

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE
TELECOMUNICACIÓN
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



Trabajo Fin de Grado

**Análisis de los sistemas y del mercado de las
telecomunicaciones**



AUTOR: Juan Luis Lorenzo Gomis
DIRECTOR(ES): Juan Pascual Garcia
Julio 2014

Índice

1. Introducción
 - 1.1. Antecedentes
2. Sistemas Inalámbricos
 - 2.1. Segunda Generación (2G)
 - 2.1.1. Bandas
 - 2.1.2. Acceso al medio y duplexado
 - 2.1.3. Estructura
 - 2.1.4. Planificación
 - 2.2. Tercera Generación (3G)
 - 2.2.1. Bandas
 - 2.2.2. Acceso al medio y duplexado
 - 2.2.3. Estructura
 - 2.2.4. Planificación
 - 2.3. Cuarta Generación (4G)
 - 2.3.1. Bandas
 - 2.3.2. Acceso al medio y duplexado
 - 2.3.3. Estructura
 - 2.3.4. Planificación
 - 2.4. Legislación y normativa
3. WiMAX
 - 3.1. Introducción
 - 3.2. Evolución de los estándares WiMAX
 - 3.3. Características de WiMAX
 - 3.4. WiMAX fijo y WiMAX móvil
 - 3.4.1. WiMAX fijo
 - 3.4.2. WiMAX móvil
 - 3.5. Acceso al medio
 - 3.6. Arquitectura de red WiMAX
4. Redes de comunicaciones fijas
 - 4.1. Introducción
 - 4.2. Redes de Banda Ancha
 - 4.2.1. Modo de Transferencia
 - 4.2.2. RDSI

- 4.2.2.1. Introducción
- 4.2.2.2. Arquitectura RDSI
- 4.2.3. Las tecnologías de acceso xDSL
 - 4.2.3.1. El ADSL
 - 4.2.3.2. Arquitectura de la ADSL
 - 4.2.3.3. Modulación
 - 4.2.3.4. Evolución
- 4.2.4. Redes Ópticas Pasivas ATM
 - 4.2.4.1. Acceso por Fibra Óptica
 - 4.2.4.2. Arquitectura de una APON
- 4.3 Características comunes para las redes de área local
 - 4.3.1. Estándar Ethernet
 - 4.3.2. Versiones del Estándar
 - 4.3.3. Acceso al medio
- 5. Mercado
 - 5.1. Tasa de penetración
 - 5.1.1. Comunicaciones móviles
 - 5.1.2. Internet
 - 5.2. Mercado empresarial en la actualidad
 - 5.2.1. Comunicaciones móviles
 - 5.2.2. Banda fija
 - 5.3. Novedades
- 6. Bibliografía

1. Introducción

El crecimiento y desarrollo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) y de las infraestructuras en que se sustentan, ha estado acompañado, a su vez, por un aumento de sus aplicaciones y de la difusión de su uso en la sociedad. Aunque dicho crecimiento ha sufrido una pequeña regresión debido a la crisis económica que azota gran parte del mundo, no cabe duda de que el rápido desarrollo de las TIC y su uso, está teniendo un importante impacto que alcanza todos los ámbitos de la economía y la sociedad.

El sector de las telecomunicaciones ha experimentado un importante cambio estructural durante los últimos años, tanto en los aspectos físicos de la red como en los aspectos regulatorios de mercado. La razón, sin duda, está en la revolución tecnológica que el mundo está experimentando, además de la liberación y globalización de los mercados.

A principios del siglo XX en España, el servicio telefónico era proporcionado tanto el Ministerio de la Gobernación y Telégrafos, como las compañías privadas. Los resultados obtenidos, no fueron los esperados y marcaron en 1924 el comienzo de una nueva etapa con la creación del primer monopolio de las telecomunicaciones. Esta etapa duró hasta la apertura definitiva a la competencia que tuvo lugar en el sector a finales de los años 90. [1]

Las redes de telecomunicaciones en España han sufrido una evolución como se muestra en la figura:

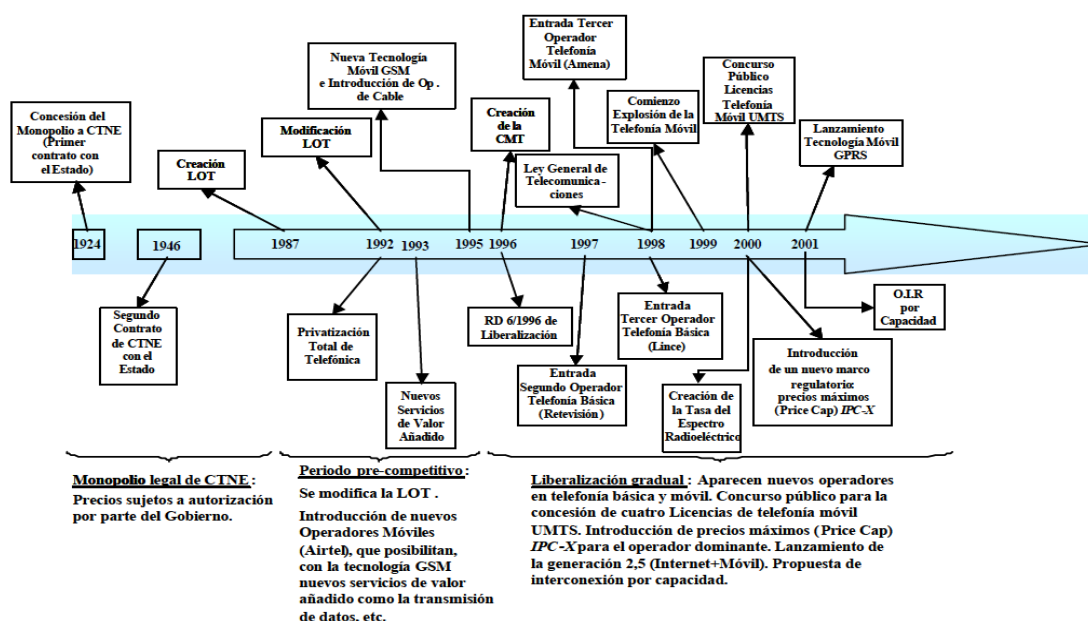


Figura 1.1 Evolución de las redes de telecomunicaciones

Al ver dicha imagen, se puede distinguir las diferentes fases del sector de las telecomunicaciones, comenzando con un monopolio (1924-1986), seguido de una fase precompetitiva (1987-1994) y finalizando en una liberación gradual (1995-2001).

Durante el monopolio, el Estado español decidió otorgar a la Compañía Telefónica Nacional de España (CTNE) la concesión de una licencia de servicios de telecomunicaciones en todo el territorio nacional. Este contrato reconocía que dicha compañía podía proveer los servicios de telefonía en condiciones de monopolio. Al mismo tiempo, se le reconocía capacidad normativa y reglamentaria, para que la compañía no sólo operase sino que a su vez realizase funciones regulatorias.

A finales de 1985 y a medida que la economía se fue desarrollando (globalización de los mercados), aparecieron mejoras tecnológicas que permitieron aumentar el número de líneas por habitante y al mismo tiempo dar nuevos servicios. En 1987 se publicó la Ley de Ordenación de las Telecomunicaciones (LOT), y posteriormente, en 1992 se produjo la privatización total de Telefónica. [2]

Finalmente, en 1995 la ley de telecomunicaciones por cable consideró estos servicios como servicios públicos que requieren disponer de una concesión administrativa para poder ser provistos por las operadoras. En ese mismo año la compañía Airtel comienza a dar servicio de telefonía móvil digital (GSM) en régimen de competencia y concediéndose más licencias dentro del país. Debido al monopolio anterior de Telefónica se creó un órgano regulador (CMT) para la fijación y control de precios. Durante todo este proceso, las líneas de telecomunicaciones y sus estructuras han progresado a lo largo del tiempo.

Las redes de comunicaciones móviles han padecido un cambio sustancial durante los últimos años. Los primeros sistemas poseían características muy distintas de los sistemas que hoy en día se utilizan ya que actualmente se ofrecen servicios de datos de alta velocidad. Tal y como se muestra la siguiente figura, la red GSM se ha ido desarrollando sistemas más avanzados, como UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*).

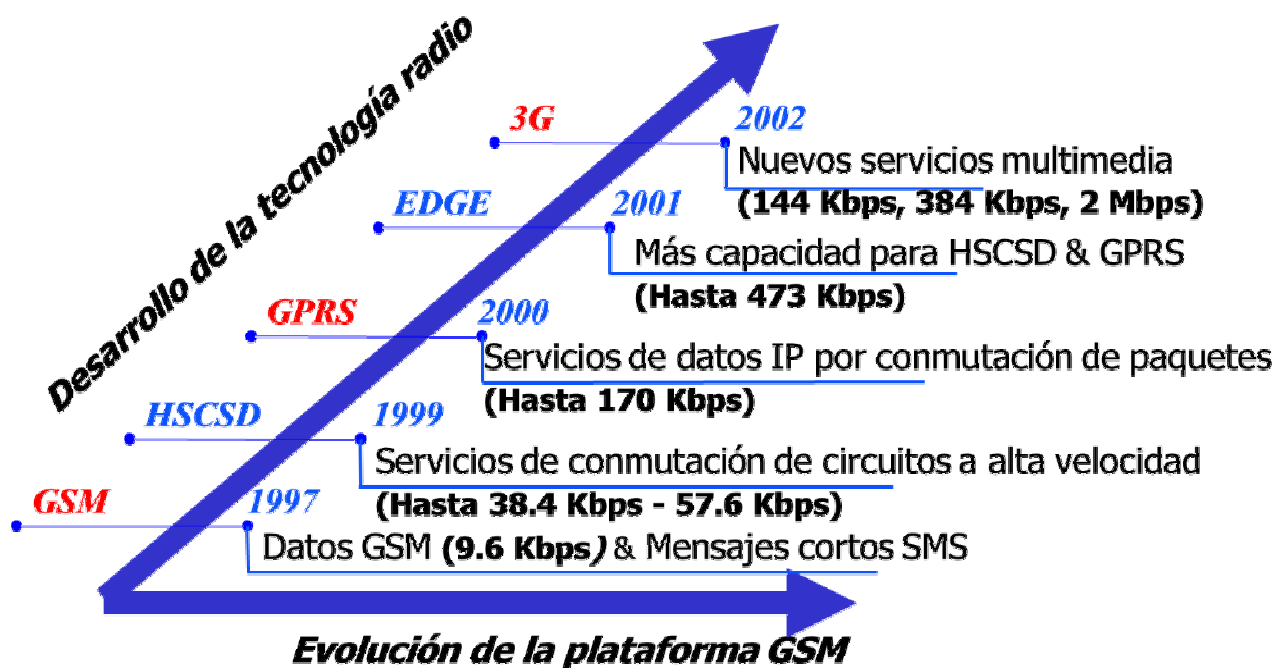


Figura 1.2. Desarrollo de la tecnología radio

Otro factor a tener en cuenta, ha sido el crecimiento de las redes fijas digitales debido a la expansión de Internet y todas las aplicaciones desarrolladas para éste. En España, se comenzó a dar servicio con la red digital de servicios integrados (RDSI), poco después evolucionó a la línea de abonado digital asimétrica (ADSL), y con la entrada de nuevas compañías se introdujo las redes de cable y fibra óptica.

Cada vez más, los sistemas de telecomunicación contribuyen a la creación de nuevas tecnologías, y a su vez causa un impacto en su mercado (bienes y servicios), mientras que su actividad dentro del ámbito de las comunicaciones se intensifica y modifica cada vez más el comportamiento social y económico. Por tanto, es importante disponer de instrumentos analíticos que permitan comprender el funcionamiento, tendencias e implicaciones de la Sociedad de la información (SI).

La demanda de información estadística sobre la Sociedad de la Información se ha incrementado notablemente en estos últimos años, impulsando la creación de una nueva área estadística que estudia tanto el desarrollo como la repercusión del uso de las TIC en la economía y la sociedad. Más concretamente, las estadísticas sobre la Sociedad de la Información abarcan temas relacionados con la producción, la preparación para el uso y el impacto de las TIC y de los servicios de contenido digital.

Desde el punto de vista de la oferta TIC, el presente Proyecto fin de Grado pretende ofrecer información relevante sobre el comúnmente denominado Sector TIC, es decir, sobre los sistemas de comunicaciones inalámbricos y cableados (alámbricos) de servicios cuya actividad principal está vinculada con el desarrollo, comercialización y uso intensivo de las tecnologías de la información. Este sector además se ha caracterizado por altas tasas de innovación, progreso tecnológico y productividad, por lo que tiene un considerable impacto en la actividad económica.

A efectos estadísticos, la definición de sector TIC se realiza mediante una enumeración exhaustiva de las ramas de actividad correspondientes a los distintos sistemas de comunicaciones TIC (enfoque por sectores) y de los productos TIC (enfoque por productos).

Esta operación estadística describe el sector TIC teniendo en cuenta resultados de demografía, actividad económica y conocimiento tecnológico de la SI (Sociedad de la Información), así como resultados de utilización y comercio electrónico.

Para determinar la lista de actividades y de productos de sector TIC, se ha partido de los trabajos metodológicos llevados a cabo por los principales organismos internacionales (OCDE, EUROSTAT) y nacionales como el Instituto Nacional de Estadística (INE), que vienen realizando un valioso esfuerzo con el fin de consensuar conceptos y armonizar metodologías a nivel internacional.

1.1 Antecedentes

El sector de las telecomunicaciones está regido por diferentes organismos, ya sea para la definición de estándares, bandas de utilización, etc. La organización con más peso dentro del panorama internacional es la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), que define: *“Telecomunicación es toda transmisión, emisión o recepción, de signos, señales, escritos, imágenes, sonidos o informaciones de cualquier naturaleza por hilo, radioelectricidad, medios ópticos u otros sistemas electromagnéticos”* [3]. Asimismo, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) desempeña un papel fundamental en el estudio del Sector TIC en el escenario internacional.

La definición del Sector TIC es uno de los principales trabajos que tiene encomendados el

Working Party on Indicators for the Information Society (WPIIS), constituido formalmente en abril de 1999. Este grupo tomó como base los primeros trabajos al respecto, presentados por Canadá (1997) y Australia (1998) en el seno del *OCDE Ad Hoc Meeting on Indicators for the Information Society*, foro precursor del WPIIS. En estos trabajos ya se trataban temas tan relevantes como la clasificación de actividades económicas más adecuada para definir correctamente el Sector TIC o el posible solapamiento entre las empresas proveedoras de servicios TIC y las productoras de contenidos digitales.

Sobre la base de estos primeros trabajos y posteriores contribuciones a los mismos llevadas a cabo por la *Task Force on Information Society Statistics* de la Comisión Europea, y algunos países nórdicos, el WPIIS decidió elaborar una definición formal del Sector TIC en dos fases. La primera se centraría en la definición de las industrias TIC y la segunda en confeccionar un listado exhaustivo de productos TIC.

En cuanto a la definición de industrias TIC, se acordó abordar en primer lugar la definición del *Sector TIC restringido*, centrándose en las actividades encaminadas a facilitar la transmisión, recepción y exposición de la información, y dejar para una fase posterior la definición del *Sector TIC ampliado* que incluiría, además de lo anterior, las industrias directamente relacionadas con la producción de contenidos digitales. Ambos tipos de industrias conformarían la denominada *Economía de la Información*.

2. Sistemas Inalámbricos

Uno de los sistemas de más éxito dentro de las comunicaciones por radio es la telefonía móvil, que consiste en ofrecer un servicio similar al de telefonía fija pero incluyendo movilidad, de manera tal que se puedan realizar y recibir llamadas dentro del área de cobertura del sistema. Dentro de la telefonía móvil, tanto pública como privada, hay que distinguir entre los sistemas celulares y los no celulares; en los primeros el área de cobertura del sistema se divide en células que permiten el aumento del número de usuarios mediante la reutilización de los recursos radio. También hay que destacar que unas tecnologías de radio son más apropiadas que otras, como se muestra en la Figura 2.1, para determinar su planificación y distribución y su ámbito de aplicación, en función de la velocidad que aportan y el área o distancia que cubren.

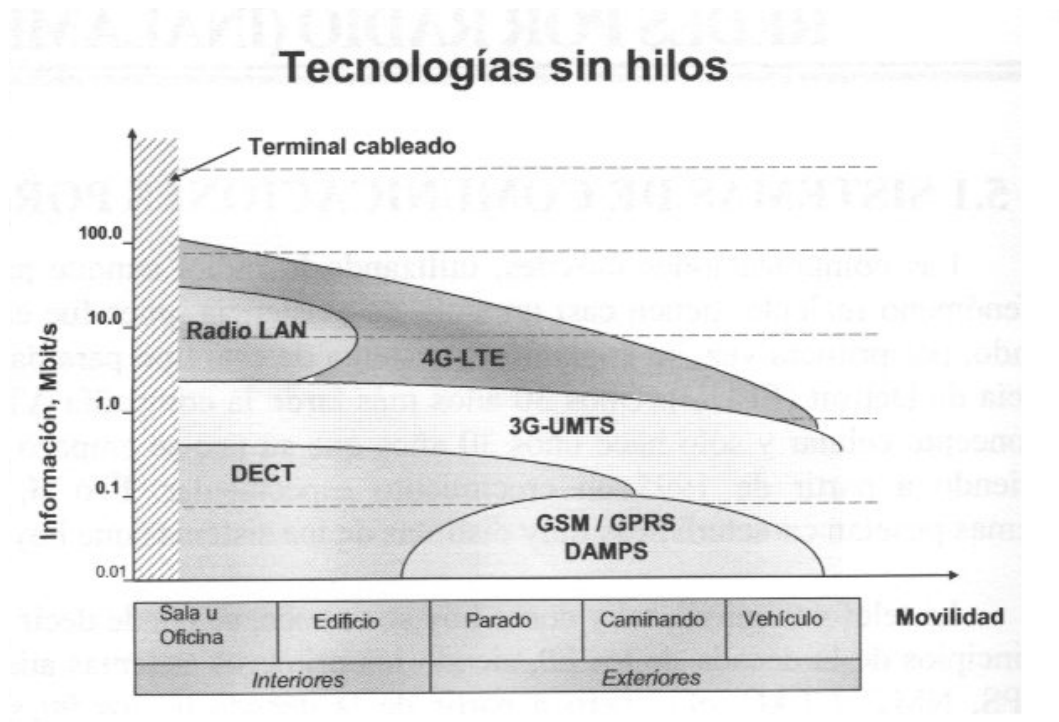


Figura 2.1 Utilización de las tecnologías de radio

Se puede decir que la telefonía móvil, tal y como hoy se conoce, comienza a principios de la década de los años 80, siendo los primeros sistemas de tipo analógico (1G): AMPS, NMT, TACS, ETAC, etc. Pero a partir de la década de los 90 se implanta la tecnología digital (2G, 3G y 4G), siendo GSM el estándar más representativo de la segunda generación, que ha evolucionado a sistemas más avanzados, como son UMTS (3G). Actualmente la evolución continúa con la implantación del sistema LTE (4G).

Otro fenómeno que también tiene lugar es el uso de las comunicaciones de datos; en un principio se utilizaban líneas cableadas, pero con la aparición de redes inalámbricas a mediados de la década de los 90 se empezaron a emplear también estos sistemas para transmitir datos. De esta forma han surgido numerosos sistemas inalámbricos para soportar las comunicaciones de datos, como son las redes Wi-Fi y los sistemas WiMAX. Además, los sistemas de comunicaciones móviles también incorporaron la capacidad de transmisión de datos.

En este apartado veremos las características de las comunicaciones móviles, tanto para 2G y 3G como para 4G, que pertenecen a los sistemas inalámbricos. Por otro lado, también se verán los sistemas inalámbricos orientados a la transmisión de datos tales como WiMAX. Las características consistirán en una serie de directrices basadas en las bandas de frecuencia, acceso al medio, planificación, legislación y normativa, y la estructura, todo ello regularizado, legalizado y normalizado por organismos tales como UIT, CMT, SETSI, etc... ya sea para un ámbito internacional o nacional y de carácter económico o reglamentario.

Las comunicaciones móviles, en el cual se incluye la radio, aunque pueden parecer un fenómeno reciente, tienen casi un siglo de existencia, pues fue en el año 1928 cuando, por primera vez, se implantó un sistema de este tipo para dar servicio a la policía de Detroit (EE.UU.). Unos 30 años más tarde la compañía AT&T introdujo el concepto celular y sólo hace unos 30 años que su uso se empezó a generalizar, siguiendo a partir de 1995 un crecimiento espectacular. Los primeros sistemas poseían características muy distintas de los sistemas que se usan hoy. [4]

El método tradicional de comunicación telefónica se basaba en el empleo de la red telefónica conmutada y el uso de teléfonos fijos. Sin embargo, como se ha comentado, otras alternativas han cobrado mucha fuerza llegando a desbancar a la telefonía fija. Así, tenemos los sistemas de radio profesional, la radiomensajería, y los sistemas celulares e inalámbricos, todos ellos haciendo uso de la tecnología radio, como los más importantes. En este apartado nos centraremos en las comunicaciones móviles.

2.1. Segunda Generación (2G)

Dentro de la generación 2G, se encuentra la red GSM (*Global System for Mobile Communications*). Su nacimiento se debe a que los europeos decidieron crear un estándar común, digital y de uso en toda Europa.

El GSM facilita la provisión de una serie de servicios añadidos a los de la telefonía fija, tales como el envío de datos a baja velocidad, sin necesidad de módem externo, y el envío de fax grupo a 3 gracias a la digitalización de las transmisiones de radio.

También posibilita la creación de redes privadas virtuales, es compatible con la RDSI, permite la identificación de un abonado bajo dos números distintos, ofrece un servicio de mensajes cortos (SMS) de hasta 160 caracteres alfanuméricos y toda una completa gama de servicios suplementarios.

2.1.1. Bandas

GSM utiliza el espectro de una manera mucho más eficiente que los sistemas analógicos, con células más pequeñas y presenta un menor consumo de energía lo que permite terminales más pequeños.

En todo sistema de comunicaciones móviles hay que especificar al principio las bandas de frecuencia que ocupa. Este hecho se debe en cierta medida a restricciones regulatorias y condiciona el desarrollo del sistema. Al comienzo, GSM ocupó parte del espectro situado en torno a los 900 MHz, contando con dos enlaces, uno ascendente y otro descendente. Inicialmente, la banda para el enlace ascendente comprendía 25 MHz, desde 890 MHz a 915 MHz, y para el enlace descendente otros 25 MHz desde 935 MHz hasta 960 MHz.

Debido al gran éxito de GSM, la banda de los 900 MHz se saturó, por lo que se tuvo que ampliar dicha banda adquiriendo nuevas bandas para dar servicio a los nuevos usuarios. Para ello se añadieron 10 MHz a cada una de las bandas iniciales, dando como resultado una banda de 880-890 MHz y la otra de 925-935 MHz, para los enlaces ascendente y descendente respectivamente (ver Tabla 1).

Posteriormente, se añadieron dos bandas más de alta frecuencia. Estas bandas se situaron en el espectro de los 1800-1900 MHz. La primera banda se centra en torno a los 1800 MHz, en esta banda se reservaron 75 MHz tanto para el enlace ascendente (1710-1785 MHz) como para el descendente (1805-1880 MHz). La segunda banda se sitúa en los 1900 MHz y posee 60 MHz para el enlace ascendente en el rango 1850-1910 MHz y otros 60 MHz en el rango 1930-1990 MHz para

el enlace descendente como se observa en la Tabla 2.

Espectro GSM

Banda UN-41 Banda de 900 MHz				
Bloque	Enlace Ascendente	Enlace Descendente	Operador	Operador original
2x10 MHz	880,1-890,1 MHz	925,1-935,1 MHz	Orange	Amena
2x10 MHz	890,1-900,1 MHz	935,1-945,1 MHz	Movistar	Movistar
2x4,8MHz	900,1-904,9 MHz	945,1-949,9 MHz	Movistar	Movistar
2x10 MHz	904,9-914,9 MHz	949,9-959,9 MHz	Vodafone	Airtel

Tabla 1. Espectro asignado a los diferentes operadores de GSM en España en la banda de 900 MHz.

Banda UN-140 Banda de 1800 MHz				
Bloque	Enlace Ascendente	Enlace Descendente	Operador	Operador original
2x20 MHz	1710,1-1730,1 MHz	1805,1-1825,1 MHz	Movistar	Movistar
2x20 MHz	1730,1-1750,1 MHz	1825,1-1845,1 MHz	Vodafone	Vodafone
2x5 MHz	1750,1-1755,1 MHz	1845,1-1850,1 MHz	Yoigo	Xfera
2x5 MHz	1755,1-1760,1 MHz	1850,1-1855,1 MHz	Yoigo	Xfera
2x4,8 MHz	1760,1-1764,1 MHz	1855,1-1859,9 MHz	Yoigo	Xfera
2x20 MHz	1764,9-1784,9 MHz	1859,9-1879,9 MHz	Orange	Orange

Tabla 2. Espectro asignado a los diferentes operadores GSM en España en la banda de los 1800 MHz.

2.1.2. Acceso al medio y duplexado

En las telecomunicaciones los recursos tales como el ancho de banda, el tiempo reservado o los códigos son escasos, por lo tanto los medios son limitados. Las técnicas de acceso al medio permiten distribuir estos recursos y hacer frente a la carencia e insuficiencia de éstos. Por consiguiente, el objetivo de estas técnicas es doble: obtener la máxima optimización en el uso de los servicios con cierta calidad y además permitir que un usuario se diferencie de otro.

En el caso de GSM, el acceso es un acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA), es

decir, con esta técnica se consigue que el tiempo sea dividido en intervalos. Cada uno de los intervalos se asigna a un usuario. El conjunto total de intervalos se irá sucediendo en el tiempo de modo periódico, de modo que se forma una estructura temporal.

En un sistema TDMA, debido a que sólo puede transmitir y recibir información cada cierto tiempo, el usuario deberá almacenar la información que produzca hasta que llegue el intervalo asignado. Por lo tanto, los sistemas TDMA transmiten y reciben mediante un procedimiento de almacenamiento y ráfaga. El almacenamiento se realiza por bits, con lo que TDMA utiliza modulaciones digitales y no analógicas.

Sin embargo, la técnica de duplexado empleada es la duplexación por división en frecuencia (FDD). El duplexado por división de frecuencia (*Frequency-division duplexing* FDD) significa que el transmisor y el receptor operan a diferentes frecuencias portadoras. Hay que tener en cuenta que los enlaces ascendente y descendente están separados por el complemento de frecuencia. La estación base debe ser capaz de enviar y recibir al mismo tiempo, este modo de operación se denomina modo dúplex o modo complemento. El duplexado por división de frecuencia puede ser eficiente en el caso de tráfico simétrico.

2.1.3 Estructura

Todo sistema de red conlleva una estructura, y en este caso concreto, requiere de varios elementos tales como estaciones móviles, estaciones base, estaciones de control y centros de conmutación. Si miramos la Figura 2.2, se observa con bastante claridad la arquitectura de red móvil.

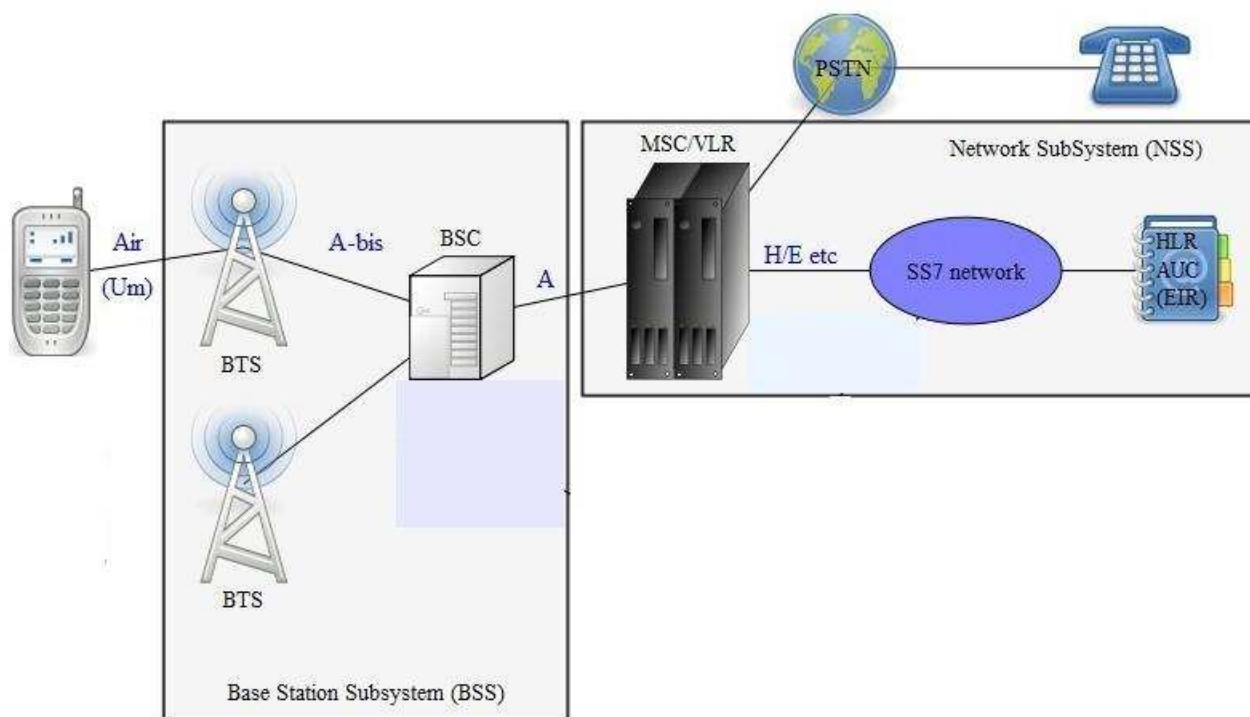


Figura 2.2. Arquitectura de red móvil GSM

Las estaciones móviles (MS), son los equipos terminales (teléfonos móviles) que suministran el servicio concreto a los usuarios en el lugar, instante y formato (voz, datos e imágenes) adecuados. Cada estación móvil puede actuar en modo emisor, receptor o ambos.

Las estaciones base (BTS), se encargan de mantener el enlace radioeléctrico entre la estación móvil y la estación de control de estaciones base (BSC) durante la comunicación. Una estación base atiende a una o varias estaciones móviles. Según el número de éstas y el tipo de servicio, se calcula el número adecuado de estaciones base para proporcionar una cobertura total de servicio en el área geográfica a cubrir. La reducción de la potencia en las estaciones móviles, además de la distancia existente entre células, permite disminuir las interferencias entre las MS asignadas a canales idénticos pertenecientes a células diferentes, así como el tamaño y peso de las baterías. Esto redundará en una mejor calidad del servicio, comodidad de uso y autonomía de la estación móvil.

Las estaciones de control (BSC), realizan parte de las funciones de gestión y mantenimiento del servicio. Una tarea específica consiste en realizar parte del control y de señalización de las BTS que controla. Por ejemplo, una BSC se puede encargar de la función de conmutación entre estaciones bases (*handover*) vecinas, siempre y cuando ambas estén bajo su supervisión. Esta

función permite cambiar el canal ocupado por la estación móvil en la estación base anterior por otro canal libre de la estación base próxima, sin interrumpir la comunicación.

Los centros de conmutación (MSC), son similares a las centrales de la red fija. Permiten la conexión entre otras redes de comunicaciones, así como la conexión entre estaciones móviles localizadas en distintas áreas geográficas de la red móvil. Estos centros se comportan como los centros de conmutación de cualquier otro tipo de red, aun cuando están adaptados a la estructura de la red móvil. Asociados a estas centrales se encuentran los registros de suscriptores, locales y visitantes, que son los denominados HLR y VLR, respectivamente. El HLR almacena la identidad y localización de todos los usuarios abonados a la red GSM, y el VLR se encarga de guardar los datos temporales que genera.

2.1.4 Planificación

Un sistema celular se crea dividiendo el territorio al que se pretende dar servicio en células (celdas) de mayor o menor tamaño (Figura 2.3), cada una de las cuáles es atendida por una estación base, que ofrece cobertura a su célula específica, gracias al alcance limitado de la propagación de las ondas de radio a frecuencia elevadas.

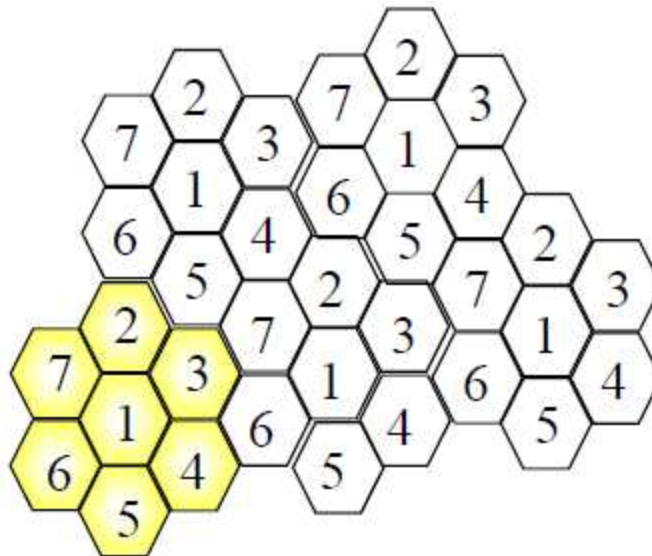


Figura 2.3. División en celdas

Así el ancho de banda utilizado en una célula puede volver a ser reutilizado en una nueva célula, siempre teniendo cuidado de evitar las interferencias entre células próximas. En efecto,

superada la zona de alcance efectivo de una estación base ya no es posible establecer una comunicación útil, pero, en cambio, sí se puede producir una interferencia conocida como la interferencia cocanal con otras celdas. Por esta razón, dos células vecinas no pueden compartir el mismo conjunto de frecuencias, sólo podrá ser reutilizado en celdas que se encuentran fuera de estas zonas de interferencias. Para limitar las interferencias el ancho de banda disponible se distribuye en un conjunto de células que se denomina grupo o *cluster*. Por ejemplo, en la figura 2.3 cada grupo consta de 7 células y el área de cobertura del sistema se ha ocupado con 5 grupos o *clusters*. El grupo de frecuencias asignado a una célula constituye el conjunto de canales de comunicación que pueden ser ocupados por los usuarios que demanden el servicio, dentro de su área de cobertura geográfica. De esta manera se puede aumentar considerablemente el número de usuarios al no requerirse una frecuencia exclusiva para cada uno de ellos. Cuanto más pequeñas sean las células mayor será el número de canales por km² que soporte el sistema. Al poder reasignar más veces los conjuntos de frecuencias diferentes para células distintas, aumentará mucho la capacidad del sistema, factor muy importante para un servicio público.

La distancia de cobertura, para las bandas empleadas en GSM, en terrenos no muy accidentados, coincide sensiblemente con el alcance óptico desde la antena transmisora, por lo que es conveniente, si se desea una gran cobertura, instalar ésta en un punto elevado. Una vez que se sobrepasa el límite de visión óptica aún es posible establecer la comunicación, si la potencia del emisor es elevada. La tecnología celular requiere un gran número de estaciones base para ciudades de cualquier tamaño. Una ciudad típica grande puede tener cientos de estaciones base, pero debido a que la cantidad de usuarios es muy elevada, los costes por usuario se mantienen reducidos.

2.2. Tercera Generación (3G)

La movilidad generalizada, asociada a una amplia oferta de servicios de voz y datos presenta una serie de beneficios para los usuarios, pero como contrapartida tiene algunos problemas. Entre otros podemos citar la necesidad de una tecnología más avanzada, la interconexión entre todas las redes por las que el usuario se mueve y unos sistemas de señalización muy potentes para garantizar la rapidez en el establecimiento de la comunicación, su seguridad y permitir un importante flujo de datos al utilizarse aplicaciones multimedia que demandan un gran ancho de banda. Si bien GSM permite la comunicación de datos, la limitación de velocidad a 9'6 kbits/s era un serio inconveniente para muchas aplicaciones actuales, por lo que se desarrollaron otros estándares que aumentaron la capacidad de transmisión de datos, fase previa a la introducción de los sistemas de tercera

generación (3G), conocidos en Europa como UMTS.

El sistema UMTS se ha diseñado, básicamente en Europa, como un miembro de la familia global IMT-2000 de la UIT. La estandarización de UMTS se llevó a cabo por el ETSI (Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicación) en estrecha colaboración con otros organismos como es la TIA (Asociación de Industrias de Telecomunicación) en EE.UU. y la ARIB (Asociación de Empresas de Radiodifusión) en Japón, que también trabajaron para definir los estándares.

En España, en marzo de 2000 se adjudicaron cuatro nuevas licencias UMTS por el Ministerio de Fomento (ahora MITyC), y la fecha fijada, tras varios retrasos, para tener el servicio operativo fue agosto de 2004, similar a la del resto de países europeos.

2.2.1 Bandas

Las bandas de funcionamiento de UMTS se sitúan alrededor de los 2 GHz, UMTS realiza transmisiones en un ancho de banda de 5 MHz de ancho de banda.

Existen dos maneras de usar el espectro para UMTS, las bandas pareadas y las no pareadas. Este uso está relacionado con el duplexado, el primero con FDD y el segundo con TDD, ambos modos de duplexado utilizan 5 MHz de ancho de banda. En cuanto a las bandas pareadas, la siguiente tabla muestra las bandas de operación alrededor del mundo.

Banda de operación	Frecuencias de enlace ascendente	Frecuencias de enlace descendente
I	1920 – 1980 MHz	2110 – 2170 MHz
II	1850 – 1910 MHz	1930 – 1990 MHz
III	1710 – 1785 MHz	1805 – 1880 MHz

Tabla 3. Espectro asignado a UMTS en España en las bandas pareadas

En España, la componente FDD (banda pareada) se fija en la banda de operación I: 1920 – 1980 MHz y 2110 – 2170 MHz para los enlaces ascendente y descendente, respectivamente. Con esto se obtienen dos bandas de 60 MHz, o lo que es lo mismo doce portadoras de 5 MHz con duplexado FDD.

En la siguiente tabla se muestra las bandas no pareadas para todo el mundo.

Banda de operación	Frecuencias de enlace ascendente	Frecuencias de enlace descendente
I	1900 – 1920 MHz	2010 – 2025 MHz
II	1850 – 1910 MHz	1930 – 1990 MHz
III	1910 – 1930 MHz	1910 – 1930 MHz

Tabla 4. Espectro asignado a UMTS en España en las bandas no pareadas

También se utilizó en España la banda de operación I: 2010 – 2025 MHz y 1900 – 1920 MHz para los enlaces descendentes y ascendentes, respectivamente. Si el ancho de banda es de 35 MHz en total, se obtienen siete portadoras con TDD.

2.2.2. Acceso al medio y duplexación

Respecto a la técnica de acceso al medio, UMTS utiliza la multiplexación por división de código cuyas siglas en inglés son CDMA. Esta técnica emplea una tecnología de espectro expandido y un esquema especial de codificación, por el que a cada transmisor se le asigna un código único, escogido de forma que sea ortogonal respecto al del resto; el receptor capta las señales emitidas por todos los transmisores al mismo tiempo, pero gracias al esquema de codificación (que emplea códigos ortogonales entre sí) puede seleccionar la señal de interés si conoce el código empleado.

En CDMA, la señal se emite con un ancho de banda mucho mayor que el precisado por los datos a transmitir; por este motivo, la división por código es una técnica de acceso múltiple de espectro expandido. A los datos a transmitir simplemente se les aplica la función lógica XOR o multiplicación en el dominio del tiempo con el código de transmisión (ver Figura 2.4), que es único para ese usuario y se emite con un ancho de banda significativamente mayor que los datos. En particular, en el enlace descendente se realiza la multiplicación por la secuencia correspondiente mediante dos pasos: primero se realiza la multiplicación por una secuencia llamada canalización, por el cual se ensancha la banda y que se usa para separar las transmisiones entre usuarios de una misma célula. A continuación, se efectúa una segunda multiplicación por una secuencia aleatoria, cuya función principal es separar las transmisiones entre células.

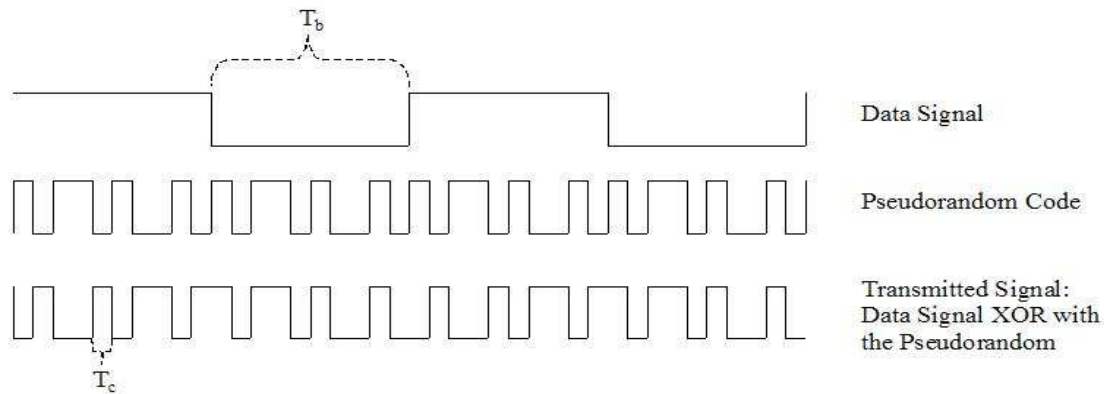


Figura 2.4 Generación de la señal CDMA.

A la señal de datos, con una duración de pulso T_b , se le aplica la función XOR con el código de transmisión, que tiene una duración de pulso T_c . En general, el ancho de banda requerido por una señal es $1/T$, donde T es el tiempo empleado en la transmisión de un bit. Por tanto, el ancho de banda de los datos transmitidos es $1/T_b$ y el de la señal de espectro expandido es $1/T_c$. Dado que T_c es mucho menor que T_b , el ancho de banda de la señal emitida es mucho mayor que el de la señal original, y de ahí el nombre de "espectro expandido". [5]

Cada usuario de un sistema CDMA emplea un código de transmisión distinto (y único) para modular su señal. La selección del código a emplear para la modulación es vital para el buen funcionamiento de los sistemas CDMA, porque de él depende la selección de la señal de interés. Esto es debido a que dicha selección se hace por correlación cruzada de la señal captada con el código del usuario de interés; además la elección del código contribuye al rechazo del resto de señales y de las interferencias *multi-path o multicamino* (producidas por las diferentes versiones recibidas de la señal transmitida).

El mejor caso se presenta cuando existe una buena separación entre la señal del usuario deseado (la señal de interés) y las del resto; si la señal captada es la buscada, el resultado de la correlación será muy alto, y el sistema podrá extraer la señal. En cambio, si la señal recibida no es la de interés, como el código empleado por cada usuario es distinto, la correlación debería ser muy pequeña, idealmente tendiendo a cero. Y además, si la correlación se produce con cualquier retardo temporal distinto de cero, la correlación también debería tender a cero.

Ya se ha mencionado en el apartado anterior que el sistema UMTS emplea la duplexación

por división de frecuencia (FDD) y la duplexación por división de tiempo (TDD).

La duplexación por división de tiempo tiene una gran ventaja en los casos en los que hay asimetría entre la velocidad del enlace ascendente y el enlace descendente. Según aumenta la cantidad de datos en el enlace ascendente, se puede asignar más capacidad de comunicación a este enlace, y si por el contrario el tráfico disminuye, se puede reducir su capacidad. Lo mismo puede hacerse con el enlace descendente. Mientras que la duplexación por división de frecuencia es utilizada para casos con el tráfico simétrico, es decir, tanto el canal ascendente como el descendente tienen la misma cantidad de datos.

2.2.3. Estructura

La arquitectura general del sistema UMTS consta básicamente de tres bloques: la red troncal (*Core Network*), la red UTRA (*UTRAN*) y la estación móvil o equipo de usuario (*User Equipment*), tal y como se puede observar en la figura siguiente.

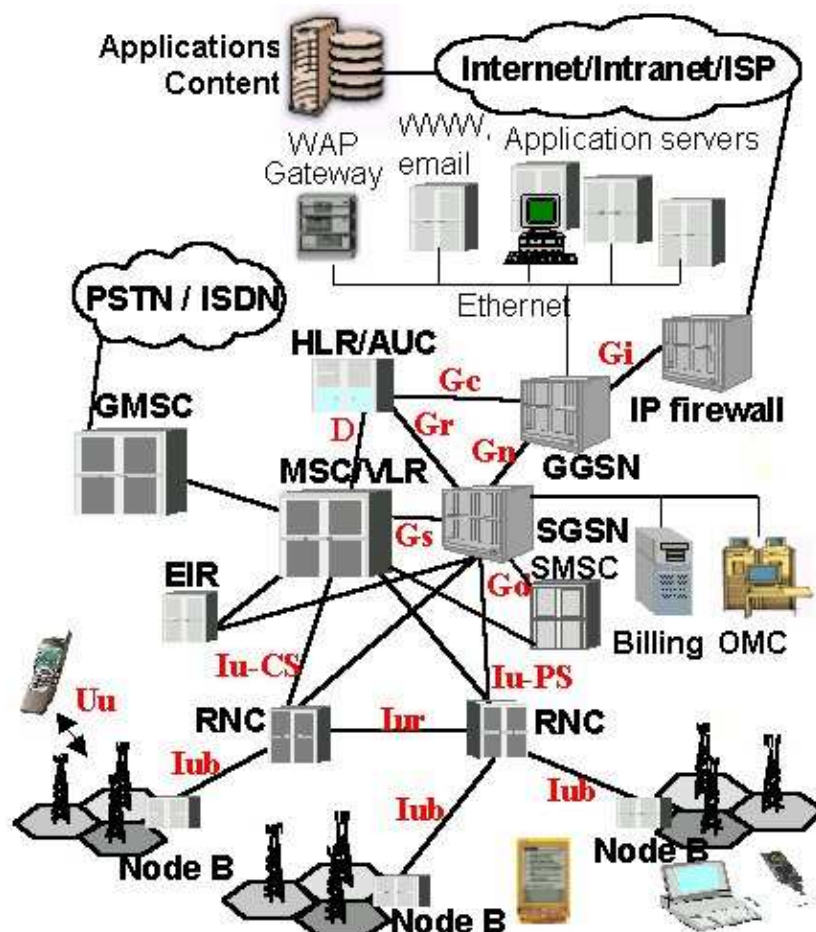


Figura 2.5 Arquitectura inicial de UMTS

El núcleo de red está formado por bases de datos como el HLR, el AUC y el EIR, además de estar también constituido por varias estaciones como el MSC, el SGSN y el GGSN. Respecto a la red de acceso se compone de los RNC (*Radio Network Controller*) y los Nodos-B, que a su vez forman el RNS (*Radio Network System*). Por último tenemos los terminales móviles o equipo de usuario. Éstos se organizan a través de los diferentes dispositivos que tengan compatibilidad con la tecnología 3G tales como móviles, tabletas, notebooks, etc.

Para comprender mejor la red UMTS, hay que partir de que la arquitectura de red de dicha tecnología no comenzó desde cero, ya que algunos elementos se pueden relacionar con la red GSM. Las principales diferencias entre la red GSM y la red UMTS se encuentran en la capa de acceso, puesto que las BTS y las BSC se cambiaron por los Nodos-B y los RNC, respectivamente. Además de cambiarse los interfaces entre los dispositivos de la RNS (*Radio Network Subsystem*), no obstante, la red central sigue siendo la misma para ambas redes. En la actualidad la red UMTS es prácticamente en su totalidad una red de datos de tipo TCP/IP en la que la voz se transmite en forma de Voz sobre IP (VoIP).

2.2.4. Planificación

En GSM, la planificación se hace para una zona relacionada con unos servicios básicos, salvo en ciertas zonas donde se mejoran las prestaciones. A partir de estos datos, se hacen cálculos de cobertura y, por consiguiente, se hace un análisis de interferencia cocanal a partir de unos requisitos de tráfico.

Sin embargo, la planificación para el sistema UMTS es totalmente diferente, ya que no existe la interferencia entre celdas, puesto que todas utilizan la misma frecuencia. En UMTS, al prestar múltiples servicios de datos sin que el cálculo de capacidad sea analíticamente evidente, es preciso decidir el repertorio de velocidades a proporcionar.

Otra gran diferencia con respecto a la red GSM es el fenómeno de la respiración celular. En UMTS el radio de la célula disminuye al aumentar el número de usuarios, ya que se provocan más interferencia entre ellos. Con lo cual, hace que el proceso de planificación de la red UMTS se complique puesto que el resultado de la planificación va a depender directamente de las condiciones en cuanto a tráfico objetivo.

Respecto al diseño de células, la intención de UMTS es ofrecer servicios en cualquier parte del mundo a través del empleo de diversas tecnologías integradas en un mismo sistema, ajustándose a diferentes entornos geográficos y densidades de tráfico. De esta manera, se consigue una diversidad de células como se muestra en la figura de abajo.

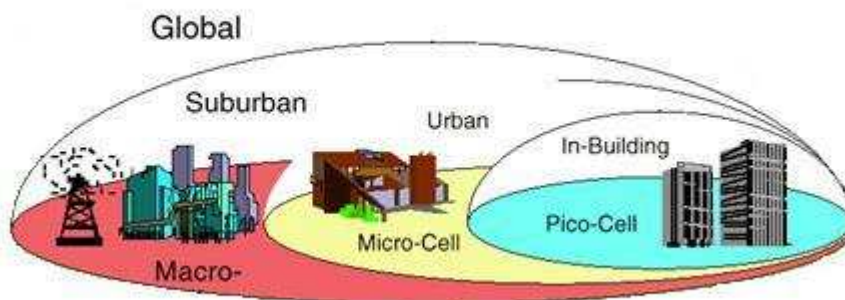


Figura 2.6 Tipos de células UMTS

Con este diseño, en el sistema UMTS se obtiene una gran flexibilidad en cuanto a cobertura de servicios se refiere. Aunque dependiendo del tipo de célula se ofrecen diferentes densidades de tráfico, es decir, para una macrocélula la distancia de cobertura será mayor a cambio de limitar la densidad de tráfico.

2.3. Cuarta Generación (4G)

La evolución de la telefonía móvil ha pasado por distintas generaciones, denominadas 1G, 2G y 3G vistas anteriormente, correspondientes a la era analógica (primera) y a la era digital (segunda y tercera); actualmente nos encontramos en la fase de introducción de la 4G, o cuarta generación, también digital. Esta generación presenta bastantes diferencias con las anteriores, en cuanto a la infraestructura de la red, que utilizará el protocolo de Internet (IP) como base, pero sobre todo en cuanto a capacidad de transferencia de datos, que se asemejará o superará a las redes fijas (ADSL) y superará a la 3G, ya que puede llegar a los 100 Mb/s, o incluso más en condiciones favorables, puesto que está previsto alcanzar el 1Gbit/s para descargas en sentido descendente.

La división de radiocomunicaciones de la UIT ha publicado un documento, donde establece

los requerimientos mínimos para los servicios de cuarta generación. En este documento dice que la 4G es una red nueva basada en la conmutación de paquetes con el protocolo IP compatible tanto con IPv4 como con IPv6. Mientras que 2G estaba basada inicialmente en conmutación de circuitos y 3G utilizaba la técnica de conmutación de circuitos para las conexiones de voz, el sistema 4G propone la técnica de conmutación de paquetes total. Existen principalmente dos sistemas para desarrollar la cuarta generación: el sistema de comunicaciones móviles LTE (*Long Term Evolution*) y el sistema de red de área local WiMAX.

La solución basada en el *IP Multimedia Subsystem* (IMS), definida por el 3GPP, es el método más adecuado para satisfacer las expectativas de los consumidores en cuanto a calidad del servicio, fiabilidad y disponibilidad para llevar a cabo la transición de los actuales servicios de telefonía por conmutación de circuitos a los servicios de LTE sobre IP. Este planteamiento abre el camino a la convergencia de servicios, ya que IMS será capaz de dar servicio simultáneamente a redes fijas de Banda Ancha y a redes inalámbricas LTE.

2.3.1. Bandas

El sistema LTE utiliza diferentes bandas con diferentes frecuencias: la banda de los 800 MHz también conocida como dividendo digital, la banda de los 1800 MHz y la banda de los 2600 MHz.

En la banda de los 800 MHz, abarca desde los 790 MHz hasta los 862 MHz, actualmente se encuentra en uso para servicios de radiodifusión de televisión (TDT). Una vez se trasladen los canales de la TDT a frecuencias más bajas, podrá utilizarse para telefonía de cuarta generación LTE en 2015. Esta banda de frecuencias constituye la banda 20 de LTE.

Bloque	Subida	Bajada	Operador	Concesión	Caducidad
2 de 5 MHz	791 – 796 MHz	832 – 837 MHz	Orange	-	2031
2 de 5 MHz	-	-	Orange	-	2031
2 de 5 MHz	-	-	Vodafone	-	2031
2 de 5 MHz	-	-	Movistar	-	2031
2 de 5 MHz	-	-	Movistar	-	2031
2 de 5 MHz	-	-	Vodafone	-	2031

Tabla 5. Espectro asignado a los diferentes operadores LTE en España en la banda de los 800 MHz

La banda de los 1800 MHz, se divide en dos bloques de 75 MHz: 1710 – 1785 MHz y 1805 – 1880 MHz (UN-140). Actualmente, está en uso para la tecnología GSM, pero en un futuro próximo se utilizará para telefonía de cuarta generación LTE o 4G. Esta banda de frecuencias constituye la banda 3 de LTE.

Bloque	Subida	Bajada	Operador	Concesión	Caducidad
2 de 20 MHz	1710 – 1730 MHz	1805 – 1825 MHz	Movistar	-	2031
2 de 20 MHz	1730 – 1750 MHz	1825 – 1845 MHz	Vodafone	-	2031
2 de 5 MHz	1750 – 1755 MHz	1845 – 1850 MHz	Yoigo	-	2031
2 de 5 MHz	1755 – 1760 MHz	1850 – 1855 MHz	Yoigo	-	2031
2 de 4,8 MHz	1760 – 1764,8 MHz	1855 – 1859,8 MHz	Yoigo	-	2031
2 de 20 MHz	1764,8 – 1784,8 MHz	1859,8 – 1879,9 MHz	Orange	-	2031

Tabla 6. Espectro asignado a los diferentes operadores LTE en España en la banda de los 1800 MHz

En la banda de los 2600 MHz, se usa un bloque de 190 MHz: 2500 – 2690 MHz (UN-52). Desde junio del 2013 es utilizada para la tecnología móvil de cuarta generación LTE. Esta banda de frecuencias forma parte de la banda 7 de LTE.

Ancho	Cobertura	Operador
2 de 20 MHz	Estatal	Movistar
2 de 20 MHz	Estatal	Orange
2 de 15 MHz	Estatal	Vodafone
2 de 5 MHz	Autonómica	Vodafone
2 de 10 MHz	Autonómica	(varios)

Tabla 7. Características generales de la banda 2600 MHz para LTE en España

2.3.2. Acceso al medio y duplexado

En LTE se emplean técnicas diferentes de acceso al medio según el enlace. En el caso del enlace descendente la técnica de acceso al medio es OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiplex Access*), y para el caso del enlace ascendente la técnica de acceso al medio es la SC-FDMA (*Single Carrier – Frequency Division Multiplex Access*).

OFDMA es una técnica de acceso al medio que nos permite acomodar varias transmisiones

simultáneas correspondientes a diferentes flujos de información al viajar cada una de ellas en subportadoras diferentes.

El acceso múltiple se consigue dividiendo el canal en un conjunto de subportadoras que se reparten en grupos en función de la necesidad de cada uno de los usuarios. El sistema se realimenta con las condiciones del canal, adaptando continuamente el número de subportadoras asignadas al usuario en función de la velocidad que éste necesita y de las condiciones del canal. Si la asignación se hace rápidamente, se consigue cancelar de forma eficiente las interferencias cocanal y los desvanecimientos rápidos del canal radio. En la figura 2.7 vemos una representación del espectro de la señal OFDMA. Las portadoras no interfieren unas con otras gracias a que son ortogonales. El espectro de cada portadora se anula en el resto de portadoras por lo que de forma ideal no existe interferencia entre portadoras.

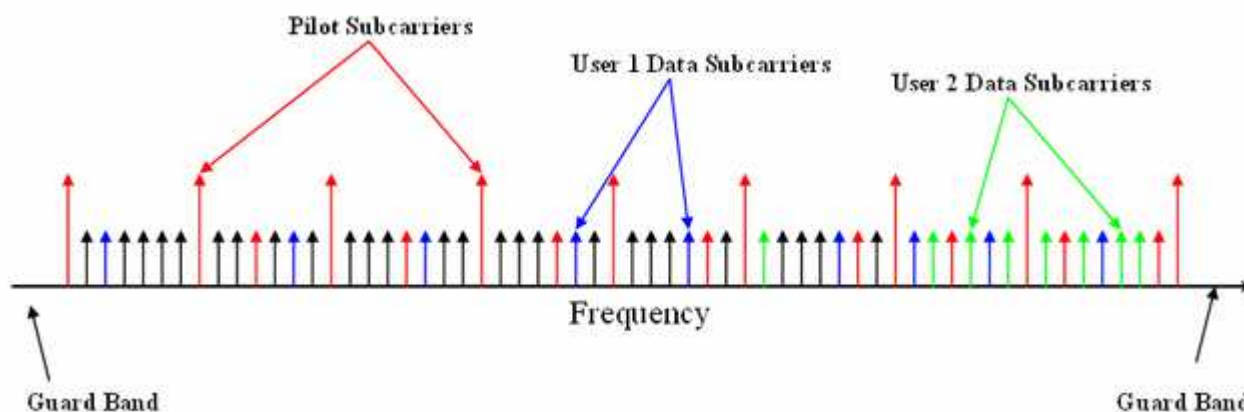


Figura 2.7. OFDMA

Hay que destacar que no es necesario que las subportadoras sean contiguas, los símbolos de un usuario pueden estar distribuidos sobre subportadoras no contiguas.

La tecnología OFDM permite reducir la interferencia entre símbolos (ISI), y disminuye la complejidad de las técnicas de ecualización adaptativas. Además, la utilización de las portadoras ortogonales permite una mayor eficiencia espectral. La reducción de la ISI se produce gracias a la inserción de un periodo de guarda en el inicio de cada símbolo. Este periodo se aprovecha para insertar la parte final del símbolo, lo cual permite la ecualización en el dominio de la frecuencia. Este tipo de ecualización es más sencilla que la ecualización en el dominio del tiempo y posibilita la utilización de anchos de banda mayores que en 3G.

SC-FDMA se basa en unos principios de transmisión muy similares a los de OFDM, pero en este caso se efectúa una precodificación de los símbolos que se van a transmitir. Esta precodificación es previa al proceso de transmisión OFDM, lo que permite reducir las variaciones en la potencia instantánea. Especialmente permite reducir el valor de pico de potencia a potencia media, que en OFDM es elevado en ocasiones.

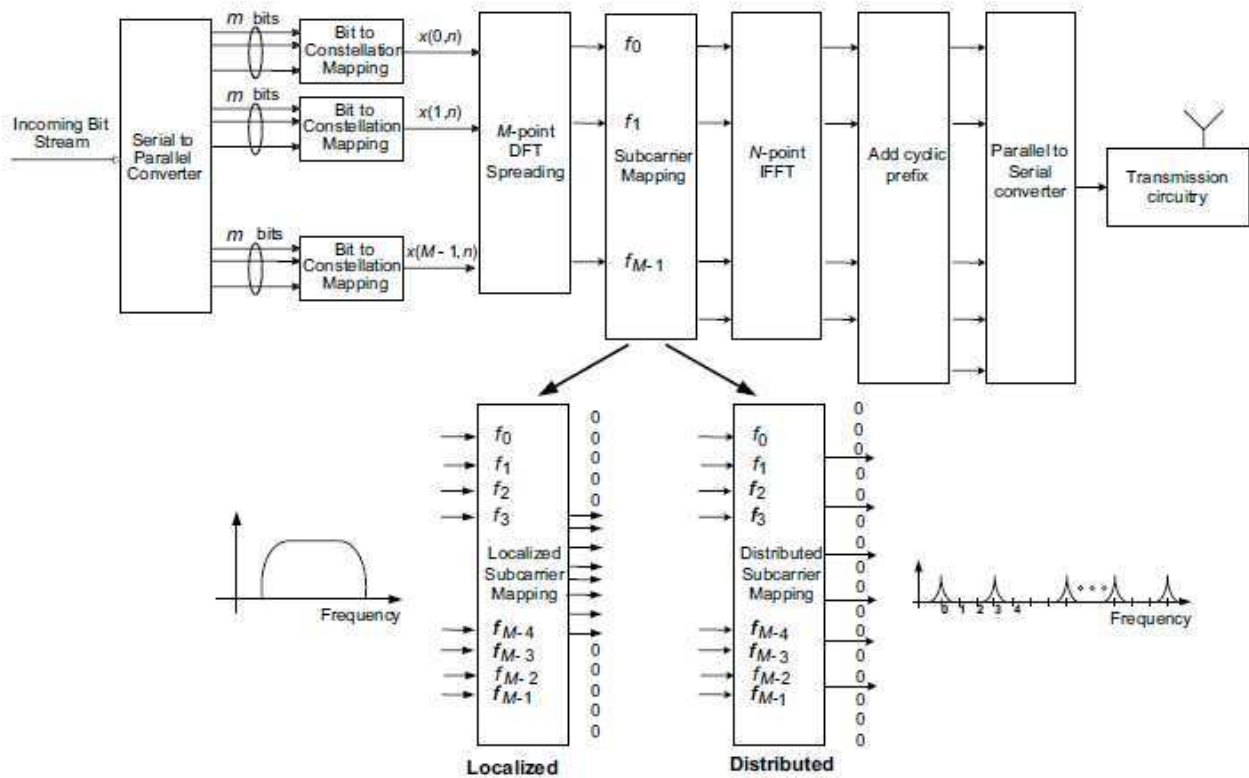


Figura 2.8. Esquema de transmisión SC-FDMA localizado y distribuido.

Como se muestra en la Figura 2.8, existen M símbolos a transmitir, los cuales son precodificados mediante una Transformada Directa de Fourier (DFT) de M muestras, como paso previo a efectuar una transmisión OFDM de acuerdo a una Transformada Inversa de Fourier (IDFT) de N muestras, con una separación entre subportadoras Δf , y con el consiguiente añadido del prefijo cíclico. Debido al proceso de precodificación basado en DFT, esta técnica también se le denomina DFT-Spread OFDM (DFTS-OFDM). [6]

En el esquema mostrado, si el tamaño de la DFT, M , fuera igual al de la IDFT, N , los procesos de DFT y IDFT se cancelarían entre sí, sin tener ningún efecto, por lo que la señal enviada

sería simplemente el mismo conjunto de símbolos original, resultando en una señal en banda base no modulada sobre diferentes subportadoras, es decir, una señal portadora única (*single carrier*) que presentaría mejores propiedades de PAPR que las señales multiportadora.

Sin embargo, siempre que $M < N$ y el resto de entradas al bloque IDFT están puestas a cero, el resultado de este proceso será una señal que continúa teniendo la propiedad de ser de portadora única, y cuyo ancho de banda $B = M\Delta f = Mf_m/N$ es regulable simplemente cambiando el valor de M . Esto nos permitirá tener una flexibilidad en la banda asignada.

Observando el esquema presentado en la Figura 2.8, se observa que existe un modo de distribución equidistante de las M muestras de la DFT, ubicando ceros en las posiciones intermedias. A este modelo se le denomina SC-FDMA distribuido, a diferencia del otro modo, que se denomina “localizado”. El modelo distribuido proporciona una mayor diversidad frecuencial ya que la señal se distribuye entre portadoras separadas. En LTE se emplea sin embargo el modo localizado ya que permite diferenciar de forma más sencilla los datos de diversos usuarios como se muestra en la figura siguiente.

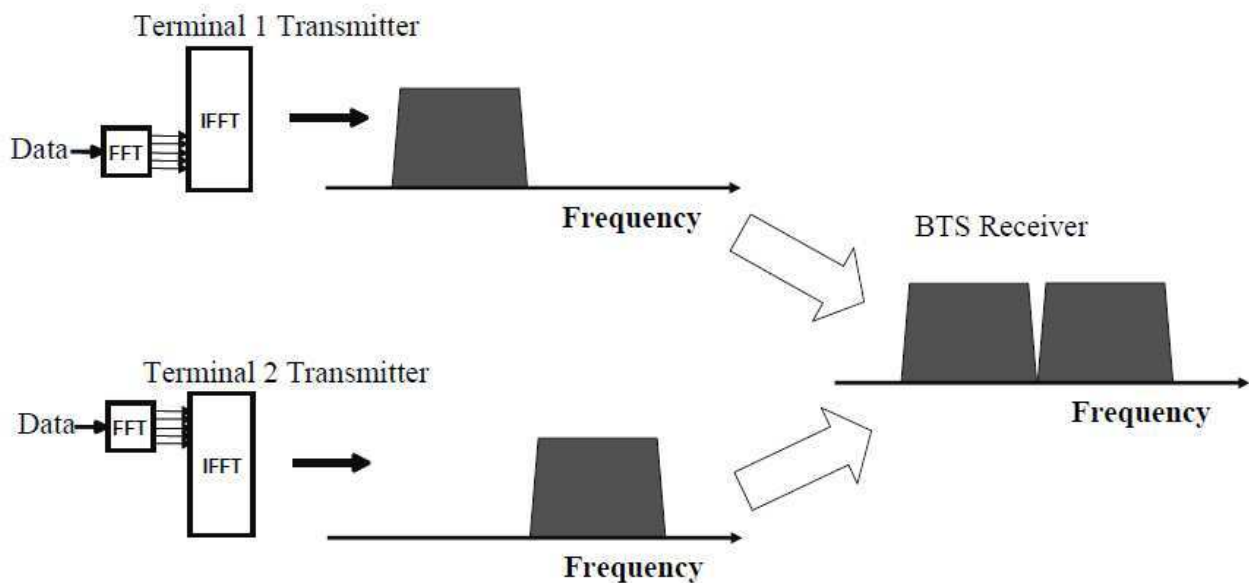


Figura 2.9. Multiplexación de usuarios con SC-FDMA.

Destacamos también cómo en el mecanismo de multiplexación de transmisión de diferentes usuarios en SC-FDMA para el enlace ascendente, manteniendo los mismos parámetros (número de muestras de la IDFT, N , frecuencia de muestreo y separación entre subportadoras), las transmisiones de los dos usuarios vienen ubicadas en diferentes entradas de la IDFT. De este modo, en las posiciones de entrada en las que se ubica la transmisión del usuario 2, el usuario 1 inyecta ceros (y a

la inversa igual), se observa esta característica en la Figura 2.9. Como resultado, se obtienen dos transmisiones que ocupan bandas frecuenciales diferentes. Mediante DFTs de diferentes tamaños se obtienen diferentes anchos de banda asignados a cada usuario; así, con K_1 , tenemos $K_1\Delta f$ y con K_2 tenemos $K_2\Delta f$.

2.3.3. Estructura

En las especificaciones se denomina a la arquitectura del sistema LTE como *Evolved Packet System* (EPS). La idea es la misma que en las otras generaciones, dividir el sistema en los tres elementos: un equipo de usuario, una nueva red de acceso que denominaremos E-UTRAN y una red troncal que denominaremos EPC. Todos los componentes que engloban este sistema están diseñados para soportar todo tipo de servicios de telecomunicación mediante mecanismos de conmutación de paquetes, por lo que no es necesario disponer de un dispositivo que trabaje en modo circuito. Esto es posible ya que en el sistema LTE los servicios con restricciones de tiempo real se soportan también mediante conmutación de paquetes. En la Figura 2.10 vemos un ejemplo de la distribución de la arquitectura del sistema LTE.

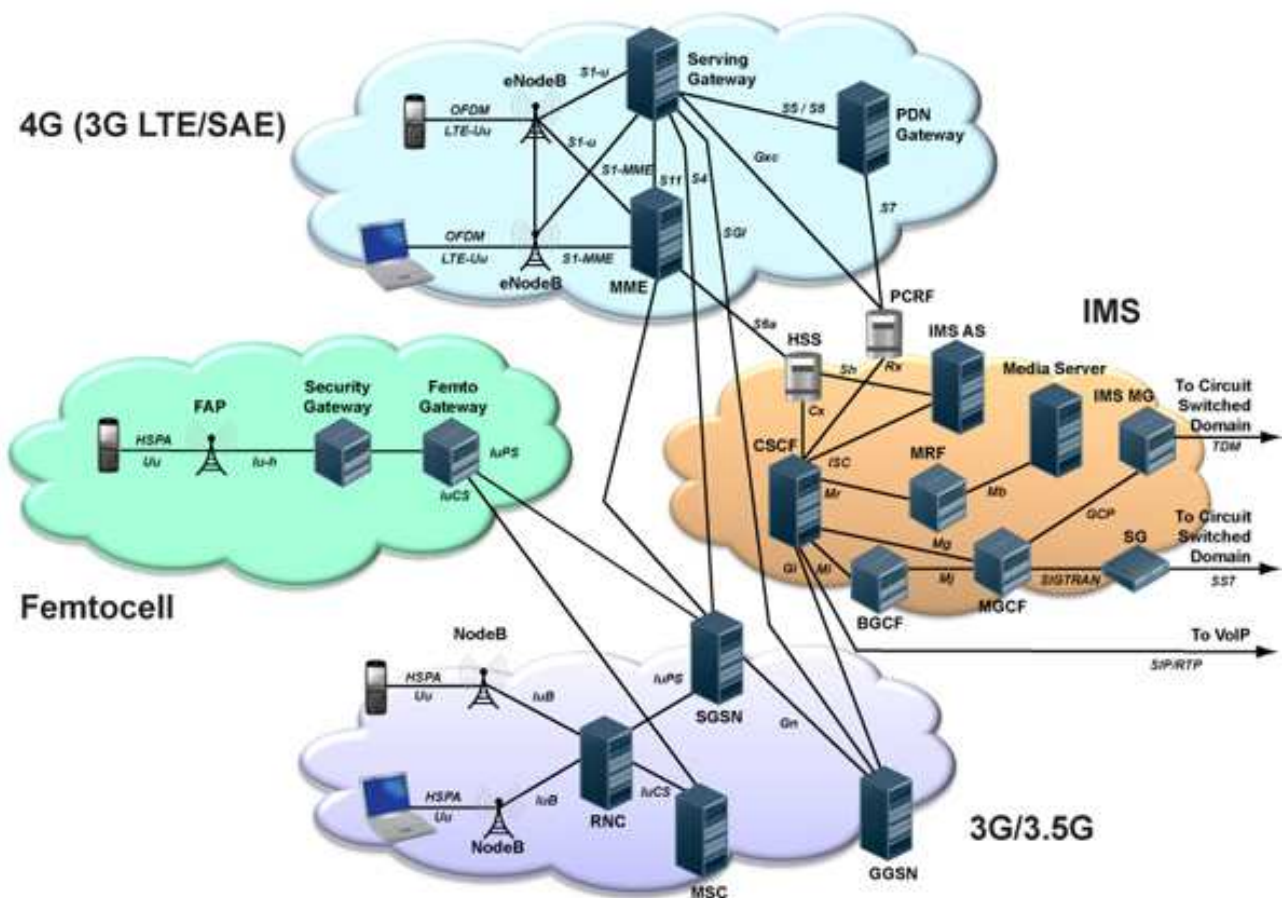


Figura 2.10 Esquema general de la arquitectura del sistema LTE

Otra característica de LTE es que se contempla también el acceso a sus servicios a través de UMTS y GSM. También mediante otras redes de acceso como CDMA2000, Mobile WiMAX, redes 802.11, etc.)

La red física que se utiliza en LTE para interconectar todos los equipos de la red, que se denomina red de transporte, es una red IP convencional. En la infraestructura de red LTE aparte de los equipos que realizan las funciones específicas del estándar, también habrá elementos de la red propios de redes IP como routers, servidores DHCP, servidores de DNS, switches, etc.

En primer lugar explicaremos las características más importantes del equipo de usuario. Éste es el equipo que permite al usuario conectarse a la red LTE y disfrutar de los servicios que nos proporciona a través de la interfaz radio. La arquitectura funcional de un equipo de usuario es la misma que se definió para GSM y UMTS.

El equipo de usuario (*User Equipment*, UE) contiene dos elementos básicos: un módulo de suscripción del usuario (SIM/USIM) y el terminal móvil propiamente dicho (*Mobile Equipment*, ME). A su vez, el SE ME considera dos entidades funcionales: la terminación móvil (MT) y el equipo terminal (TE). A continuación definimos todos estos elementos.

- Módulo de suscripción de usuario: La SIM/USIM está asociada a un usuario y por tanto es quien le identifica dentro de la red independientemente del equipo móvil utilizado. La separación entre SIM y ME facilita que un usuario pueda cambiar de terminal sin necesidad de cambiar de identidad, de SIM.

- El equipo móvil (ME): en el se integran las funciones propias de comunicación con la red celular, así como las funciones adicionales que permiten la interacción del usuario con los servicios que ofrece la red.

- Terminación móvil (MT): alberga las funciones propias de la comunicación.
- Equipo terminal (TE): equipo que se ocupa de la interacción con el usuario.

El UE se conecta a la red de acceso de LTE o E-UTRAN. En E-UTRAN la única entidad de

red es la estación base, que en esta generación denominamos *evolved NodeB* (eNB). Esta estación base integra todas las funcionalidades de la red de acceso. Esto representa un cambio respecto a las anteriores generaciones, GSM y UMTS, ya que en éstas, la red de acceso contenía además de las estaciones base (BTS y Nodob), un equipo controlador (BSC y RNC). En la red de acceso E-UTRAN, al estar formada únicamente por estaciones base eNB, éstas serán las que proporcionen la conectividad entre los usuarios y la red troncal EPC.

La red troncal de paquetes evolucionada (EPC) es una red que ha sido concebida para proporcionar un servicio “*all-IP*”, es decir, conectividad IP. Debido a las diferencias que presenta la red troncal de LTE con respecto a los sistemas precedentes vamos a detenernos en explicar brevemente los elementos que la componen.

El núcleo de la red troncal EPC está formado por tres entidades de red, MME (*Mobility Management Entity*), S-GW (*Serving Gateway*) y el P-GW (*Packet Data Network Gateway*), que, junto a la base de datos principal del sistema denominada HSS (*Home Subscriber Server*), constituyen los elementos principales para la prestación del servicio de conectividad IP entre los equipos de usuario conectados al sistema a través de la red de acceso E-UTRAN y redes externas a las que se conecta la red troncal EPC. Definimos a continuación cada una de estas entidades de red:

MME: Es el elemento principal del plano de control de la red LTE para gestionar el acceso de los usuarios a través de E-UTRAN. Todo terminal que se encuentre registrado en la red LTE y sea accesible a través de E-UTRAN, tiene una entidad MME asignada. Esta elección de MME se realiza dependiendo de varios aspectos tales como la ubicación geográfica del terminal en la red, así como a criterios de balanceo de cargas. Las principales funciones de esta entidad son:

- Autenticación y autorización del acceso de los usuarios, siempre a través de E-UTRAN.
- Gestión de los servicios portadores EPS (*EPS Bearer Service*). Esta entidad es la encargada de gestionar la señalización que se necesita para establecer, mantener, modificar y liberar los servicios portadores.
- Gestión de movilidad de los usuarios en modo *idle* (son terminales que no tienen establecida ninguna conexión de control con E-UTRAN pero están registrados en la red LTE).
- Señalización para el soporte de movilidad entre EPS y otras redes externas.

S-GW: es la pasarela del plano de usuario entre E-UTRAN y la red troncal EPC. Igual que en la entidad MME, todo usuario registrado en la red LTE tiene asignado una entidad S-GW en la red EPC a través de la cual transcurre su plano de usuario. Las características principales son:

- Proporciona un punto de anclaje en la red EPC con respecto a la movilidad del terminal entre eNBs.
- La funcionalidad de anclaje también se aplica a la gestión de la movilidad con las otras redes de acceso del 3GPP (UMTS y GSM).
- Almacenamiento temporal de los paquetes IP de los usuarios en caso de que los terminales se encuentren en modo *idle*.
- Encaminamiento del tráfico de usuario. Esta entidad albergará la información y funciones de encaminamiento necesarias para dirigir el tráfico de subida hacia la pasarela P-GW que corresponda y el tráfico de bajada hacia el eNB.

P-GW: Es la encargada de proporcionar conectividad entre la red LTE y las redes externas. Por lo tanto, un paquete IP generado en la red LTE resulta “invisible” en la red externa, a través de la entidad P-GW, que hace de pasarela entre una red y otra. Un usuario tiene asignada como mínimo una pasarela P-GW desde su registro en la red LTE. Principales características de esta entidad de red:

- Aplicación de reglas de uso de la red y control de tarificación a los servicios portadores que tenga establecidos el terminal.
- La asignación de la dirección IP de un terminal utilizada en una determinada red externa se realiza desde la pasarela P-GW que corresponda.
- Actúa de punto de anclaje para la gestión de movilidad entre LTE y redes externas no 3GPP (WiMAX, WiFi, CDMA2000, etc.)
- El tráfico IP que transcurre por la pasarela P-GW es procesado a través de un conjunto de filtros que asocian cada paquete IP con el usuario y servicio portador EPS que corresponda.

HSS: es la base de datos principal que almacena los datos de todos los usuarios de la red. La información almacenada es tanto lo relativo a la suscripción del usuario como lo necesario para la operatividad de la red. Esta base de datos es consultada y modificada desde las diferentes entidades de red encargadas de prestar los servicios de conectividad o servicios finales (desde el MME de red troncal EPC y también desde servidores de control del subsistema IMS). La información almacenada en la HSS que podemos encontrar: identificadores universales del usuario,

identificadores de servicio, información de seguridad y cifrado, información relacionada con la ubicación de un usuario en la red, etc. HSS se estandarizó en 3GPP R5 en base a la integración de las entidades HLR y AUC definidas en GSM, a las que se les añadieron funcionalidades adicionales necesarias para soportar el acceso y la operativa del sistema LTE.

Finalmente, el IP *Multimedia Subsystem* (IMS) es un subsistema que proporciona los mecanismos de control necesarios para la prestación de servicios de comunicación multimedia que están basados en la utilización del protocolo IP a los usuarios de la red LTE.

El modelo de prestación de servicio en base al subsistema IMS se estructura en tres capas: transporte, control y aplicación.

- Capa de transporte: representa la infraestructura de red IP, que depende de la tecnología de acceso, la cual nos proporciona el encaminamiento de los flujos IP entre terminales y demás elementos de la red.

- Capa de control: aquí se ubican los elementos especializados en la gestión de sesiones, como los servidores SIP, así como otros elementos específicos para la interacción con redes telefónicas convencionales (pasarelas VoIP, controladores, etc.).

- Capa de aplicación: en esta capa residen los servidores de aplicación que albergan la lógica y datos asociados a los diferentes servicios proporcionados a través de IMS. En esta capa también se presentan elementos ligados a otras plataformas de servicios como redes inteligentes.

- El establecimiento y liberación de sesiones a través del IMS se basa en el protocolo de señalización SIP complementado con una serie de extensiones adicionales. SIP es un protocolo que se concibió para el establecimiento y liberación de sesiones multimedia (telefonía, videoconferencia, etc.) sobre redes IP entre dos o más participantes. Gracias a la flexibilidad de SIP, ahora abarca una gama de aplicaciones mucho más extensa como mensajería instantánea, juegos distribuidos, control remoto de dispositivos, etc.

2.3.4. Planificación

Uno de los puntos más importantes a tener en cuenta en el despliegue es la capacidad de cobertura radio. El objetivo de una buena planificación de la red radio es equilibrar la cobertura, capacidad, calidad y el coste, para ello se precisa de una correcta división de frecuencias y forma de las células.

Dentro de esta generación existen redes con células de distinto tamaño (redes multinivel) que pueden ser una solución cuando existen multitud de tipos de tráfico diferentes con distintos parámetros y/o requisitos, tales como parámetros de movilidad o requisitos de calidad de servicio. Sin estas redes supondría un elevado coste en la cantidad de estructuras, puesto que cada una de ellas provee un tipo particular de tráfico.[7]

Con esta red se consigue tener un amplio radio de cobertura, obteniendo conectividad en diferentes escenarios ya sean rurales o urbanos, utilizando distintos tipos de celdas según dicho escenario como se muestra en la figura de abajo.

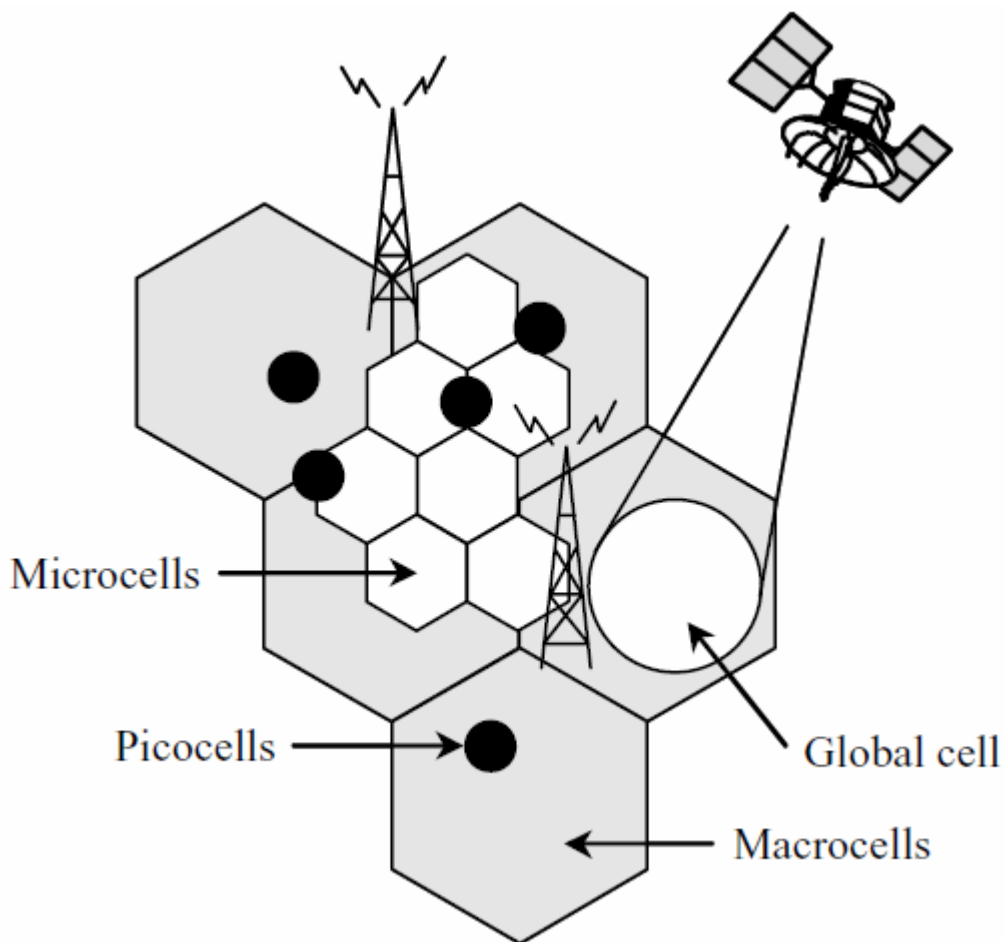


Figura 2.11. Red multinivel en escenarios diferentes.

En las redes LTE, se implanta el esquema 1x3x1 con reuso para las células más pequeñas, donde un solo ancho de banda se utilizará para toda la red LTE (ver Figura 2.12). En este esquema cada célula posee tres sectores; en cada sector se emplean todas las frecuencias disponibles en la

banda. Es decir, la reutilización de frecuencias es total. A pesar de que elimina la necesidad de cualquier consideración de planificación de frecuencias, también abre la puerta para la interferencia *inter-site* e *inter-sector* que es perjudicial para el despliegue LTE urbano, debido a la alta densidad de estaciones base.



Figura 2.12. Reutilización de frecuencias en una red LTE

En un esquema 1x3x1 es recomendado el uso de SFR (*Soft Frequency Reuse*) [8]. El concepto de SFR se basa en dividir la portadora LTE en 3 sub-secciones. De esta forma, cada sector solo usará una de las sub-secciones (1/3), también conocida como banda principal, para servir a los usuarios en el borde de la celda. Como resultado, el nivel de interferencia entre sectores se reduce, mejorando el rendimiento de los usuarios. Para aquellos usuarios ubicados cerca del centro de la celda, se usarán las otras 2 sub-secciones (2/3) de la portadora, también conocida como banda secundaria.

2.4. Lesgilación y normativa

Las comunicaciones móviles comenzaron con la primera generación 1G, al no existir ningún estándar ni ningún tipo de consenso entre los distintos países, las características de cada sistema diferían unos de otros, dando como resultado una incompatibilidad entre sistemas. Las principales características de los principales sistemas se pueden observar en la siguiente tabla.

Sistema	País	Canales	Ancho de banda de cada canal (kHz)
AMPS	U.S.	832	30
C-450	Alemania	573	10
ETACS	Reino Unido	1240	25
JTACS	Japón	800	12.5
NMT-900	Suecia	1999	12.5
NMT-450	Suecia	180	25
NTT	Japón	2400	6.25
Radiocom2000	Francia	560	12.5
RTMS	Italia	200	25
TACS	Reino Unido, España	1000	25

Tabla 8. Características generales de los diferentes sistemas 1G en Europa

En Europa, para superar los inconvenientes que suponía la existencia de varios sistemas incompatibles, se diseñó un estándar para la que sería la siguiente generación de sistemas de comunicaciones móviles. Este estándar, que se debía adoptar en todos los países europeos, tuvo un gran éxito en todo el mundo. El estándar y sus condiciones fueron aprobadas de mutuo acuerdo entre los países pertenecientes a la Unión Europea.

En España, la Ley de Ordenación de las Telecomunicaciones (LOT) se encargó de la regulación de la segunda generación durante más de 10 años. Esta ley definía las telecomunicaciones como “servicios esenciales de titularidad pública, reservados al sector público”, de forma tal que el reconocimiento de derechos de explotación se producía, por regla general, a través de una concesión; sólo de forma excepcional, tratándose de los servicios de valor añadido que no empleasen espectro radioeléctrico, no consistiesen en servicios de conmutación de datos por paquetes o circuitos o no necesitasen nuevas redes, podía recurrirse a otro tipo de habilitación.

Desde 1987 hasta 1998 estuvo vigente en España la LOT, que sirvió como marco regulador integrado de las telecomunicaciones. En ella se clasificaron los servicios en cuatro grandes apartados, en el que los servicios de valor añadido se incluían la telefonía móvil. [9]

Análisis de los sistemas y del mercado de las telecomunicaciones

Los organismos encargados de la regulación son el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITyC), el cual tiene una Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información (SETSI), con una dirección general: la Dirección General de las Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información junto con la CMT que es la que regula el sector de las Telecomunicaciones.

Con respecto a la Unión Europea, los países pertenecientes a la UE deciden qué leyes van a tener en común, y se organizan como cualquier país con un parlamento, el Parlamento Europeo que es, en definitiva, el que aprueba las leyes, con un Consejo de Ministros, que es el que las propone, y con un ejecutivo que es la Comisión Europea (CE), cuya responsabilidad es formular políticas y llevarlas a cabo, una vez que han sido aprobadas. Formalmente, el Consejo de Ministros europeo no emite directivas leyes, sino directivas que los países de la Unión Europea deben plasmar en forma de leyes. Por lo tanto, también en el ámbito de las Telecomunicaciones, es el Parlamento español el que aprueba las leyes que regulan este mercado siguiendo las indicaciones de las directivas europeas.

3. WiMAX

3.1. Introducción

WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*) es el nombre comercial de un grupo de tecnologías inalámbricas que emergieron de la familia de estándares *WirelessMAN*. En concreto, en el año 2001 se creó el Foro WiMAX para promover el estándar y para ayudar a asegurar la compatibilidad y la interoperabilidad a través de múltiples fabricantes, algo parecido a lo que la Alianza *Wi-Fi* hace por la familia de estándares IEEE 802.11x y se han convertido en una faceta clave del proceso de los estándares IEEE. Si bien el término WiMAX sólo tiene algunos años, el estándar 802.16 ha existido desde fines de la década de 1990, primero con la adopción del estándar 802.16 (10-66GHz) en abril de 2002 y luego con el 802.16a (2-11GHz) en enero de 2003. A pesar del establecimiento del estándar 802.16a, nunca terminó de despegar en el mercado, aunque vale la pena mencionar que durante ese periodo toda la industria de telecomunicaciones estuvo luchando.

Así, y en principio, este estándar 802.16 se enfocaba específicamente en el uso eficiente del ancho de banda, en la región comprendida entre los 10GHz a los 66 GHz y definía una capa de control de acceso al medio capaz de soportar múltiples especificaciones de capas físicas, desarrolladas para el uso de esta banda de frecuencia. Poco después, ni siquiera había transcurrido un año, se llevó a cabo la primera revisión del estándar con el objeto de incorporar una rama adicional, denominada 802.16a, con la que cubrir el rango de frecuencias de los 2GHz a los 11GHz y contempla la utilización de dos técnicas de modulación, OFDM y OFDMA. Del mismo modo, en los años sucesivos también se han ido introduciendo sucesivas y significativas mejoras. Resumiendo, la versión 'd' del estándar IEEE 802.16, la 802.16-2004 (conocida previamente como Revisión D, o 802.16d), fue ratificada en julio de 2004 e incluye las versiones anteriores (802.16-2001, 802.16b/c de 2002, y 802.16a en 2003) y cubre tanto enlaces mediante línea de visión directa (LOS, *Line of Sight*) como aquéllos sin línea de visión directa (NLOS, *Non Line of Sight*) en el rango de frecuencias 2-66GHz. Como es costumbre en los estándares IEEE, sólo se regulan las especificaciones de las capas PHY (*Physical*) y MAC (*Media Access Control*). Los cambios introducidos en la norma 802.16-2004 estuvieron dirigidos al desarrollo de aplicaciones de interoperabilidad en el rango de frecuencias de 2-11GHz.

Los actuales sistemas WiMAX se basan principalmente en dos especificaciones, el estándar 802.16-2004 de IEEE y la norma HiperMAN de ETSI (*European Telecommunications Standards*

Institute). Dos enfoques similares en lo que se ha dado en llamar tecnología BWA (*Broadband Wireless Access* o Acceso Inalámbrico de Banda Ancha). La diferenciación de ambas es tremendamente importante por una razón. La primera está orientada a comunicaciones en las que las estaciones emisora y receptora tienen una línea de visión directa, algo similar a lo que ocurre con las emisiones infrarrojas de los mandos a distancia. En la segunda, las bandas de frecuencia utilizadas permiten mantener la comunicación sin que ambos extremos estén directamente enfrentados, e incluso puede haber todo tipo de obstáculos que no impiden la transmisión de datos, como ocurre con las redes *Wi-Fi* actuales o con la tecnología *Bluetooth*.

Aunque con la publicación oficial del estándar 802.16-2004 se asentaron las bases para el despliegue inicial de la nueva tecnología de acceso de banda ancha inalámbrica, las expectativas finales de WiMAX van más allá de ser un sistema de tipo ADSL inalámbrico para entornos urbanos y rurales. Realmente los promotores de este proyecto perseguían, y todavía persiguen, la ambiciosa meta de que WiMAX sea la tecnología inalámbrica que unifique el mundo de la telefonía móvil y las redes de datos. Con este objetivo, en diciembre 2002, fue creado el Grupo de Trabajo IEEE 802.16e para mejorar y optimizar el soporte para la combinación de las capacidades de comunicación tanto fijas como móviles en frecuencias por debajo de los 6GHz. El 7 de diciembre de 2005 se realizó la ratificación oficial del nuevo estándar WiMAX Móvil (802.16e). La nueva versión del estándar introduce el soporte de la tecnología SOFDMA (una variación de la técnica de modulación OFDMA) el cual permite un número variable de ondas portadoras, que se añade a los modos OFDM y OFDMA ya existentes. Además, IEEE 802.16e ofrece un soporte mejorado de las tecnologías MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) y AAS (*Adaptive Antenna Systems*). También, incluye mejoras para la optimización del consumo de energía para los dispositivos móviles y disminución del tamaño del módem CPE (*Customer Premise Equipment*), así como extensas características de seguridad.

Por último, también existen los grupos de trabajo de IEEE 802.16f e IEEE 802.16g que se encargan de las interfaces de administración de la operación fija y móvil.

3.2. Evolución de los estándares WiMAX

En este apartado vamos a ver las diferentes versiones del estándar que se han ido publicando con más detalle [10]:

- Estándar 802.16: Estándar publicado en abril de 2001 que se refería a enlaces fijos radio con línea de visión directa entre el transmisor y el receptor utilizando frecuencias dentro de la banda de 10 a 66 GHz para proporcionar velocidades de transmisión de hasta 134 Mbps y sin movilidad.

- Estándar 802.16a: Estándar que se publicó un año más tarde, en marzo del 2003, y fue entonces cuando WiMAX, como una tecnología de banda ancha inalámbrica, empezó a cobrar relevancia. Esta modificación también estaba pensada para enlaces fijos, pero llegó a realizar modificaciones de control de acceso y de especificaciones de la capa física logrando una distancia de operatividad de 40 a 70 kilómetros y operando en la banda de 2 a 11 GHz, parte del cual es de uso común, y no requiere licencia para su operación. Es válido para topologías punto a multipunto y, opcionalmente, para redes en malla, y no requiere línea de visión directa y permite transmitir sobre ellas velocidades teóricas de hasta 75 Mbps. Emplea las bandas de 2.5 GHz y 10.5GHz, válidas internacionalmente, que requieren licencia (2.5 – 2.7 GHz en EEUU), y las de 2.4 GHz y 5.725 – 5.825 GHz que son de uso común y no requieren disponer de licencia alguna.

- Estándar 802.16b: Este estándar usa las bandas de 5 GHz a 6 GHz y proporciona QoS (*Quality of Service*) por lo que se puede usar para transmitir voz y datos. Trabaja en la modificación del nivel MAC y en capas físicas adicionales para bandas de frecuencia exentas de licencia (WirelessHUMAN).

- Estándar 802.16c: Este estándar se ocupó sobre todo el rango de 10 a 66 GHz. Sin embargo, también desarrolla otros aspectos como la evolución del funcionamiento y la prueba y ensayo de los posibles perfiles del sistema. La metodología de perfiles del sistema evoluciona para definir qué características podrían ser obligatorias y qué características opcionales. El intento era definir a los fabricantes los elementos obligatorios que se deben considerar para asegurar la interoperabilidad. Los elementos opcionales tales como diversos niveles de los protocolos de la seguridad incorporados permiten que los fabricantes distingan sus productos por precio, funcionalidad y el sector de mercado.

Debe tenerse presente que para este estándar se tiene tres tipos de modulación para la capa física: modulación con una sola portadora, modulación con OFDM de 256 portadoras y de 2048 portadoras, pero el elegido es OFDM de 256 portadoras, debido a que en el proceso de cálculo para la sincronización se tiene menor complejidad respecto a la utilización del esquema de 2048 portadoras.

- Estándar 802.16-2004(d): Las principales características de los protocolos para WiMAX fijos, mencionados en los puntos anteriores, se han incorporado en este estándar. Por lo que éste es el reemplazo del estándar IEEE 802.16a. Este estándar final soporta numerosos elementos obligatorios y opcionales. Teóricamente puede transmitir hasta unos 70 Mbps en condiciones ideales, aunque el rendimiento real podría ser únicamente superior a unos 40 Mbps.

- Estándar 802.16e-2005: Es una ampliación de IEEE 802.16d para ofrecer movilidad y *roaming*. Por tanto, también es conocido como WiMAX móvil. Sirve de aplicación a conexiones inalámbricas en la banda de 2 GHz a 6 GHz, que permite transmitir sobre él a velocidades de hasta 15 Mbps. Añade movilidad, prometiendo comunicaciones a velocidades en torno a 120 km/h.

3.3. Características de WiMAX

WiMAX es una solución de banda ancha inalámbrica que ofrece una gran cantidad de características con bastante flexibilidad en términos de opciones de despliegue y de servicios a ofrecer. Algunos de estos puntos principales que son destacables se van a enumerar a continuación.

Capa física basada en OFDM: La modulación OFDM (*Orthogonal Frequency – Division Multiplexing*) presenta muchos beneficios que no presentan otras modulaciones previas a ésta, y permite que las redes inalámbricas transmitan eficientemente en pequeños anchos de banda. Esta modulación se caracteriza por dividir la señal de banda ancha en un número de señales de banda reducida. La modulación OFDM es un caso especial de modulación multiportadora, en donde múltiples datos son transmitidos de forma paralela utilizando diferentes subportadoras con banda de frecuencias solapadas ortogonalmente. Una característica de OFDM es el superar los problemas de propagación que se presentan en situaciones sin visión directa (NLOS). Las señales OFDM tienen la ventaja de ser capaces de operar con retardos de la propagación en los entornos NLOS y de ser un esquema muy robusto frente al multitrayecto, atenuaciones e interferencias. Además de tener la capacidad de poder operar con un ensanchamiento del retardo más grande en el ambiente NLOS. Una ventaja muy importante es que es más sencillo modular señales portadoras individuales OFDM que modular una simple portadora ensanchada.

Grandes picos de tasas de datos: WiMAX es capaz de soportar elevados picos de tasa de datos. De hecho, las velocidades que puede alcanzar la capa física (PHY) llegan a ser de 74 Mbps cuando opera con un espectro de frecuencia de 20 MHz de ancho de canal. Comúnmente, cuando se

usa un espectro de 10 MHz de ancho de canal con un esquema a razón de tres a uno en el canal de bajada y el de subida respectivamente, las velocidades que se alcanzan son de 25 Mbps para el enlace de bajada y de 6.7 Mbps para el enlace de subida. Estas velocidades de pico de datos son alcanzadas cuando se usa una codificación 64QAM con un índice de corrección de error de 5/6. Bajo condiciones buenas para la señal se podrían alcanzar velocidades mayores, así como usando múltiples antenas y multiplexación espacial.

Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (OFDMA): El estándar del 802.16e (WiMAX móvil) usa OFDMA, el cual es similar a OFDM puesto que divide la señal en múltiples subportadoras. OFDMA, sin embargo, va un paso más allá, agrupando subportadoras en subcanales. Una sola estación cliente podría usar todos los subcanales dentro del periodo de la transmisión, o los múltiples clientes podrían transmitir simultáneamente usando cada uno una porción del número total de subcanales.

Escalabilidad en el ancho de banda y la tasa de datos soportada: WiMAX tiene una arquitectura de capa física escalable, lo que permite que la tasa de datos sea escalable con la disponibilidad de ancho de banda en los canales. Esta escalabilidad se soporta en el modo OFDMA, donde el tamaño de la transformada rápida de Fourier (FFT) debe estar basado en el ancho de banda disponible en el canal. Por ejemplo, un sistema WiMAX debería usar una FFT de 128, 512 o 1024 subportadoras según el ancho de banda del canal sea de 1.25 MHz, 5 MHz ó 10 MHz respectivamente. Esta escalabilidad debe hacerse dinámicamente para soportar el *roaming* de usuarios a través de las diferentes redes que podrían tener anchos de banda diferentes.

Modulación y codificación adaptativa (AMC – *Adaptive Modulation and Coding*): WiMAX soporta un número de esquemas de modulación y de mecanismos de corrección de errores (FEC) además de permitir que el esquema sea cambiado por usuario y por estructura básica, basada en las condiciones del canal (SNR). AMC es un mecanismo efectivo para maximizar el caudal en un canal variable en el tiempo.

Retransmisiones en la capa de enlace: Para las conexiones que requieren una alta fiabilidad, WiMAX soporta ARQ (*Automatic Retransmission Request*) protocolo utilizado para el control de errores en la transmisión de datos, garantizando la integridad de los mismos en la capa de enlace. Este protocolo requiere que los paquetes transmitidos sean reconocidos por el receptor mediante un acuse de recibo (ACK); los paquetes que no son reconocidos se consideran perdidos y se retransmiten.

Soporta multiplexaciones en tiempo (TDD) y en frecuencia (FDD): En los estándares IEEE 802.16d y 802.16e se soporta tanto *Time Division Duplex* (TDD) como *Frequency Division Duplex* (FDD), y permite un modo *Half Duplex* FDD (HD-FDD), lo que permite una implementación de bajo coste del sistema. En la mayoría de las implementaciones se usa TDD debido a sus ventajas:

- Flexibilidad al elegir el ratio entre las velocidades del enlace de subida y el de bajada.
- Habilidad para explotar la reciprocidad del canal.
- Habilidad para implementarse en un espectro no pareado.
- Diseño del transductor menos complejo.
- Todos los perfiles WiMAX están basados en TDD, excepto los dos fijados en 3.5 GHz.

Soporta técnicas avanzadas de antenas: WiMAX permite el uso de técnicas basadas en múltiples antenas como *Beamforming*, codificación espacio-tiempo, y multiplexación. Estos esquemas pueden ser usados para mejorar la capacidad total del sistema y su eficiencia espectral mediante el uso de múltiples antenas en el transmisor y/o receptor.

Soporta calidad de servicio (QoS): La capa MAC de WiMAX es orientada a conexión, diseñada para admitir una variedad de aplicaciones, incluyendo servicios multimedia y de voz. El sistema soporta tasas de bit constantes y tasas de bit variables, soporta flujos de tráfico en tiempo real, así como los que no lo son. WiMAX está diseñado para soportar un gran número de usuarios, con múltiples conexiones por terminal, cada uno con sus propios requisitos de calidad del servicio.

Seguridad robusta: WiMAX admite una fuerte encriptación usando AES (*Advanced Encryption Standard*) que es un esquema de cifrado por bloques, y tiene un protocolo robusto de privacidad y de gestión de claves. Además, el sistema ofrece una arquitectura muy flexible de autenticación basado en el protocolo EAP (*Extensible Authentication Protocol*), el cual permite una variedad de credenciales de usuarios, incluyendo esquemas de usuarios/contraseña, certificados digitales y tarjetas inteligentes.

Soporta movilidad: La variante móvil de WiMAX tiene un mecanismo para soportar trasposos seguros y ahorro de energía para alargar la duración de las baterías de los dispositivos portátiles. También se añaden mejoras en el nivel físico como una estimación más frecuente del canal, subcanalización del enlace de subida, y control de energía.

Arquitectura basada en IP: El WiMAX Forum ha definido una arquitectura de red basada en plataformas IP.

3.4. WiMAX fijo y WiMAX móvil

Tal y como se ha detallado anteriormente, el estándar IEEE 802.16 ha sufrido diferentes revisiones desde su creación y se ocupa de dos modelos de uso, como son el fijo y el móvil. Se detallarán las características más significativas de ambos.

3.4.1. WiMAX fijo

Está basado en la versión 802.16d del estándar IEEE 802.16 y en las redes ETSI HiperMAN. Es estándar IEEE 802.16 regula el acceso inalámbrico de banda ancha hasta una frecuencia de 66 GHz. Comúnmente se piensa que ETSI HiperMAN es el equivalente del IEEE 802.16. De hecho, constituye la versión europea para bandas de frecuencia inferiores a 11 GHz. Existe un segundo estándar europeo emergente llamado ETSI HiperACCESS, que define (fundamentalmente para casos en los que se requiere el uso de frecuencias con licencia) el acceso al espectro en bandas superiores a 11 GHz. Desde que se encomendó a WiMAX Forum la misión de soportar e incorporar los estándares HiperMAN, la interoperabilidad entre todos ellos se ha convertido en un objetivo prioritario.

El estándar IEEE 802.16d está basado en la modulación OFDM y soporta accesos tanto fijos como nómadas en entornos en los que puede haber, o no, visión directa (LOS/NLOS).

Los fabricantes que pertenecen a WiMAX Forum están desarrollando equipos de usuario (CPE) que puede situarse tanto en interiores como en exteriores, y tarjetas PCMCIA para ordenadores portátiles. Los perfiles iniciales seleccionados por WiMAX Forum fueron los equipos que trabajan en las bandas de frecuencia de 3.5 GHz (banda con licencia) y de 5.8 GHz (banda de uso libre). A principios de 2006 se certificaron los primeros equipos que cumplían el estándar IEEE 802.16d.

3.4.2. WiMAX móvil

Es una solución inalámbrica de banda ancha que permite la convergencia de redes de banda ancha fija y móvil a través de una tecnología de acceso radio de banda ancha desplegada sobre un área extensa común y una arquitectura de red flexible. La interfaz aire de WiMAX móvil adopta OFDMA para reducir la interferencia multirrayecto en entornos en los que no hay visión directa entre antenas.

El modo de transmisión OFDM, anteriormente comentado, fue originalmente diseñado para transmitir una única señal. Para poder tener múltiples transmisiones de usuario simultáneas, se asoció a esta técnica de modulación y codificación el método de acceso OFDMA. De hecho, una señal OFDM puede estar formada por señales que proceden de distintos usuarios, principio que constituye la base de OFDMA. La variante OFDMA Escalable (SOFDMA) se introdujo en la versión IEEE 802.16e para soportar anchos de banda de canal escalables desde 1.25 MHz hasta 20 MHz.

Los perfiles de los sistemas WiMAX móvil han sido desarrollados por el grupo MTG (*Mobile Technical Group*) de WiMAX Forum, con el propósito de definir las características obligatorias y opcionales del estándar IEEE que son necesarias para construir la interfaz aire conformada para los sistemas WiMAX móvil que pueden ser certificadas por WiMAX Forum. El perfil de los sistemas WiMAX móvil permite a los sistemas móviles ser configurados en base a un conjunto de características básicas comunes, para que de esta manera se aseguren absolutamente las funcionalidades para terminales de usuario y estación base (BS) que sean completamente interoperables. Algunos elementos de los perfiles de las BS se especifican como opcionales para proporcionar flexibilidad adicional en despliegues basados en escenarios específicos que requieran diferentes configuraciones que están incluso optimizadas en capacidad o cobertura.

Un hecho de gran relevancia ocurrió en Octubre de 2007, cuando el Sector de Radiocomunicación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT - R) decidió la inclusión de la tecnología WiMAX dentro del conjunto de estándares del IMT – 2000 (*International Mobile Communications*). Originalmente creada para armonizar los sistemas móviles 3G y para incrementar las oportunidades de interoperabilidad a nivel mundial, la familia de estándares IMT – 2000 soporta desde 2007 cuatro diferentes tecnologías de acceso: OFDMA (que se añade con WiMAX), FDMA, TDMA y CDMA. Esta medida es de gran importancia para los operadores que prestan atención a las decisiones de la UIT antes de invertir en nuevas tecnologías. La decisión de

aprobar la versión del estándar IEEE 802.16 del WiMAX Forum como perteneciente a IMT – 2000 la convierte en una nueva y buena alternativa para despliegues globales, especialmente dentro de la banda de 2.5 – 2.69 GHz, para ofertar el acceso a Internet móvil que satisfaga tanto a la demanda del mercado rural como urbano.

Con la tecnología WiMAX aprobada como nueva especificación del conjunto de estándares IMT – 2000, la industria de WiMAX se beneficiará de mayores economías de escala, que reducirán los ya bajos costes de los servicios inalámbricos de banda ancha de envío de datos, incluido VoIP, así como los múltiples servicios que se esperan del acceso inalámbrico de banda ancha en Internet.

3.5. Acceso al medio

En WiMAX, la capa MAC en la estación base es completamente responsable de asignar un ancho de banda a todos los usuarios tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente. La única vez en que la estación móvil tiene algún control sobre la asignación de ancho de banda es cuando tiene sesiones o conexiones múltiples con la estación base. En ese caso, la estación base asigna un ancho de banda a la estación móvil en conjunto, y depende de ésta última el repartirlo entre las conexiones múltiples que tiene. La estación base hace todo el resto de la planificación en el enlace ascendente y el descendente. Para el enlace descendente, la estación base puede asignar un ancho de banda a cada estación móvil, basado en las necesidades del tráfico entrante, sin implicar a la estación móvil. Sin embargo, para el enlace ascendente las asignaciones deben estar basadas en peticiones de la estación móvil.

El estándar WiMAX contiene varios mecanismos por los que una estación móvil puede solicitar y obtener ancho de banda en el enlace ascendente. Según los parámetros de QoS y tráfico particulares asociados con un servicio, la estación móvil puede utilizar uno o más de estos mecanismos. La estación base asigna recursos dedicados o compartidos periódicamente a cada estación móvil, que puede utilizar para solicitar un ancho de banda. A este proceso se le llama *polling* o sondeo. Se puede hacer sondeo tanto individualmente (*unicast*) como en grupos (*multicast*). Se hace sondeo *multicast* cuando hay ancho de banda insuficiente para sondear a cada estación móvil individualmente. Cuando se haga sondeo *multicast*, la ranura asignada para hacer peticiones de ancho de banda es una ranura compartida, la cual intenta usar cada estación móvil sondeada. Por ello WiMAX define un acceso por contienda y un mecanismo de resolución para aquellas situaciones en las que más de una estación móvil intente utilizar la ranura compartida. Si

ya tiene una asignación para el tráfico a enviar, la estación móvil no se sondea. En su lugar se permite que solicite más ancho de banda mediante tres métodos: el primero es transmitiendo una petición de ancho de banda autónoma MPDU, el segundo método es enviando una petición de ancho de banda por el canal de extensión, o por último mediante la utilización de forma fraudulenta de un ancho de banda solicitado en paquetes MAC genéricos.

En OFDMA se pueden dividir las subportadoras disponibles en varios grupos llamados subcanales. WiMAX fijo basado en una capa física OFDM solamente permite una forma limitada de subcanalización en el enlace ascendente. El estándar define 16 subcanales, donde se pueden asignar 1, 2, 4, 8, o todos los conjuntos a una estación de abonado en el enlace ascendente.

La subcanalización del enlace ascendente en WiMAX fijo permite a las estaciones de abonados transmitir utilizando solamente una fracción del ancho de banda que le asigna la estación base, lo que proporciona mejoras económicas en el enlace que se pueden utilizar para aumentar el rendimiento y/o mejorar la duración de las baterías de las estaciones de abonado. Un factor de subcanalización de 1/16 proporciona una mejora de 12 dB en el enlace.

Sin embargo, la versión móvil de WiMAX, cuya capa física está basada en OFDMA, permite subcanalizar tanto en el enlace ascendente como el enlace descendente, y aquí los subcanales forman la unidad mínima de recursos de frecuencia asignados por la estación base.

Por lo tanto, se pueden asignar subcanales diferentes a usuarios diferentes como un mecanismo de acceso múltiple. Este tipo de esquema de multiacceso se llama acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal (OFDMA) que da nombre a la capa física WiMAX móvil. Se pueden constituir subcanales utilizando subportadoras contiguas o subportadoras distribuidas pseudo-aleatoriamente en el espectro de frecuencia. Los subcanales formados utilizando subportadoras distribuidas proporcionan más diversidad frecuencial, lo cual es especialmente útil para aplicaciones móviles.

WiMAX define varios esquemas de subcanalización basados en portadoras distribuidas tanto en el enlace ascendente como en el enlace descendente. Uno de ellos llamado uso parcial de subportadoras (PUSC) es obligatorio para todas las implementaciones móviles de WiMAX. Los perfiles de WiMAX iniciales definen 15 y 17 subcanales para el enlace descendente y el enlace ascendente, respectivamente, para operaciones con el esquema PUSC y 5MHz de ancho de banda. Para operaciones de 10MHz, se definen 30 y 35 canales respectivamente.

El esquema de subcanalización WiMAX basado en subportadoras contiguas se llama banda adaptativa de modulación y codificación (AMC). Aunque se pierde la diversidad frecuencial, la banda AMC permite diseñar el sistema para explotar la diversidad de usuarios, asignando los subcanales a los usuarios basándose en su respuesta frecuencial. La diversidad de multiusuarios puede proporcionar una ganancia significativa en toda la capacidad del sistema, si el sistema procura proporcionar a cada usuario un subcanal que maximice su relación señal a ruido más interferencias (SINR). En general, la subcanalización basada en subportadoras contiguas es más apropiada para aplicación fijas o con poca movilidad.

3.6. Arquitectura de red WiMAX

El estándar IEEE 802.16e-2005 proporciona la interfaz aérea para WiMAX pero no define la estructura de la red de un extremo a otro. El grupo de trabajo del foro WiMAX es el responsable de desarrollar los requisitos de la estructura de la red, su arquitectura, y los protocolos para WiMAX, usando el estándar 802.16e-2005 como interfaz aérea.

Este grupo de trabajo ha desarrollado un modelo de referencia de la red para el despliegue de estructuras de red WiMAX y para asegurar la máxima flexibilidad y la interoperabilidad entre varios equipos y operadores de WiMAX. Este modelo de referencia provee una arquitectura unificada de la red para soportar despliegues fijos, nómadas, y móviles y un modelo de servicio basado en IP. En la Figura 3.11 vemos una ilustración de lo que sería una red WiMAX basada en IP.

El modelo de referencia de una red WiMAX está compuesto principalmente por tres componentes interconectadas mediante interfaces estandarizadas o puntos de referencia del R1 a R5. Los tres componentes son:

1. **MS:** *Mobile Station*, usado en el extremo de la red del usuario para acceder a la red.
2. **ASN:** *Access Service Network*, comprende una o más estaciones base y una o más pasarelas ASN para formar la red de acceso radio.
3. **CSN:** *Connectivity Service Network*, que provee conectividad IP con las funciones IP del núcleo de la red.

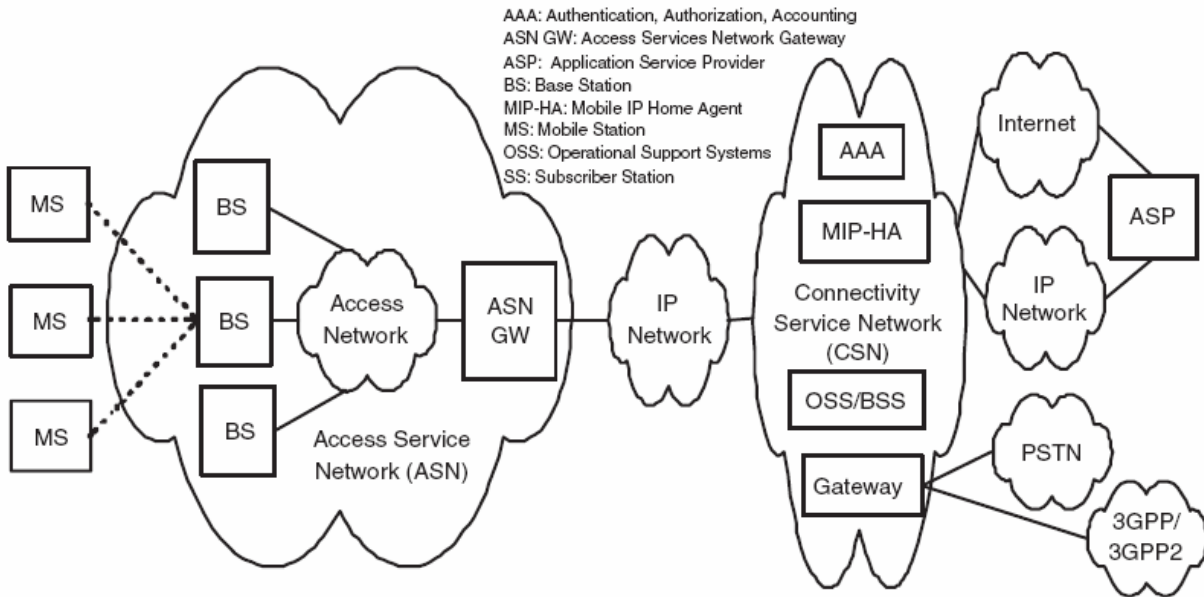


Figura 3.1 Estructura de red basada en IP

El modelo de arquitectura de red desarrollado por el grupo de trabajo del WiMAX Forum define una serie de entidades funcionales, e interfaces entre dichas entidades (definidos como puntos de referencia).

- **Estación Base (BS):** Implementa la capa física y MAC tal como se define en el estándar IEEE 802.16. En una red de acceso WiMAX, una BS está definida por un sector y una frecuencia asignada. En el caso de la asignación multifrecuencia de un sector, dicho sector incluye tantas BS como frecuencias asignadas haya. La conectividad a múltiples ASN-GW debe ser requerida en el caso de carga balanceada o propósitos de redundancia.
- **Pasarela de Acceso al Servicio (ASN-GW):** Una pasarela ASN es una entidad lógica que actúa típicamente como un punto de agregación de tráfico de la capa de enlace dentro del ASN e incluye: Funciones de control entre entidades pares y Encaminamiento plano de portadora o funciones de puente. Una entrada completamente redundante de la red del servicio del acceso (ASN-GW) conecta las estaciones bajas de WiMAX con la red de la base. Con una capacidad de hasta 256 BS por unidad, el ASN-GW puede manejar las conexiones de más de 288.000 suscriptores, con 8.000 de los activos simultáneamente. Las funciones principales del ASN-GW son: gestión y paginación de la localización dentro del ASN, gestión de los recursos de radio, claves de encriptación, funcionalidad de cliente de AAA, establecimiento y gestión de la movilidad con las estaciones base, aplicaciones de QoS, funcionalidad de agente externo para Mobile IP y envío a los CSN seleccionados.

- **Servicio de Conexión a la red (CSN):** El CSN consiste en unas funciones y equipos que permiten la conectividad IP a los suscriptores WiMAX. Por ello, el CSN incluye las siguientes funciones:
 - Autorización de conexión de usuario en la capa de acceso 3.
 - Administración de la QoS.
 - Soporte de movilidad basado en *Mobile IP*.
 - Tunelado (basado en protocolos IP) con otros equipos o redes.
 - Facturación de los suscriptores WiMAX.
 - Servicios WiMAX (acceso a Internet, servicios de localización, conexión de servicios *Peer-To-Peer*, aprovisionamiento, autorización y/o conexión a gestores de bases de datos o IMS).

Además de las entidades anteriores, el grupo de trabajo del WiMAX Forum define varios puntos de referencia entre las distintas entidades que componen la arquitectura de esta red. Esos puntos de referencia logran puntos de interoperabilidad entre equipos de diferentes fabricantes. Hay seis puntos de referencias obligatorios (del R1 al R6) y dos opcionales (R7 y R8) como se observa en el Figura 3.12.

- **R1:** Punto de referencia de la interfaz radio entre el MS y el ASN. Incluye todas las características físicas y MAC de los perfiles de WiMAX. Lleva tráfico de usuario y mensajes de control de usuario.
- **R2:** Es la interfaz lógica entre el MS y el CSN. Contiene los protocolos y otros procedimientos implicados en la autenticación, servicios de autorización y administración de la configuración IP.
- **R3:** Es la interfaz lógica entre el ASN y el CSN. Transporta mensajes del plano de control e información del plano de datos a través de un tunelado entre el ASN y CSN.
- **R4:** Punto de referencia que interconecta dos ASNs (ASN perfil B) o dos ASN-GW (ASN perfiles A o C). Transporta mensajes del plano de control y de datos, especialmente durante el traspaso de un usuario WiMAX entre ASNs/ASN-GWs. Presenta interoperabilidad entre ASNs de diferentes fabricantes.

- **R5:** Punto de referencia que interconecta dos CSNs. Consiste en el conjunto de métodos del plano de control y de datos para la comunicación entre el CSN del NSP visitante y el NSP.
- **R6:** Es específico de algunos de los perfiles de ASN. En aquéllos en los que el ASN se subdivide en BS y ASN-GW que corresponden con los perfiles A y C. Por tanto, este punto de referencia no es aplicable al perfil B. R6 se encarga de unir el BS y el ASN-GW. Transporta mensajes del plano de control y de datos.
- **R7 y R8:** R7 es una interfaz lógica opcional entre funciones de decisión y aplicación en el ASN-GW. R8 es una interfaz lógica entre estaciones base y transporta flujo de intercambio del plano de control que sirve para permitir un rápido y eficiente traspaso entre estaciones base.

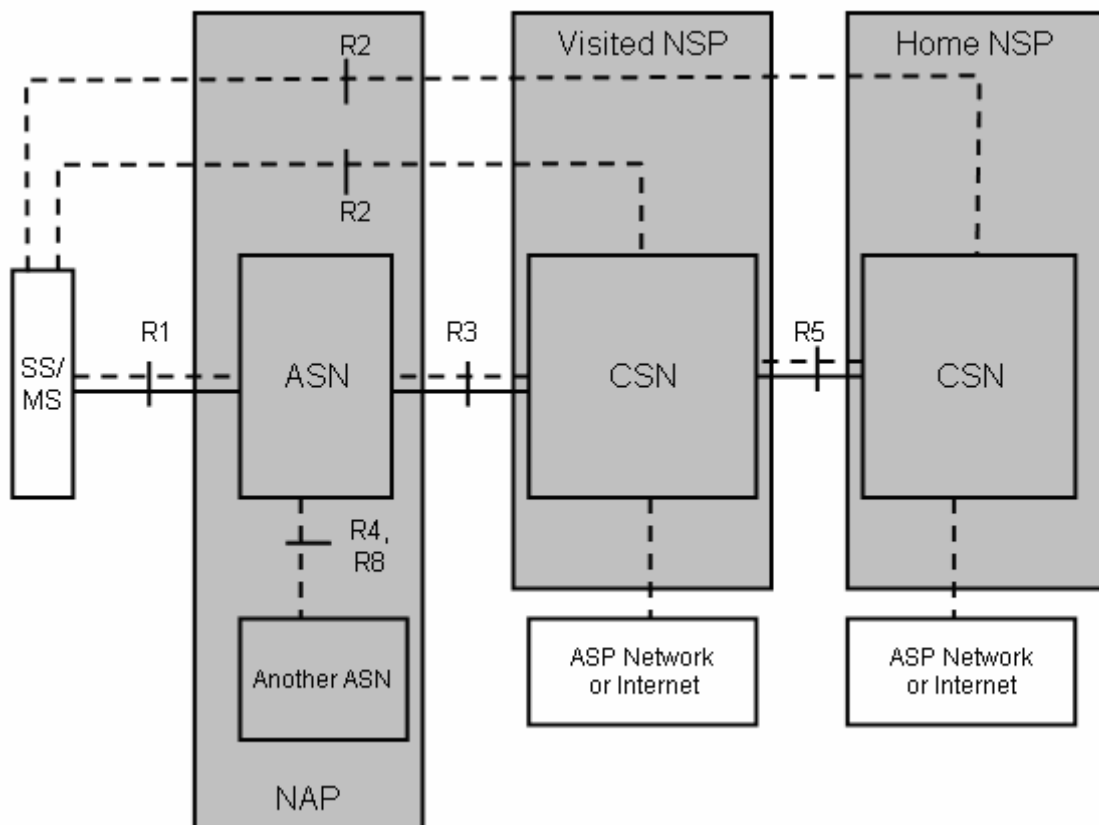


Figura 3.2 Puntos de referencia definidos por el WiMAX Forum

4. Redes de comunicaciones fijas

4.1. Introducción

En un principio la red telefónica se creó para conseguir comunicaciones de voz a larga distancia. Las primeras conexiones se establecieron directamente entre todos los usuarios que pertenecían a la misma red (conexiones punto a punto), este tipo de interconexión hizo que el sistema telefónico se convirtiese en una red totalmente mallada. Esto era posible puesto que en un principio el número de abonados era muy pequeño. Sin embargo, el número de usuarios de la red telefónica fue incrementándose, con lo cual mantener este tipo de topología de interconexión era insostenible puesto que el coste de un nuevo usuario era proporcional al número de usuarios registrados en esos momentos a la red, en concreto el número de enlaces necesarios para N usuarios es $N*(N-1)/2$ enlaces. Por ejemplo, para 6 usuarios el número de conexiones necesarias es de $6*5/2=15$ como se aprecia en la Figura 4.1. Puede parecer un número reducido de conexiones; sin embargo, si calculamos el número de conexiones para cubrir tan solo las necesidades de comunicación de un pueblo de 10000 habitantes, observamos que el número de líneas es de cerca de 50 millones. Esta forma de establecer conexiones entre usuarios no es eficiente:

- El número de conexiones es enorme.
- La mayoría de usuarios no utiliza la línea telefónica durante todo el tiempo, por lo que infrutilizamos esa enorme cantidad de conexiones.
- Cuando finalmente un usuario establece una comunicación con un usuario, no necesita el resto de conexiones. Por lo tanto, también en este caso se infrutiliza la red.

Esta problemática llevó a la red telefónica hacia un cambio en la topología de interconexión de los usuarios. Esta nueva topología se sigue usando en la actualidad y consiste en que cada usuario se conecta a una central urbana mediante un cable de cobre, en concreto son dos pares de cobre, que se llama 'bucle de abonado'.

Todos los usuarios que se encuentren en la misma zona se conectan a la misma central urbana, y obtienen la interconexión entre ellos a través de esta central, pero a su vez para permitir la conexión de estos usuarios con otros más alejados esta central urbana se conecta con una central regional, lo cual permite la conexión de los primeros con los que están conectados a esta otra central regional. Estas centrales se conectan con otras centrales, hasta que toda central tiene acceso a cualquier otra, ya sea mediante una conexión directa entre las centrales o a través de otra central

usada como puente. Así el sistema telefónico se convirtió en una topología jerárquica tal como se aprecia en las Figuras 4.1 y 4.2.

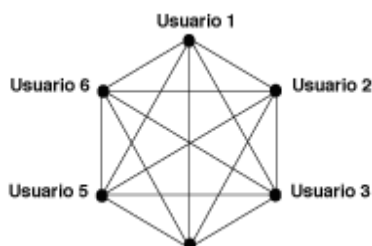


Figura 4.1 Red telefónica en malla.

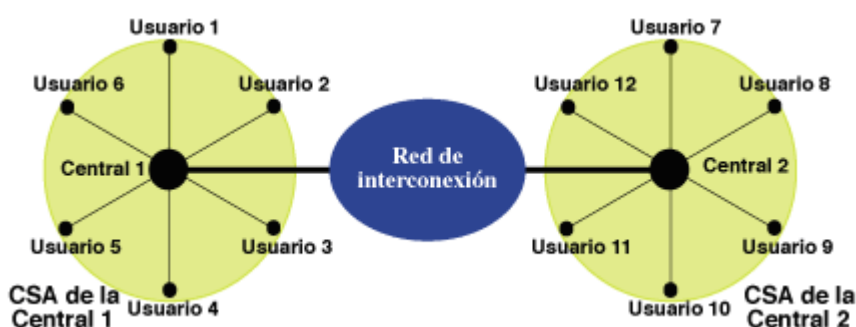


Figura 4.2 Red telefónica jerárquica.

La tecnología en cuanto a medios de transmisión ha evolucionado enormemente, en un principio la conexión se llevaba a cabo mediante hilos de cobre. En la actualidad la mayoría de las conexiones entre las centrales se realiza a través de fibra óptica, con unas tasas de transferencia muy elevadas. Con lo cual se puede llegar a suministrar al usuario final las velocidades elevadas de servicios de datos ya que hay que tener en cuenta que a una central urbana pueden llegar a estar conectados muchos usuarios y la conexión de su central ha de ser compartida por todos los usuarios.

El culmen de la evolución llegó con el acceso de la banda ancha, el cual es un desafío que se logró la década pasada. El problema fundamental estuvo en desarrollar tecnologías que permitieran altas velocidades, a través de medios de transmisión convencionales como el par trenzado telefónico, el cable coaxial de las redes de cable o el espacio radioeléctrico, siendo éstos los medios de comunicación fundamentales. Otro hecho es, lograr que sobre este acceso se pueda brindar al usuario garantías de QoS, donde el ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) juega un papel fundamental.

Se estima que existen en la actualidad alrededor de 1100 millones de accesos fijos. [11] El bucle local constituye una de las partes clave en la estructura de la red de telefonía fija en el intento de incrementar el ancho de banda y velocidades de datos disponibles para los abonados.

La necesidad de ancho de banda ha hecho nacer varias tecnologías de acceso de banda ancha: RDSI (Red Digital de Sistemas Integrados), la tecnología xDSL (Línea de Abonado Digital) en todas sus formas simétricas y asimétricas, estas dos tecnologías utilizan la infraestructura de cobre para dar servicios; APON (Redes Ópticas Pasivas ATM), que emplea fibra óptica; y WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), tecnología inalámbrica empleada para entregar servicios a muchos usuarios.

A pesar de las enormes diferencias entre estas tecnologías, todas ellas se caracterizan por el aumento de la velocidad de transferencia de datos al usuario final en un orden de magnitud muy superior en comparación con las soluciones de banda estrecha que las precedieron. En consecuencia, todas abren la puerta a un conjunto amplio de nuevos servicios. Otra similitud está en que todas pueden compartir el mismo protocolo subyacente: ATM. Como consecuencia, aunque el servicio final esté generalmente relacionado con las aplicaciones IP, el tráfico se monta en ATM antes de entregarlo a la red de transmisión.

Este apartado se centra principalmente en aquellas tecnologías de acceso que en la actualidad dan soporte al ATM, de tal forma que se brinde un servicio fiable y con calidad de servicio (*Quality of service* o QoS) garantizada de extremo a extremo. Específicamente se abordan las tecnologías RDSI, ADSL (Línea de Abonado Digital Asimétrica), ATMPON (Redes Ópticas Pasivas ATM) y WiMAX. De forma general, en documentos especializados se acostumbra a clasificar las redes de acceso en cuatro grupos principales según el medio de soporte: par trenzado, fibra/coaxial, todo fibra, y sin cable como se observa en la Figura 4.3. Asimismo

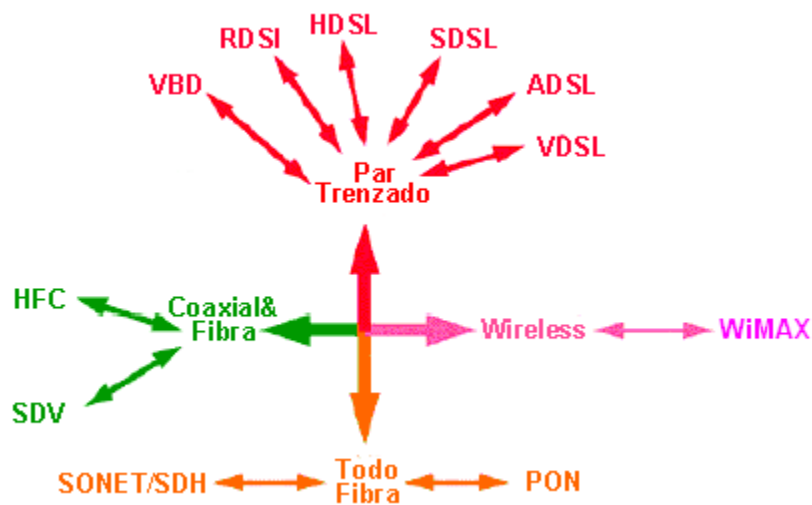


Figura 4.3. Alternativas de Acceso

4.2. Redes de banda ancha

4.2.1 Modo de transferencia

Para hacer frente a la gran demanda de capacidad de transmisión para servicios y aplicaciones, los laboratorios Bell patentaron el modo de transferencia asíncrona (ATM) alrededor de los años 60. No obstante, la tecnología ATM no se utilizó hasta que la RDSI de banda ancha fue desarrollada, y el CCITT (Comité Consultivo Internacional Telegráfico y Telefónico), actual ITU, decidió que dicha tecnología fuera empleada en las redes RDSI.

Con esta tecnología, a fin de aprovechar al máximo la capacidad de los sistemas de transmisión, sean estos de cable o radioeléctricos, la información no es transmitida y conmutada a través de canales asignados en permanencia, sino en forma de cortos paquetes (celdas ATM) de longitud constante y que pueden ser enrutadas individualmente mediante el uso de los denominados canales virtuales y trayectos virtuales.

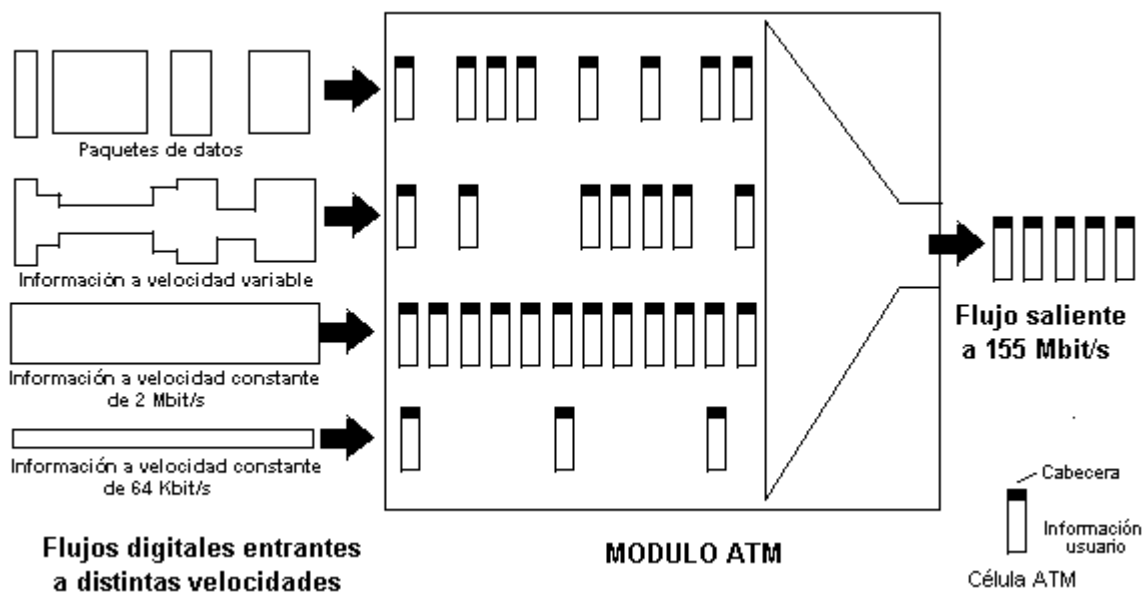


Figura 4.4 Diagrama simplificado del proceso ATM

En la Figura 4.4 se ilustra la forma en que diferentes flujos de información, de características distintas en cuanto a velocidad y formato, son agrupados en el denominado Módulo ATM para ser transportados mediante grandes enlaces de transmisión a velocidades (*bit rate*) de 155 ó 622 Mbits/s facilitados generalmente por sistemas SDH (Jerarquía Digital Síncrona).

En el terminal transmisor, la información es escrita byte a byte en el campo de información de usuario de la celda y a continuación se le añade la cabecera.

En el extremo distante, el receptor extrae la información, también byte a byte, de las celdas entrantes y de acuerdo con la información de cabecera, la envía donde ésta le indique, pudiendo ser un equipo terminal u otro módulo ATM para ser encaminada a otro destino. En caso de haber más de un camino entre los puntos de origen y destino, no todas las celdas enviadas durante el tiempo de conexión de un usuario serán necesariamente encaminadas por la misma ruta, ya que en ATM todas las conexiones funcionan sobre una base virtual.

4.2.2. RDSI

4.2.2.1 Introducción

La idea básica a tener en cuenta cuando se habla de la Red Digital de Servicios Integrados es que cualquier tipo de información (voz, datos, imágenes, etc.), una vez codificado digitalmente puede ser tratado de idéntica manera, con la única diferencia de las velocidades requeridas. Una RDSI es integrada porque utiliza la misma infraestructura para muchos servicios que tradicionalmente requerían interfaces distintos (télex, voz, conmutación de circuitos, conmutación de paquetes...); es digital porque se basa en la transmisión digital, utiliza canales de 64 Kbps del MIC (G.732); y es una red porque proporciona transmisión y conmutación.

El CCITT define la RDSI de la siguiente forma: “Una red que procede por evolución de una Red Digital Integrada (RDI) telefónica y que facilita conexiones digitales extremo a extremo para soportar una amplia gama de servicios, tanto de voz como de otros tipos, y a la que los usuarios tienen acceso a través de un conjunto limitado de interfaces normalizados de usuario multiservicio”.

Y también (Recomendación I.120) es importante resaltar que: “Un elemento clave de la integración de servicios para una RDSI es proporcionar un abanico de servicios utilizando un conjunto limitado de tipos de conexión y disposiciones de interfaz usuario-red de propósito general”.

4.2.2.2. Arquitectura RDSI

Al provenir la RDSI de la RDI, las primeras instalaciones ofrecen conexiones a 64 Kbps, llegando hasta el propio terminal de abonado. Los canales en la RDSI se dividen en canales B y canal D. Los canales B tienen una tasa de 64 Kbps y el canal D tiene una tasa de 16 Kbps o de 64

Kbps según se trate de un acceso básico (2B+D) o un acceso primario (30B+D) respectivamente. Estos canales están multiplexados en el tiempo.

Debe tener modos de interconexión con redes no digitalizadas (con el fin de integrar la mayor cantidad de otras redes). A diferencia de la RDI que sólo soporta conmutación de circuitos, la RDSI incorpora centros de conmutación de paquetes.

En cuanto al paso de información entre distintas centrales, aparte de la concerniente a la dirección de destino y resto de información relevante en el establecimiento de la conexión, en la RDSI deberá aparecer el tipo de servicio solicitado. La RDSI utiliza el sistema de señalización por canal común CCITT nº 7, y dentro de éste una Parte de Usuario específica denominada Parte de Usuario de Servicios Integrados (PUSI). Algunos servicios suplementarios hacen uso de otra Parte del sistema CCITT nº 7 denominada Parte de Control de la Conexión de la Señalización (PCCS). Aparte estará compuesta por centros de operadoras, de gestión, mensajería, bases de datos, etc...[12]

La RDSI utiliza las centrales digitales existentes (de la RDI) con canales de 64 Kbps y cuando haga falta la interconexión con un servicio de conmutación de paquetes lo hará a través de la red pública que exista (IBERPAC).

En otros países, el servicio de conmutación de paquetes se integra en la propia red (RDSI), con lo que se puede incorporar anchos de banda superiores para servicios tales como videoconferencia, sonido HIFI, etc., mediante la utilización simultánea de varios canales.

Para anchos de banda (RDSI Banda Ancha) que excedan las posibilidades de simultaneidad de canales (videotelefonía, TV,...), la vía hacia la integración vendría por la incorporación de nuevos elementos tecnológicos: Conmutadores de banda ancha, y acceso digital de usuario a la red por sistemas de fibra óptica.

B-ISDN Reference Architecture

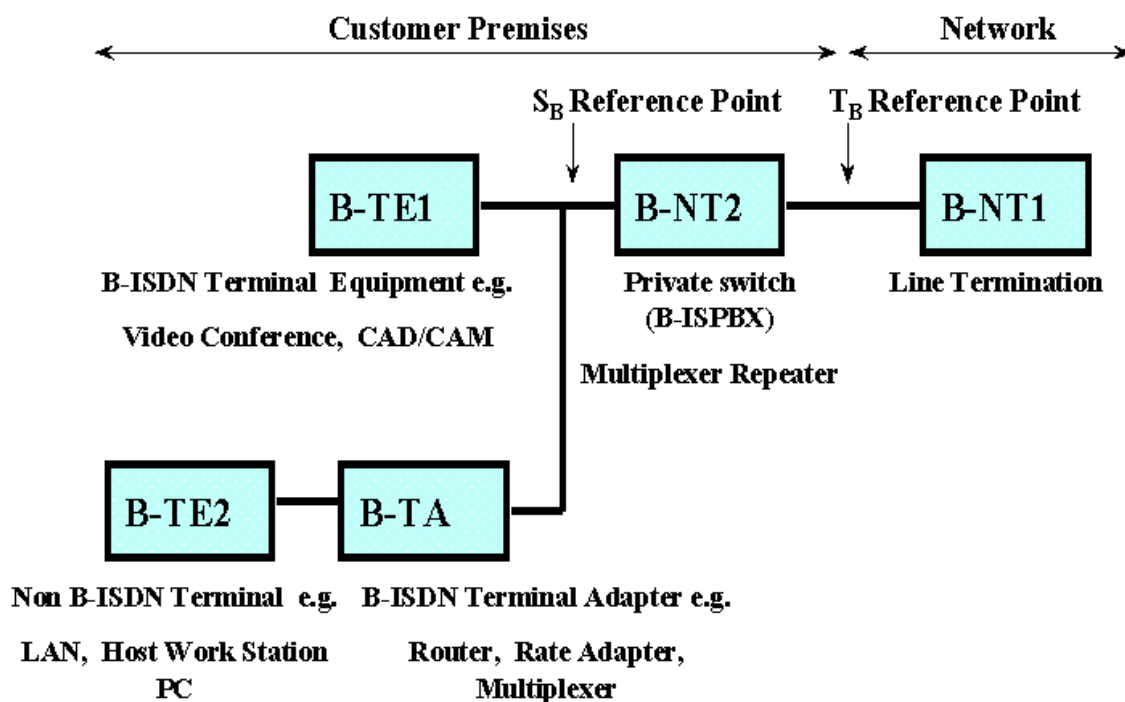


Figura 4.5 Estructura de la RDSI

4.2.3. Las tecnologías de acceso xDSL

La tecnología xDSL, surge por la necesidad de aumentar la capacidad de transmisión del par de cobre. Hace referencia a toda la familia DSL las cuales utilizan técnicas de modulación modernas ayudadas por los avances en el procesamiento digital de señales para lograr transmitir a altas velocidades sobre el lazo de abonado local. En la tabla se muestra un resumen comparativo entre algunas de las tecnologías xDSL. [13]

Tipo de DSL	Simétrico/Asimétrico	Distancia de la línea (m)	Velocidad Descendente (Mbps)	Velocidad Ascendente (Mbps)
IDSL	Simétrico	5400	0'128	0'128
SDSL	Simétrico	3000	1'544	1'544
HDSL (2 pares)	Simétrico	3600	1'544	1'544
SHDSL	Simétrico (1 par)	1800	2'312	2'312

	Simétrico (2 pares)	1800	4'624	4'624
ADSL G.lite	Asimétrico	5400	1'5	0'512
ADSL	Asimétrico	3600	8	0'928
VDSL	Asimétrico	300	52	6
	Simétrico	300	26	26
	Asimétrico	1000	26	3
	Simétrico	1000	13	13

Tabla 9. Tabla comparativa de la tecnología xDSL

4.2.3.1. El ADSL

El ADSL es una tecnología de banda ancha que permite que el ordenador reciba datos a una velocidad elevada, todo ello a través de la línea de teléfono convencional mediante la modulación de la señal de datos utilizada por el ordenador.

Una de las características del ADSL, que ha contribuido a su masiva utilización, ha sido su asimetría, gracias a la cual la velocidad de transmisión en ambos sentidos no es la misma. En una conexión a Internet normalmente la velocidad de transmisión de bajada (Internet → Host) suele ser mayor que la de subida (Host → Internet). Un ejemplo de ello está en un acceso a una página Web, para realizarlo debemos hacer una petición al servidor correspondiente, dicha petición se realiza con una transmisión de unos pocos bytes, mientras que el servidor a nosotros nos manda la página entera que puede ocupar de unos KBytes hasta varios MBytes, con lo que vemos que es necesaria una mayor velocidad de bajada.

La primera especificación sobre la tecnología xDSL fue definida por *Bell Communications Research*, compañía precursora del RDSI (Red Digital de Servicios Integrados), en 1987. En un principio esta tecnología fue desarrollada para el suministro de vídeo bajo demanda y aplicaciones de televisión interactiva.

En 1989 se desarrolló la actual ADSL (Línea de abonado digital asimétrica). La llegada de esta nueva tecnología para las comunicaciones a España se produjo hace apenas 6 ó 7 años, con la implantación de la tarifa plana a través del par de cobre que se utiliza para el teléfono. La liberación del mercado de las telecomunicaciones por parte del Gobierno, fue algo conflictiva, puesto que permitía a otras compañías, además de Telefónica, proporcionar servicios de Internet basados en la

tecnología ADSL, pero la parte primordial para esta tecnología que es el bucle de abonado seguía perteneciendo a Telefónica, que por aquel entonces tenía el monopolio de las comunicaciones en España, la cual subarrendaba el bucle de abonado a las distintas compañías para que éstas lo explotaran. Aunque finalmente a causa de la falta de operadores de cable en aquellos tiempos, tecnología que no necesita el bucle de abonado, la administración obligó a Telefónica a que proporcionase una infraestructura que permitiese la explotación de estos servicios de alta velocidad.

Así se ha conseguido que con el paso del tiempo sean muchas las empresas que ofertan servicios de Internet bajo ADSL, lo cual fomenta la competencia lo que produce un descenso de los precios.

4.2.3.2. Arquitectura de la ADSL

Como hemos mencionado el ADSL es una conexión asimétrica, que permite una transmisión de datos a gran velocidad a través de un par de hilos de cobre (conexión telefónica), con lo que los módems situados en la central y en casa del usuario son diferentes. En la siguiente figura (4.6) vemos un esquema de cómo es una conexión ADSL. Se observa que los módems son diferentes y que además entre ambos aparece un elemento llamado ‘splitter’, éste está formado por dos filtros, uno paso alto y otro paso bajo, cuya única función es separar las dos señales que van por la línea de transmisión, la de telefonía vocal (bajas frecuencias) y la de datos (altas frecuencias). Una visión esquemática de esto lo podemos ver en la figura 4.7.

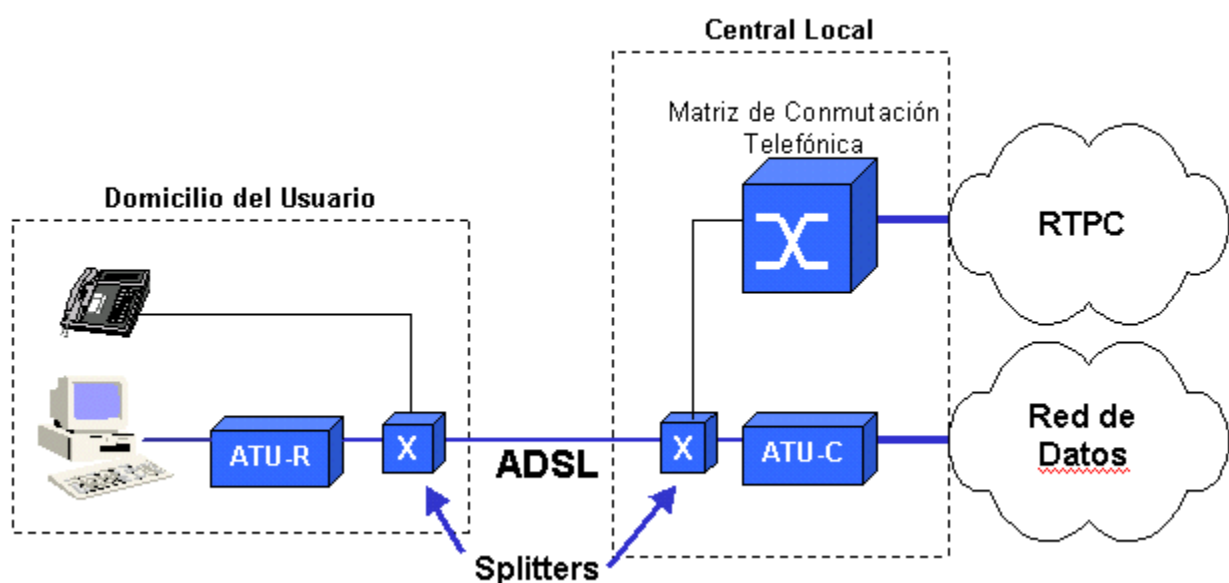


Figura 4.6 Conexión ADSL

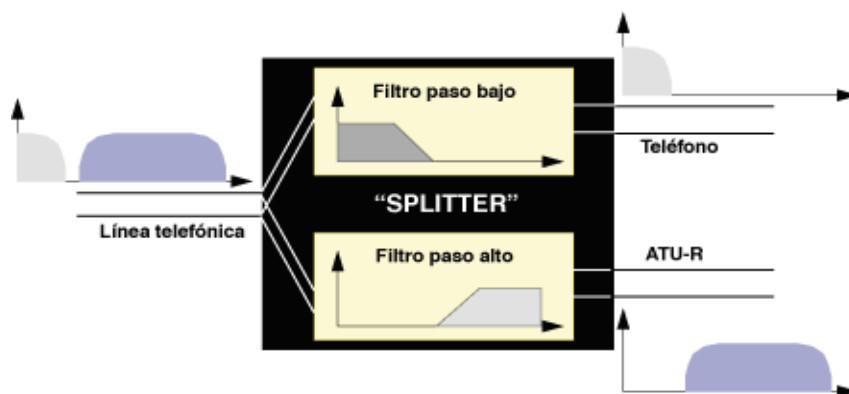


Figura 4.7 Funcionamiento del Splitter.

4.2.3.3 Modulación

Durante la primera etapa existían dos tipos de modulación para el ADSL:

- CAP: *Carrierless Amplitude/Phase* (Modulación por amplitud de fase sin portadora).
- DMT: *Discrete MultiTone* (Modulación por Multitonos Discretos).

Los organismos de estandarización se decidieron por la DMT, esta modulación usa varias portadoras en vez de una sola, que es lo que hace la modulación vocal. Cada una de estas portadoras se modula en cuadratura, es decir, igualmente separadas entre ellas, cada una tiene una banda asignada independiente y diferente de la de las demás. La cantidad de datos que conducirá cada portadora es proporcional a la relación Señal/Ruido en cada una de las bandas de las portadoras; cuanto mayor sea este valor mayor cantidad de datos transportarán, puesto que a mayor señal a ruido menor será el ruido presente en esa banda de la subportadora, con lo cual los datos transmitidos por esa banda tendrán menor probabilidad de llegar corruptos a su destino. Esta estimación se calcula en el momento de establecer la conexión a través de una 'secuencia de entrenamiento'.

La técnica de modulación de ambos módems es idéntica, la diferencia viene en que el modem de la central (ATU-C) puede disponer de 256 subportadoras, mientras que el del usuario (ATU-R) sólo dispone de 32. Lo cual nos demuestra que la velocidad de bajada siempre es superior a la de subida.

Cabe destacar que en un cable formado por pares de hilos de cobre tiene una cierta atenuación de la señal según la longitud del cable. La atenuación aumenta con la longitud del mismo, por ello la tasa de velocidad depende de la distancia del abonado con respecto a su central urbana, con lo que la velocidad máxima que ésta es capaz de suministrar al usuario será diferente. Como curiosidad decir que a una distancia de 2 Km. de la central, la velocidad máxima que puede tener el usuario es de 2 Mbps en sentido de bajada y 0.9 Mbps en sentido de subida. En la figura 4.8 vemos un gráfico que nos ilustra este hecho.

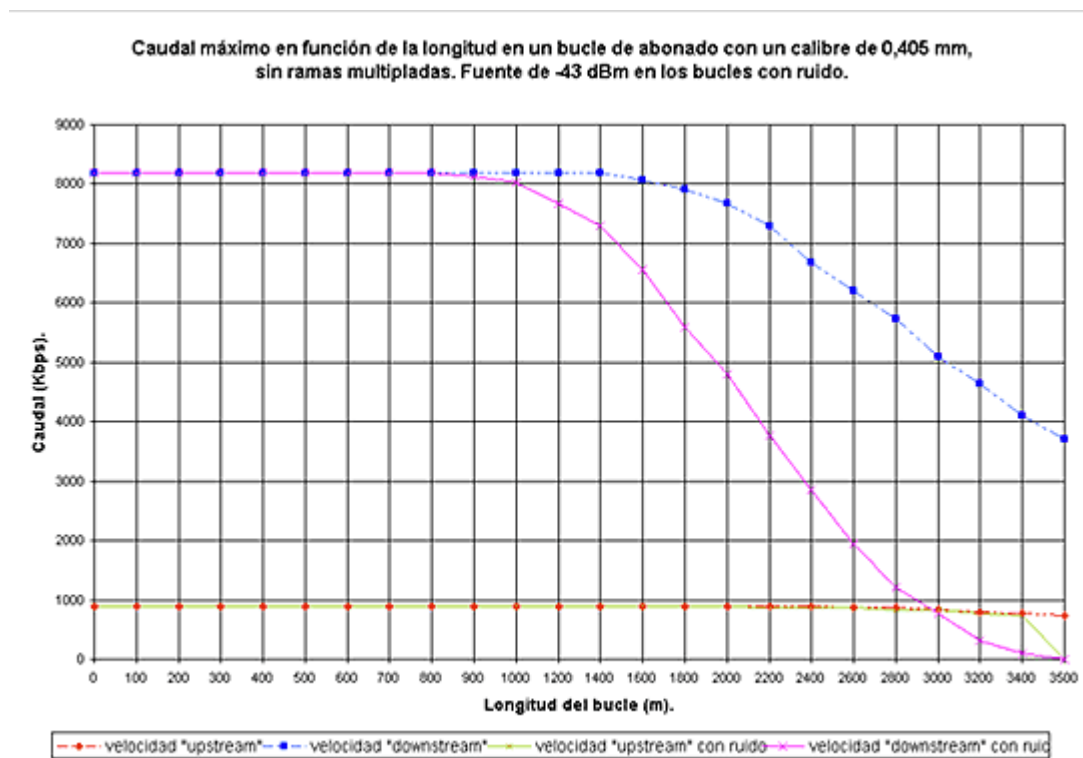


Figura 4.8 Caudal máximo respecto a la longitud del cable

4.2.3.4. Evolución

Los nuevos estándares del ADSL han conseguido unas velocidades de transferencia espectaculares, teniendo en cuenta el medio físico por el que circulan. En concreto los módems son capaces de transmitir a 8,192Mbps en sentido descendente y 0,928 Mbps en sentido ascendente, estos datos son de tasas de transmisión prácticas habituales en España, ya que en teoría se pueden alcanzar cuotas más altas.

Con estas cifras el despliegue de esta tecnología supone una auténtica revolución en la red de acceso de la operadoras del servicio telefónico, dichas líneas pasan de ser de banda estrecha,

capaces de transmitir voz o datos con módems de bajas velocidades, a ser redes de banda ancha multiservicio.

En la siguiente tabla podemos ver las distintas capacidades de transmisión que puede ofrecer cualquier operador de ADSL.

Nombre	Nombre común	Bajada máxima	Subida máxima
ANSI T1.413-1998 Issue 2	ADSL	8 Mbit/s	1,0 Mbit/s
ITU G.992.1	ADSL (G.DMT)	12 Mbit/s	1,3 Mbit/s
ITU G.992.1 Annex A	ADSL over POTS	12 Mbit/s	1,3 Mbit/s
ITU G.992.1 Annex B	ADSL over ISDN	12 Mbit/s	1,8 Mbit/s
ITU G.992.2	ADSL Lite (GLite)	1,5 Mbit/s	0,5 Mbit/s
ITU G.992.3	ADSL2	12 Mbit/s	1,0 Mbit/s
ITU G.992.3 Annex J	ADSL2	13 Mbit/s	3,15 Mbit/s
ITU G.992.3 Annex L	RE-ADSL2	5 Mbit/s	0,8 Mbit/s
ITU G.992.4	splitterless ADSL2	1,5 Mbit/s	0,5 Mbit/s
ITU G.992.5	ADSL2+	24 Mbit/s	1,0 Mbit/s
ITU G.992.5 Annex M	ADSL2+M	24 Mbit/s	3,5 Mbit/s

Tabla 10. Servicios de operador ADSL

Inicialmente Telefónica realizó diversos estudios para determinar la viabilidad del ADSL y de los servicios que podían ofrecer por medio de la red de acceso de Banda Ancha. Una vez comprobada su viabilidad y aprobado el marco regulatorio que permitía el despliegue del ADSL, Telefónica inició la expansión de esta tecnología a escala nacional siguiendo dos ramas diferentes:

- Se creó GigADSL; una red de acceso de banda ancha de ATM sobre ADSL que permite el acceso indirecto al bucle de abonado en igualdad de condiciones a todos aquellos operadores que dispongan de las licencias oportunas.
- Para la comercialización del ADSL, sobre la plataforma GigADSL, Telefónica Data creó el servicio Mega Vía. Es lo que conocemos como la tarifa plana de ADSL. Con esta conexión telefónica ofrece a los usuarios conexiones permanentes de ADSL a un coste relativamente asequible.

4.2.4. Redes Ópticas Pasivas ATM

En los últimos años, se han instalado servicios avanzados en millones de hogares utilizando tecnología DSL. Sin embargo, los recientes desarrollos han conducido a un creciente interés por parte de los proveedores, hacia la entrega de servicios de banda ancha sobre fibra. Estos desarrollos incluyen la implementación de FTTH (fibra-hasta-el-hogar) con fibra enterrada en nuevas construcciones y, en algunos casos, la instalación posterior de FTTH utilizando fibra aérea.

El desarrollo de la tecnología de redes ópticas pasivas ATM (APON) es esencial para el éxito de la implementación a gran escala de FTTH. Las distintas plataformas APON permiten a los proveedores entregar servicios de banda ancha a usuarios residenciales, cubriendo sus necesidades presentes y futuras.

En junio de 1995, cuando se formó el consorcio FSAN (Red de Acceso de Servicios Completos), formado por más de 20 operadores de telecomunicaciones de todo el mundo, acometió el desarrollo de una especificación que definiera un sistema de comunicación capaz de soportar un amplio rango de servicios. Esta iniciativa facilitaría la introducción a larga escala de las redes de acceso de banda ancha, definiendo un conjunto básico de requerimientos comunes.

En 1998, la especificación producida por el grupo fue adoptada por la UIT como el estándar G.983.1, que define el acceso óptico de banda ancha utilizando la APON.

4.2.4.1 Acceso por Fibra Óptica

La tecnología de fibra óptica ofrece virtualmente un ancho de banda ilimitado, y es ampliamente considerada como la solución fundamental para proporcionar acceso de banda ancha a la última milla, parte de la red donde se encuentra principalmente el cuello de botella que provoca el envío de servicios de baja velocidad; aunque hay que tener en cuenta, tal como se ha comentado, que nuevas tecnologías como las xDSL, han logrado aumentar el ancho de banda disponible en la infraestructura de cobre existente.

No obstante, se necesita una nueva infraestructura de red que soporte las nuevas aplicaciones que van surgiendo y las que se prevén en el futuro. Esta infraestructura deberá permitir primeramente más ancho de banda, rápido aprovisionamiento de servicios, y garantías de calidad de

servicio (QoS) a un costo efectivo y de manera eficiente.

Las topologías que extienden la fibra óptica a través de la arquitectura de acceso local tales como, FTTH, FTTB, FTTCab, y FTTC ofrecen un mecanismo que habilita suficiente ancho de banda para el envío de nuevos servicios y aplicaciones. La tecnología APON puede incluirse en todas estas arquitecturas, como se muestra en la Figura 4.9.

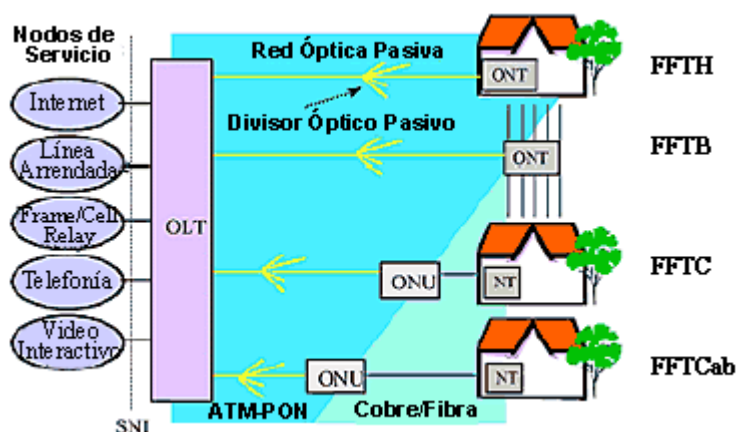


Figura 4.9 APON sobre las arquitecturas FTTx

El componente principal de una PON es el dispositivo divisor óptico (*splitter*) que, dependiendo de la dirección del haz de luz, divide el haz entrante y lo distribuye hacia múltiples fibras, o los combina en la dirección opuesta dentro de una sola fibra.

Cuando la PON se incluye en una arquitectura FTTH/B, la fibra va desde la Oficina Central (CO) hasta un divisor óptico ubicado dentro de la casa del abonado o negocio. En la arquitectura FTTCab, la fibra va desde la CO hasta el divisor óptico que se ubica en un gabinete (*cabinet*) en la vecindad atendida típicamente a una distancia alrededor de los 300 metros del abonado. En la FTTC se llega con fibra hasta un gabinete más cercano al abonado, situado alrededor de 20 metros de éste.

La PON puede ser común a todas estas arquitecturas. Sin embargo, sólo en las configuraciones FTTH/B se eliminan todos los componentes electrónicos activos de la planta exterior, por lo que en éstas la PON es más eficiente, al eliminar todos los procesos de procesamiento de señal y codificación.

Los puntos finales del enlace están referidos como terminal de línea óptico (OLT) en la CO y terminal de red óptico (ONT) en lado del cliente. Se abordarán los mismos en la sección siguiente.

4.2.4.2 Arquitectura de una APON

La APON está constituida fundamentalmente por la OLT, ONT, la fibra que soporta los componentes ópticos y un sistema de gestión de red.

La OLT reside típicamente en la central, mientras que la ONT se ubica en las instalaciones del usuario. La planta externa (fibra y componentes ópticos) es totalmente pasiva. Una única fibra conecta un puerto OLT con múltiples ONTs, utilizando filtros ópticos. Una única APON puede equiparse hasta con 64 ONTs, aunque típicamente el rango está entre 32 y 48. La OLT puede estar hasta a 20 Km de distancia de las ONTs, permitiendo a una APON cubrir una extensa área geográfica. Una OLT puede soportar múltiples APONs, lo que, combinando con la capacidad de filtrado de las APONs, significa que una OLT puede soportar una gran número de usuarios. [14]

Las técnicas WDM que utilizan tres longitudes de onda distintas, permiten transmitir datos bidireccionales y distribución de vídeo en fibra. En la dirección de bajada, los datos se distribuyen a 1490 nm, utilizando el protocolo TDM; en la dirección de subida, se utilizan 1310 nm en conjunción con el protocolo TDMA a fin de soportar el medio de conexión compartido multipunto a punto. La tercera longitud de onda a 1550 nm transporta la distribución de vídeo desde la OLT a las ONTs, constituyendo un método eficiente en coste para entregar un gran número de canales de vídeo analógicos y/o digitales a los usuarios.

Para el transporte de comandos, control e información de estado se utilizan celdas ATM especiales en ambas direcciones. De acuerdo con el estándar G.983, la APON puede operar a dos velocidades: 155 Mbps (simétrico) y 622 Mbps descendentes/155 Mbps ascendentes (asimétrico). El ancho de banda puede asignarse individualmente a las ONTs con capacidad para cada ONT por debajo de 4 Kbps.

Todas las ONTs de una APON reciben la difusión completa de bajada de la OLT. Cada ONT supervisa la corriente de datos extrayendo solamente las celdas destinadas a ella, basándose en el valor del campo VPI/VCI de la celda ATM, que identifica a cada ONT de manera unívoca.

Antes de la transmisión desde la OLT, los datos se encriptan, utilizando un proceso llamado “variación”, para asegurar la seguridad en la APON. Durante la “variación” cada ONT transmite una clave de encriptación a la OLT para que la utilice en el proceso de variación y cuya finalidad es asegurar que los datos destinados a esa ONT no estén disponibles para las demás. En la dirección de subida, cada ONT sólo transmite datos a la OLT tras recibir un mensaje de cesión por parte de ésta, cediéndole un número de ciclos de tiempo (*timeslots*) en la APON.

Puesto que cada ONT puede estar a una distancia significativa de las demás, y de la OLT, se utiliza un procedimiento llamado “*ranging*” para determinar la distancia entre cada ONT y la OLT, a fin de ajustar la asignación de los ciclos y maximizar así la eficiencia de la APON.

Una APON proporciona funcionalidades FTTH completas, incluyendo datos a alta velocidad, voz en paquetes y una capa de vídeo para servicio de vídeo equivalente al sistema de cable, todo en una única fibra (Figura 4.10).

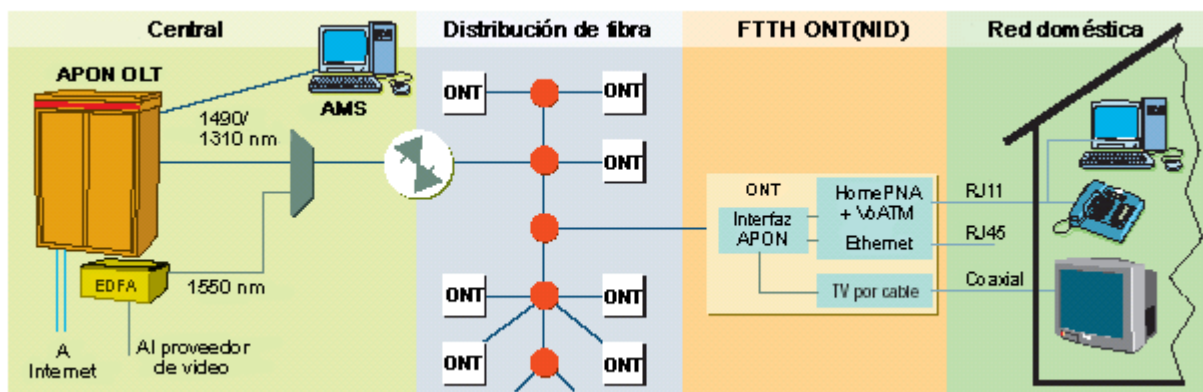


Figura 4.10 APON para FTTH

4.3. Características comunes para las redes de área local

4.3.1. Estándar Ethernet

Ethernet es el principal estándar y el más popular para redes de área local y su historia comienza en 1970, sobre la base de los experimentos de Robert Metcalfe con la recién estrenada ARPANET y la introducción de mejoras para aumentar el rendimiento del protocolo ALOHA que se utilizaba para la transmisión por radio entre diversas islas de Hawái. Durante un periodo de 10 años trabajando para la compañía Xerox y con la ayuda de algunos colaboradores, Metcalfe sentó

las bases de lo que son las comunicaciones en una LAN (*Local Area Network*). El objetivo era conseguir un medio de comunicación entre ordenadores, a medio camino entre las lentas redes telefónicas de larga distancia que ya existían, y las de alta velocidad que se instalaban en las salas de computación para unir entre sí sus distintos elementos.

La velocidad inicial era de 10 Mbit/s, aunque ésta ha ido aumentando con el paso del tiempo. Así, con el estándar *Fast Ethernet* se alcanzan los 100 Mbit/s, con el *Gigabit Ethernet* se llega a 1 Gbit/s y con el 10 GbE se alcanzan los 10 Gbit/s. Recientemente, en el año 2010, el IEEE ha ratificado el estándar 802.3ba que contempla una velocidad de 40 Gbit/s, destinada a servidores, y otra de 100 Gbits/s para la interconexión en las redes troncales.

4.3.2. Versiones del estándar

A lo largo de los años han ido apareciendo diversas especificaciones relativas a este estándar, que utilizan distinto tipo de cableado y ofrecen prestaciones diferenciadas. El número al inicio indica la velocidad en Mbit/s que se alcanza, la cifra después de Base, el número de centenas de metros que alcanza, y la letra, el tipo de cableado que se utiliza, que puede ser de cable de pares o de fibra óptica (si no se especifica, se entiende que es coaxial).

Las especificaciones más comunes son las que se explican a continuación [15]:

- **10Base-5** (*Thick Ethernet*): sobre cable coaxial grueso de 100 Ohmios acepta hasta 100 puestos de trabajo sobre una longitud máxima de 500 metros. La conexión entre el bus y la tarjeta adaptadora de red en el ordenador se realiza mediante *transceivers* conectados por un cable AUI (*Attachment Unit Interface*) con conectores en ambos extremos. Hasta un máximo de 5 segmentos pueden interconectarse por medio de repetidores.
- **10Base-2** (*Thin Ethernet*): sobre coaxial fino RG58, llamado *cheapernet*, acepta hasta 30 puestos de trabajo, espaciados un mínimo de medio metro, sobre una distancia máxima de 185 metros. En este caso la conexión al bus se realiza en el propio ordenador, mediante una tarjeta adaptadora, por medio de un conector coaxial BNC de bayoneta en “T”.
- **10Base-T**: sobre cable de pares trenzados sin apantallar (UTP), con topología física en estrella cuyo centro es un HUB 10Base-T. Cada estación de trabajo, con su

correspondiente tarjeta adaptadora, puede situarse a una distancia de hasta 100 metros, realizándose la conexión por medio de conectores modulares RJ-45.

- **10Base-F:** sobre fibra óptica, en lugar de coaxial, admite más de 4 repetidores y permite configuraciones más complejas.
- **100Base y 1000Base:** son estándares de *Ethernet* (*Fast Ethernet* y *Gigabit Ethernet*, respectivamente), que operan a una velocidad de 100 Mbit/s y 1000Mbit/s sobre una fibra óptica y cable de pares.
- ***Fast Ethernet:*** es compatible con *Ethernet*, pudiendo ambos coexistir en la misma red, debido a que el nivel MAC empleado con CSMA/CD es independiente de la velocidad, necesitándose de adaptadores específicos para cada caso y cable de categoría 5. Muchas de las tarjetas actuales de red son duales y soportan tanto 10 como 100 Mbit/s, por lo que un mismo terminal puede conectarse a cualquier red.
- ***Gigabit Ethernet:*** es una extensión de las normas *Ethernet* de 10 y 100 Mbit/s que ofrece en modo semidúplex o dúplex un ancho de banda de 1 a 10 Gbit/s, asegurando la compatibilidad con la base instalada de *Ethernet* y *Fast Ethernet*. La que finalizó el estándar en Junio de 1998, mientras que la de 10 GbE lo fue en el año 2002 por el 802.3ae. El principal objetivo era ampliar la capacidad de las redes troncales o *backbone*.

4.3.3. Acceso al medio

En las redes de área local es posible que las estaciones detecten lo que están haciendo las demás y adapten su comportamiento en base a ello. Se conseguirá una mayor eficiencia si antes de emitir se consulta si el medio está siendo utilizado por otras estaciones. Estos protocolos se denominan de acceso múltiple con detección de portadora (CSMA, *Carrier Sense Multiple Access*).

El mecanismo de detección de portadora sólo es eficiente cuando se trabaja con medios de transmisión en los que los retardos de propagación son muy pequeños. En efecto, si los retardos de propagación son grandes puede ocurrir que una estación transmita una trama e inmediatamente después una segunda estación desee transmitir otra trama. Esta última escuchará el canal antes de transmitir, pero, debido al retardo de propagación de la señal, puede que la información que transmitió la primera todavía no haya alcanzado a la segunda, por tanto, esta última detectará el canal libre, transmitirá su trama y se producirá una colisión. Cuanto menores sean los retardos de propagación de las señales, más improbable será que se dé esta circunstancia.

En el protocolo CSMA, cuando una estación transmite una trama debe esperar confirmación de la misma. Si transcurrido un tiempo determinado no se recibe confirmación, entonces se supone que la trama ha sufrido una colisión y deberá ser retransmitida.

En cuanto a las actuales redes (Ethernet), están utilizando una variante de este protocolo, el acceso múltiple con escucha de portadora y detección de colisión (CSMA/CD). El CSMA/CD funcionalmente es muy parecido al CSMA, pero en este caso si se produce una colisión, los terminales implicados cancelan su transmisión en curso y comienzan a transmitir una secuencia especial de bits, denominada señal de atasco, para asegurarse que el resto de los terminales de la red detecten también la colisión.

Cada vez que ocurre una colisión, los terminales comienzan su proceso de transmisión después de un periodo aleatorio de espera, para reducir la probabilidad de una nueva colisión. Cuantos más terminales haya, más probables son las colisiones, por lo que estas redes tienen serias limitaciones si el número de ellos es muy elevado.

No obstante, en 10 Gigabit Ethernet se ha eliminado el protocolo de acceso al medio CSMA/CD, ya que se implementa tan sólo en dúplex, con el fin de no reducir las longitudes de los segmentos en los que se utiliza este protocolo. Por otro lado, el medio físico empleado es, por lo general, la fibra óptica.

En la actualidad, se está empezando a implantar las últimas versiones de Ethernet (*Gigabit Ethernet*) por otras tecnologías tales como ATM, que es ampliamente utilizado logrando unas velocidades moderadas, como es el caso de la ADSL.

5. Mercado

En España, el sector de las telecomunicaciones engloba los sectores de electrónica de consumo, servicios de telecomunicación y servicios de Internet, equipos de telecomunicación, servicios audiovisuales, contenidos digitales y productos audiovisuales, hardware informático, software informático y servicios informáticos. Este punto, se centrará en los servicios de telecomunicación (servicios móviles) y servicios de Internet.

El sector de las telecomunicaciones mostró un crecimiento notable a lo largo del siglo XX, especialmente a partir de los años 90. Los sectores de mayor desarrollo fueron las comunicaciones móviles y las redes fijas de banda ancha, aunque el verdadero aumento se produjo en pleno siglo XXI, consiguiendo unas cuotas de crecimiento del 11%. En los años más recientes, el incremento en el sector de las telecomunicaciones ha descendido de manera gradual debido a la crisis económica, sin llegar a unos baremos alarmantes. A continuación, se revelan los datos más destacables de los últimos años.

Si partimos del año 2005 en nuestro estudio, la fase de expansión del sector de las telecomunicaciones español continuó la fase empezada años atrás, con una evolución más favorable que en el año anterior. Las mejoras se reflejaron tanto en los ingresos del sector como en la inversión y el empleo, que crecieron a ritmos más intensos.

El sector de las telecomunicaciones en España vivió un año de crecimiento en 2005, empujado principalmente por el auge de los accesos a Internet a través de banda ancha, que crecieron a un ritmo del 47% anual, y la telefonía móvil que creció en tráficos e ingresos y superó las 42 millones de líneas activas a fin de año.

Otra de las características más destacadas del 2005 fue la consolidación de la ubicación y el crecimiento del alquiler del bucle desagregado como mecanismo de entrada al mercado de nuevos operadores. También es destacable la proliferación de ofertas comerciales de servicios empaquetados, muy especialmente en banda ancha y en tráfico de voz nacional. Los consumidores han recibido mejoras en las velocidades de transmisión y en los precios de prácticamente todos los servicios finales ofrecidos.

En 2006, un rasgo común del sector de las comunicaciones electrónicas en el mundo, y en España, fue la ralentización del ritmo de crecimiento respecto a 2005. Los servicios de

telecomunicaciones crecieron, aunque a tasas menores que las registradas años atrás, y lo hicieron en menor medida que los sectores de equipamientos y de medios audiovisuales.

En la UE, los servicios finales del sector de las comunicaciones electrónicas crecieron el 2,3%, ritmo inferior al observado en 2005. En España se alcanzó un crecimiento superior al europeo, del 5,8%, aunque también más moderado que el registrado en el período anterior.

Hasta que finalmente en 2009, el año que se recordará como “el año de la crisis”, se manifestó con particular crudeza en la economía española. La crisis financiera se extendió a todos los sectores económicos provocando una recesión económica mundial, con pocos precedentes en la historia reciente, siendo no ajeno a esta difícil situación el sector de las telecomunicaciones.

Por primera vez desde el año 1993, el Macrosector de las TIC en España ha visto cómo en el año 2009 se reducía la cifra de negocio. El descenso del mercado alcanzó un 7%, superando a la baja las previsiones más pesimistas. Este descenso supone una pérdida de facturación de más de 5.000 millones de euros.

En este apartado, se verá el estado actual del mercado de las telecomunicaciones y su tasa de penetración, con lo que se conseguirá una mejor percepción de la cobertura y de la cantidad de usuarios dentro del territorio nacional.

5.1. Tasa de penetración

A principios del año 2001, por iniciativa de la CMT, se establecieron contactos institucionales entre ésta y el Instituto Nacional de Estadística para abordar la realización de una encuesta específica a los hogares españoles que versara sobre el uso que en ellos se realiza de servicios de Telecomunicación y de Tecnologías de la Información (TIC).

La realización de este trabajo se entendió convenientemente a la vista de la diversidad de fuentes de información existentes para datos de esta naturaleza, siendo la mayoría de estas fuentes parciales. Dicha diversidad hacía difícil tanto la comparación entre ellas como la extracción de conclusiones sobre el modo en que la introducción de competencia en el Sector venía siendo percibida desde el lado de los consumidores, que son sus beneficiarios últimos.

Para plasmar legalmente esta colaboración estadística, el INE y la CMT suscribieron a principios del año 2002 un convenio específico de colaboración para la realización de una operación estadística que investigase los grupos de las variables, que se mostrarán más adelante, y que vino en denominarse Encuesta de Hogares sobre Equipamiento y Uso de Tecnologías de Información y Comunicación (TIC-H 2002). Con el fin de dotar de carácter oficial a la encuesta TIC-H 2002, se incluyó su realización en el Plan Estadístico del año 2002, en el marco del Plan Estadístico Nacional 2000-2004.

La identificación de los factores determinantes en el uso de Internet precisa de una base de datos que contenga información sobre cualquier individuo situado dentro de la geografía de España, y que además, esta información sea lo más detallada posible presentando características socioeconómicas, familiarización con las tecnologías o el propio equipamiento. Obviamente, las fuentes que contienen este tipo de información son escasas, y en algunos casos de disponibilidad muy limitada. Para la elaboración del siguiente análisis, se optó por la Encuesta sobre Equipamiento y Uso de Tecnologías de Información y Comunicación en los Hogares (TIC-H) publicada por el INE ya que posibilita la disponibilidad de microdatos anónimos comprendidos en el primer periodo del 2012 [16]. No obstante, han de admitirse las limitaciones de esta fuente.

La encuesta TIC-H 2012 sobre equipamiento y uso de tecnologías de información y comunicación en las viviendas fue realizada por el Instituto Nacional de Estadística (INE), en colaboración con el Instituto de Estadística de Cataluña (IDESCAT), el Instituto de Estadística de Andalucía (IEA) y el Instituto de Estadística de Navarra (IEN) en el ámbito de sus respectivas comunidades autónomas. Asimismo, el INE formalizó un convenio de colaboración con la Fundación Centro Tecnológico de la Información y Comunicación (CTIC) del Principado de Asturias. Además, la operación estadística siguió las recomendaciones metodológicas de la Oficina de Estadística de la Unión Europea (EUROSTAT). Es la única fuente en su género cuyos datos son estrictamente comparables no sólo entre los países miembros de la Unión, sino además en otros ámbitos internacionales.

Además, esta encuesta presentada por el INE contiene más de 300 variables, las cuales se dividen en ocho bloques tales como la identificación y selección de la persona a encuestar, el equipamiento de la vivienda principal en productos de tecnologías de información y comunicación,

el acceso a Internet de la vivienda, la tabla de uso de ordenador e Internet por los niños (10 a 14 años), el uso del teléfono móvil y ordenadores por la persona seleccionada, el uso de Internet por la persona seleccionada, el comercio electrónico, y por último las características socioeconómicas de la persona seleccionada.

El cuestionario distribuido a los individuos incorporaba un apartado específico orientado a los rasgos sociodemográficos. Además de las variables relativas al interés tecnológico del encuestado y su equipamiento, el cuestionario recogía otros aspectos que han sido incluidos en el análisis:

- Características sociodemográficas. Dentro del apartado sociodemográfico, tenemos que destacar características de la encuesta como el sexo, la edad, el nivel de estudios, la situación profesional, etc. así podemos ver las preferencias de unos y otros.
- Características tecnológicas. En este apartado, se mostraba todo lo relacionado con el equipamiento en tecnologías de la información y la comunicación de los hogares españoles, y el uso que la población realiza con el ordenador e Internet.
- Relaciones entre el uso de Internet y las características de la encuesta. En cambio aquí, veremos las relaciones que existen entre el uso de Internet y todas las variables seleccionadas de la encuesta. Para lograr esto, se realizaron tablas cruzadas.
- Relaciones entre la realización de compras por Internet y las características de la encuesta. Dicho apartado será muy parecido al anterior, aunque con la diferencia que en este caso será con la realización de compras por Internet.

El marco muestral de la encuesta TIC-H 2012 estaba conformado por un total de 3.060 secciones censales con un total de 35.742 viviendas, siendo 8 el número de viviendas seleccionadas en cada sección censal. Las potencialidades del marco muestral, basado en la Encuesta de Población Activa (EPA), permitieron disponer con carácter previo de todas las variables sociodemográficas de los miembros del hogar permitiendo la selección por muestreo aleatorio del informante en lo referente a teléfono móvil y el cruce de los resultados obtenidos con dichas variables sociodemográficas. Sólo se seleccionaron en cada hogar las personas de 16 ó más años, ya que ese

es precisamente el umbral de edad establecido por la propia estructura de la EPA.

Comunidad Autónoma	Número de secciones censales
Andalucía	588
Aragón	128
Asturias (Principado de)	232
Baleares (Islas)	92
Canarias	120
Cantabria	80
Castilla y León	172
Castilla - La Mancha	132
Cataluña	264
Comunidad Valenciana	196
Extremadura	112
Galicia	156
Madrid (Comunidad de)	204
Murcia (Región de)	100
Navarra (Comunidad Foral de)	240
País Vasco	144
Rioja (La)	72
Ceuta y Melilla (Ciudades Aut.)	28
TOTAL	3.060

Figura 5.1 Número de secciones censales

El número de secciones censales recogidas en la muestra, fue de 3.060, mientras que el número de hogares investigados ha sido 11.670 en visita domiciliaria y 15.752 en encuesta telefónica (CATI), lo que corresponde a un total de 27.422 hogares. Por otra parte, el número de miembros del hogar incluidos en los hogares investigados ha sido de 51.486 (limitando los miembros del hogar sometidos a encuesta a personas con 16 o más años).

5.1.1. Comunicaciones Móviles

Se comenzará comentando una de las características más determinantes a la hora de estudiar

una tasa de penetración, la cual es el sexo. Sin embargo, las respuestas al cuestionario no muestran diferencias muy relevantes en el número de encuestados según el sexo del individuo.

Dato	Porcentaje
Mujer	94,0
Hombre	94,7

Tabla 11. Sexo de los individuos en el uso del móvil

En cuanto a la edad se dividió la población en varios grupos comprendidos entre intervalos de 10 años. En este caso, las proporciones de individuos en cada grupo son bastante equitativas. Aunque en los resultados predominan con altos porcentajes, los individuos con edades comprendidas entre los 16 años y los 24 años poseen el porcentaje más alto. Por el contrario, las personas más mayores tienen los porcentajes más bajos de la participación en la encuesta.

Datos	Porcentaje
16 a 24 años	99,0
25 a 34 años	98,7
35 a 44 años	98,4
45 a 54 años	95,5
55 a 64 años	91,1
65 a 74 años	75,9

Tabla 12. Edad de los individuos en el uso del móvil

Otro dato que se puede obtener de la encuesta es el hábitat de los usuarios, donde se selecciona dicha característica por cantidad de habitantes desde los 100.000 hasta los 10.000. Aunque los resultados son muy parecidos entre ellos, se puede concluir que cuanto mayor es el hábitat mayor es la utilización de un dispositivo móvil.

Datos	Porcentaje
Más de 100.000	95,0
De 50.000 a 100.000	96,3
De 20.000 a 50.000	95,8
De 10.000 a 20.000	94,0
Menos de 10.000	91,4

Tabla 13. Hábitat de los individuos en el uso del móvil

Con estos datos, se tiene una idea clara del panorama del uso de las telecomunicaciones móviles dentro del territorio nacional

5.1.2. Internet

En este apartado se comentarán las tablas cruzadas entre las características sociodemográficas y el uso de Internet. De esta forma, se podrá profundizar en el estudio hallando el perfil del usuario de la Red. Un aspecto que llama la atención en los informes del INE del año 2012, es que el porcentaje del uso de Internet entre los encuestados es del 69,8%, no muy alto cuando en desde aproximadamente una década existe una alta accesibilidad a este servicio.

En cambio, dentro de dicho porcentaje de uso de Internet, el porcentaje de hombres fue de un 72,4% y el de mujeres un 67,2%. Se corrobora que las diferencias en la utilización de las tecnologías de la información se han ido acortando en el transcurso de los años, aunque aún existe una pequeña diferencia.

Dato	Porcentaje
Mujer	67,2
Hombre	72,4

Tabla 14. Sexo de los individuos en el uso de Internet

Respecto a la edad, se hallaron los porcentajes de todos los grupos de edades que comprenden a los encuestados que utilizan Internet y los que no lo usan, dando como resultado que los grupos de menor edad son los más propensos a utilizar la Red. Con lo que el grupo más joven que comprende desde los 15 hasta los 24 años tiene un 96,2%, y el grupo de mayor edad que comprende edades de 75 años y superiores, tan sólo tiene un 18,3%.

Datos	Porcentaje
16 a 24 años	96,2
25 a 34 años	88,8
35 a 44 años	83,8
45 a 54 años	68,0
55 a 64 años	43,7

65 a 74 años	18,3
--------------	------

Tabla 15. Edad de los individuos en el uso de Internet

Por último, se ha tenido en cuenta el hábitat donde los resultados muestran una dependencia significativa de la tasa de penetración con el tamaño de la población. Se observa que las concentraciones de población influyen en mayor medida que en el caso de las comunicaciones móviles, es decir, lugares con más habitantes tienden a una mayor penetración a la Red.

Datos	Porcentaje
Más de 100.000	73,3
De 50.000 a 100.000	74,8
De 20.000 a 50.000	69,9
De 10.000 a 20.000	68,5
Menos de 10.000	61,6

Tabla 16. Hábitat de los individuos en el uso de Internet

5.2. Mercado empresarial en la actualidad

5.2.1. Comunicaciones Móviles

En el año 2012 los ingresos correspondientes a los servicios finales de telefonía móvil, que incluye telefonía y mensajes, alcanzaron los 9.504,5 millones de euros. Esta cifra supuso un descenso del 15,9% respecto del ejercicio anterior e implicó una caída que casi duplica la experimentada en el año 2011. Esta reducción sitúa los ingresos por debajo del nivel alcanzado en 2004, bastante antes de la crisis.

Por primera vez desde que se inició la serie histórica, el total de líneas móviles disminuyó respecto al año anterior con lo que, en 2012, el número de líneas se situó en 50,7 millones. Fue la demanda del segmento residencial, con una caída de 2,1 millones de líneas, la que protagonizó esta disminución de líneas.

Estas variaciones hicieron que la penetración del servicio de telefonía móvil retrocediera respecto del año anterior. Así, en 2012 se contabilizaron 109,7 líneas de telefonía móvil por cada 100 habitantes, lo que significa un descenso respecto al año anterior del 3,7%. En cambio, los

servicios móviles distintos a la telefonía como, por ejemplo, las líneas asociadas a máquinas (telemetría o telecontrol), aumentaron su número un 12,3%, hasta alcanzar los 2,8 millones.

Cabe señalar que los consumidores hicieron un uso muy intensivo de la portabilidad para cambiar de operador. Los principales beneficiados de este proceso fueron Yoigo y el conjunto de operadores móviles virtuales, en adelante OMV, que lograron aumentar su peso en el mercado y hacerse con una cuota conjunta del 16% de las líneas activas.

Los servicios de voz y de mensajes cortos registraron un descenso en sus ingresos del 14,4% y del 37,5% respectivamente. En relación con este último dato, la evolución del servicio de mensajería, SMS o MMS, se ha visto seriamente afectada por la proliferación de aplicaciones de mensajería instantánea, como *Whatsapp* o *Line*, que funcionan mediante la conexión permanente a Internet móvil. La elevada sustitución de estos servicios, junto al menor coste que, en términos relativos, representan este tipo de aplicaciones, ha provocado una caída tanto en ingresos como en tráfico del sistema tradicional de mensajería (mensajes SMS y MMS). Se estima que en España un 23% de los usuarios de telefonía móvil utilizan habitualmente este tipo de servicios *over-the-top* (OTT).

La reducción de los ingresos procedentes del tráfico de voz se registró tanto en el segmento de pospago, con un descenso respecto al año anterior del 14,9%, como en el de prepago, con una caída del 11,5%. En cambio, los ingresos procedentes de cuotas de abono y de cuotas mensuales se duplicaron en un solo año, hasta llegar a representar el 30% de los ingresos totales del servicio de tráfico de voz tal como se observa en la Figura 5.2. Este resultado confirma la proliferación de ofertas vinculadas tanto a tarifas planas de voz móvil como a tarifas planas que empaquetan el servicio de voz y el de Internet móvil. [17]

Evolución de los ingresos por servicios finales (millones de euros)

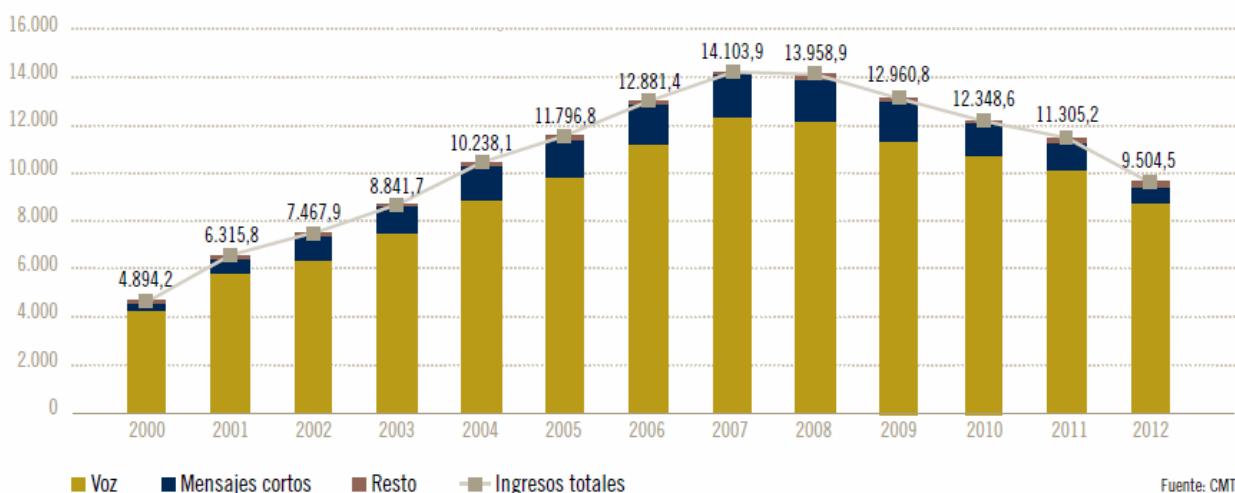


Figura 5.2 Gráfico de los ingresos de las comunicaciones móviles.

Por lo tanto, podemos concluir que en 2012 el segmento de prepago fue el que causó esta caída, con un descenso del 12,5% (2,6 millones de líneas) respecto a 2011. Por el contrario, el volumen de líneas del segmento pospago registró un aumento del 2%, equivalente a 629.659 líneas más. Las líneas de telefonía móvil, excluidas las líneas vinculadas a *datacards* o a máquinas, alcanzaron una penetración de 109,7 líneas por cada 100 habitantes, lo que supuso un descenso del 3,7% respecto a 2011.

Evolución de las líneas móviles (millones)



Figura 5.3 Cantidad de líneas

La estructura del parque de líneas de los distintos operadores está relacionada con su cuota de mercado. Así en la figura 5.4, se puede apreciar una cierta correlación positiva entre la cuota de mercado del operador y el peso que tienen los clientes de contrato en su cartera. La mayoría de los clientes de Movistar y Vodafone, los operadores con mayor cuota de mercado, se concentra en la modalidad de postpago. Este peso se va reduciendo a medida que disminuye la cuota de mercado del operador en cuestión. En este sentido, es importante destacar que las líneas de postpago generan unos ingresos por línea más elevados. Así, en el segmento residencial, una línea de postpago factura 2,85 veces más que una de prepago.

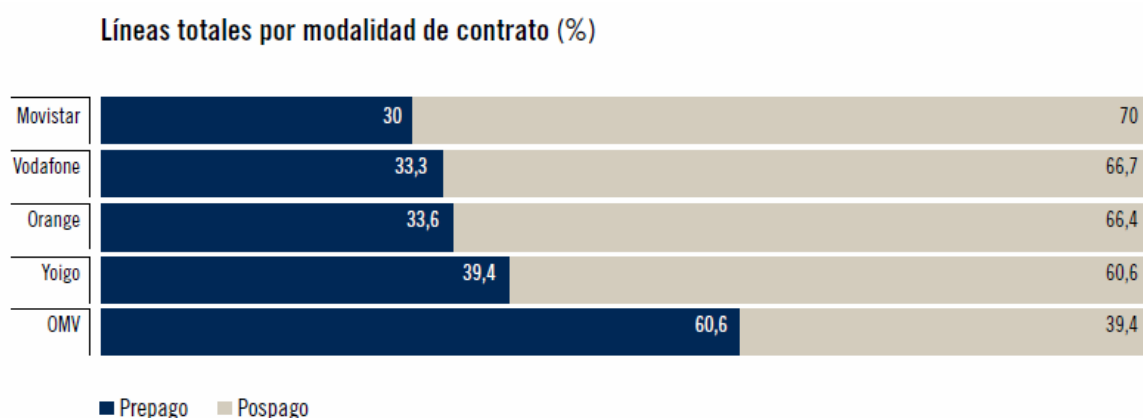


Figura 5.4 Diferencia entre líneas de prepago y postpago

En el año 2012 los usuarios volvieron a mostrarse muy activos en el cambio de proveedor de servicios móviles: lo llevaron a cabo el 11,7% de los usuarios. Casi todos ellos utilizaron la portabilidad, lo que condujo a una media 435.000 portabilidades al mes. Mediante este procedimiento, los operadores de reciente incorporación (Yoigo y los OMV) ganaron un volumen importante de líneas a los competidores más establecidos.

Este dinamismo se tradujo en variaciones significativas de las cuotas de mercado. Los dos principales operadores del mercado, Movistar y Vodafone, registraron entre ambos una pérdida neta de 1.542.323 líneas portadas; en cambio, Yoigo y el conjunto de OMV ganaron 1.149.247 líneas. Por su parte, Orange fue el único operador histórico que consiguió una ganancia neta de líneas portadas (393.076 líneas).

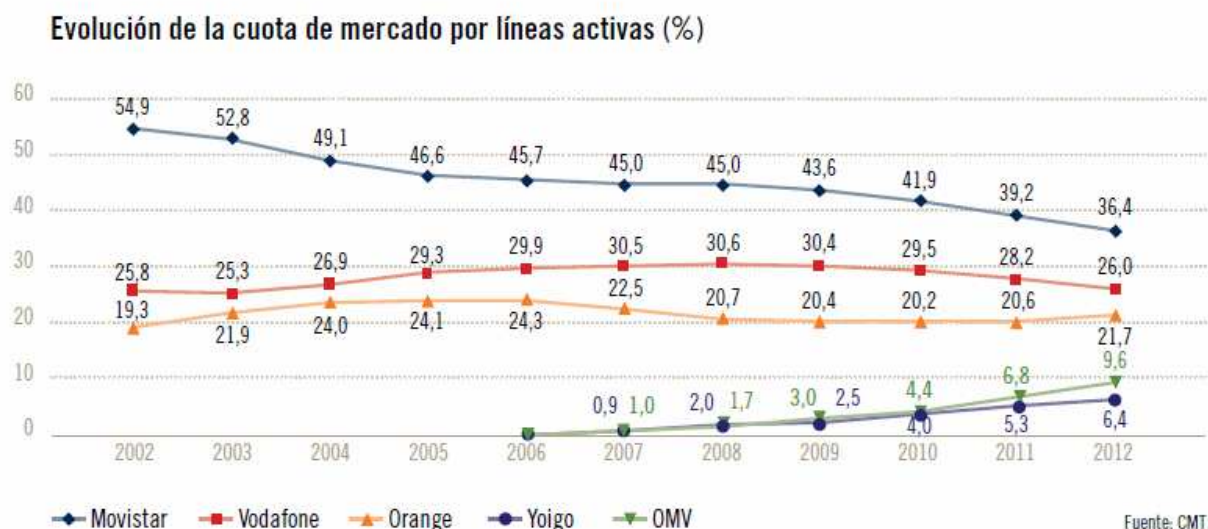


Figura 5.5 Líneas por operador

La competencia condujo a la aparición de tarifas planas de voz, nuevos empaquetamientos de servicios, con rebajas en los precios implícitos, y a una reducción en los ingresos por cliente. Los operadores con red lanzaron servicios con marcas nuevas o suscripciones de “sólo SIM” que les permitían competir más directamente con los OMV. Para reducir los costes de adquisición del cliente, algunos operadores eliminaron el subsidio al terminal, que hasta entonces había sido utilizado como atractivo comercial por un buen número de operadores.

Los consumidores hicieron un uso intensivo de la posibilidad de cambiar de proveedor de servicios móviles (con o sin portabilidad de numeración). Así, de una muestra representativa de usuarios de servicios móviles dentro del segmento residencial, se obtuvo que el 11,7% de estos había cambiado de operador en los últimos doce meses; la gran mayoría de ellos, el 90%, mantuvieron la numeración inicialmente asignada.

Es destacable que, aproximadamente, la mitad de los usuarios buscaba abaratar sus facturas y uno de cada tres quería cambiar de terminal móvil aprovechando una promoción. Los operadores de mayor tamaño habían venido ofreciendo subsidios a los terminales con el objetivo de atraer a clientes de otros proveedores. Sin embargo, en la primera parte del año, algunos operadores anunciaron que abandonaban esta práctica para reducir el coste de adquisición de los clientes.

En el año 2012, los dos principales operadores redujeron su cuota de mercado por número de líneas de voz móvil y, como contrapartida, el resto de operadores (Orange, Yoigo y los OMV)

vieron aumentadas las suyas. Los operadores de reciente incorporación (Yoigo y los OMV) fueron los que mayor participación ganaron en el año y alcanzaron una cuota de mercado conjunta del 16%.

En el grupo de OMV se incluyen 23 operadores. No obstante, cabe señalar que algunos de estos están participados mayoritariamente por un operador móvil de red. Así, Movistar es propietaria del operador Tuenti y Orange lo es de la marca Amena. Asimismo, en diciembre de 2012 Orange anunció la adquisición de Simyo en una operación por valor de 30 millones de euros. Estas actuaciones muestran que algunos operadores de red han optado por segmentar su oferta entre distintas marcas comerciales en función del público objetivo al que pretenden atraer.

En el año 2012, los ingresos totales obtenidos por los operadores OMV en el mercado móvil minorista ascendieron a 626,2 millones de euros. Esta cifra implicó un crecimiento del 37,1% respecto a los ingresos obtenidos en 2011.

Como se puede comprobar en la siguiente figura, se puede ver la cuota de mercado entre los distintos operadores, donde los diferentes gráficos corresponden a las líneas, los ingresos y el tráfico por voz. Cabe destacar que los OMV gracias a las ofertas competitivas en sus tarifas internacionales, fueron los que obtuvieron un mayor porcentaje de los ingresos totales del conjunto de operadores en este tipo de llamadas. A pesar de que todavía poseen una cuota de mercado reducida, algunos de estos operadores registraron un volumen de llamadas internacionales superior al declarado por los principales operadores de telefonía móvil.

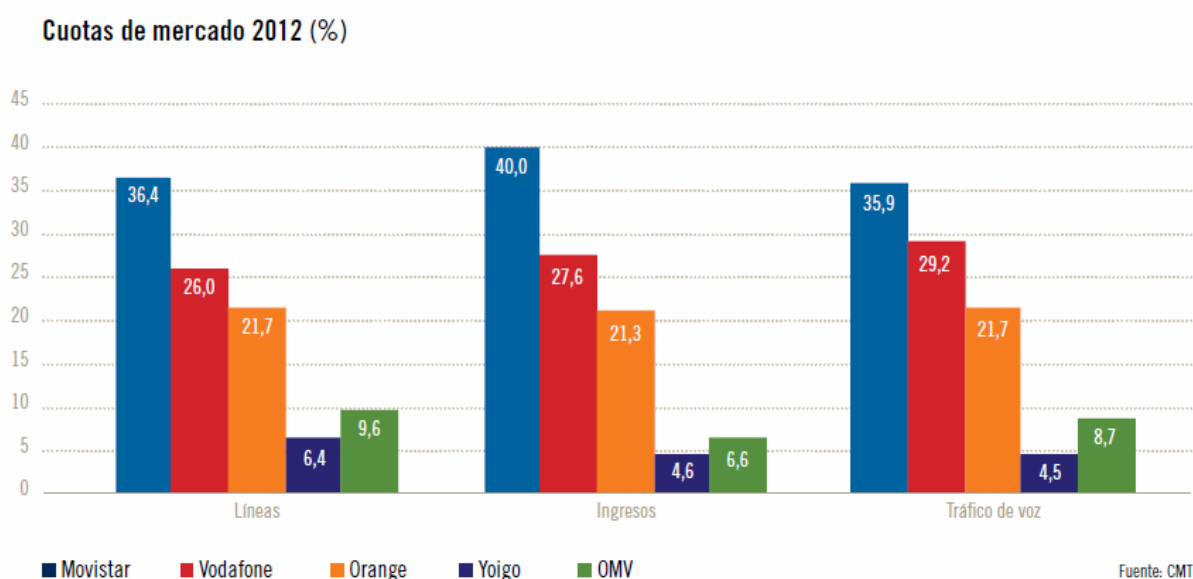


Figura 5.6 Cuota de mercado

5.2.2. Banda Fija

En el año 2012 la facturación de los servicios minoristas de banda ancha fija, operadores alternativos de xDSL a partir de los servicios mayoristas regulados de Telefónica, descendió un 2,6% y se situó en 3.276,49 millones de euros. Por el contrario, el número de líneas de banda ancha fija, líneas pertenecientes a las operadoras mayoristas o totalidad de las líneas presentes de los distintos operadores, presentó un incremento del 3,2% hasta los 11,5 millones.

El total de servicios de Internet, que además de banda ancha fija incluye los servicios de acceso conmutado y otros, facturó 3.659 millones de euros, un 4,6% menos que el año anterior.

La mayoría de operadores alternativos de xDSL mantuvieron niveles de captación elevados. Estos operadores prestaron servicios a los usuarios finales a partir de los servicios mayoristas regulados de Telefónica.

La ganancia de líneas de los operadores alternativos en el mercado minorista se reflejó en un incremento de ingresos y líneas del servicio mayorista de desagregación de bucle. Así, el número de bucles desagregados aumentó un 13,2%, hasta superar los 3,2 millones de bucles. El conjunto de servicios mayoristas de banda ancha facturó 593,3 millones de euros, un 8,7% más que el año anterior.

Por lo que respecta al servicio de acceso indirecto a la banda ancha, hubo un cambio de tendencia, con una reducción de ingresos y líneas. El número de líneas de la modalidad de concentración IP, comercializada por Telefónica bajo la denominación de ADSL-IP, descendió un 5,6%. Por su parte, la modalidad de concentración ATM o GigADSL descendió un 16%.

Por otro lado, Telefónica, que en el ejercicio 2011 había sufrido una pérdida neta de líneas, en último ejercicio volvió a conseguir cifras positivas de captación de clientes. Sin embargo, estos niveles son inferiores a los operadores alternativos, de modo que su cuota de mercado en líneas ha continuado descendiendo.

En lo relativo a la velocidad de conexión, continuó el incremento de contratación de mayores velocidades favorecido por las mejoras en las redes de acceso llevadas a cabo por los operadores. A fin del año 2011, el 63% de las líneas contratadas contaban con una velocidad

nominal de 10 Mbps o superior frente al 54% del año anterior. Además, más del 92% de las líneas de banda ancha se contrataron de un modo conjunto con otros servicios.

Finalmente, el despliegue de accesos NGA o de acceso a redes de nueva generación, que permiten disfrutar de conexiones de muy alta velocidad, continuó su avance con la casi totalidad de accesos de fibra híbrida coaxial (HFC) actualizados a DOCSIS 3.0 (*Data Over Cable Service Interface Specification*) y el despliegue de fibra óptica hasta el hogar (FTTH). Los accesos instalados de tecnología DOCSIS 3.0 superaron los 9,6 millones y los de FTTH sumaron 3,2 millones.

En 2012 se mantuvo la inversión de los operadores en la actualización de las redes de acceso de banda ancha tradicionales cuya finalidad es poder ofrecer servicios de banda ancha con mayores velocidades de conexión. En concreto, el despliegue de Redes NGA tuvo un avance significativo: por un lado, Telefónica acometió el despliegue de accesos FTTH; por otra parte, los operadores de cable llevaron a cabo la migración de casi todos los accesos HFC a DOCSIS 3.0.

Esta migración a DOCSIS 3.0 es debido a que se trata de un protocolo de transmisión de datos que define los requisitos de la interfaz de comunicaciones y operaciones para los datos a través de una red de cable. Además, permite alcanzar unos 440 Mbit/s teóricos de bajada y 120 Mbit/s de subida, utilizando para ello un *bonding* de 8 y 4 canales, respectivamente.

Ambas redes NGA permiten a los operadores proporcionar a los usuarios elevadas velocidades de conexión y ofrecer, de este modo, una mayor calidad de la conexión así como nuevos servicios que requieran un mayor ancho de banda.

En lo relativo a los accesos instalados, se superaron los 12,8 millones; de estos, 3,2 millones fueron accesos FTTH, el doble que el año anterior. Este importante aumento de la cobertura de fibra hasta los hogares también se reflejó en los accesos FTTH activos, que fueron más de 337.000. Además, durante el último año, los operadores de cable también incrementaron los accesos instalados que dependen de nodos DOCSIS 3.0 en más de medio millón. Así, se llegó a sumar 9,6 millones de accesos, completando la actualización de su red HFC para ofrecer accesos de muy altas velocidades.

A finales del año 2012, un total de 2,07 millones de líneas HFC pertenecían a un nodo actualizado a DOCSIS 3.0. Esta cifra representa el 96% de los accesos. Observando la figura 5.7,

Ono logra una gran tasa de penetración superando el 60% en cuanto a líneas de banda ancha con DOCSIS 3.0. Por su parte, las conexiones activas FTTH sumaron 336.719 accesos, casi todos ellos correspondientes a Telefónica. Cabe señalar que la velocidad de estos accesos depende de lo que finalmente contraten los clientes y que parte de estos accesos todavía disfrutaban de una velocidad de conexión menor a los 30 Mbps.

A pesar de que la presencia de accesos activos de FTTH por parte del resto de operadores no fue significativa, a finales de año y a principios de 2013 se alcanzaron acuerdos entre operadores para impulsar el despliegue de fibra hasta el hogar. Entre los acuerdos de colaboración destacan el de Telefónica y Jazztel por una parte, y el de Orange con Vodafone por otra.

Distribución de líneas de banda ancha en nodos con DOCSIS 3.0 y FTTH por ordenador (líneas)

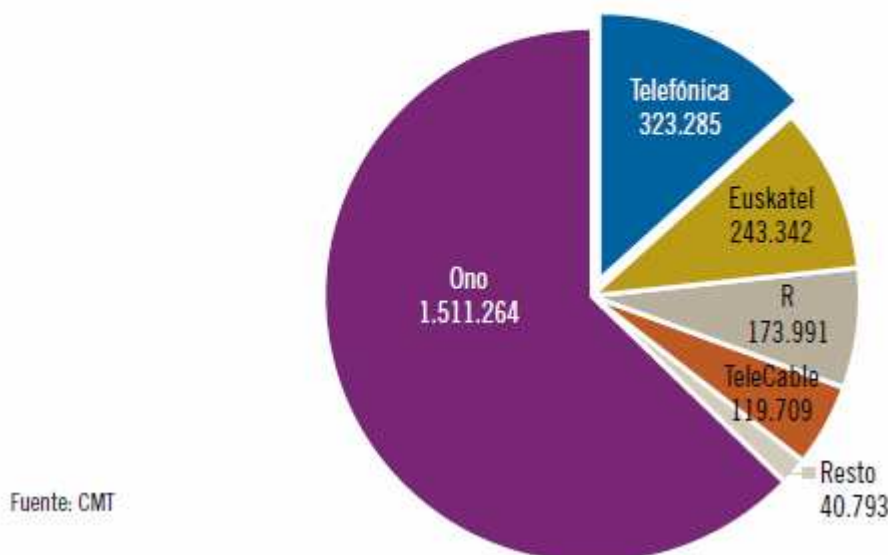


Figura 5.7 Líneas de Banda Ancha

En líneas generales, los accesos HFC crecieron un 0,6% en el último año, cifra muy inferior al crecimiento experimentado en 2011, que fue del 4,5%. Por lo que se refiere a la penetración, se alcanzó la misma cifra que en el año 2011: 4,7 líneas por cada 100 habitantes.

A finales del año 2011, 21 provincias presentaban una penetración HFC superior a la nacional. Como en anteriores ejercicios, las mayores tasas de penetración se registraron en las provincias del País Vasco con la presencia del operador de cable Euskaltel, Galicia con la presencia

de R y la cornisa cantábrica con TeleCable en Asturias. En las provincias de Levante (Valencia, Castellón, Murcia y Alicante), Albacete y algunas otras, las altas cifras de penetración de cable se deben a la presencia del operador Ono y de otros operadores locales.

En concreto, las cifras más altas se dieron en las provincias de Vizcaya, Guipúzcoa y Asturias, regiones en las que se superaron las 10 líneas HFC por cada 100 habitantes. Además, estas provincias presentaron incrementos totales de banda ancha por encima de la media nacional.

5.3. Novedades

Al final, más por la necesidad que por la demanda del mercado, la telefonía 4G ha aterrizado en España. Lo hace de la mano de Vodafone, Yoigo, Orange y Telefonica desde el pasado año 2013. Pero, ¿qué nos aporta la modalidad 4G?

La telefonía 4G será un gran avance en todos los sentidos. Y no solo por su mayor velocidad de acceso a la Internet en movilidad, que permitirá 100 Megabits por segundo (Mbps) teóricos de bajada, sino también porque tendremos en el teléfono un nivel de conexión superior al del router, lo que implica que podremos ver el televisor o escuchar las radios de Internet donde quiera que estemos, sin depender de una red *Wi-Fi*.

También supone tener acceso continuado a la información en tiempo real y a la realidad aumentada, ya sea desde el móvil o desde otros objetos como las gafas de Google, así como hacer todas las llamadas de voz por *VoIP* de manera gratuita. Todo ello puede provocar un gran cambio en nuestra manera de vivir, una nueva revolución socio-cultural.

Por el momento, desde el pasado 3 de junio de 2013 Vodafone ofrece el servicio 4G a sus abonados. Pero a todos no. Solo a los que viven en Barcelona, Bilbao, Madrid, Málaga, Palma de Mallorca, Sevilla y Valencia. Fuera de estas ciudades, los usuarios de la operadora tendrán que conformarse con la conexión 3G. No obstante, durante todo el año 2013 el servicio 4G se ha ampliado a otras ciudades. En el caso de Yoigo el servicio será más discriminatorio, porque solo se ofrecerá a los abonados de Madrid. Orange dará servicio a Madrid, Barcelona, Valencia, Sevilla, Málaga y Murcia en una primera fase, aunque ha prometido que antes de final de año también

tendrá 4G en Zaragoza, Bilbao, La Coruña, Palma de Mallorca, Las Palmas, Alicante, Córdoba, Valladolid y Vigo. [18]

Los habitantes rurales o de poblaciones medianas, que en algunas zonas de la península tienen un importante peso demográfico, pasarán con toda probabilidad por una fase de transición de 3G a 4G al igual que ocurrió con el paso de 2G a 3G. No obstante, la presencia de 4G en los grandes núcleos es de por sí una garantía de que el despliegue no tiene marcha atrás.

Por otro lado, ¿qué pasa si se es cliente de un operador móvil virtual (OMV), algo que les ocurre cada vez a más españoles? Pues que también llegará tarde al 4G. De momento, los operadores principales no tienen planes para ceder su ancho de banda a los OMV con los que tienen tratos. Y es posible que tarden en hacerlo, porque su intención es recuperar clientes que estos les han arrebatado con sus tarifas más competitivas.

La tasa de transmisión teórica de la tecnología 4G puede alcanzar los 100 Mbps, pero estos valores solo se dan en condiciones especiales y con una cobertura plena. Los operadores que ofrecerán 4G aseguran velocidades entre los 20 y los 40 Mbps, siempre y cuando la relación señal-ruido sea elevada, aunque normalmente sin una relación señal-ruido reducida se concede un ancho de banda menor. Este déficit se debe a la cobertura real, pero también a otros factores como que al principio el servicio se dará con modificaciones en las antenas 3G y en la frecuencia de los 1.800 MHz y 2600 MHz.

La intención original era utilizar la banda del espectro electromagnético de los 800 MHz para el 4G, y a tal efecto se subastaron en su día las distintas frecuencias de ésta. Pero de momento, todas están ocupadas por emisiones de televisión y hasta 2014, si se cumplen las promesas del Gobierno, no estarán libres. La ventaja de la banda de los 800 MHz es que la atenuación de la señal es mucho menor, penetra en interiores de edificios y estará mucho menos saturada que los 1.800 MHz, que se comparten con las redes 3G y las emisiones de otros aparatos.

La consecuencia de esta limitación es que, de momento, el 4G funcionará mal en interiores y las velocidades estarán más cerca de los 20 Mbps que de los 40 Mbps. La tasa de transmisión media

en 3G ronda los 7 Mbps con buena cobertura: es suficiente para navegar con comodidad desde un *smartphone* y con una tarifa plana de un *gigabyte* llega para todo el mes. Sin embargo, es una limitación excesiva para realizar *tethering* o para navegar desde una tableta, sobre todo las de 10 pulgadas.

La conexión 4G tendrá un coste adicional en el mejor de los casos, aunque también la tarifa de datos consumibles aumenta de forma considerable.

Vodafone lo ofrece ya por nueve euros más en las tarifas más baratas (salvo las tarifas Red3 y RedPro), aunque será gratis hasta Septiembre. Si se quiere contratar el servicio Internet Móvil de 10 *gigabytes*, deben pagarse 54,45 euros al mes (IVA incluido).

Orange ha adelantado que ofrecerá contratos 4G con tarifas a partir de los 23 euros mensuales en sus modalidades más básicas, que tendrán un límite de consumo, sin embargo, de 2 *gigabytes* al mes.

Por su parte, Yoigo ha explicado que no dará tarifa plana y cobrará por consumo, aunque sí tendrá dos modalidades de base. En Suecia, Yoigo tiene un precio base de 46 euros por 2 *gigabytes* y 93 euros por 10 *gigabytes*; los importes en España podrían ser similares.

Aquí cada usuario debe escoger. El 4G saldrá caro pero permitirá nuevas posibilidades, como tener en el móvil más ancho de banda que en casa y, por tanto, usar un ordenador en movilidad con independencia de las redes *Wi-Fi*.

Por último, un problema, aunque temporal, del 4G es que hay pocos modelos que lo acepten en el mercado, y menos subvencionados por las operadoras. Destacan el iPhone 5, el Sony Xperia Z, el Galaxy S4 o el HTC One.

6. Bibliografía

- [1] Álvaro Escribano (2001), Evolución de la Estructura de las Telecomunicaciones en España.
- [2] Ley 31/1987, de 18 de diciembre, de ordenación de las telecomunicaciones, BOE nº 303, de 19 de diciembre de 1987.
- [3] Diccionario Español de Ingeniería (1.0 edición), Real Academia de Ingeniería de España, 2014, consultado el 27 de abril de 2014.
- [4] José Manuel Huidobro (2010), Telecomunicaciones: tecnologías, redes y servicios
- [5] Dubendorf, Vern A. (2003), Wireless Data Technologies. John Wiley & Sons, Ltd.
- [6] Harri Holma, Antti Toskala (2009), “LTE for UMTS – OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access” Editorial: Wiley & Sons.
- [7] Harri Holma, Antti Toskala (2011), “LTE for UMTS Evolution to LTE-Advanced” Second Edition.
- [8] Tutorial Planificación de cobertura 4G http://www.ipv6go.net/lte/planificacion_frecuencias.php
- [9] Paloma Llaneza González (1998), Telecomunicaciones: régimen general y evolución normativa.
- [10] Estándares WiMAX <http://standards.ieee.org/about/get/802/802.16.html>
- [11] Acceso Internet. Documento disponible en el IEC, Septiembre/2010.
- [12] Jacinto Ruiz Catalán (2008), Redes y comunicaciones.
- [13] R. Hemmrich. "Servicios de entretenimiento de banda ancha sobre DSL: pruebas actuales". Revista Alcatel No 2/2011.
- [14] APON. Documento disponible en el IEC <http://www.iec.org/online/tutorials/BroadBandAccess/apon.pdf>
- [15] Charles E. Spurgeon (2000), Ethernet: the definitive guide.
- [16] Encuesta sobre Equipamiento y Uso de Tecnologías de Información y Comunicación en los Hogares 2012 (TIC-H'12)
http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=/t25/p450/base_2011/a2012&file=pcaxis
- [17] Resoluciones e informes 2012 www.cmt.es
- [18] Telefonía 4G: ¿qué ventajas y desventajas tiene? <http://www.cromysat.com/tag/cobertura/>