1 Introducción

En este proyecto se desarrolla una posible metodología para estudiar la cobertura móvil en situaciones indoor, esto es, en condiciones de interior, ya sean edificios residenciales como hospitales, restaurantes, aeropuertos, etc. Según la Orden de 18 de octubre de 1976 sobre prevención y corrección de la contaminación industrial de la atmósfera, un ambiente de interior se define como una "Atmósfera en lugares cerrados, tales como viviendas o edificios, o en recintos industriales".

El ambiente interior tiene características que lo llevan a presentar un comportamiento muy peculiar, ya que la señal se encuentra con muchos y diferentes obstáculos en un rango de distancia bastante reducido, por lo que el interés en el comportamiento y en la predicción de la propagación de las señales en este tipo de entornos ha aumentado en los últimos años.

La importancia de estudiar este tipo de entornos es que, según diversos estudios del mercado de la telefonía móvil citados en la bibliografía [16] y análisis de patrones de tráfico de usuarios, referencia [19]: *"El 70% de las llamadas que se realizan por las empresas, se caracterizan porque el usuario originante se encuentra en un entorno "indoor" (oficina, hogar, centro comercial, etc.). (...) un mínimo del 35% de las llamadas totales desde móvil se originan en la oficina".*

Cada día más, las operadoras de telefonía móvil estudian el estado de sus redes actuales con el fin de ofrecer un mejor servicio a sus usuarios. El mercado español de la telefonía móvil se ha caracterizado históricamente por la escasa competencia, especialmente en el precio de las llamadas, tal y como se desprende de su historia (fue monopolio hasta 1995) y han afirmado en numerosas ocasiones tanto asociaciones de consumidores (la Federación de Asociaciones de Consumidores y Usuarios de Andalucía o FACUA) como el propio órgano regulador, la Comisión del Mercado de las Telecomunicaciones (CMT), e incluso la Audiencia Nacional, que en alguna de sus decisiones ha calificado el mercado de "oligopolio estrecho".

En 2007, la Comisión Nacional de la Competencia abrió un expediente sancionador contra los tres mayores operadores ante acusaciones de presunta concertación de precios. El expediente se resolvió en diciembre de 2008 con la propuesta de multar a la operadora nacional Movistar por conducta muy grave, al haber cometido, presuntamente, una falta contra el artículo 1 de la ley 16/1989 de Defensa de la Competencia, por haber anunciado un cambio de

precios con mayor antelación de la necesaria para, presuntamente, facilitar a la competencia el cambio de sus tarifas de igual manera. Tras un recurso por la empresa afectada, Telefónica, la CNC (Comisión Nacional de Comunicaciones) resolvió en julio de 2009 que no había quedado "suficientemente acreditada" tal concertación: "no se ha podido demostrar que Telefónica anunciara sus tarifas con una antelación y unos procedimientos anormales".

Hoy en día el mercado de las telecomunicaciones presenta un entorno muy competitivo entre operadoras, por lo que deben realizarse minuciosos estudios de mercado, donde se evalúan costes de implementación, costes de mantenimiento, satisfacción de los usuarios, etc. Cada una de las operadoras debe ser capaz de ofrecer un servicio de calidad a un precio competitivo.

Por esto, las operadoras móviles seleccionan las zonas donde realizar estos estudios basándose en diversos criterios, como por ejemplo las incidencias remitidas por los propios usuarios de la red, según el volumen de usuarios, el estatus de los abonados o de la zona. Este último criterio es muy importante, ya que, por ejemplo, en un hotel de cinco estrellas hay un gran número de usuarios, y además éstos quieren un servicio absoluto y óptimo, por lo que la operadora buscará ofrecer un mejor servicio en este negocio que en una urbanización residencial de clase media-baja; cuando se define el concepto de servicio absoluto, además de llamadas de voz, se incluyen las llamadas de datos. De esta manera, estos criterios deben tenerse presentes en la planificación de las mediciones, ya que la línea temporal es estricta, debiendo otorgar mayor prioridad a emplazamientos de elevada relevancia. Por último, se aplican ponderaciones atendiendo a estos criterios para representar la información final de manera que los resultados finales o KPI’s (Indicadores Clave de Desempeño) representen de la manera más fidedigna posible el estado real de la red.

Además, hay que tener en cuenta en la planificación de las medidas que éstas se realicen en condiciones normales de uso de la red, ya que ésta está dimensionada para un número de usuarios activos medio, y si las mediciones se llevan a cabo cuando no hay usuarios activos, los resultados obtenidos serán mucho mejores de lo real, ya que la red estará sobredimensionada en el momento de la medida.

A continuación se presenta una pequeña introducción a las redes de telefonía móvil presentando las diferentes generaciones y estándares a lo largo de su evolución.

1.1 Primera generación

La primera generación de telefonía móvil celular nació con el propósito de llevar la telefonía a cualquier lugar, para esto se estableció el uso de la técnica de acceso FDMA/FDD (Frequency Division Multiple Access / Frequency Division Duplex). Esta técnica de Acceso Múltiple por División de Frecuencia utilizaba dos frecuencias portadoras diferentes para establecer la comunicación TX (Uplink) y RX (Downlink).

En Europa, en el año 1981 se introduce el sistema NMTS450 (Nordic Mobile Telephone System), el cual comenzó a operar en Dinamarca, Suecia, Noruega y Finlandia, en la banda de frecuencia de los 450MHz, de ahí el número en el acrónimo. A su vez, ese mismo año 1981, en Norteamérica, se implantó el sistema AMPS (Advanced Mobile Phone Service), el cual disponía de 624 canales de voz y 42 canales de señalización o control, en total 666 canales, de 30KHz cada uno.

Gran Bretaña, en el año 1985, desarrolló su propio sistema a partir del sistema AMPS norteamericano, y adoptó el sistema TACS (Total Access communications System), el cual mejoraba el número de canales llegando a los 1000, pero reduciendo el ancho de banda de los 30KHz del sistema norteamericano a los 25KHz, y éste operaba en la banda de los 900MHz.

En esta misma década surgen otros sistemas para esta primera generación de telefonía móvil, como el NTT (Nippon Telegraphand Telephone) que fue el estándar japonés, el C-Netz el estándar alemán o el French Radiocom 2000 de Francia entre otros.

Todos estos sistemas de primera generación eran sistemas analógicos, y únicamente disponían de un servicio de llamadas de voz. Debido a las diferencias entre todos estos sistemas, la incompatibilidad estaba garantizada. Esto implicaba que un terminal de Norteamérica no podía funcionar en otro país, y los proveedores de servicio querían un estándar más global y, sobretodo, reducir costes; esto fue lo que impulsó la aparición de la segunda generación.

1.2 Segunda generación

En 1982 se constituyó, en el marco de la CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications), el llamado GSM (Group Speciale Mobile) con el mandato de preparar el estándar de un sistema de telefonía móvil público panaeuropeo destinado a un mercado potencial, que se estimaba en unos 10 millones de usuarios en Europa para el año 2000.

El desarrollo de la norma se ha realizado de forma evolutiva, con unos hitos o fases que han ido estableciendo partes completas del estándar. La fase 1 concluyó en 1990, con la especificación del servicio de voz. La fase 2, terminada en 1994, incluía ya aplicaciones de datos y, particularmente, el servicio de mensajes cortos SMS (Short Message Service). La denominada fase 2+ se inició en 1995, y añadió facilidades adicionales a la fase 2:

- Uso de bandas adicionales. Se elaboraron las especificaciones de GSM para las bandas de 1800 Mhz en Europa y 1900 Mhz en Estados Unidos. El rápido crecimiento del GSM hizo necesaria la utilización de la banda 1800 Mhz, así como la ampliación de la de 900 Mhz en su parte inferior. Actualmente, entre las actualizaciones realizadas en el cuadro de atribución de frecuencias de España, se encuentra la previsión para el uso de la tecnología UMTS en las bandas de GSM 900 y GSM 1800, una vez que se contemple dicho uso en los correspondientes títulos habilitantes. También se ha previsto la introducción de servicios de radiocomunicaciones móviles a bordo de aeronaves en la banda de 1800 MHz. [29]
- Mejoras en la codificación de la voz, con la especificación de un códec mejorado de velocidad plena EFR (Enhanced Full Rate) y otro códec adaptable de velocidad variable, AMR (Adaptative Multi Rate), que permite el funcionamiento con diferentes velocidades y niveles de calidad, en función de las características de transmisión y requisitos del operador.
- Desarrollo de aplicaciones específicas de datos, con velocidades superiores a la inicialmente prevista de 9600 bit/s. Se especificaron los servicios de HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) con conmutación de circuitos y GPRS (General Packet Radio Service) con conmutación de paquetes que abrieron las puertas a un servicio de transmisión de datos móviles.
- Extensión de los servicios de red inteligente a los usuarios en itinerancia, mediante la aplicación CAMEL (Customized Applicationsfor Mobile Enhanced Logic).
- Tecnología EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution), que incorporó una nueva técnica de modulación de 8 niveles que permite triplicar la velocidad de transmisión, aunque con reducción en la cobertura. Cuando se combina con GPRS, da lugar a lo que se conoce como EGPRS (Enhanced GPRS). Con EGPRS se puede alcanzar una velocidad de hasta 384 kbit/s.
- Sistema GSM-PRO, que ofrece prestaciones propias de las redes PAMR (Public Access Mobile Radio), con posibilidad de realizar llamadas de grupo y de difusión. Como ejemplo puede citarse el sistema GSM-R para comunicaciones de señalización y control del tráfico ferroviario, normalizado por la Unión Internacional

de Ferrocarriles (UIC) y que se está aplicando, en Europa, en los trenes de Alta Velocidad. Véase la referencia [18].

GSM supuso un cambio total en la concepción, diseño y explotación de los sistemas de telefonía móvil pública, por lo que, dentro de su ámbito evolutivo, se le reconoce como un sistema de Segunda Generación.

El funcionamiento de esta tecnología se detallará en profundidad en apartados posteriores.

1.3 Tercera generación

El sistema UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) es la propuesta europea de tecnología de red de comunicaciones móviles de Tercera Generación que, cumpliendo los requisitos técnicos de las IMT-2000 (Telecomunicaciones Móviles Internacionales 2000), se diseñó en un ámbito mundial para un escenario de la Sociedad de Información en el que destacan los servicios de comunicaciones personales entre seres humanos, con independencia de su ubicación geográfica, terminal utilizado y medio de transmisión (terrenal o por satélite).

3GPP o 3rd Generation Partnership Project es un acuerdo de colaboración en tecnología de telefonía móvil establecido en Diciembre de 1998.

La Figura 1-1 muestra la evolución temporal y los hitos fundamentales, desde la primera versión de la norma GSM (Fase 1) hasta el año 2004.

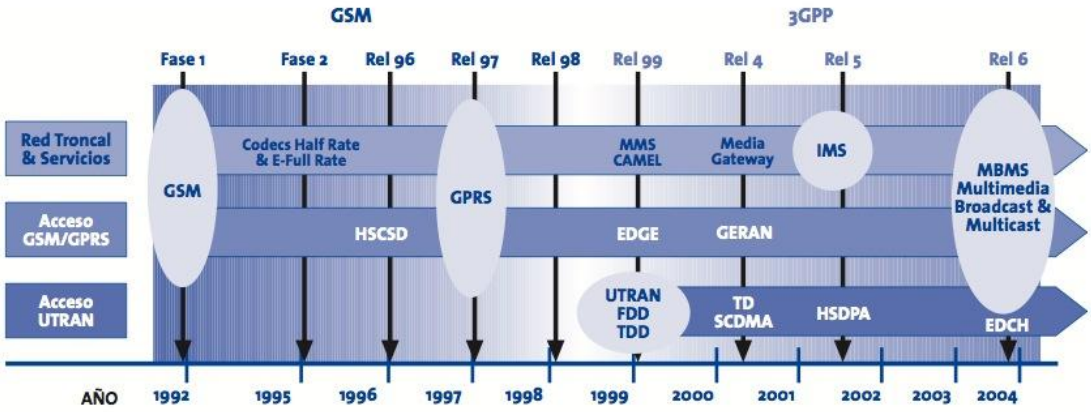

Figura 1-1 Evolución de la estandarización

A continuación se describen algunas de las últimas Releases, comenzando en la Release 99. Toda la información de las diferentes Releases publicadas (12 en total hasta la fecha en la que se redacta este documento) con sus especificaciones se puede encontrar de manera mucho más detallada en la web oficial del 3GPP [20].

1. La Release 99, que, en su modo FDD, es la base de las redes 3G ("3", NTT DoCoMo). Presentada en Marzo de 2000, introducía una interfaz radio CDMA.
2. La Release 4, que presenta una nueva interfaz radio desarrollada por el socio chino (CCSA: Certification in Control Self-Assessment), el modo TD-SCDMA, el cual es similar al modo TDD de la Release 99 pero con diferente tasa de chip: 1,28 Mchip/s frente a 3,84 Mchip/s. En la red troncal se introduce la separación de los planos de señalización y usuario y el concepto Media Gateway. Desde el punto de vista de usuario, puede considerarse que esta release introduce cambios menores, ya que un terminal release 4 no gozará de servicios o capacidades muy diferentes a las de otro de la release 99.
3. La Release 5 introduce IMS (IP Multimedia Subsystem) y HSDPA (High Speed Downlink Packet Access). IMS permite soportar múltiples flujos multimedia con diferentes QoS (Quality Of Service); utiliza el dominio de paquetes y el protocolo SIP (Session Initiation Protocol) para el control de sesión. HSDPA introduce en la red de acceso radio un nuevo canal descendente, compartido y de alta velocidad.
4. Cabe destacar de la Release 6, presentada en Diciembre de 2004, la introducción de HSUPA y las redes Wireless WLAN (Wireless Local Area Networks).
5. Las siguientes Releases presentan las tecnologías más recientes, como son HSPA+ (Release 7) y LTE (Release 8), que se detallarán en apartados posteriores. En la Release 8 además de definirse la tecnología LTE se amplía el alcance de HSPA+.

En la Figura 1-2 se representa el esquema temporal de presentación de cada una de las Releases y las tecnologías que especifica cada una de ellas. Para un cuadro con más detalle puede consultarse la definición inglesa de 3GPP en la Wikipedia [17].

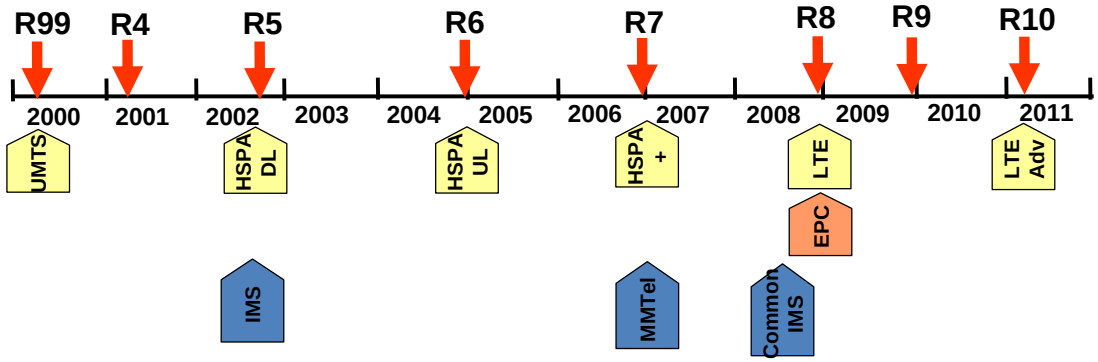

Figura 1-2. Tecnologías presentadas en cada Release del 3GPP

Para entender mejor las ventajas que presenta la tercera generación es necesario comprender sus especificaciones técnicas, así que se hará un breve resumen.

W-CDMA (Wideband-Code Division Multiple Access) es el acrónimo de Acceso Múltiple de Banda Ancha por División de Código, y es el método de acceso empleado en la tercera generación. Con ello se pretendía aumentar las tasas de transmisión de datos y ofrecer velocidades mucho más altas en dispositivos portátiles, como teléfonos móviles, aunque no es exclusivo de ellos. En el apartado 2.3 se detallarán las especificaciones técnicas con más detalle. Si se desea más información se puede encontrar en la cita bibliográfica [36].

A continuación se presentan las claves que han marcado el desarrollo de la tecnología móvil.

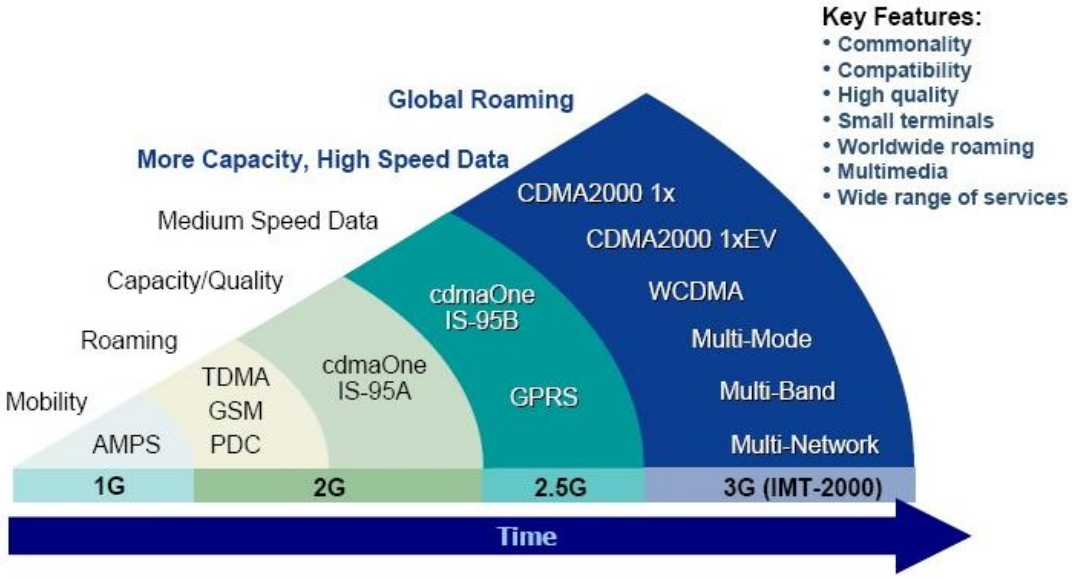

Figura 1-3. Evolución tecnológica

UMTS pretende explotar la potencialidad de los conceptos genéricos: Anywhere, Anytime, Anykind, combinando la personalización, la movilidad y las aplicaciones multimedia.

La Universalidad, que da nombre a la tecnología UMTS, es un concepto clave en el desarrollo de los servicios 3G en este sistema; que se apoya en dos premisas básicas:

- Posibilidad de que cualquier entidad u organización pueda desarrollar aplicaciones y servicios.
- El usuario deberá tener la misma percepción de los servicios recibidos con independencia del terminal que utilice y del lugar donde se encuentre.

Para conseguir alcanzar los objetivos de calidad y capacidad pretendidos en UMTS se adoptó, para el acceso radio, la tecnología CDMA de banda ancha o WCDMA, lo que supuso un enfoque revolucionario. Como esta técnica es incompatible con la usada en el

enlace radio GSM, los operadores deben desplegar una nueva red de estaciones base. Esto supone una notable inversión económica, por lo que para el núcleo de red, en la primera fase del estándar UMTS, se previó un desarrollo evolutivo basado en una mejora del núcleo de la red GSM/GPRS (2,5G).

En versiones posteriores de la norma se especifica la evolución hacia una red de paquetes "todo IP" (All IP), tanto en el núcleo de red como en el acceso radio.

UMTS ha sido fruto de una importante actividad de investigación por parte de empresas, universidades y operadores con programas europeos y proyectos propios y en colaboración con Japón. Las fuerzas impulsoras de UMTS han sido, por un lado el éxito del GSM y por otro, el desarrollo de Internet.

Algunos de los objetivos de UMTS son:

- Equipos de usuarios pequeños y económicos
- Servicio continuo en tiempo
- Servicio en cualquier lugar (ambientes de espacios cerrados)
- Interoperabilidad con un sistema satelital
- Capacidad en los sitios con alta demanda
- Roaming global
- Calidad de voz como si existiera una conexión física
- Alta velocidad de transmisión de datos
- Múltiples servicios multimedia

Los servicios UMTS se basan en capacidades comunes en todos los entornos de usuarios y radioeléctricos de UMTS. Al hacer uso de la capacidad de roaming desde su red hacia la de otros operadores UMTS, un abonado particular experimentará así un conjunto consistente de sensaciones como si estuviera en su propia red local (Entorno de Hogar Virtual o VHE).

Al salirse UMTS del marco estrictamente europeo, para la especificación de la norma se constituyó la entidad 3GPP (3rd Generation Proyect Partnership), que comprende los organismos de estandarización: ETSI; ARIB (Association of Radio Industries and Business) y TTC (Telecommunications Technology Committee) de Japón; T1 de Estados Unidos; TTA (Telecommunications Technology Association) de Corea y CCSA (Certification in Control Self-Assessment).

En 1996 se creó el UMTS Forum con el objetivo fundamental de fomentar y facilitar la implantación de los sistemas 3G (3rd Generation). El foro elabora también informes orientados hacia aspectos del mercado de 3G. Pueden encontrarse detalles de su

estructura, funcionamiento e informes elaborados en su página web: www.umts-forum.org [33].

Como se ha comentado anteriormente, el despliegue de la red UMTS conlleva un fuerte coste económico, por lo que los operadores móviles optimizan su red continuamente, no sólo de UMTS, sino también de GSM para cubrir aquellas zonas donde UMTS no alcance. Para ello, se llevan a cabo proyectos tan ambiciosos como éste, en el que se analiza el estado de la red, ya sea en accesibilidad como en mantenibilidad. Gracias a los resultados de este proyecto se tomarán decisiones sobre nuevas configuraciones de red y, si fuese necesario y la mejora lo justificase, nuevos despliegues técnicos; esta tarea corresponde al departamento de optimización.

1.4 Evolución de UMTS

Una vez instalado y aceptado el sistema UMTS por los usuarios, la evolución de UMTS llega con HSDPA (Release 5): High Speed Downlink Packet Access), HSUPA (Release 6): High-Speed Uplink Packet Access) y posteriormente HSPA+ (Release 7).

A continuación se muestra la velocidad teórica máxima de cada una de las tecnologías a modo de resumen:

	Downlink Peak Data Rate (Typical Deployment)	**Uplink Peak Data Rate (Typical Deployment)**
GSM	9.6 kbps	9.6 kbps
GPRS	40 kbps	20 kbps
EDGE	120 kbps	60 kbps
WCDMA Release 99	384 kbps	64 kbps
HSDPA Release 5	14.4 Mbps	384 kbps
HSUPA Release 6	14.4 Mbps	5.76 Mbps
HSPA+ Release 7	28 Mbps	11.5 Mbps
HSPA+ (MIMO) Release 8	42 Mbps	11.5 Mbps

Tabla 1-1. Velocidad de transmisión de diferentes tecnologías

Hay que recordar que estas velocidades que se muestran son las máximas teóricas, por lo que la velocidad que percibirá el usuario será notablemente inferior, ya que éstas dependen del estado de saturación e implementación de la red, así como de la categoría del terminal que tenga el usuario.

La velocidad real obtenida por el usuario es sensiblemente inferior a la anunciada por los operadores. La velocidad teórica es un valor bruto de pico que sólo se alcanza en las mejores condiciones, con una excelente señal de radio y sin otros usuarios en la celda. La velocidad real se ve influida por el ancho de banda consumido por los protocolos, por las condiciones radioléctricas (nivel de cobertura), la cantidad de usuarios simultáneos y la saturación del enlace de la estación base con la red troncal de la operadora.

A continuación se presenta, para cada velocidad teórica, la velocidad que percibirá cada usuario:

Velocidad teórica	Velocidad real
3,6 Mbps	2,5 Mbps
7,2	5,2 Mbps
21,6 Mbps	16,2 Mbps

Tabla 1-2. Diferencia entre velocidades teórica y real

Los cuatro operadores con red móvil en España utilizan actualmente HSPA; Vodafone y Movistar son las operadoras con la red más avanzada, seguidas de Orange y Yoigo.

Operador	HSDPA	HSUPA	HSPA+
Movistar	7,2 Mbps	2 Mbps	21,6 Mbps
Vodafone	7,2 Mbps	5,76 Mbps	21,6 Mbps
Orange	7,2 Mbps	2 Mbps	no
Yoigo	3,6 Mbps	no	no

Tabla 1-3. Tecnologías y velocidades soportadas por los operadores móviles en España a comienzos de 2010.

1.4.1 HSDPA

La tecnología HSDPA no es un nuevo sistema como lo es UMTS, sino que se considera como una primera evolución de UMTS. Ésta optimiza la tecnología espectral de UMTS/WCDMA, la cual está incluida en las especificaciones que el grupo 3GPP estableció en su *Release 5;* esta mejora es la incorporación de un nuevo canal compartido en el enlace descendente (downlink), el cual incrementa la máxima capacidad de transferencia de datos hasta alcanzar cotas de 14Mbps, soportando tasas de rendimiento promedio cercanas a 1Mbps.

La compatibilidad en sentido inverso con WCDMA está garantizada y cualquier servicio y/o aplicación funcionará para HSDPA. Además la mayoría de proveedores actuales de UMTS ya dan soporte para esta tecnología.

La prestación de servicios de banda ancha llega a su máximo potencial con HSDPA a través de las redes WCDMA, aumentando la capacidad de recepción de datos con un mayor rendimiento. Tal y como UMTS mejoraba la eficiencia espectral comparada con la

segunda generación, pasa de forma idéntica con HSDPA con respecto a WCDMA, además de permitir que la red sea utilizada por un mayor número de usuarios. Debido a estos aumentos, se posibilita el acceso a nuevos tipos de aplicaciones, como videollamada y juegos online entre múltiples jugadores, al acortar la latencia de la red (menos de 100ms) mejorando los tiempos de respuesta.

Lo que permite alcanzar estas mayores tasas de velocidad es la inclusión de una modulación de mayor grado, 16-QAM (Modulación de Amplitud en Cuadratura), redundancia incremental y codificación variable de errores.

En apartados posteriores se presentarán los detalles de esta tecnología, así como la de HSUPA.

1.4.2 HSUPA

HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access) es la llamada generación 3.75; es el siguiente paso y la optimización del HSDPA. El primer lanzamiento comercial de HSUPA se realizó en 2007 y a final de ese mismo año ya se habían implementado 24 redes a nivel mundial.

Si con el HSDPA se conseguían elevadas tasas de bajada, con el HSUPA lo que se pretende conseguir es una tasa elevada de subida. Las tasas de subida que se han conseguido son de hasta 5.76Mbps.

Sin embargo, este aumento en la velocidad de transmisión de datos hace que la señal del enlace ascendente sea mucho más compleja y dinámica y que, por tanto, sea necesaria una mejora en el diseño y en la verificación del transmisor. Asimismo, estas altas velocidades de transmisión de datos ponen al límite la potencia de procesamiento y las velocidades de transferencia interna del dispositivo, especialmente cuando se utiliza en combinación con el HSDPA, por lo que se requiere un análisis cuidadoso del rendimiento y del comportamiento real del dispositivo durante las operaciones de envío y recepción de datos a alta velocidad.

La función del HSUPA es igual de fundamental que la del HSDPA, ya que es casi tan importante la subida como la bajada en Internet. Con el HSUPA se consigue poder enviar un correo electrónico con un archivo adjunto, juegos en tiempo real contra otro usuario y establecer ratios simétricos de datos con otros usuarios.

1.4.3 HSPA+

HSPA+, también conocido como HSPA Evolved, aumenta la velocidad modulando los datos con 64QAM si la señal es suficientemente buena.

La modulación 64 QAM transporta más información con los mismos recursos radioeléctricos. Dentro del Release 7 se pueden alcanzar velocidades de pico de hasta 28 Mbps de descarga y 11,5 Mbps de subida. En una segunda fase, HSPA+ utiliza MIMO para transmitir varias señales en paralelo, llegando a 42 Mbps de velocidad de descarga. En la siguiente tabla se indican estas velocidades, así como la modulación utilizada para lograr cada una de ellas:

HSPA+ Peak Data Rates	MIMO (2x2 DL MIMO)	Non - MIMO
Downlink	28 Mbps (16-QAM)	14 Mbps (16-QAM) 21 Mbps (64-QAM)
Uplink	5.76 Mbps (QPSK) 11 Mbps (16-QAM)	5.76 Mbps (QPSK) 11 Mbps (16-QAM)

Tabla 1-4. Velocidades de HSPA+ según la modulación utilizada

Actualmente, las tres operadoras más importantes (Movistar, Vodafone y Orange) utilizan HSPA+ en las grandes capitales, y cada día se están implementando en más ciudades españolas.

Los tipos de módem, y la velocidad que soporta cada uno de ellos, que hay actualmente en el mercado son los que se presentan en la siguiente tabla. Es conveniente recordar que en estos campos la tecnología avanza prácticamente por días, por lo que es posible que actualmente este documento esté obsoleto.

Tipo	Velocidad bajada	Velocidad subida	Observaciones
Modem HSDPA	3,6 Mbps o 7,2 Mbps	384 Kbps	Latencia alta al usar WCDMA en la subida
Modem HSPA (o HSUPA)	7,2 Mbps	2 Mbps	
Modem HSPA+	21,6 Mbps	5,7 Mbps	

Tabla 1-5. Tipos de modems comerciales y velocidades soportadas

1.1 Cuarta generación

La evolución de las comunicaciones móviles se está marcando por dos factores fundamentales: el espectacular incremento del uso de Internet y la proliferación de las redes de datos inalámbricos. Se predice que en el año 2015 habrá 5.000 millones de personas conectadas a Internet, demandando un acceso único y de gran capacidad.

A la vista de tal panorama, los operadores de red tienen la necesidad de implementar nuevas tecnologías para poder hacer frente a semejante aumento del tráfico. Al mismo tiempo, es evidente que el usuario final no desea asumir un incremento del gasto acorde con el incremento del uso de datos. Es más, el éxito de los accesos DSL (Digital Subscriber Line) ha instaurado el concepto de tarifa plana en

el mundo de las comunicaciones, y ya no es posible que el usuario final conciba un servicio de Internet con otro modelo de tarificación. De esta forma, los operadores deben encontrar la fórmula que les permita asumir el incremento del tráfico manteniendo tarifas planas para el usuario. Por tanto, sus posibilidades de éxito pasan por lograr alcanzar una reducción significativa del precio por Mb (MegaByte).

La cuarta generación está basada totalmente sobre IP y está previsto que se alcancen velocidades de 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en movilidades bajas. En Japón la empresa NTT DoCoMo experimentó con la cuarta generación alcanzando los 100 Mbps a una velocidad de 200 Km/h.

Se espera que en Japón la 4G surja comercialmente en el 2010 y en el resto del mundo se implante sobre el año 2020.

Como características principales se tienen:

1. Para el acceso radio abandona el acceso tipo CDMA característico de UMTS.
2. Uso de SDR (Software Defined Radio) para optimizar el acceso radio.
3. La red completa prevista es todo-IP.
4. Las tasas de pico máximas previstas son de 100 Mbps en enlace descendente y 50 Mbps en enlace ascendente (con espectros en ambos sentidos de 20 Mhz).

El concepto de 4G englobado dentro de 'Beyond 3-G' incluye técnicas de avanzado rendimiento radio como MIMO (Multiple-input Multiple-output) y OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing). Dos de los términos que definen la evolución de 3G, siguiendo la estandarización del 3GPP, serán LTE (Long Term Evolution) para el acceso radio, y SAE (Service Architecture Evolution) para la parte núcleo de la red.

A continuación se describen brevemente cada una de las tecnologías definidas como 4G, así como son: LTE y WiMax.

1.1.1 LTE (Long Term Evolution)

Esta solución de red inalámbrica se estandariza en la Release 8 del 3GPP, tal y como se citó en la Figura 1-2. Parte con el objetivo de incrementar la tasa de pico hasta en un factor de 10, reducir la latencia hasta la tercera parte respecto a la tecnología HSPA predecesora y reducir el coste por MB hasta en 10 veces respecto a UMTS.

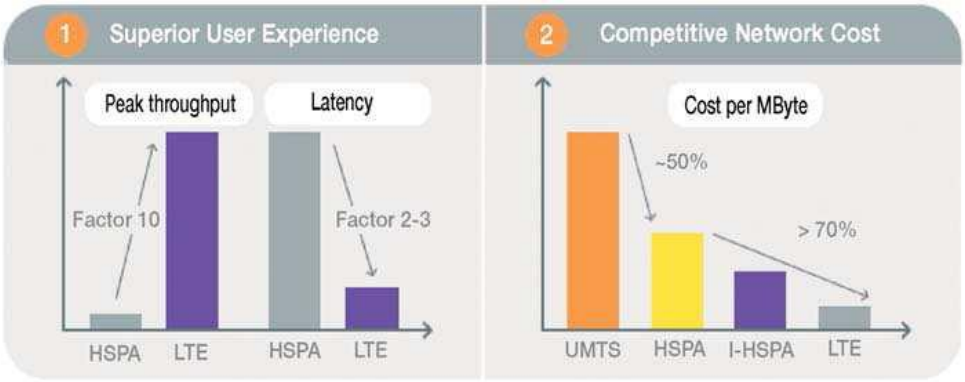

Figura 1-4. Claves del éxito del LTE

Para cumplir estos objetivos, LTE cuenta con una interfaz radio de gran potencial, que se desmarca de las tecnologías anteriores al escoger esquemas de modulación adaptados a las necesidades de los enlaces descendente y ascendente. Para el enlace descendente se utiliza una modulación multiportadora ortogonal OFDMA (Orthogonal frequency-division multiple access), que mediante la inserción de un prefijo cíclico proporciona un excelente rendimiento frente al devastador efecto del desvanecimiento multitrayecto y permite utilizar anchos de banda superiores a 5 MHz sin que se disparen los costes de ecualización y se degrade el rendimiento, como ocurría en las soluciones anteriores.

En el enlace ascendente se implementa una nueva técnica de modulación de portadora única llamada SC-FDMA (Single-carrier FDMA) aprovechando el bajo PAR (Peak to Average Ratio) que nos ofrece para salvar la limitación de potencia del terminal de usuario y mantener un buen comportamiento frente al multitrayecto. A pesar de su buen comportamiento en términos de potencia y resistencia al multitrayecto, su uso queda limitado al enlace ascendente exclusivamente, debido al elevado grado de procesado en el tiempo que requiere. Éste, como sabemos, es un factor que lastra el dinamismo con el que debe funcionar la estación base en el enlace descendente.

La modulación elegida por el estándar 3GPP hace que las diferentes tecnologías de antenas (MIMO) tengan una mayor facilidad de implementación, esto favorece según el medio de hasta cuadruplicar la eficacia de transmisión de datos.

La tecnología LTE soporta modulaciones de orden superior (hasta 64QAM) y diferentes anchos de banda de transmisión (1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15MHz, 20 MHz) mediante una asignación variable de sus recursos de tiempo y frecuencia. El intervalo de transmisión es de tan solo 1 ms y la separación entre subportadoras es de 15 KHz, permitiendo ajustar minuciosamente la asignación de recursos a las necesidades de cada transmisión.

Uno de los componentes de mayor importancia de la tecnología LTE es el planificador, que se encarga de la gestión y asignación de dichos recursos. La principal ventaja respecto a HSPA es que por primera vez se analiza el comportamiento del canal y se asignan a los usuarios aquellos bloques de recursos con mejores condiciones y sin desvanecimientos. Otra ventaja del planificador es que nos permite hacer una adaptación rápida del enlace según las variaciones del canal, ajustando los esquemas de modulación y codificación para maximizar el rendimiento.

En lo que se refiere a la arquitectura de red, la Release 8 estandariza una solución caracterizada por el aplanamiento y la eliminación de nodos intermedios como el RNC (Radio Network Controller) o el SGSN (Serving GPRS Support Node). El plano de usuario se conecta mediante túnel directo entre la estación base, que recibe el nombre de eNodoB (Nodo B evolucionado) e implementa las funciones radio descritas, y la pasarela SAE GW (Service Architecture Evolution GateWay), que da salida hacia las redes públicas de datos.

Las mejoras a investigar son, por ejemplo, el aumento de la eficiencia, la reducción los costes, la ampliación y mejora de los servicios ya prestados, y una mayor integración con los ya protocolos existentes.

Si se desea ampliar la información acerca de LTE, existe documentación citada en la bibliografía, como [13] o [28].

Importantes compañías del sector de las telecomunicaciones se unieron para crear una especificación técnica para los servicios de telefonía y mensajes de texto sobre LTE. Esta nueva especificación recibió el nombre de One Voice, siendo partícipes de su creación compañías de la talla de AT&T, Orange, Telefónica, TeliaSonera, Verizon, Vodafone, Alcatel-Lucent, Ericsson, Nokia Siemens Networks, Nokia, Samsung y Sony Ericsson.

One Voice define un conjunto de funcionalidades que ya se encuentran especificadas por 3GPP, con el objeto que puedan ser utilizadas por las compañías (ya sea proveedores de redes, de servicios y fabricantes de teléfonos móviles) para ofrecer soluciones de telefonía LTE.

Una de las primeras conclusiones a las que se llegó por medio de esta iniciativa es el uso de una solución basada en el IP Multimedia Subsystem (IMS), para garantizar a los usuarios que no se presentarán problemas durante la transición de los actuales servicios de telefonía por conmutación de circuitos hacia los servicios de LTE sobre IP.

1.1.2 WiMax

El WiMAX Forum es una organización internacional sin ánimo de lucro, constituida por empresas del sector, y cuyo objetivo común es certificar la compatibilidad y, lo que es aún más importante, la interoperabilidad de productos de acceso inalámbrico de banda ancha para redes metropolitanas, específicamente, aquellos descritos bajo la familia de estándares IEEE 802.16.

Las actividades del WiMAX Forum pueden considerarse, a nivel técnico, como una extensión de las del grupo de trabajo 802.16 del IEEE destinado al Acceso Inalámbrico de Banda Ancha para Redes Metropolitanas, para desarrollar procedimientos de test y certificar la interoperabilidad entre fabricantes de equipos WiMAX. A nivel comercial y de marketing, su labor resulta crítica de cara a conseguir unir a la industria.

La familia de estándares IEEE 802.11 fue desarrollada pensando en redes locales inalámbricas (WLAN), no para redes metropolitanas (WMAN) por lo que tiene limitaciones técnicas insalvables en las capas 1 y 2. No ofrecen los niveles de robustez y fiabilidad que necesita un operador serio. Desde hace unos años el concepto de *banda ancha* evoluciona más deprisa que las promesas de tecnologías celulares y operadoras móviles, quizás debido a que son tecnologías cuyo punto de partida lo constituyen estándares originalmente diseñados para voz como GSM o CDMA, respectivamente, y eso aún se deja notar.

Wimax son las siglas de Worldwide Interoperability for Microwave Access (interoperabilidad mundial para acceso por microondas); es una norma de transmisión de datos usando ondas de radio.

Es una tecnología dentro de las conocidas como tecnologías de última milla, también conocidas como bucle local que permite la recepción de datos por microondas y retransmisión por ondas de radio. El protocolo que caracteriza esta tecnología es el anteriormente citado IEEE 802.16. Una de sus ventajas es dar servicios de banda ancha en zonas donde el despliegue de cable o fibra por la baja densidad de población presenta unos costes por usuario muy elevados (zonas rurales).

Los perfiles del equipamiento que existen actualmente en el mercado compatibles con WiMAX son exclusivamente para las frecuencias de 2,5 y 3,5 Ghz, tal y como se refleja en la base de datos de WiMax Forum. Existe otro tipo de equipamiento (no estándar) que utiliza frecuencia libre de licencia de 5,4 Ghz, todos ellos para acceso fijo.

Existen planes para desarrollar perfiles de certificación y de interoperabilidad para equipos que cumplan el estándar IEEE 802.16e (lo que posibilitará movilidad), así como una solución completa para la estructura de red que integre tanto el acceso fijo como el móvil. Se prevee el desarrollo de perfiles para entorno móvil en las frecuencias con licencia en 2,3 y 2,5 Ghz.

Las características básicas que ofrece WiMax son:

- Distancias de hasta 80 kilómetros, con antenas muy direccionales y de alta ganancia.
- Velocidades de hasta 75 Mbps, 35+35 Mbps, siempre que el espectro esté completamente limpio.
- Facilidades para añadir más canales, dependiendo de la regulación de cada país.
- Anchos de banda configurables y no cerrados, sujeto a la relación de espectro.
- Permite dividir el canal de comunicación en pequeñas subportadoras.

Si se desea profundizar acerca de WiMax pueden consultarse diferentes citas [14], [22] y [20].

2 Medidas de calidad y cobertura en redes de telefonía móvil de 2ª y 3ª generación

2.1 Introducción

La "calidad de servicio" (QoS) es definida por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) como el efecto global de la calidad de funcionamiento de un servicio que determina el grado de satisfacción de un usuario de dicho servicio.

El usuario estará satisfecho cuando su percepción de servicio supere, (o al menos iguales) sus expectativas sobre el servicio. El objetivo de los operadores debe de centrarse, pues, en reducir los desajustes entre expectativas y percepción de usuario.

Hay muchos factores que impactan el grado de satisfacción del usuario final, relacionados con la calidad de servicio (QoS) ofrecida para los diferentes tipos de servicios.

Se pueden clasificar esos factores en 2 grandes grupos:

- Factores de índole técnica
- Factores de índole no técnica