdf>
- Hätönen, J. (2011). The economic impact of fixed and mobile high-speed networks. *EIB Papers*, 16(2), 30-59.

- Heavy Reading. (2013). Heavy reading. Disponible en: <http://www.heavyreading.com/>
- Holma, H., & Toskala, A. (2009). *LTE for UMTS—OFDMA and SC-FDMA based radio access* (1^o ed.) JohnWiley & Sons,.
- Howick, S., & Whalley, J. (2008). Understanding the *drivers* of broadband adoption: The case of rural and remote scotland. *The Journal of the Operational Research Society*, 59(10), 1299-1311.
- INE. (2009). Estadística del Padrón Continuo.INE. Disponible en: <http://www.ine.es/nomen2/index.do>
- INE. (2013). Estadística del Padrón Continuo.INE. Disponible en: <http://www.ine.es/nomen2/index.do>
- ITU-R SM.2028-1. (2002). *Monte carlo simulation methodology for the use in sharing and compatibility studies between different radio services or systems*. ITU website: ITU. Disponible en: http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2028-1-2002-PDF-E.pdf
- Jain, A. K., Murty, M. N., & Flynn, P. J. (1999). Data clustering: A review. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 31(3), 264-323.
- Katsianis, D., Welling, I., Yionen, M., Varoutas, D., Sphicopoulos, T., Elnegaard, N. K., . . . Budry, L. (2001). The financial perspective of the mobile networks in europe. *Personal Communications, IEEE*, 8(6), 58-64. doi:10.1109/98.972169
- Keenan, M., Barré, R., & Cagnin, C. (2008). Future-oriented technology analysis: Future directions. *Future-oriented technology analysis* (pp. 163-169) Springer.
- Khan, A., Kellerer, W., Kozu, K., & Yabusaki, M. (2011). Network sharing in the next mobile network: TCO reduction, management flexibility, and operational independence. *Communications Magazine, IEEE*, 49(10), 134-142.
- Kovács, I. Z., Mogensen, P., Christensen, B., & Jarvela, R. (2011). Mobile broadband traffic forecast modeling for network evolution studies. *Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2011 IEEE*, San Francisco, CA. 1-5.
- Krizanovic, V., Grgic, K., & Zagar, D. (2010). Analyses and comparisons of fixed access technologies for rural broadband implementation. *Information Technology Interfaces (ITI), 2010 32nd International Conference On*, Croatia. 483-488.
- Kyriakidou, V., Katsianis, D., Orfanos, I., Chipouras, A., & Varoutas, D. (2011). Business modeling and financial analysis for metropolitan area networks: Evidence from greece. *Telematics and Informatics*, 28(2), 112-124. doi:10.1016/j.tele.2010.05.001

- La Caixa. (2011). *Anuario económico de España 2010*. (Economic Yearbook). Madrid: La Caixa. .
 Disponible en:
<http://www.anuarioeco.lacaixa.comunicacions.com/java/X?cgi=caixa.anuari99.util.ChangeLanguage&lang=esp>
- Lawson, S. (2012). *11 ways around using more spectrum for mobile data*. *Computerworld*, August 16, 2012. Disponible en: Computerworld web page: Computerworld.com
- Loizillon, F. e. a. (2002). *Final results on seamless mobile IP service provision economics*. (No. Tonic Deliverable 11 October 2012).
- Marcus, J. S., & Elixmann, D. (2012). *Re-thinking the digital agenda for Europe (DAE): A richer choice of technologies*. WIK-Consult web site: WIK-Consult. Disponible en:
<http://www.libertyglobal.com/PDF/public-policy/LGI-report-Re-thinking-the-Digital-Agenda-for-Europe.pdf>
- Marengi, P., & Badillo Matos, Á. (2012). Acceso y Agenda Digital en la Unión Europea: El caso de España. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10366/115944>
- Markendahl, J., Mölleryd, B. G., Beckman, C., & Mäkitalo, Ö. (2011). Scenario driven requirement engineering for design and deployment of mobile communication networks. *ITS2011*, Budapest, 18 - 21 Septiembre. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10419/52200>
- Markendahl, J., Molleryd, B. G., Makitalo, O., & Werding, J. (2009). Business innovation strategies to reduce the revenue gap for wireless broadband services. *Communications and Strategies*, (75), 35.
- Markendahl, J., & Maandkitalo, O. (2010). A comparative study of deployment options, capacity and cost structure for macrocelular and femtocell networks. *IEEE 21st Int Symp Personal, Indoor and Mobile Radio Commun Workshops (PIMRC Workshops)*, 145-150.
- Mehta, A., & Musey, J. A. (2014). Overestimating Wireless Demand: Policy and Investment Implications of Upward Bias in Mobile Data Forecasts. *Disponible en:*
<http://ssrn.com/abstract=2418364>
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2012a). *Informe de recomendaciones del grupo de expertos de alto nivel para la Agenda Digital para España*. Madrid: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Disponible en:
<http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/es-es/novedades/documents/informe-recomendaciones-ade.pdf>
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2012b). *Propuesta de Agenda Digital para España*. Madrid: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Disponible en:
<http://www.agendadigital.gob.es/agenda-digital/noticias/Paginas/propuesta-agenda-digital.aspx>

- Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2013a). *Agenda Digital para España*. (Public Consultation). Página Web del Ministerio: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. . (Consulta Pública) Disponible en: <http://www.agendadigital.gob.es/agenda-digital/Paginas/agenda-digital.aspx>
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2013b). *Cobertura de banda ancha en España primer semestre de 2013*. Web Ministerio: Minetur. Disponible en: http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/es-ES/Novedades/Paginas/Cobertura_banda_ancha_1_semestre_2013.aspx
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2013c). *Plan de telecomunicaciones y redes ultrarrápidas*. Página web Minetur: Agenda Digital para España. Disponible en: <http://www.agendadigital.gob.es/planes-actuaciones/Paginas/plan-telecomunicaciones-redes.aspx>
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2008). *Consulta pública acerca del uso de las frecuencias de 2500 a 2690 MHz y nuevas formas de explotación de las bandas de frecuencia de 900, 1800 MHz y 3.5 GHz*. Página web del Ministerio: Ministerio de Industria, turismo y Comercio. Disponible en: http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/es-es/participacion/documents/espectro/consulta_espectro.pdf
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2009). *Nota de prensa sobre las conclusiones de la consulta pública sobre el uso de la banda de frecuencias de 2.500 a 2.690 MHz y sobre posibles nuevas modalidades de explotación de las bandas de frecuencia de 900 MHz, 1.800 MHz y 3,5 GHz*. Nota de prensa en la Web: Ministerio de Industria Turismo y Energía. Disponible en: <http://www.minetur.gob.es/es-es/GabinetePrensa/NotasPrensa/Paginas/conclusionesdelaconsultasobreelusodelespectro.aspx>
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2010a). *Consulta pública sobre actuaciones en materia de espectro radioeléctrico: Refarming en las bandas 900 MHz y 1800MHz, dividendo digital y banda de 2,6 GHz*. Página Web Ministerio: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2010b). *Respuestas a la consulta pública sobre actuación en materia de espectro radioeléctrico: Refarming en banda de 900MHz y 1800MHz, dividendo digital y banda de 2,6 GHz*. Página web del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Disponible en: <http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/es-es/participacion/paginas/cerradas/espectro.aspx>
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2011a). *Nota de prensa: El gobierno opta por una licitación mixta (concurso-subasta) para adjudicar todo el espectro radioeléctrico disponible*. Página web del Ministerio: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Disponible en: <http://www.minetur.gob.es/es-es/gabineteprensa/notasprensa/documents/npmobileworldcongr140211.pdf>

- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2011b). *Nota de prensa: El ministerio de industria resuelve los dos concursos convocados*. (Nota de prensa No. Resultado de la subasta). Página web del Ministerio: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (España). Disponible en: <http://www.minetur.gob.es/es-es/gabineteprensa/notasprensa/documents/npadjudicacionconcursosfrecuencia100611.pdf>
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2011c). *Nota de prensa: Finaliza la segunda subasta del espectro radioeléctrico*. (Nota de prensa No. Resultado de la subasta). Página web del Ministerio: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (España). Disponible en: <http://www.minetur.gob.es/es-es/gabineteprensa/notasprensa/documents/npcierrelicitacion101111.pdf>
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2011d). *Nota informativa sobre la subasta de espectro*. (Nota de prensa No. Resultado de la subasta). Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (España). Disponible en: http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/es-ES/ResultadosSubasta/Informe_Web_29072011_fin_de_subasta.pdf
- Ministerio de Industria, Turismo y Energía. (2011). Plan avanza nuevas infraestructuras de telecomunicaciones. Disponible en: http://www.minetur.gob.es/Plan_IDI/AvanzaInfraestructurasTeleco/Descripcion/Paginas/ZonasdeActuacion.aspx promedio
- Ministerio de Industria, Turismo y Energía. (2013). PEBA. Disponible en: <http://www.bandaancha.es/Englishinformation/Paginas/PEBA.aspx>
- Montagne, R., Causse, A., Elnegaard, N., Ryan, D., Bråten, L., Le Floch, L., Sánchez, U. (2005). *001930 BROADWAN deliverable D15 broadband access roadmap based on market assessment and technical-economic analysis*. Broadwan website: Broadwan.
- Moral, A. (2011). *Aplicación del análisis tecno-económico a la gestión del espectro radioeléctrico. El caso de la reutilización de las bandas GSM en Europa*. UPM.
- Moral, A., Arambarri, J., Bravo, A., Armas, P., & Vidal, J. (2010). *Report on business Models ICT-215282 STP ROCKET, deliverable 1d5*.
- Moral, A., Vidal, J., Pérez, J., Agustín, A., Marina, N., & Høst-Madsen, A. (2011). Technoeconomic evaluation of cooperative relaying transmission techniques in OFDM cellular networks. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2011, 6.
- Morgan Stanley. (2013). Morgan stanley. Disponible en: <http://www.morganstanley.com>
- Noam, E. (2011). Let them eat cellphones: Why mobile wireless is no solution for broadband. *JOURNAL OF INFORMATION POLICY*, 1, 470-470-485.

- Nokia Siemens Networks. (2012). *Bringing mobile broadband to rural areas*. (Speeches and presentations on Government relations and policies). Disponible en: <http://www.nokiasiemensnetworks.com/about-us/government-relations-and-policies>:
- Norman, T. (2009). *The road to LTE for GSM and UMTS operators*. (Industry white paper). UK: Analysys Mason. Disponible en: http://lteportal.com/Files/MarketSpace/Download/190_AnalysysMasonRoadtoLTEWhitePaper.pdf
- OECD. (2013). OECD broadband portal. Disponible en: <http://www.oecd.org/sti/broadband/oecdbroadbandportal.htm>
- Ofcom. (2009a). *Annex 13. access to lower frequencies in more densely populated areas – site counts*. (Consultation Document No. Application of spectrum liberalisation and trading to the mobile sector A further consultation). London: Ofcom. doi:05/01/2011
- Ofcom. (2009b). *Application of spectrum liberalization and trading to the mobile sector. A further consultation*. (Consultation Document). London: Ofcom. doi:05/01/2011
- Ofcom. (2010). *Advice to government on the consumer and competition issues relating to liberalisation of 900MHz and 1800MHz spectrum for UMTS.*. Ofcom website: Ofcom.
- Ofcom. (2011a). *Consultation on assessment of future mobile competition and proposal for the award of 800 MHz and 2.6 GHz spectrum and related issues, anexes 7-13 (22nd march 2011)*. (Public Consultation). London, UK: Ofcom. Disponible en: <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/combined-award/annexes/Annexes-7-13.pdf>
- Ofcom. (2011b). *Consultation on assessment of future mobile competition and proposals for the award of 800 MHz and 2.6 GHz spectrum and related issues*. United Kingdom: Ofcom. Disponible en: <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/combined-award/summary/combined-award.pdf>
- Ofcom. (2011c). *SINR distributions. Assessment of future mobile competition and proposals for the award of 800 MHz and 2.6 GHz spectrum and related issues*. Annex 8. Ofcom. Disponible en: <http://www.ofcom.org.uk/static/combined-award/sinr.html>
- ONTSI. (2013). ONTSI. Disponible en: <http://www.ontsi.red.es/ontsi/>
- Ovando, C., & Perez, J. (2014). Providing 30Mbit/s to spain's final third. -A techno-economic assessment. *JOURNAL OF THE INSTITUTE OF TELECOMMUNICATIONS PROFESSIONALS*, 8, 29-34.
- Pérez, J., Moral, A., & Ovando, C. (2009). Claves y retos de la gestión del espectro. *Regulatory and Economic Policy in Telecommunications Editorial: Gabinete De Estudios De Economía De La Regulación (GEER) Telefónica España.*, Nº 2(Marzo 2009), 14-26. ISSN 2172-2900

- Pérez, J., & Ovando, C. (2008). El "refarming" de las bandas de servicios móviles en España. *Bit*, (170), 63-64.
- Picot, A. (2007). The role of government in broadband access. *Telecommunications Policy*, 31(10-11), 660.
- Pogorel, G. (2003). Radio spectrum policy and management: A turning point. *Communications & Strategies*, 48, 109-117.
- Pokhariyal, A., Kolding, T. E., & Mogensen, P. E. (2006). Performance of downlink frequency domain packet scheduling for the UTRAN long term evolution. *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2006 IEEE 17th International Symposium On*, 1-5.
- Popescu, R., Ghanbari, A., & Markendahl, J. (2013). Complementing macrocell deficits with either smallcells or wi-fi-willingness to choose based on the cost-capacity analysis. *ITS 2013*. Florence, Italy. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10419/88530>
- Prieger, J. (2012). The broadband digital divide and the economic benefits of mobile broadband for rural areas. *Telecommunications Policy*, 37(6), 483-502.
- Radio Spectrum Policy Group. (2005). *RADIO SPECTRUM POLICY GROUP OPINION ON wireless access policy for electronic communications services (WAPECS) (A more flexible spectrum management approach)*. RSPG05-102final. Disponible en: http://rspg.ec.europa.eu/_documents/documents/opinions/rspg05_102_op_wapecs.pdf
- Radio Spectrum Policy Group. (2009). *Radio spectrum policy group opinion on the digital dividend*. (No. RSPG09-291). Bruselas: Comisión Europea. Disponible en: http://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2013/05/rspg09_291_digitaldividend.pdf
- Ragoobar, T., Whalley, J., & Harle, D. (2011). Public and private intervention for next-generation access deployment: Possibilities for three European countries. *Telecommunications Policy*, 35(9-10), 827-841. doi:10.1016/j.telpol.2011.07.006
- Real decreto 726/2011, Sec. I. P. 51433 (2011).
- Real Wireless. (2012). *Technical analysis of the cost of extending an 800 MHz mobile broadband coverage obligation for the United Kingdom*. (Produced by Real Wireless on behalf of Ofcom No. v1.01). United Kingdom: Ofcom. Disponible en: <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/award-800mhz/annexes/real-wireless-cost-analysis.pdf>
- RSPG. (2005). *Radio spectrum policy group opinion on wireless access platforms for electronic communication services*. (Final No. RSPG05-102final). 2005: RSPG. Disponible en: <http://rspg-spectrum.eu/public-consultations>

- Rysavy Research. (2010). *Spectrum shortfall consequence*. Rysavy web page: Rysavy Research. Disponible en: http://www.rysavy.com/Articles/2010_04_Rysavy_Spectrum_Shortfall_Filing.pdf
- Scapolo, F., & Porter, A. (2008). New methodological developments in FTA. *Future-oriented technology analysis* (pp. 149-162) Springer.
- Smura, T. (2012). Techno-economic modelling of wireless network and industry architectures. Tesis doctoral. Aalto University. Finlandia. Disponible en: <http://lib.tkk.fi/Diss/2012/isbn9789526045252/>
- Song, M., Orazem, P., & Singh, R. (2006). Broadband access, telecommuting, and the urban-rural digital divide. *Iowa State Department of Economics Working Paper, 6002*
- SVP Advisors. (2011). *Marco metodológico del modelo ascendente de costes incrementales a largo plazo (bottom-up LRIC) para redes móviles*. (Modelo para Consulta Pública). Disponible en: http://www.cmt.es/consultas-publicas?p_p_id=101_INSTANCE_IF6E&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&_101_INSTANCE_IF6E_struts_action=%2fasset_publisher%2fview_content&_101_INSTANCE_IF6E_urlTitle=consulta_publica: CMT.
- Technology Futures Analysis Methods Working Group. (2004). Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods. *Technological Forecasting & Social Change, 71*, 287-303.
- Telefónica. (2010). *Oferta de referencia de líneas alquiladas de telefónica de españa S.A.U. para operadores de redes públicas de comunicaciones electrónicas (ORLA)*. (ORLA No. Anexo EXP. 2009/2042). Disponible en: http://www.cmt.es/c/document_library/get_file?uuid=b8fe2e9a-de81-40e1-950a-5c5b16e2b4fd&groupId=10138: CMT.
- Tselekounis, M., Varoutas, D., & Martakos, D. (2014). A CDS approach to induce facilities-based competition over NGA networks. *Telecommunications Policy, 38*(3), 311-331. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.telpol.2013.09.007>
- Van Dijk Management Consultants. (2014). *Broadband Internet Access Cost (BIAC) 2013. Prices as at 1-15 February 2013. Final report*. DG Communications Networks, Content & Technology.: A study prepared for the European Commission.
- Ventura, M. (2013). *Análisis tecnoeconómico de la agregación de portadoras en LTE-advanced tras la reorganización del espectro- proyecto de fin de carrera*. (E.T.S.I. de Telecomunicación, Universidad Politécnica de Madrid).

- Vergara, A. (2011). *Aplicación del análisis tecno-económico al despliegue de redes de acceso de próxima generación.el caso de la competencia entre plataformas, la regulación y las políticas públicas en españa*. (ETSI Telecomunicación, UPM).
- Vergara, A., Moral, A., & Pérez, J. (2010). COSTA: A model to analyze next generation broadband access platform competition. *Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium (NETWORKS), 2010 14th International*, 1-6.
- Werding, J., Markendahl, J., Mäkitalo, Ö, & Mölleryd, B. (2010). Revenue requirements for mobile operators with ultra-high mobile broadband data traffic growth. 21st European Regional ITS Conference, Copenhagen 2010. Disponible en: <http://EconPapers.repec.org/RePEc:zbw:itse10:37>
- Yardley, M., Obradors, J., Bates, P., Daly, A., & Vroobel, M. (2012). *Policy orientations to reach European Digital Agenda targets*. (Expert report for Telefónica and Telecom Italia No. 33034-204). London: Analysys Mason.
- Yoo, C. (2014). *U.S. vs. european broadband deployment: What do the data say?*. USA: University of Pennsylvania Law School. Inst for Law & Econ Research Paper No. 14-35. Disponible en: <http://ssrn.com/abstract=2510854>
- Yoonaidharma, S., & Bunaramrueang, P. (2014). Moving forward with future technologies: Opening a platform for all. *Telecommunications Policy*, 38(8–9), 659-661. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.telpol.2014.07.003>
- Zander, J. (2013). Riding the data tsunami in the cloud: Myths and challenges in future wireless access. *Communications Magazine, IEEE*, 51(3), 145-151.