

REDES MÓVILES TERRESTRES: 4G

F. PÉREZ

Escuela Técnica Superior de Ingeniería-ICAI. Universidad Pontificia Comillas.

Asignatura: Comunicaciones Industriales Avanzadas. Curso 2009-2010

RESUMEN

Este documento es el trabajo de la asignatura de Comunicaciones Industriales Avanzadas y es parte del segundo curso del Diploma de Comunicaciones Industriales. En él se detallan las características de una tecnología emergente: la cuarta generación de redes móviles terrestres o 4G. Supone un avance muy significativo con respecto a las generaciones anteriores por el gran aumento de velocidad experimentado y por la capacidad de adaptación a las necesidades del usuario. Además, será de utilidad en muchos aspectos de la vida cotidiana relacionados con las telecomunicaciones, no sólo con aquellos relacionados con la telefonía móvil. Muchos países del mundo están adaptándose a este sistema, cada vez más rápidamente.

1. Introducción

4G son las siglas de lo que se quiere convertir en la cuarta generación de tecnologías de telefonía móvil. Estará basada totalmente en IP, siendo un sistema de sistemas y una red de redes, no es una tecnología o estándar definido, sino una colección de tecnologías y protocolos para permitir el máximo rendimiento de procesamiento, alcanzándose después de la convergencia entre las redes de cables e inalámbricas así como en ordenadores, dispositivos eléctricos y en tecnologías de la información así como con otras convergencias para brindar velocidades de acceso entre 100 Mbps en movimiento y 1 Gbps en reposo, manteniendo un servicio de punto a punto con alta seguridad y permitiendo ofrecer servicios de cualquier clase en cualquier momento, con un mínimo coste.

Esta convergencia de tecnologías surge de la necesidad de agrupar los diferentes estándares en uso con el fin de delimitar el ámbito de funcionamiento de cada uno de ellos y con el fin también de integrar todas las posibilidades de comunicación en un único dispositivo de forma transparente al usuario.

La 4G no es una tecnología o estándar definido, sino una colección de tecnologías y protocolos diseñados para permitir el máximo rendimiento de procesamiento con la red inalámbrica más barata.

El objetivo que persigue es el de garantizar una calidad de servicio y el cumplimiento de los requisitos mínimos para la transmisión de servicios de mensajería multimedia, video chat, TV móvil o servicios de voz y datos en cualquier momento y en cualquier lugar utilizando siempre

el sistema que mejor servicio proporcione. En resumen, el sistema 4G debe ser capaz de compartir dinámicamente y utilizar los recursos de red economizando los requerimientos del usuario.

Según fuentes de información web, NTT DoCoMo de Japón fue el primero en experimentar con este tipo de tecnologías. Esta empresa realizó las primeras pruebas alcanzando 100 Mbps a 200 km/h y tiene previsto lanzar comercialmente los primeros servicios de 4G este año. Algunos países escandinavos y americanos pueden estar trabajando con 4G en 2012 y en el resto del mundo se espera una implantación total sobre el año 2020 o antes.

2. Parte técnica y arquitectural del sistema

2.1 Arquitectura

El Core de conmutación de paquetes para las redes 4G del 3GPP ha sido rediseñado y llamado *System Architecture Evolution (SAE)* o también *EPS (Evolved Packet System)*. SAE logra interconectar diversas redes de acceso, que en algunas ocasiones pueden ser heterogéneas entre ellas. La arquitectura SAE diferencia redes de acceso 3GPP y no-3GPP:

- Red 3GPP: Cuentan con el HSS como la base de datos de información del suscriptor y se conectan a redes externas a través de un Gateway de Paquetes (PDG, *Packet Data Gateway*).
- Red no-3GPP: Utilizan un servidor AAA 3GPP que se comunica también al HSS para coordinar la información necesaria. También usan el PDG para conectarse a redes externas.

La arquitectura SAE sigue los mismos parámetros de diseño de las redes 3GPP antecesoras, sin embargo divide las funciones del Gateway de Control (SGSN en UMTS) en un plano de control comandado por el MME (*Mobility Management Entity*) y un plano de usuario liderado por el SGW (*Serving Gateway*). Las funciones originales del GGSN son implementadas por el PDN Gateway (PGW).

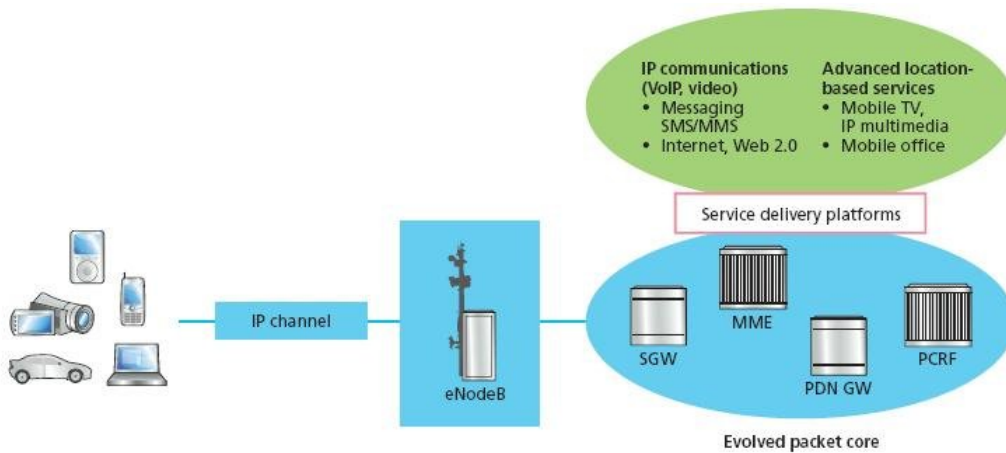


Figura 1. Esquema del SAE.

2.1.1 MME

El MME obtiene datos del suscriptor a través de la información almacenada en el HSS. El MME autentifica, autoriza y selecciona el PDN apropiado para establecer el enlace entre el E-UTRAN a las redes o servicios externos. MME también realiza funciones de administración de movilidad y recolecta información de cobro. El MME proporciona conectividad entre el Nodo B y la red GSM/UMTS existente a través del SGSN (Serving GPRS Support Node).

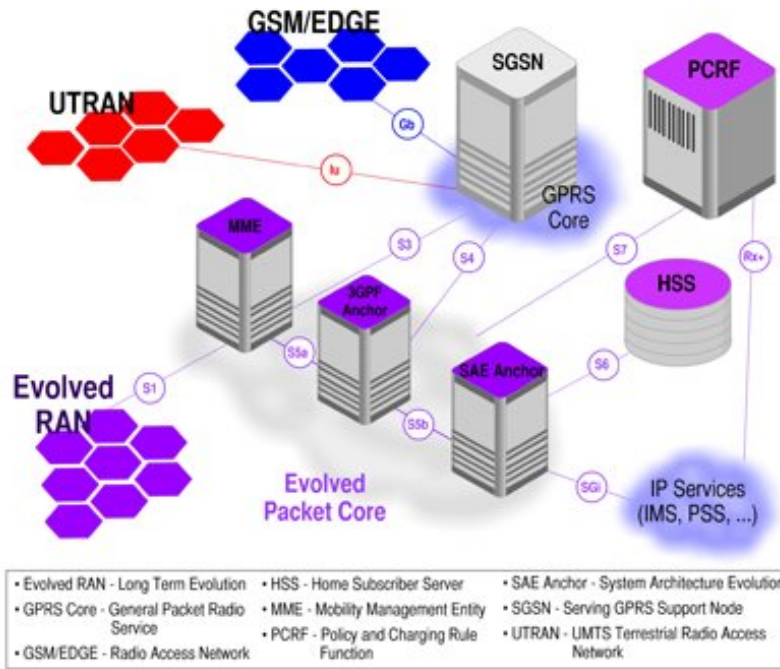


Figura 2. Red 4G basada en LTE.

2.1.2 SGW

El SGW es un equipo de plano de usuario que es controlado por el MME. El SGW también es un punto de monitoreo de las políticas de conexión y servicio establecidas en el PCRF (*Policy and Charging Rules Function*).

2.1.3 PGW

El PGW puede ser comparado con las funciones realizadas por el GGSN pero además tiene un importante rol en el control de la movilidad. El PGW asigna la dirección IP al UE.

2.2 Tecnologías empleadas

Algunos de los estándares fundamentales para 4G son WiMAX, WiBro, y 3GPP LTE (Long Term Evolution). Para poder hacer realidad esta red es necesario no sólo integrar las tecnologías existentes (2G, 3G...), también es necesario hacer uso de nuevos esquemas de modulación o sistemas de antenas que permitan la convergencia de los sistemas inalámbricos.

Los componentes fundamentales de una red 4G son:

- Sistemas Multiantena (MIMO).
- SDR (Software Define Radio).
- Sistemas de acceso existentes como TDMA, FDMA, CDMA y sus posibles combinaciones son fundamentales en sistemas 3G y también lo son los sistemas ya empleados en los estándares 802.11 (Wi-Fi), 802.16a (WiMAX) y 802.20 (MBWA) como son OFDMA, MC-CDMA y Single Carrier FDMA.
- Estándar IPv6 para soportar gran número de dispositivos inalámbricos, y asegurar una mejor calidad de servicio además de un enrutamiento óptimo.

2.2.1 LTE: Long Term Evolution

El LTE o *Long Term Evolution* surge a partir de la necesidad de satisfacer la creciente demanda de los usuarios y redes, y será la tecnología que acabe sustituyendo a la actual UMTS dentro de los sistemas 4G. Esta tecnología, basada en el uso de protocolos IP (soportado, por tanto, en el dominio de conmutación de paquetes), se halla actualmente en fase de pruebas, siendo Telefónica el operador encargado de las mismas en España.

2.2.1.1 Funcionamiento

LTE emplea la banda de los 700 MHz, aprovechando que ha quedado liberada tras el apagón de la televisión analógica, para lograr mejor cobertura y penetración en los edificios, algo imprescindible para las operadoras que lo comercialicen.

En el funcionamiento de la tecnología LTE podemos diferenciar entre su funcionamiento en el canal de descarga de datos y en el canal de subida de datos:

- En la descarga con LTE se emplea una modulación OFDMA (acceso múltiple por división de frecuencia ortogonal). Las subportadoras se modulan con un rango de símbolos QPSK, 16QAM o 64QAM. Es muy fuerte contra los efectos de *multipath*, idónea para implementaciones MIMO o SFN.
- La subida de archivos con LTE usa división de portadora simple de acceso múltiple (SC-FDMA) para simplificar el diseño y reducir picos de ratio medio y consumo energético.

La Figura 3 muestra una secuencia de ocho símbolos QPSK en un ejemplo con 4 subportadoras. Para OFDMA, los 4 símbolos se toman en paralelo, cada uno de ellos modulando su propia sub-portadora en la fase QPSK apropiada. Después de un período de símbolo OFDMA, se deja un tiempo (para que no haya solapamientos) antes del siguiente período de símbolo.

En SC-FDMA, cada símbolo se transmite secuencialmente. Así, los 4 símbolos se transmiten en el mismo período de tiempo. El rango de símbolos más alto requiere de cuatro veces el ancho de banda del espectro. Después de cuatro símbolos se deja el tiempo para evitar solapamientos mencionado anteriormente.

La figura siguiente muestra ambos modos de funcionamiento.

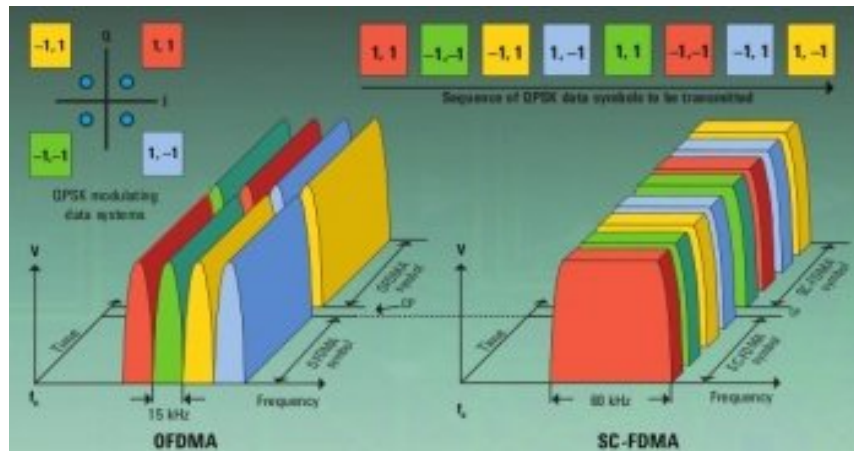


Figura 3. OFDMA y SC-FDMA.

2.2.1.2 Objetivos

Uno de los objetivos principales de esta tecnología es proporcionar una velocidad, tanto de descarga como de subida de archivos, muy alta en comparación con las alcanzadas con las tecnologías actuales.

De manera formal, los principales objetivos del LTE son los siguientes:

- Obtención de una mayor velocidad de transmisión, pudiendo llegar a los 100 Mbps de descarga y a los 50 Mbps de subida.
- Disminuir el retardo hasta conseguir un total menor de 10 milisegundos y unos tiempos iniciales de establecimiento de comunicación inferiores a 100 ms.
- Conseguir una eficiencia espectral 3 veces mejor que la del HSPA.
- Mejorar para los servicios de difusión (*broadcast*) para permitir servicios de radiodifusión y televisión móvil en tiempo real con una calidad aceptable para todos los usuarios.
- Flexibilidad de espectro para disponer de anchos de banda variables según el servicio y el uso de diversas bandas de frecuencia según las características de cada zona.

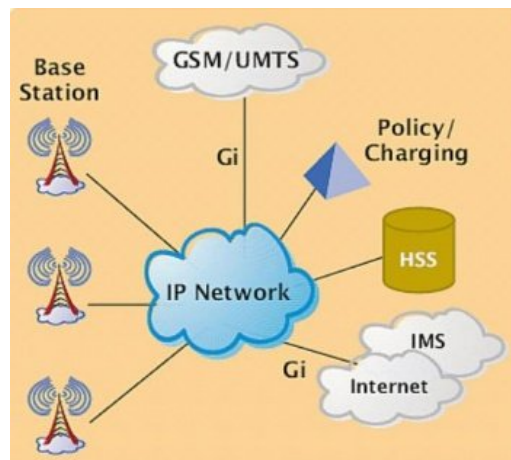


Figura 4. Arquitectura plana de red.

Para alcanzar la consecución de estos objetivos se están planteando arquitecturas de red con tendencia a simplificar lo máximo posible la jerarquía, hablando de estructuras planas. En éstas, la radio cobra un gran protagonismo, ya que debe asumir funciones que actualmente se hallan distribuidas en otras plataformas. La Figura 4 muestra un ejemplo de arquitectura plana de red.

2.2.2 WiMAX

Las siglas WiMax vienen de la frase inglesa *World Interoperability from Microwave Access* (o interoperabilidad mundial para acceso por microondas). Esta tecnología se encuentra dentro de las tecnologías 4G y se basa en el estándar IEEE 802.16-2004. Estos estándares permiten velocidades que están cerca de las del ADSL pero sin cables y hasta una distancia de 50-60 km.

Esta tecnología es una de las conocidas como tecnologías de última milla o bucle local, que permite la recepción de microondas y retransmisión por ondas de radio y se presenta muy adecuada para dar servicios de banda ancha en zonas donde el despliegue de cobre, cable o fibra óptica por la baja densidad de población presenta unos costes por usuario muy elevadas (zonas rurales). Como ya se comentó en la introducción del documento, los sistemas 4G tratan de dar una calidad superior con unas redes muy poco costosas.

WiMAX amplía la cobertura que hasta ahora proporcionan las redes inalámbricas 802.11 hasta las distancias de 30 Km, sin necesidad de vista en línea recta en los últimos 20 Km. Esta tecnología está basada en OFDM, y con 256 subportadoras puede realizar las distancias que previamente se han expuesto con capacidad para transmitir datos a una tasa de hasta 75 Mbps con una eficiencia espectral de 5 bps/Hz y dará soporte para miles de usuarios con una escalabilidad de canales de 1,5 a 20 MHz. Además el estándar soporta niveles de servicio (SLA) y calidad de servicio (QoS).

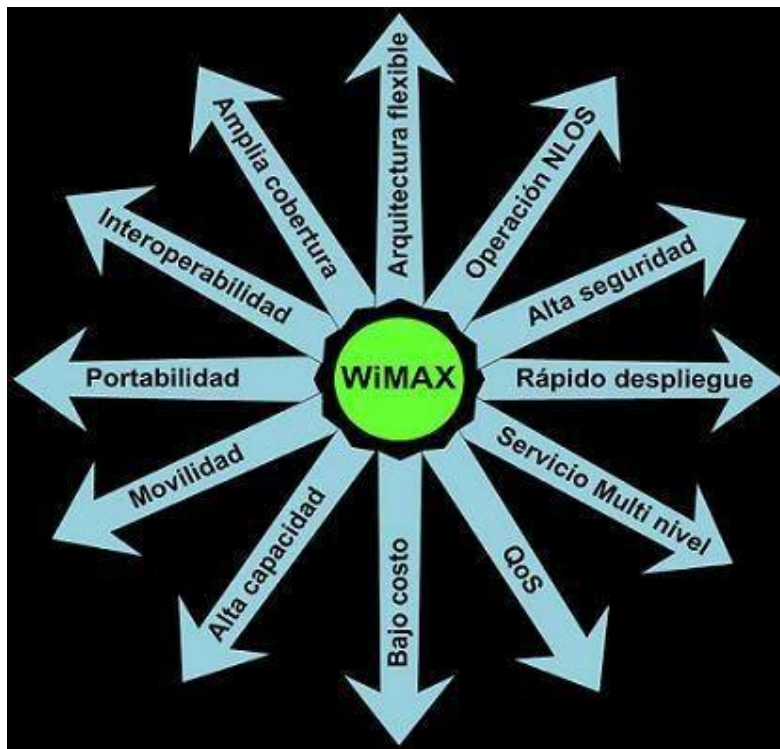


Figura 5. Prestaciones de la tecnología WiMAX.

Hablando sobre las diferencias entre WiMax y Wifi, su comparación es lógica entre dos tecnologías inalámbricas de transmisión de datos, una de las más fundamentales es que con la tecnología WiMax la red se adapta a las personas y la conexión de banda ancha y el acceso a Internet se mueve con ellos, en el caso del Wifi es el usuario el que tiene que buscar el punto donde conectarse.

2.2.2.1 Ventajas e Inconvenientes

2.2.2.1.1 Ventajas

En el caso de la tecnología WiMAX, como otras tecnologías basadas en Radiofrecuencia, sus transmisores y receptores suelen tener una huella pequeña (es decir, poco espacio) y como consecuencia se pueden colocar en azoteas o terrazas, en torres o incluso colgarse de los edificios. Sus requisitos de apoyo son modestos y no cabe duda que es un ahorro bastante importante en nuevas concesiones en excavaciones, plantado de postes, empalmado de cables, repetidores, etc. El caso más extremo es el de zonas apartadas con baja densidad demográfica en las cuales es inviable, debido al alto coste por usuario, la instalación de redes por cable y la única opción sería la instalación inalámbrica.

Otro de los aspectos es la velocidad de despliegue, la cual en el caso de la tecnología inalámbrica es únicamente el posicionamiento de los receptores y emisores, incluso en algunos casos los terminales no son cosa de profesionales, sino de los usuarios terminales (como por ejemplo los móviles).

En el caso de la portabilidad y movilidad está claro que, cómo en el punto anterior, sabemos que si la instalación es fácil, la portabilidad también lo será y únicamente desmontando y trasladando unas antenas tendremos hecha la portabilidad. En algunos casos, como WLAN y celular, tenemos la posibilidad de tener la conectividad móvil, con lo que la movilidad está asegurada.



Figura 6. Antenas de comunicación WiMAX.

2.2.2.1.2 Inconvenientes

En primer lugar tenemos el inconveniente de la disponibilidad de espectro. Estas tecnologías basadas en transmisión por RF necesitan de una frecuencia y el espectro de radio es escaso, de 3 kHz a 30 GHz, lo que no es tanto como parece ya que son muchos los que compiten por este espectro.

Después está el caso del ancho de banda que nos presenta un problema lógico. Cuanto menos ancho de banda tengamos, menor será la velocidad. Dan igual los algoritmos de compresión que inventemos, el factor último determinante siempre será el ancho de banda.

Un problema muy común también es el de la línea de visión, por el cual para una correcta transmisión debemos de tener contacto visual con el emisor base, ya que todo obstáculo físico se transforma en un efecto negativo para la transmisión. Esto no sucede en las tecnologías por cable en las cuales disponemos de un conductor que nos “guía” la señal.

Otro de los fallos de esta tecnología, y de toda la tecnología basada en transmisión por RF, son los errores de transmisión causados por todo aparato, sistema o dispositivo, del que podemos saber o desconocer lo que lo hace un inconveniente inevitable de esta tecnología.

Por último, el mayor error de esta tecnología es compartido con el de las tecnologías basadas en RF es la seguridad. Nuestra transmisión puede ser fácilmente interceptada simplemente colocando una antena que logre captar dicha señal y ya estará en manos ajenas. La única manera de preservar la privacidad es mediante la encriptación.

2.3 LTE vs WiMAX

Nos encontramos ante dos tecnologías inalámbricas que ofrecen grandes velocidades, como hemos demostrado anteriormente, pudiendo llegar a cuadruplicar la velocidad actual.

Realmente podemos decir que se trata de dos tecnologías que trabajan sobre IP y que tienen mucho en común, ya que las dos proporcionan el mismo enfoque de las descargas y hacen uso de MIMO, lo que quiere decir que la información es enviada sobre dos o más antenas desde una misma celda. Además, las descargas están mejoradas en los dos sistemas ya que utilizan OFDM, que soporta transmisiones multimedia y de vídeo sostenidas.

Mucha gente opina que la gran diferencia entre estas dos tecnologías es meramente política, ya que depende de las compañías que las apoyan y sus respectivos intereses, aunque también hay quienes opinan que la diferencia está en el coste. Otros expertos opinan que la diferencia está en la cantidad de espectro que necesita cada tecnología para poder llegar a las velocidades que los propios usuarios están exigiendo, ya que ambas pueden alcanzar grandes y muy similares velocidades y transmiten la señal de forma muy parecida.

En principio se piensa que una tecnología no debería destruir a la otra, pero en general se cree que la tecnología más usada será LTE ya que la mayoría de las operadoras a nivel mundial trabajan con GSM (Global System for Mobile Communications), a pesar de que el estándar WiMax ha sido ya aprobado definitivamente y la especificación final de LTE todavía no está disponible.

Como ejemplo de la supuesta supremacía de LTE frente a WiMax, podemos aportar datos de que ciertas compañías como AT&T (proveedor con infraestructura GSM, al igual que T-Mobile) y Verizon Wireless han apostado por la adopción de LTE y planean llevar a cabo grandes despliegues de esta tecnología en 2011 o 2012. Además Sprint tampoco ha descartado crear despliegues LTE.

En Europa, LTE es la tecnología escogida por la mayoría para adaptarse a las tecnologías 4G, debido a su compatibilidad con GSM, GPRS y UMTS, estándares dominantes en estas tierras, a pesar de que la operadora europea Vodafone lleva tiempo anunciando sus planes para desplegar una red WiMax en nuestro continente.

Aunque ya se han comentado algunas de las velocidades que pueden llegar a alcanzar ambas tecnologías, la realidad es que la velocidad real es difícil de asegurar ya que variará según la cantidad de abonados conectados en un momento determinado a una torre celular, la distancia a la que se encuentren de ella, la frecuencia que se utilice y la potencia de procesamiento del dispositivo que se esté usando.

2.4 Comparativa LTE - WiMax

Característica	WiMAX (IEEE 802.16e-2005)	3GPP-LTE
Red Núcleo	Foro WiMAX red todo IP	UTRAN convirtiéndose hacia red todo IP EUTRA (enhanced UTRA)
Tecnología de Acceso		
Enlace de bajada (DL)	OFDMA	OFDMA
Enlace de subida (UL)	OFDMA	SC-FDMA
Banda de frecuencia	2.3-2.4GHz, 2.496-2.67 GHz, 3.3-3.8 GHz	Bandas de frecuencias existentes y nuevas cercanas a 2GHz
Tasa de bits		
DL	75 Mbps	100Mbps
UL	25Mbps	50Mbps
Ancho de banda del canal	5, 8.75, 10MHz	1.25-20MHz
Radio de Célula	2-7Km	5Km
Capacidad de Célula	100-200 usuarios	>200 usuarios a 5MHz >400 usuarios para BW mayor
Eficiencia espectral	3.75 (bits/seg/Hz)	5(bits/seg/Hz)
Movilidad:		
Velocidad	Hasta 120 Km/h	Hasta 250 Km/h
Handover	Hard Handovers son soportados	Handovers inter célula soft
Standares	IEEE 802.16a hasta 16d	GSM/GPRS/EGPRS/UMTS/HSPA
MIMO:		
DL	2Tx * 2Rx	2Tx * 2Rx
UL	1Tx * NRx	2Tx * 2Rx
# de código de palabras	1	2
Roaming	Nuevo	Auto através de GSM/UMTS
Fechas:		
Estándar completado	2005	2007
Inicio de despliegue	2007-2008	2010
Producción en masa	2009	2012

Tabla 1. Comparativa WiMAX vs. LTE.

3. Conclusiones

La emergente red 4G va a proporcionar a todos los usuarios una gran flexibilidad para comunicarse esten donde esten, y permitirá a muchos dispositivos interconectarse para alcanzar un rendimiento y una calidad de servicio óptimos.

La gran velocidad que se podrá alcanzar con estos dispositivos y el elevado número de usuarios que podrán conectarse gracias a IPv6 dará lugar a un fenómeno nunca experimentado, en el que Internet estará al alcance de todos, en un instante.

La evolución de velocidades a lo largo de las generaciones de telefonía móvil y la comparativa entre los tipos de redes se muestran en la Figura 7.

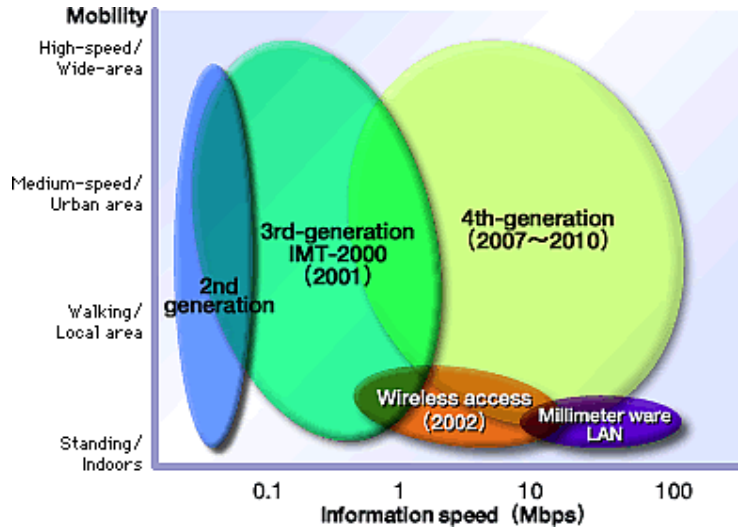


Figura 7. Gráfico que muestra las capacidades de cada red/generación.

4. Acrónimos

3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
AAA	<i>Authentication Authorization Accounting</i>
ADSL	<i>Asymmetric Digital Subscriber Line</i>
bps	<i>bits por segundo</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
EPS	<i>Evolved Packed System</i>
E-UTRAN	<i>Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i>
GGSN	<i>Gateway GPRS Support Node</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GSM	<i>Global System for Mobile communications</i>
HSPA	<i>High-Speed Packet Access</i>
HSS	<i>Home Subscribe Server</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
IPv6	<i>IP version 6</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MC-CDMA	<i>Multi-Carrier CDMA</i>
MIMO	<i>Multiple-Input Multiple-Output</i>
MME	<i>Mobility Management Entity</i>
OFDMA	<i>Orthogonal FDMA</i>
PCRF	<i>Policy and Charging Rule Function</i>
PDG	<i>Packed Data Gateway</i>
PDN	<i>Packet Data Network</i>
PGW	<i>PDN Gateway</i>
QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
RAN	<i>Radio Access Network</i>
SAE	<i>System Architecture Evolution</i>
SC-FDMA	<i>Single-Carrier FDMA</i>
SDR	<i>Software Define Radio</i>
SFN	<i>Single Frequency Network</i>
SGSN	<i>Serving GPRS Support Mode</i>
SGW	<i>Serving Gateway</i>
SLA	<i>Service Level Agreement</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
UE	<i>User Equipment</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
WiBro	<i>Wireless Broadband</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
WiMAX	<i>World Interoperability from Microwave Access</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>

5. Bibliografía

- http://es.wikipedia.org/wiki/Telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil_4G
- <http://en.wikipedia.org/wiki/4G>
 - o Entradas de Wikipedia acerca de la tecnología 4G
- http://es.wikipedia.org/wiki/Long_Term_Evolution
- http://en.wikipedia.org/wiki/3GPP_Long_Term_Evolution
 - o Entradas de Wikipedia acerca del estándar LTE
- <http://es.writel.info/>
 - o Página web que explica el funcionamiento de las redes móviles terrestres
- <http://blogmoviles.com/telefonía-móvil-de-cuarta-generación/>
 - o Blog sobre telefonía móvil
- <http://www.convergedigest.com/bp/bp1.asp?ID=543&ctgy>
 - o Artículo sobre la tecnología 4G
- <http://www.3g.co.uk/PR/October2002/4210.htm>
 - o Página británica oficial acerca de 3G