

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores
Plantel Aragón



**“EVOLUCIÓN Y MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS 3G
A 4G PARA REDES DE DATOS CON VELOCIDAD
HASTA 100MB/S”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA**

Area: Eléctrica Electrónica.

**DE LA CRUZ CHÁVEZ ERICK ADDIEL
NAVARRETE CENTENO LUIS DAVID**

ASESOR: ING. BENITO BARRANCO CASTELLANOS.

Nezahualcoyotl, Estado de México, Diciembre de 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

“EVOLUCIÓN Y MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS 3G A 4G PARA REDES DE DATOS CON VELOCIDAD HASTA 100 MB/S.”

Indice	I
Introducción	II
Capítulo 1 Conceptos y normatividad de telefonía para dispositivos móviles con ancho de banda de 1.2 a 14 Mb/s.	1
1.1	1
1.1.1	5
1.1.1.1	5
1.1.1.2	6
1.1.1.3	8
1.1.1.4	10
1.1.2	10
1.2	11
1.2.1	11
1.2.1.1	12
1.2.2	19
1.2.2.1	19
Capítulo 2 Evolución de datos de GSM – UMTS.	23
2.1	23
2.1.1	24
2.1.1.1	26
2.2	29
2.2.1	30
2.2.1.1	31
2.2.1.2	32
2.2.1.3	33
2.3	35
2.3.1	36
2.3.1.1	37
2.3.1.2	38
2.4	38
2.4.1	39
2.4.1.1	40
2.4.1.2	40
2.4.1.3	40
2.5	41
2.5.1	42
2.5.1.1	43
2.5.1.2	43
2.5.1.3	43
2.5.1.4	44
2.5.1.5	44
2.5.1.6	45
2.5.1.7	47
2.6	48
2.6.1	48
2.6.1.1	48
2.6.1.2	48
2.6.1.3	49
2.6.1.4	50
2.7	51
Capítulo 3 Migración de tecnología 3G a 4G por LTE	
3.1	55

“EVOLUCIÓN Y MIGRACIÓN DE TECNOLOGÍAS 3G A 4G PARA REDES DE DATOS CON VELOCIDAD HASTA 100 MB/S.”

3.1.1	Espectro radioeléctrico	57
3.2	LTE	60
3.2.1	LTE Advanced	63
3.3	Arquitectura de LTE	65
3.3.1	Arquitectura del sistema LTE	67
3.4	Arquitectura de red de acceso evolucionada: E-UTRAN	69
3.4.1	Evolved NodeB (eNB)	72
3.4.1.1	Interfaz radio	74
3.4.1.2	Interfaz eNB eNB (X2)	76
3.5	Protocolos en la interfaz radio	77
3.5.1	Protocolos en las interfaces S1 y X2	80
3.5.1.1	Plano de usuario entre UE y EPC	82
3.5.1.2	Plano de control entre UE y EPC	83
3.5.1.3	Comparativa E-UTRAN y UTRAN	84
3.6	Arquitectura de EPC	87
3.7	Entidades de red e interfaces	91
3.7.1	MME (Mobility Management Entity)	92
3.7.1.1	Serving Gateway (S-GW)	93
3.7.1.2	PDN Gateway (P-GW)	95
3.7.1.3	HSS (Home Subscriber Server)	96
3.8	Interfaz P-GW Redes Externas (SGi)	97
3.8.1	Interfaces P-GW S-GW (S5 y S8)	98
3.8.1.1	Interfaz MME S-GW (S11)	99
3.8.1.2	Interfaz MME MME (S10)	100
3.8.1.3	Interfaz HSS MME (S6a)	101
3.8.1.4	Interfaces basadas en GTP-U	102
3.8.1.5	Interfaces basadas en GTP-C	104
3.8.1.6	Interfaces basadas en Diameter	105
3.8.1.7	Interfaces basadas en PMIPv6	107
3.9	Protocolos NAS	109
3.9.1	Protocolo NAS para la gestión de movilidad (EMM)	110
3.9.1.1	Protocolo NAS para la gestión de las sesiones (ESM)	111
3.10	Configuraciones de la red EPC	113
3.11	Interfaz Radio del sistema LTE	115
3.11.1	División funcional y Pila de protocolos	116
3.12	Radio Resource Control (RRC)	119
3.13	Packet Dependence Convergence Protocol (PDCP): Funcionalidades Principales	121
3.14	Funcionalidades relevantes de la sub-capa RLC	122
3.14.1	Canales Lógicos	124
3.14.1.1	Canales Lógicos de Tráfico	124
3.14.1.2	Canales Lógicos de Control	124
3.14.2	Funcionalidades relevantes de la sub-capa MAC	125
3.14.2.1	Canales de Transporte	127
3.14.2.2	Enlace Descendente	127
3.14.2.3	Enlace Ascendente	128
	Conclusiones	129
	Bibliografía	134

Objetivo

“Aplicar la migración de tecnologías inalámbricas para operadores de telefonía móvil globales en la evolución 3g a 4g, para redes de datos con velocidades hasta 100 Mb/s, para el aumento de la eficiencia, la ampliación, mejora de los servicios prestados y una mayor integración con los protocolos existentes.”

Introducción

LTE (Long Term Evolution) es decir, Evolución a Largo Plazo. Para el Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universal, es la última generación en tecnologías de banda ancha que permite una verdadera movilidad, nuevas aplicaciones multimedia de alta calidad y facilita la convergencia de sistemas y tecnologías para brindar un servicio completamente integrado en cualquier momento y lugar. El protocolo Proyecto Asociación de Tercera Generación 3GPP, (Generation Partnership Project), Long Term Evolution (LTE) es el nombre dado al proyecto de 3GPP para mejorar el estándar UMTS, Sistema universal de telecomunicaciones móviles (Universal Mobile Telecommunications System o UMTS) para hacer frente a las futuras necesidades. Estas mejoras a investigar son, por ejemplo, el aumento de la eficiencia, la reducción los costos, la ampliación y mejora de los servicios ya prestados y una mayor integración con los ya protocolos existentes.

En los últimos 20 años el crecimiento de las comunicaciones móviles, con GSM (sistema global para las comunicaciones móviles, del inglés Global System for Mobile communications, GSM) Siendo tecnología 3G y últimamente con el despliegue definitivo de UMTS, estamos en los albores de una nueva generación de comunicaciones móviles, la cuarta generación o 4G, de la que el sistema LTE cuya primera especificación fue concluida por 3GPP a finales de 2008, puede considerarse el primer eslabón en una supuesta trayectoria evolutiva que debe culminar con el LTE-Advanced.

3GPP reconoce que en el mercado están apareciendo una serie de diferentes términos relacionados con LTE. 3GPP reafirma que el nombramiento para la familia de tecnologías y su evolución sigue siendo cubierto por el término LTE-Advanced, que sigue siendo la correcta descripción de las especificaciones están definidas actualmente - de lanzamiento 10 en adelante, incluyendo 3GPP Release 12.

El Proyecto Asociación de Tercera Generación o más conocido por el acrónimo inglés 3GPP 3rd Generation Partnership Project es una colaboración de grupos de asociaciones de telecomunicaciones, conocidos como Miembros Organizativos.

El objetivo inicial del 3GPP era asentar las especificaciones de un sistema global de comunicaciones de tercera generación 3G para móviles basándose en las especificaciones del sistema evolucionado "Global System for Mobile Communications" GSM dentro del marco del proyecto internacional de telecomunicaciones móviles 2000 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU. Más tarde el objetivo se amplió incluyendo el desarrollo y mantenimiento de:

- El Sistema Global de telecomunicaciones móviles GSM incluyendo las tecnologías de radio-acceso evolucionadas del GSM (cómo por ejemplo GPRS o el EDGE).
- Un sistema de tercera generación evolucionado y más allá del sistema móvil basado en las redes de núcleo evolucionadas del 3GPP y las tecnologías de radio-acceso apoyadas por los miembros del proyecto (cómo por ejemplo la tecnología UTRAN y sus modos FDD y TDD).
- Un Subsistema Multimedia IP (IMS) desarrollado en un acceso de forma independiente.

La estandarización 3GPP abarca radio, redes de núcleo y arquitectura de servicio. El proyecto 3GPP se estableció en Diciembre del año 1988 y no se tiene que confundir con el Proyecto Asociación de Tercera Generación 2 (3GPP2), que tiene por objetivo la especificación de los estándares por otra tecnología 3G basada en el sistema IS95 (CDMA), y que es más conocido por el acrónimo CDMA2000. El equipo de apoyo 3GPP, también conocido como el Centro de Competencias Móviles se encuentra situado en las oficinas de la ETSI en Sophia Antípolis (Francia).



Que es LTE?

En 2012, algunas de las grandes empresas fabricantes de dispositivos móviles y las compañías operadoras de los servicios de telefonía celular en todo el mundo, se dedicaron a desarrollar y ofrecer avanzados smartphones con conectividad a redes LTE 4G, la mayor evolución de la comunicación inalámbrica impulsada en este año.

LTE está presente en las redes de comunicación de 4G, es decir, aquellas que corresponden a las tecnologías de cuarta generación de la telefonía celular. Esta 'evolución a largo plazo' multiplica el acceso a redes inalámbricas para dar complemento a las 3G, obviamente las de tercera generación.

Las redes en la telefonía celular son las que hacen posible cualquier tipo de conectividad. Sin ellas, no puedes realizar una simple llamada telefónica, acceder a Internet para revisar tus correos electrónicos o seguir a tus amigos a través de las redes sociales.

La telefonía celular de hoy consiste en el enlace de un dispositivo móvil, que bien pudiera ser un smartphone, con redes de comunicación cada vez más rápidas y avanzadas.

Estas redes pasaron de analógicas a digitales en un abrir y cerrar de ojos. Por lo tanto, casi sin darnos cuenta, sofisticaron la comunicación personal en un tiempo relativamente breve.

En teoría, LTE es capaz de ofrecer velocidades de datos súper rápidas. Para los geeks (Tecnología avanzada) de datos, LTE es capaz de alcanzar velocidades de hasta diez veces más rápido que las tradicionales redes 3G.



La idea más notable detrás de LTE, es la forma en que se reduce la latencia, o los tiempos de ping a la nube. Esto significa que cualquier aplicación web vinculada se pondrá en marcha y responderá con mayor rapidez.

Las tecnologías LTE y 4G representan un paso adelante increíble para las redes móviles y de aplicaciones móviles. Es equivalente a cuando se deshizo de su módem de acceso telefónico y paso a la banda ancha en su casa.

Como es lógico suponer, existen muchos tecnicismos interesantes alrededor de este tema, pero lo que realmente necesita conocer el propietario de un teléfono inteligente, es la repercusión de estas redes LTE 4G en el servicio que le presta su compañía operadora y cuáles son los beneficios de contar con un smartphone que tenga acceso a este tipo de conexión inalámbrica. Aquí te presentamos algunas de sus ventajas:

- LTE proporciona velocidades máximas de bajada alrededor de 100 megabytes por segundo, mientras de subida anda por los 50 Mbps.
- Asegura a los usuarios soporte necesario para la movilidad y compatibilidad entre los sistemas, (conectividad con otras redes), con lo cual se podrá utilizar el servicio de banda ancha en cualquier momento y lugar.
- Otorga a todo smartphone con acceso a redes 4G la posibilidad de conectarse desde y en cualquier país del mundo a velocidades similares y en algunos casos superiores a las que tiene la banda ancha tradicional.
- Desde sus teléfonos inteligentes, los usuarios podrán conectarse a Internet con velocidades diez veces más rápidas que a través de redes de 3G, por lo tanto es enorme el mejoramiento en cuanto a la navegación por la Web.
- Capacidad para efectuar, sin ningún tipo de cortes, videoconferencias y video-llamadas con imagen y sonido de alta calidad, así como también realizar transmisiones en vivo y directo.

- Los smartphones compatibles con LTE 4G te permiten compartir datos multimedia de alta definición. Podrás descargar un video de 700 MB en sólo 90 segundos.
- Gracias a estas redes de alta velocidad disfrutarás aún más de los juegos en red, con mejor definición y mayores propiedades.
- Ver televisión en high definition y en 3D es otra posibilidad cierta con las LTE 4G.
- Esta tecnología también permite hacer streaming en alta definición y en tiempo real, sin interrupciones ni tiempo de espera por el buffer. Como ejemplo te podemos citar los videos de YouTube, los cuales visualizarás con mayor calidad.
- La transferencia de datos se ejecutará con mayor rapidez.
- La velocidad tampoco te impondrá límites para tener en tu smartphone el mayor número de aplicaciones.
- Subir fotos y videos de una cámara digital en tiempo real desde cualquier lugar.

Capítulo 1

Conceptos y normatividad de telefonía para dispositivos móviles con ancho de banda de 1.2 a 14 Mb/s

1.1 Introducción

Los primeros trabajos en comunicaciones móviles fueron desarrollados por Hertz en 1880¹, después Marconi realizó varios trabajos experimentales y posteriormente llevó a cabo la transmisión por radio hacia un barco en 1887². Durante la primera guerra mundial, los sistemas de radiocomunicación móvil tuvieron un uso limitado.

En EU alrededor del año 1921 fue cuando se instaló el primer sistema de radio telefonía móvil por el departamento de policía de Detroit. Este sistema operaba en la banda de los 2 MHz; sin embargo en la medida que los adelantos tecnológicos y la demanda de servicio fueron aumentando, se inició la tendencia hacia el uso de frecuencias mayores.

En los años treinta varios canales se usaban sobre una base experimental. Hacia mediados de los cuarentas se instalaron nuevos sistemas comerciales en las bandas de 33 y 150 MHz.

La operación de estos sistemas fue en un solo sentido, y se requería de un operador de teléfono para poder establecer la llamada. Hacia mediados de los años sesenta se tuvieron nuevos sistemas en la banda de los 150 MHz con operación en ambos sentidos, búsqueda automática de canales y marcación desde y hacia la estación móvil.

¹ Heinrich Rudolf Hertz, fue un físico alemán descubridor del efecto fotoeléctrico y de la propagación de las ondas electromagnéticas, La unidad de medida de la frecuencia, el hercio (Hertz).

² Guillermo Marconi, fue un ingeniero eléctrico, empresario e inventor italiano, conocido como uno de los más destacados impulsores de la radio transmisión a larga distancia; usó un artículo de Hertz para construir un emisor de radio.

En 1978 en la ciudad de Chicago en Estados Unidos, comenzó a instalarse en fase experimental el sistema Telefónico Móvil Avanzado (por sus siglas en inglés AMPS), en la banda de los 900 MHz, disponiendo de 666 canales (capacidad total). Este sistema que ya fue considerado un sistema celular, cubrió en su fase experimental una extensión de aproximadamente 5400 Km², con 10 células y 136 canales para 2 mil abonados. Después se implementó en 1983 en forma comercial con los 666 canales y con una capacidad inicial de 30 mil abonados.

Paralelamente, en Europa se utilizó el primer sistema celular de tipo experimental en la banda de los 450 MHz, denominándolos Sistema de Telefonía Móvil Nórdica (por sus siglas en inglés NMT).

En Japón se instaló el primer sistema celular en 1979, en la banda de los 900 MHz.

En 1993 el sistema celular Paneuropeo, llamado GSM comienza su instalación. Hacia finales de 1994 había dos millones de abonados en toda Europa y el sistema Paneuropeo se aceptó en varias naciones no europeas. En los años siguientes se propuso el sistema DCS-1800, basado en GSM en las bandas de 1800 y 1900MHz. Como respuesta a la necesidad de una mayor capacidad en zonas de alta densidad de abonados, en Estados Unidos, se adoptó el estándar IS-54 basado en Acceso Múltiple por División de Tiempo (por sus siglas en inglés TDMA).

Este sistema permite una operación en modo dual, lo cual significa que soporta una operación analógica (AMPS) y digital. Posteriormente, se genera la norma IS-136, la cual proporciona mayores facilidades de señalización que la norma IS-54. En Estados Unidos se crea un sistema que usaba el acceso típico Acceso Múltiple

por División de Códigos (por sus siglas en ingles CDMA): utilizando la norma IS-95. Este sistema permite una operación dual compatible con el sistema AMPS³.

En 1992, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (por sus siglas en ingles ITU) trató de llevar a cabo el sistema de tercera generación y se creó un diseño llamado Telecomunicaciones Móviles Internacionales (por sus siglas en ingles IMT-2000), a IMT se le agregó el número 2000 por tres razones:

1. Era el año en que debería de funcionar
2. Era a la frecuencia a la que se suponía que debería de trabajar,
3. Era el ancho de banda que el servicio debería tener (en KHz).

Pero no cumplió con nada de lo anterior. La ITU recomendó que todos los gobiernos reservaran espectros de 2 GHz a fin de que los dispositivos pudieran llevarse a cualquier país y funcionaran a la perfección.

China reservo el ancho de banda requerido. Se admitió que 2 Mbps no son factibles para usuarios que se desplazaran mucho. Los servicios básicos que se suponía que debía tener eran:

- Transmisión de voz a alta velocidad
- Mensajería
- Multimedia
- Acceso a Internet
- Videoconferencias
- Tele presencia
- Juegos en grupo y comercio móvil

³ Muñoz Rodríguez David, Sistemas inalámbricos de comunicación personal, Alfa omega 2002
Cap. 1. pp 3 – 5.

Las tecnologías que se propusieron fueron: W-CDMA (CDMA de banda ancha) propuesta por Ericsson, la cual se ejecuta en banda ancha de 5 MHz e interactúa con GSM y tiene la propiedad de que el usuario puede salir de una celda W-CDMA y entrar a una celda GSM sin perder la llamada, fue impulsado por Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles (por sus siglas en inglés UMTS).

También apareció CDMA2000 propuesto por Qualcomm, este es un diseño de espectro disperso de secuencia directa, una extensión de IS-95 y no interactúa con GSM. No puede entregar llamadas a una celda GSM.

En marzo de 1999, las dos compañías resolvieron problemas legales, y se pusieron de acuerdo en un estándar sencillo de tercera generación.

La Aparición del sistema llamado EDGE (Tasa de Datos Mejorada para la Evolución del GSM), es simplemente GSM con más bits por baudio, tiene 9 esquemas diferentes para modulación y corrección de errores para la generación 2.5 o 2.1 que se decía era más preciso.

Para la generación 2.5 apareció el esquema GPRS (Servicio de Radio de Paquetes Generales), que es una red de paquetes superpuestos encima de D-AMPS o GSM. Permite que las estaciones móviles envíen y reciban paquetes IP en una celda que se ejecuta en un sistema de voz⁴.

En la actualidad la tercera generación ya está en uso, la primera compañía telefónica que la puso en práctica fue Iusacell hace aproximadamente 5 años bajo el estándar CDMA2000 y EV-DO (Evolution-Data Optimized).

⁴ Tanenbaum Andrew S, Redes de computación, Pearson Educación Cap. 2 pp 166 – 168.

Por su parte Telcel ha optado por la tecnología WCDMA, mejor conocida como el estándar UMTS y Protocolo de Comunicaciones en el Acceso a Paquetes de Alta Velocidad (por sus siglas en inglés HSDPA)

1.1.1 Evolución de la Telefonía Celular

La evolución de la telefonía se puede visualizar más fácilmente por etapas, estas se conocen comúnmente como generaciones. Hasta la fecha han existido tres generaciones de telefonía celular: primera generación (1G), segunda generación (2G) y tercera generación (3G). La cuarta generación esta todavía en investigaciones.

1.1.1.1 Primera Generación (1G): Voz Analógica

La primera generación de telefonía móvil funcionaba por medio de comunicaciones analógicas y dispositivos portátiles que eran relativamente grandes. El método de acceso al medio que empleaba era FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia), el cual era poco eficiente, debido a que a cada usuario se le asignaba una frecuencia única y esto ocasionaba que las llamadas se bloquearan muy fácilmente, aunado con el hecho que la telefonía celular comenzó a operar en la banda de 800-900 MHz, con un ancho de banda limitado de 20 MHz.

Las características físicas de los celulares de esta generación eran muy grandes, la batería no era muy eficiente en el almacenamiento de la carga, además de ser enorme y la transmisión de voz era de muy baja velocidad (2.4 Kbps)⁵.

Esta generación utilizaba principalmente los siguientes sistemas:

⁵ GSM World GSM Technology, www.gsmworld.com, Pagina Recuperada Marzo 20 de 2013.

- **AMPS** (Sistema Telefónico Móvil Avanzado): Se presentó en 1976 en Estados Unidos y fue el primer estándar de redes celulares. Utilizada principalmente en el continente americano, Rusia y Asia, la primera generación de redes analógicas contaba con mecanismos de seguridad endebles que permitían hackear las líneas telefónicas.
- **TACS** (Sistema de Comunicaciones de Acceso Total): Es la versión europea del modelo AMPS. Este sistema fue muy usado en Inglaterra y luego en Asia (Hong- Kong y Japón) y utilizaba la banda de frecuencia de 900 MHz.
- **ETACS** (Sistema de Comunicaciones de Acceso Total Extendido): Es una versión mejorada del estándar TACS desarrollado en el Reino Unido que utiliza una gran cantidad de canales de comunicación.

Con la aparición de una segunda generación totalmente digital, la primera generación de redes celulares se volvió obsoleta.

1.1.1.2 Segunda Generación (2G): Voz Digital

La segunda generación de redes móviles comenzó a operar a principios de los 90s, marcó a los teléfonos celulares al pasar de tecnología analógica a digital. Estos teléfonos eran más pequeños y las baterías más eficientes.

Las velocidades ofrecidas por la segunda generación variaban entre 9.6 y 14.4 Kbps. Telcel adoptó en México una tecnología basada en TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo), como la tecnología base de su red. Mientras que el resto de las compañías (Unefon, Iusacell y Movistar) adoptan la tecnología basada en CDMA (Acceso Múltiple por División de Códigos). Posteriormente aparece una tecnología europea conocida como GSM (Sistema Global para las comunicaciones Móviles), la cual es adoptada por Telcel y Telefónica Movistar.

La segunda generación supera muchos de los inconvenientes de ancho de banda que se presentan en la primera generación, esto al abrirse un nuevo radio espectro de frecuencias en las bandas de 1850-1970 MHz, conocida por sus siglas PCS (Servicios de Comunicación Personal). Esto permitió una nueva gama de nuevos servicios digitales enfocados a voz y datos.

Los principales estándares de telefonía móvil de 2G son:

- **GSM** (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles): El estándar más usado en Europa a fines de siglo XX y también se admite en Estados Unidos. Este estándar utiliza las bandas de frecuencia de 900 MHz y de 1800 MHz en Europa. Sin embargo, en Estados Unidos la banda de frecuencia utilizada es de 1900 MHz. Por lo tanto, los teléfonos móviles que pueden funcionar tanto en Europa como en Estados Unidos se denominan teléfonos de tribanda.
- **CDMA** (Acceso Múltiple por División de Código): Utiliza una tecnología de espectro ensanchado que permite transmitir una señal de radio a través de un rango de frecuencia amplio.
- **TDMA** (Acceso Múltiple por División de Tiempo): Emplea una técnica de división de tiempo de los canales de comunicación para aumentar el volumen de los datos que se transmiten simultáneamente. Esta tecnología se usa, principalmente, en el continente americano, Nueva Zelanda y en la región del pacífico asiático.

Con la 2G, se transmite voz y datos digitales de volúmenes bajos, por ejemplo, SMS (Servicios de Mensajes Cortos) ó MMS (Servicio de Mensajes Multimedia). El estándar GSM permite una velocidad de datos máxima de 9,6 kbps.

Se han hecho ampliaciones al estándar GSM con el fin de mejorar el rendimiento. Una de esas extensiones es el servicio GPRS (Servicio General de Paquetes de Radio) que permite velocidades de datos teóricas en el orden de los 114 Kbits/s

pero con un rendimiento cercano a los 40 Kbits/s en la práctica. Como esta tecnología no se encuentra dentro de la categoría "3G", se le llama 2.5G.

El estándar EDGE (Velocidades de Datos Mejoradas para la Evolución Global) anunciado como 2.75G, cuadruplica las mejoras en el rendimiento de GPRS (Servicio General de Paquetes de Radio) con la tasa de datos teóricos anunciados de 384 Kbps, por lo tanto, admite aplicaciones de multimedia.

En realidad, el estándar EDGE permite velocidades de datos teóricas de 473 Kbits/s pero ha sido limitado para cumplir con las especificaciones IMT-2000 (Telecomunicaciones Móviles Internacionales-2000) de la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones)⁶.

1.1.1.3 Tercera generación (3G): Voz y Datos Digitales

Las especificaciones IMT-2000 (Telecomunicaciones Móviles Internacionales para el año 2000) de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU) definieron las características de la tercera generación de telefonía móvil. Las características de esta generación son:

- Alta velocidad de transmisión de datos.
- 144 Kbps con cobertura total para uso móvil.
- 384 Kbps con cobertura media para uso de peatones.
- Mbps con áreas de cobertura reducida para uso fijo.
- Compatibilidad mundial.
- Compatibilidad de los servicios móviles de tercera generación con las redes de segunda generación.
- Convergencia entre voz y datos con acceso inalámbrico a internet.

⁶ Arroyo Trujillo Isaac, Análisis de calidad de servicio de un sistema de comunicaciones GPRS, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, ESIME, pp 5-7

- Es apta para aplicaciones multimedia con acceso inalámbrico y altas transmisiones de datos.

La 3G ofrece velocidades de datos de más de 144 Kbit/s y de este modo brinda la posibilidad de servicios multimedia como son:

- Transmisión de Video
- Video – Conferencias
- Acceso a Internet de Alta Velocidad

Las redes de tercera generación utilizan bandas con diferentes frecuencias a las redes anteriores, dentro de estas se pueden tener 1885 a 2025 MHz y 2110 a 2200 MHz.

El estándar de la tercera generación más importante que se usa en Europa se llama UMTS (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles) y emplea codificación W-CDMA (Acceso múltiple por división de código de banda ancha).

La tecnología UMTS usa bandas de 5 MHz para transferir voz y datos con velocidades de datos que van desde los 384 Kbps a los 2 Mbps.

El HSDPA (Acceso de alta velocidad del paquete de Downlink) es un protocolo de telefonía móvil de tercera generación, apodado "3.5G", que puede alcanzar velocidades de datos en el orden de los 8 a 10 Mbps.

La tecnología HSDPA usa la banda de frecuencia de 5 GHz y codificación WCDMA.

1.1.1.4 Cuarta Generación (4G): Voz y Datos Digitales (de Alta velocidad)

La ITU lanzó la iniciativa IMT-Advanced con el propósito que las organizaciones de normalización realizaran propuestas de comunicación en materia de tecnologías 4G. Las propuestas recibidas están basadas principalmente en dos tecnologías: WiMAX⁷, referida a la familia de normas IEEE 802.16, y Long-Term Evolution (LTE), desarrollado por la 3GPP⁸.

La norma LTE fue desarrollada por 3GPP a partir de HSPA (High Speed Packet Access). El desarrollo de la norma LTE comenzó en 2005 y dio lugar a las especificaciones para el Evolved Packet Core (EPC) y una nueva forma de acceso de radio denominada Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (eUTRAN). Todo esto se conoce oficialmente como "3GPP Release 8".

1.1.2 Comparación entre las Generaciones de Telefonía Móvil

En la Tabla 1.1 se muestran las comparaciones entre las diferentes generaciones de telefonía móvil, velocidad y algunas características de los estándares, ya mencionadas anteriormente.

⁷ **WiMAX** significa Interoperabilidad mundial para acceso por microondas. Es un estándar inalámbrico metropolitano creado por las empresas Intel y Alvarion en 2002 y ratificado por el IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) denominado IEEE-802.16. Con exactitud, **WiMAX** es la denominación comercial que el Foro WiMax le da a dispositivos que cumplen con el estándar IEEE 802.16, para garantizar un alto nivel de interoperabilidad entre estos dispositivos.

<http://es.kioskea.net/contents/795-wimax-802-16-interoperabilidad-mundial-para-acceso-por-micro>

Página recuperada Septiembre 5 de 2013

⁸ Zakhia Abichar and J. Morris Chang, Chau-Yun Hsu, WIMAX vs LTE. Who Will Lead the Broadband Mobile Internet?; IEEE Mobile Computing, Mayo-Junio, 2010.

Tabla 1.1 Tabla Comparativa 1G – 4G

Technology / Features	1G	2G	2.5G	3G	4G
Start/ Deployment	1970/ 1984	1980/ 1991	1985/ 1999	1990/ 2002	2000/ 2006
Data Bandwidth	1.9 kbps	14.4 kbps	14.4 kbps	2 Mbps	200 Mbps
Standards	AMPS	TDMA, CDMA, GSM	GPRS, EDGE, 1xRTT	WCDMA, CDMA-2000	Single unified standard
Technology	Analog cellular technology	Digital cellular technology	Digital cellular technology	Broad bandwidth CDMA, IP technology	Unified IP and seamless combination of broadband, LAN/WAN/PAN and WLAN
Service	Mobile telephony (voice)	Digital voice, short messaging	Higher capacity, packetized data	Integrated high quality audio, video and data	Dynamic information access, wearable devices
Multiplexing	FDMA	TDMA, CDMA	TDMA, CDMA	CDMA	CDMA
Switching	Circuit	Circuit	Circuit for access network & air interface; Packet for core network and data	Packet except circuit for air interface	All packet
Core Network	PSTN	PSTN	PSTN and Packet network	Packet network	Internet
Handoff	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal and Vertical

1.2 3GPP

1.2.1 Estandarización 3GPP

3GPP (3rd Generation Partnership Project) es el grupo encargado de la estandarización del UMTS. Fue creado en Diciembre de 1998 con el principal objetivo de desarrollar las especificaciones técnicas de las redes móviles de tercera generación a partir del sistema existente y triunfante en ese momento: GSM. Este objetivo inicial fue posteriormente ampliado para incluir el mantenimiento y mejoras de los sistemas GSM, tales como GPRS (General Packet Radio Service) o EDGE (Enhanced Data rates for GSM of Evolution, Tasas de Datos Mejoradas para la evolución de GSM).

De este modo la numeración de ambas especificaciones técnicas (GSM y UMTS) fue unificado bajo una misma numeración, agrupada en series. Hay un conjunto de series que son aplicables para UMTS y GSM, y otras que solo aplican a GSM o a UMTS. Es una organización, en la evolución de la red GSM hacia las redes UMTS, las cuales prestan una mayor capacidad, alta velocidad de datos y nuevos servicios.

3G/UMTS aumenta la capacidad del sistema, lo que permite a las empresas de servicios móviles, contar con un mayor número de clientes de voz y datos, a un costo menor que la generación anterior.

UMTS trabaja con WCDMA (Wideband Code Division Multiple Acces: acceso múltiple por división de código de banda ancha) como tecnología de acceso al medio. Esta tecnología se basa en una técnica radioeléctrica con un espectro ensanchado de banda ancha.

El 3GPP actualiza una nueva versión de la norma UMTS casi todos los años, la primera fue al R99, seguida del R4, R5, R6, R7 y ahora está trabajando en el R8.

1.2.1.1 Revisiones del 3GPP

El proceso de normalización adoptado por 3GPP, se basa en una planificación anual, de este modo se ha llamado Rel'99, Rel'4, Rel'5, Rel'6, Rel'7, Rel'8, Rel'9, Rel'10, Rel'11 y Rel'12 (2014). A continuación se nombra el avance en cada revisión.

- **Release 99:** Son las primeras normas del sistema UMTS, que fueron incluidas por el 3GPP en abril del año 1999 y constituyen la base de la mayoría de los sistemas UMTS desplegados comercialmente en la actualidad. Soporte para las redes de radio GSM/GPRS/EDGE/WCDMA.

Trabajando con un espectro más eficiente y mejorando los servicios de voz y datos por la introducción de 5 MHz de portadora para UMTS.

- **Release 4:** Proporciona soporte a mensajería multimedia, interconexión eficiente de la infraestructura del core de la red sobre backbone de la red IP.
- **Release 5:** La siguiente fase importante en la evolución de UMTS que aprobó el 3GPP en marzo de 2002. Contiene muchas actualizaciones significativas sencillas de realizar desde redes R'99 UMTS que proveerán eficiencias de espectro ampliamente superiores, y ventajas de performance y funcionalidad a través del canal HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), el IMS (IP Multimedia Subsystem), e IP UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) la introducción del transporte IP en la UTRAN les ofrece a los operadores el potencial de evolucionar la arquitectura UTRAN desde una de enlaces punto a punto utilizando TDM o ATM a otra que utilice conectividad IP de banda ancha. Esto llevará a mayores eficiencias y menores costos de las redes.

Superados los problemas del primer despliegue de revisiones (Release 99 y Release 4), los operadores empiezan a mirar con interés y a preguntarse por la siguiente edición del UMTS (Release 5). El famoso IMS (IP Multimedia Subsystem), un nuevo subsistema que se suma a la conmutación de paquetes (PS) y que utiliza el protocolo SIP (Session Initiation Protocol) para conseguir la transmisión eficiente sobre IP de contenidos multimedia en las redes móviles.

- **Release 6:** Introdujo a UMTS el HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service), es un servicio de radiodifusión que se pueden ofrecer a través de GSM y UMTS.

El Release 5 fue muy ambicioso en sus contenidos y supone un gran salto frente al R'4 debido fundamentalmente al IMS. El trabajo para complementar todas las

funcionalidades, servicios, e interconexiones del nuevo subsistema amenazaban con retrasar demasiado el cierre de la revisión. Por esto se dejaron varias funciones del IMS al Release 6, Figura 1.1 dejando solo lo básico en el Release 5.

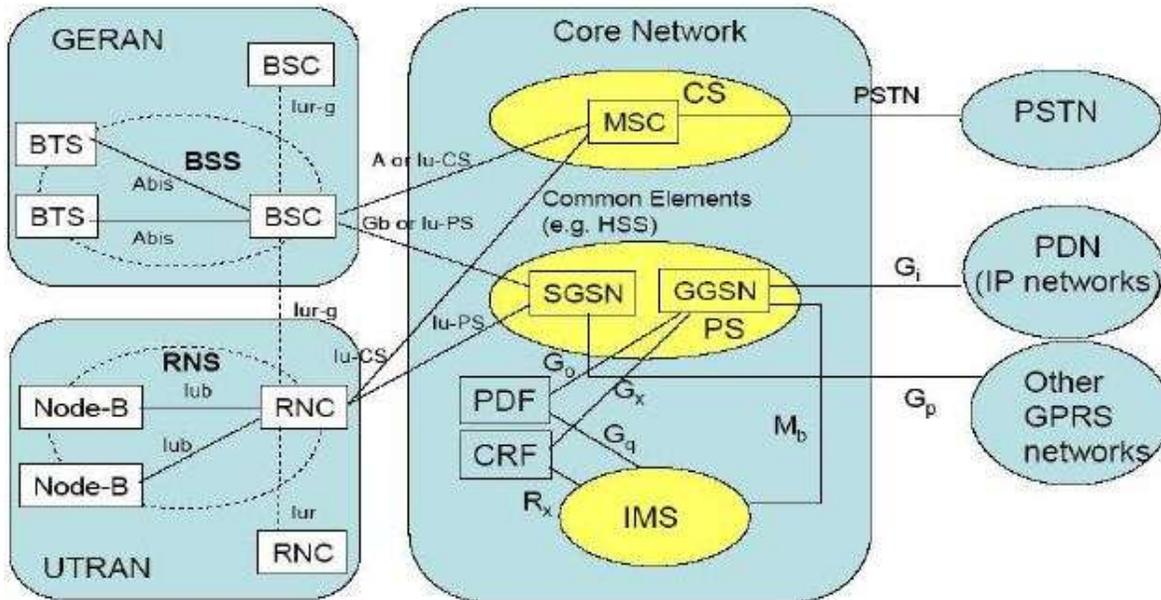


Figura 1.1 GPP Release 6, arquitectura de referencia

- **Release 7:** El 3GPP se ha puesto como metas incrementar tanto la capacidad como disminuir el retardo. En este sentido, HSPA aspira a lograr una tasa de transferencia máxima teórica del orden de 40 Mbps de bajada y 11 Mbps de subida. En cuanto a los tiempos de respuesta, se espera reducir a la mitad los mismos. En concreto se espera lograr un retardo máximo de 50 milisegundos y un tiempo máximo de establecimiento de conexión de datos de 500 milisegundos. Las principales mejoras que harán posible la consecución de dichos objetivos son las antenas múltiples o MIMO (Multiple Input Multiple Output) tanto en el transmisor como en el propio teléfono, el uso de órdenes de modulaciones mayores (64QAM por ejemplo) y la Conectividad de Paquetes Continua (CPC).
- **Release 8:** Los objetivos a más largo plazo son triplicar la eficiencia espectral respecto a HSPA, alcanzar los 100 Mbps y 50 Mbps de

velocidades teóricas de bajada y subida respectivamente y hacer despreciable el retardo, lo cual equipararía los servicios móviles de banda ancha con las conexiones fijas de banda ancha. El 3GPP se encuentra actualmente trabajando en las especificaciones técnicas para las nuevas redes móviles y se espera que este trabajo concluya a finales de este año. Dichas especificaciones englobarán lo que se conocerá como UMTS Rel-8.

- **Release 9:** Trajo una serie de mejoras a las características introducidas en la versión 8, junto con los nuevos avances en la arquitectura de la red y las nuevas características de servicio.
 - La introducción de femtoceldas⁹ LTE en la forma de la CASA eNodeB (HeNB)
 - Auto organización de redes características (SON), tales como la optimización de canal de acceso aleatorio.
 - Servicios difusión de multimedia y servicios de multidifusión (nMBMS) para la presentación eficiente de los mismos contenidos multimedia a múltiples destinos.
 - Servicios de localización (LCS) para determinar la ubicación de un dispositivo móvil.
- **Release 10:** El Release proporciona una elevación substancial de la capacidad y el rendimiento del sistema LTE y también tomo medidas para mejorar el rendimiento del sistema para dispositivos móviles situados a cierta distancia de una estación base. Las características notables son:

⁹ Las Femtoceldas son pequeñas estaciones base que se conectan a la red fija y que tienen la capacidad de dirigir el tráfico telefónico móvil de voz y datos generado por el usuario dentro de los edificios, casas y oficinas a través del protocolo de comunicación ADSL. Algunos han comparado las Femtocells con routers.

“Hoy en día Femtocell es parte ya de lo que es el 3GPP, etc. Inicialmente no era así, Femtocell era guiada por lo que se llamaba el FemtoForum y la misión de ellos era poder crear un estándar que fuera aceptado por los estándares internacionales pero con un mayor control”, apuntó Rafael Andrade, considerado en la industria como uno de los pioneros en esta reciente tecnología. <http://www.electronicosonline.com/2009/08/20/Adelanta-Agilent-su-estrategia-3G/?imprimir=true>. Pág. recuperada, septiembre 5 de 2013.

- Hasta 3 Gbit/s de enlace descendente y 1.5 Gbit/s de enlace ascendente.
- Agregación de portadoras (Carrier Aggregation) lo que permite la combinación de hasta 5 módulos independientes para permitir anchos de banda de hasta 100 MHz.
- La configuración de la antena de orden superior MIMO (Multiple entrada multiple salida) es de 8x8 de bajada y 4x4 de subida.
- Nodos de retransmisión de apoyo a redes heterogéneas (HetNets) que contiene una amplia variedad de tamaños de celdas
- Coordinación de la interferencia entre celda mejorada (eICIC-Enhanced Inter-Cell Coordination Challenges) para mejorar el rendimiento hacia el borde de las celdas.
- **Release 11:** Se basará en la plataforma de lanzamiento del Release 10 con una serie de mejoras a las capacidades existentes, que incluyen:
 - Mejoras a la Agregación de Portadoras, MIMO, nodos de retransmisión y el eICIC.
 - Introducción de nuevas bandas de frecuencia.
 - Transmisión coordinada de multipunto y recepción, es para permitir la comunicación simultánea con múltiples celdas.
 - Receptores avanzados.
- **Release 12:** Características potenciales para el Release 12 se examinaron en un taller 3GPP en Eslovenia en Junio de 2012 un requisito fuerte fue la necesidad de apoyar el rápido aumento del uso de datos móviles, pero otros artículos incluyen el apoyo eficiente de diversas aplicaciones al tiempo que garantiza una experiencia de usuario de alta calidad. Algunos de los candidatos a la versión 12 incluyen:
 - Celdas pequeñas mejoradas para LTE, la introducción de un número de características para mejorar el apoyo de HetNets.

- Agregación de portadoras entre sitios para mezclar y combinar las capacidades en backhaul (Una red de retorno) de las celdas adyacentes.
- Nuevas técnicas para las antenas y receptores avanzados para maximizar el potencial de grandes celdas.
- Interfuncionamiento entre LTE y WiFi o HSDPA.
- La evolución de las tecnologías anteriores.

Una nueva arquitectura y una novedosa interfaz radio serán las principales armas con las que se espera lograr los objetivos anteriormente comentados.

En cuanto a la nueva arquitectura, el 3GPP se está planteando una importante simplificación de la jerarquía de red tendiendo a un modelo plano similar a las arquitecturas IP. La nueva arquitectura denominada EPS (Evolved Packet System) está inspirada en la arquitectura HSPA mono-túnel en la que se integran los Controladores de Red Radio (RNC) con los Nodos-B. En este sentido la arquitectura EPS estaría formada por:

- MME (Mobility Management Entity o Entidad de Gestión de Movilidad)
- SAE-GW (System Architecture Evolution Gateway o Evolución del Sistema de la Arquitectura del Enlace)
- eNodeB o Nodo-B evolucionado

En este modelo de arquitectura todo-IP (ver figura 1.2), la red radio adquirirá un papel muy relevante, ya que pasará a concentrar gran parte de la inteligencia que antes se localizaba en el núcleo de red. El 3GPP está trabajando en una nueva red radio de acuerdo a los nuevos requerimientos. Las especificaciones técnicas del nuevo interfaz radio se recogen bajo el epígrafe Evolución a Largo Plazo, más conocido por sus siglas anglosajonas LTE (Long Term Evolution).

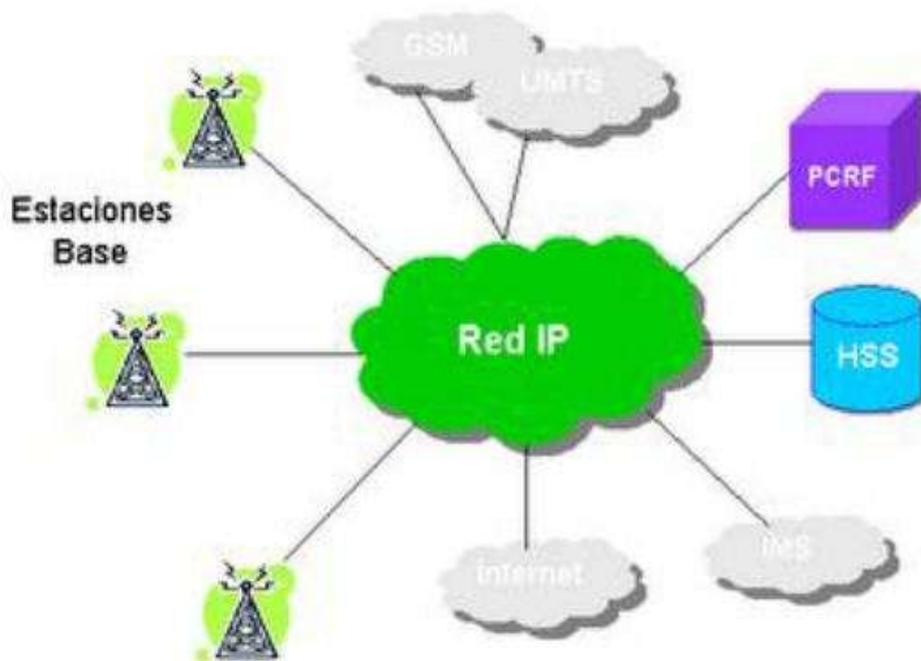


Figura 1.2 Arquitectura-IP

Aunque el 3GPP está en plena faena de especificación del nuevo interfaz radio, lo que está claro es que estará basado en los protocolos IP.

Como resultado de estos trabajos, pronto contaremos con una nueva familia de tecnologías de radio que añadir a las ya conocidas GSM/GPRS y WCDMA/HSPA. También parece claro que el Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal (OFDMA en inglés) será utilizado para el enlace de bajada y que el Acceso Múltiple por División de Frecuencia de Portadora Única (SC-FDMA las siglas inglesas) será utilizado para el enlace de subida.

En cuanto a las tecnologías multi-antena que se están considerando para aumentar la capacidad se encuentran las siguientes:

- MIMO (Multiple Input Multiple Output o Múltiple entrada múltiple salida)
- Spatial Multiplexing o Multiplexación espacial
- Space-Time Coding o Codificación Espacio-Tiempo
- beamforming o Formación de haz

1.2.2 3GPP2

Comisión encargada de la evolución de CDMA a la tercera generación, esta compuesta por varios socios, los cuales son: la Telecommunications Industry Association (TIA) de los EE.UU., ARIB/TTC del Japón, TTA de Corea y el China Wireless Telecommunication Standard Group (CWTS). Como ya se mencionó anteriormente, el 3GPP2 está encargado de preparar la evolución de IS-95 al CDMA 2000.

Técnicamente CDMA frente a TDMA, permite que varias radios compartan las mismas frecuencias y pueden estar activas todo el tiempo, porque la capacidad de la red no limita directamente el número de radios activas. Presentando una clara ventaja frente a TDMA, ya que una mayor cantidad de móviles puede ser atendido por un número menor de antenas.

La evolución de IS-95 (CDMA) es IS-2000 o CDMA-2000, siendo totalmente retro compatible.

La evolución de CDMA 2000 1x tiene la denominación de CDMA2000 1xEV. La cual se implementa en dos etapas aprobadas por la UIT:

- 1xEV-DO: 1x Evolution Data Only “Evolución de datos solamente”
- 1xEV-DV: 1x Evolution Data and Voice “Evolución de datos y voz”

Ambas trabajan sobre una portadora de normal de 1,25 MHz de carrier. La CDMA 2000 3x es parte de lo que la UIT ha denominado IMT-2000 CDMA MC (MC: multiportadora), utiliza menos de 5MHz de espectro (3 canales x1.25 Mhz) para velocidades de más de 2Mbps. La CDMA 2000 con una velocidad de datos más baja se considera una tecnología 2,5G.

EV-DO en redes CDMA2000 es significativamente más rápido que EDGE utilizado en redes GSM. Provee acceso a dispositivos móviles con velocidades hasta de 2.4 Mbit/s con Rev. 0 y hasta 3.1 Mbit/s con Rev. A.

1.2.2.1 Revisiones del 3GPP2

Este estándar, al igual que el anterior tiene varias revisiones que van graduando el avance tecnológico respecto de EVDO.

- **Rev 0:** Esta tecnología móvil se desplegó por primera vez a nivel mundial en el 2002 en Corea del Sur. Ofrece banda ancha a una velocidad de 2.4 Mbps en el downlink (canal de bajada) y de 153 kbps en el uplink (canal de subida) con una única portadora FDD de 1.25 MHz, sin embargo comercialmente posee un rendimiento de 300-700 Kbps en el downlink y de 70-90 kbps en el uplink. En muchos países, 1XEV-DO Rel 0 se constituyó en una alternativa para dar servicio de acceso a internet, y se ha convertido en otros lugares en la competencia directa de los accesos ADSL, como el que usa Telefónica en su servicio Speedy.
- **Rev A:** Mejora las velocidades de Rel 0, y provee una tasa de datos pico de 3.1 Mbps en el downlink y 1.8 Mbps en el uplink con portadora FDD de 1.25 MHz, sin embargo en redes comerciales posee un rendimiento de 450-800 kbps en el downlink y de 300-400 kbps en el uplink., ofreciendo así la posibilidad de un ancho de banda simétrico ideal para aplicaciones interactivas. Implementando calidad de servicio (QoS) y una arquitectura de banda ancha basada en IP, Rev A soporta aplicaciones tales como VoIP (voz sobre IP), video llamada, y PTT (push-to-talk).
- **Rev B:** Se agregan de múltiples portadoras de 1.25 MHz incrementando la velocidad de datos pico proporcional al número de portadoras, cuando 15 portadoras son combinadas en un ancho de banda de 20 MHz se alcanzan velocidades de 46.5 Mbps en el downlink y de 27 Mbps en uplink. Usando

modulación 64-QAM, la velocidad del downlink se incrementa, por ejemplo, con una sola portadora de 1.25 MHz se tendría hasta 4.9 Mbps, con 4 portadores de 1.25 MHz (5MHz) se transmitiría hasta 14.7 Mbps y con 20 MHz de ancho de banda se alcanzaría 73.5 Mbps. Provee las siguientes mejoras:

- Provee mayores tasas de transferencia compactando múltiples canales, mejora la experiencia de usuario y provee nuevos servicios como streaming para video de alta definición.
- Menos Interferencias entre el usuario y la celda mediante la Reutilización Híbrida de la Frecuencia.
- Aumenta la eficiencia del soporte para servicios que tienen requerimientos asimétricos de transmisión como intercambio de archivos, navegación web y entrega de archivos multimedia por banda ancha.
- **Rev C:** UMB (Ultra-high Mobile Broadband): Combina lo mejor de muchas tecnologías como CDMA y OFDMA en una única interface de aire y empleando antenas con técnicas MIMO (Multiple Input Multiple Output) y SDMA (Spatial Division Multiple Access) le permite alcanzar velocidades muy altas con muy baja latencia y muy alta eficiencia espectral.

Soporta asignaciones incrementales de espectro desde 1.25 MHz a 20 MHz. La evolución de la tecnología CDMA2000 nos llevara hacia UMB la cual promete velocidades pico de 288 Mbps en el downlink y 75 Mbps en el uplink, la 3GPP2 publicó sus especificaciones el 2007 y se espera que las primeras redes comerciales estén disponibles a mediados del 2009.

UMB es lo que ofrece la tecnología CDMA para el acceso de banda ancha en un futuro próximo lo que se puede considerar como el equivalente de LTE (Long Term Evolution) normada por la 3GPP, pero dado que las redes HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) actualmente han sido desplegadas por decenas de operadoras alrededor del mundo y su número va en aumento, además algunas

de ellas ya están haciendo upgrade hacia a HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) lo cual hace prever que la evolución natural de la mayoría de redes del mercado móvil se inclinará hacia LTE dejando a UMB con una minoritaria participación de mercado, se espera a pesar de todo, que UMB pueda hacer frente a LTE y a la versión móvil de WiMax para el 2010.

En la figura 1.3, se muestra una línea del tiempo en donde se ubican las fechas de lanzamiento cada evolución tecnológica presentada, el método de acceso al medio utilizado y la velocidad alcanzada por cada una.

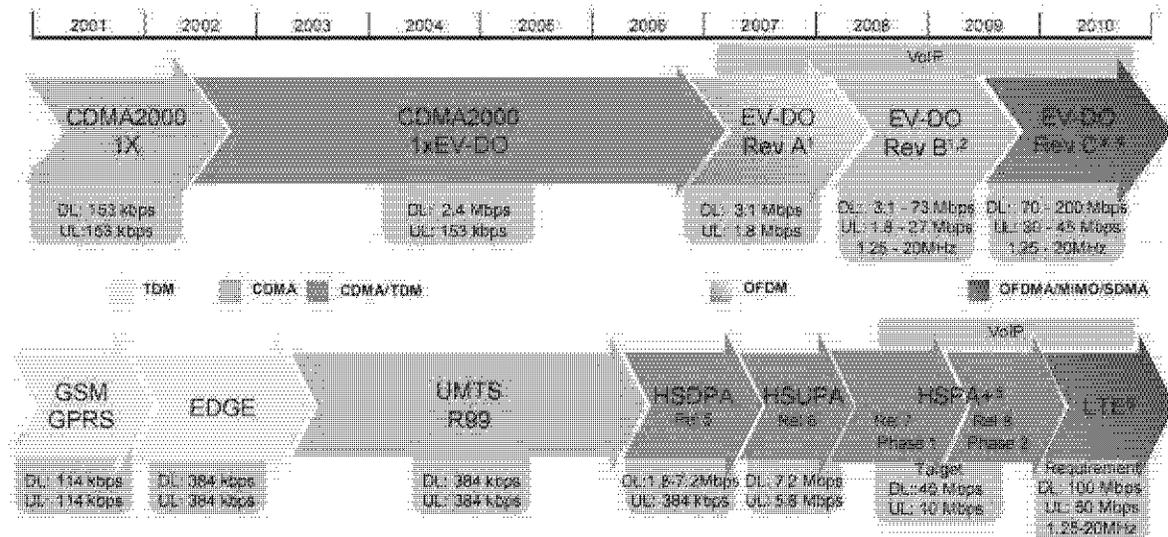


Figura 1.3 Diagrama en el tiempo de los avances tecnológicos y lo que vendría a futuro.

Capítulo 2

Evolución de datos de GSM – UMTS

2.1 GSM

GSM (Global System Mobile) Sistema Global para Comunicaciones Móviles es una tecnología inalámbrica de segunda generación (2G) que presta servicios de voz de alta calidad, así como servicios de datos conmutados por circuitos en una amplia gama de bandas de espectro, entre ellas las de 850, 900, 1800 y 1900 MHz.

GSM es una tecnología digital o "PCS", además de utilizarse "GSM" como mote genérico para denominar a una familia de tecnologías que incluye GPRS, EDGE y UMTS/HSDPA, que provee una evolución fluida y costo-efectiva a la tercera generación (3G). Se prevé que GSM llegará a representar el 85% de los clientes de la próxima generación en todo el mundo, según el UMTS Forum.

GSM permite que varios usuarios compartan un mismo canal de radio merced a una técnica llamada multiplexado por división de tiempo (TDM), mediante la cual un canal se divide en seis ranuras de tiempo. Para la transmisión, a cada llamada se le asigna una ranura de tiempo específica, lo que permite que múltiples llamadas compartan un mismo canal simultáneamente sin interferir con las demás.

Este diseño garantiza un uso efectivo del espectro y provee siete veces mayor capacidad que la tecnología analógica o "AMPS", que es una tecnología de primera generación (1G). GSM también utiliza una técnica llamada "frequency hopping" (salto de frecuencias) que minimiza la interferencia de las fuentes externas y hace que las escuchas no autorizadas sean virtualmente imposibles.

2.1.1 Arquitectura de la red GSM

A continuación se nombran y se muestran en la Figura 2.1. pág. (25). Las características técnicas fundamentales del sistema GSM, que se divide en tres niveles principales:

1. La Estación Móvil o Mobile Station (MS): Consta a su vez de dos elementos básicos que debemos conocer, por un lado el terminal o equipo móvil y por otro lado el SIM o Subscriber Identity Module. Con respecto a los terminales poco tenemos que decir ya que los hay para todos los gustos, lo que si tenemos que comentar es que la diferencia entre unos y otros radica fundamentalmente en la potencia que tienen que va desde los 20 W (generalmente instalados en vehículos) hasta los 2 W de nuestros terminales.
2. La Estación Base o Base Station Subsystem (BSS): Sirve para conectar a las estaciones móviles con los NSS, además de ser los encargados de la transmisión y recepción. Como los MS también constan de dos elementos diferenciados: La Estación de Transmisión (por sus siglas en ingles BTS: Base Transceiver Station o Base Station) y el Controlador de la Estación (por sus siglas en ingles BSC: Base Station Controller). Los BSC se utilizan como controladores de los BTS y tienen como funciones principales las de estar al cargo de los handovers¹, los frequency hopping² y los controles de las frecuencias de radio de los BTS.
3. El Subsistema de Conmutación y Red, o Network and Switching Subsystem (NSS): Este sistema se encarga de administrar las comunicaciones que se realizan entre los diferentes usuarios de la red; para poder hacer este trabajo la NSS se divide en siete sistemas diferentes, cada uno con una misión dentro de la red:

¹ Se denomina Handover (también Handoff) al sistema utilizado en comunicaciones móviles celulares con el objetivo de transferir el servicio de una estación base a otra cuando la calidad del enlace es insuficiente en una de las estaciones.

² Frequency Hopping (Salto de Frecuencia) la técnica de salto de frecuencia consiste en transmitir segmentos temporales de la señal en distintas frecuencias portadoras, siguiendo un patrón de cambio pseudoaleatorio.

- Centro de Servicios Móviles o Mobile Services Switching Center (MSC): Es el componente central del NSS y se encarga de realizar las labores de conmutación dentro de la red, así como de proporcionar conexión con otras redes.
- Centro de Conmutación de Servicios Móviles o Gateway Mobile Services Switching Center (GMSC): Un gateway es un dispositivo traductor (puede ser software o hardware que se encarga de interconectar dos redes haciendo que los protocolos de comunicaciones que existen en ambas redes se entiendan. Bien, la misión del GMSC es esta misma, servir de mediador entre las redes de telefonía fijas y la red GSM.
- Registro de Suscriptores Locales o Home Location Register (HLR): El HLR es una base de datos que contiene información sobre los usuarios conectados a un determinado MSC. Entre la información que almacena el HLR tenemos fundamentalmente la localización del usuario y los servicios a los que tiene acceso. El HLR funciona en unión con el VLR que vemos a continuación.
- Registro de Suscriptores Visitantes o Visitor Location Register (VLR): contiene toda la información sobre un usuario necesaria para que dicho usuario acceda a los servicios de red. Forma parte del HLR con quien comparte funcionalidad.
- Centro de Autenticación o Authentication Center (AuC): Proporciona los parámetros necesarios para la autenticación de usuarios dentro de la red; también se encarga de soportar funciones de encriptación.
- Registro de Identidad del Equipamiento o Equipment Identity Register (EIR): También se utiliza para proporcionar seguridad en las redes GSM pero a nivel de equipos válidos. La EIR contiene una base de datos con todos los terminales que son válidos para ser usados en la red. Esta base de datos contiene los International Mobile Equipment Identity o IMEI de cada terminal, de manera que si un

determinado móvil trata de hacer uso de la red y su IMEI no se encuentra localizado en la base de datos del EIR no puede hacer uso de la red.

- GSM Interworking Unit (GIWU)³: sirve como interfaz de comunicación entre diferentes redes para comunicación de datos.

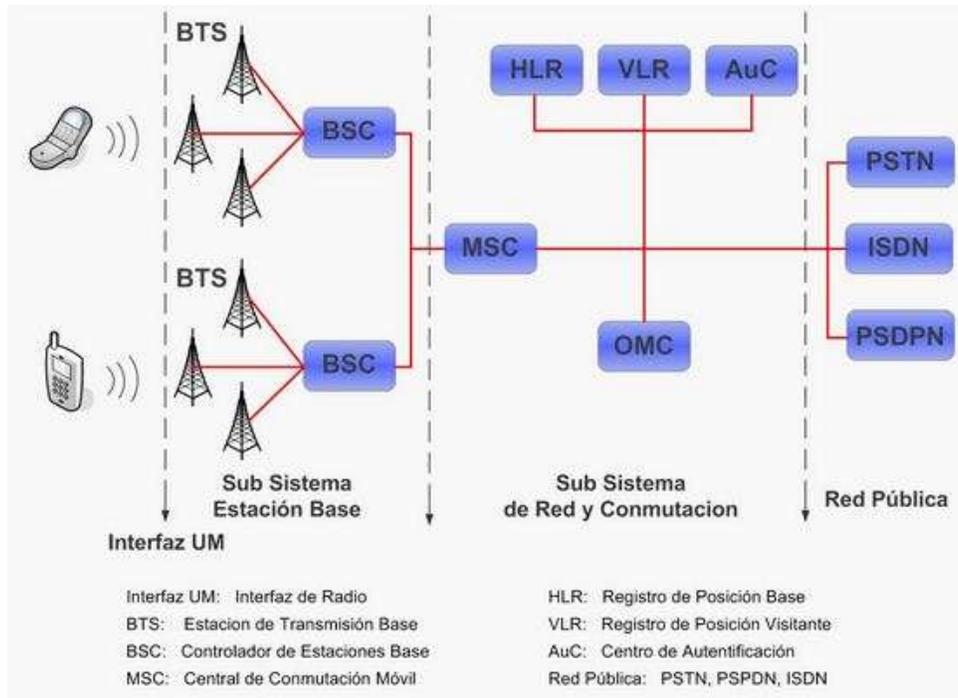


Figura 2.1 Arquitectura GSM

2.1.1.1 Servicios y aplicaciones de GSM

El éxito de GSM como un estándar abierto trajo consigo un mercado global y multi-proveedor para infraestructura, terminales y desarrollo de aplicaciones. No todos los servicios y prestaciones están implementados en todos los terminales GSM del mercado, pero sirven de referencia para corroborar la expansión de GSM

³ GIWU: La unidad de interfuncionamiento GSM consta de hardware y software que proporciona una interfaz a varias redes para las comunicaciones de datos. A través de la unidad de interfuncionamiento GSM (GIWU), los usuarios pueden alternar entre el habla y los datos durante la misma llamada.

desde su lanzamiento, cuando ofrecía básicamente servicios de voz (transmisión y recepción de llamadas).

Los servicios descritos a continuación constituyen una selección representativa de los mismos, sin pretender abarcar todos los existentes.

- Enhanced Full Rate (por sus siglas en inglés EFR)⁴: sistema a través del cual se aumenta la calidad de comunicación codificando la señal de voz .
- Buzón de voz: servicio de contestador automático en el teléfono móvil que puede activarse en caso de tener desconectado el móvil o de estar fuera de cobertura.
- Agenda electrónica: permite almacenar en el SIM una cantidad variable, según el modelo de terminal, de números de teléfono.
- Reconocimiento de voz: permite elegir a través de la voz el número destinatario.
- Llamadas de emergencia: servicio 112 para emergencias disponible incluso con el teclado bloqueado o sin disponer de tarjeta SIM.
- Servicio de conferencia: también denominado llamada múltiple, permite mantener una comunicación simultánea con múltiples usuarios.
- Roaming: posibilidad de usar el terminal y la tarjeta SIM en redes GSM de otros países.
- CLIP (Calling Line Identification Presentation): permite ver en pantalla el número que nos está llamando.
- CLIR (Calling Line Identification Restriction) impide que el número llamante sea visto por alguien anónimo.
- Visualización de créditos / costes: la operadora facilita, a través de una llamada, el saldo disponible o el gasto efectuado.

⁴Enhanced Full Rate es una codificación de voz estándar que se desarrolló con el fin de mejorar la muy mala calidad de GSM - Full Rate codec (FR).

- Control del gasto: función que se ejecuta a través de la operadora, que calcula el gasto y restringe las llamadas al llegar al límite fijado por el propio usuario.
- Llamada en espera: notificación de llamadas en espera y posibilidad de retener momentáneamente la comunicación y recuperarla posteriormente.
- Desvío de llamada: permite el desvío automático de las llamadas hacia el buzón de voz, o hacia cualquier otro número de teléfono de una red de telefonía móvil o fija nacional.
- Reenvío de llamadas para otro número: permite redirigir una llamada a una tercera persona.
- Filtros de llamadas: posibilidad de impedir la recepción / transmisión de llamadas por parte de ciertos destinatarios designados por el usuario.
- Vibración del móvil: sustituye a la señal acústica o luminosa para avisar al usuario de una llamada entrante.
- Servicio de mensajes cortos (SMS): envío y recepción de mensajes de texto de hasta 160 caracteres.
- Sistema T9: sistema de escritura de mensajes cortos que recurre a las palabras de un diccionario interno con sólo escribir las primeras letras.
- Mensajes a grupos: permite crear una lista de distribución de mensajes SMS y enviar un mismo mensaje a varios destinatarios a la vez.
- Chat: participación en tiempo real y mediante SMS en conversaciones con un gran número de usuarios.
- Transmisión y recepción de datos y fax con velocidades de hasta 9,6 kbps.
- WAP: acceso a información de Internet creada específicamente para dispositivos móviles.
- Juego: juegos clásicos como el tetris, el buscaminas o el tres en raya son ya comunes en muchos modelos de móviles.
- IrDA: Sistema de comunicación a través de señales infrarrojas que permite al móvil transmitir información a un ordenador o impresora.

- GPS: tecnología basada en la localización por satélite, que permite estar localizable en cualquier lugar del mundo a través de dispositivos móviles.
- Módem: el teléfono móvil puede actuar como un módem, conectándose al ordenador y enviando y recibiendo datos a 9.600 Bits por segundo.

2.2 GPRS

GPRS es una nueva tecnología que comparte el rango de frecuencias de la red GSM utilizando una transmisión de datos por medio de paquetes. La conmutación de paquetes es un procedimiento más adecuado para transmitir datos, hasta ahora los datos se habían transmitido mediante conmutación de circuitos, procedimiento más adecuado para la transmisión de voz.

El Servicio de Radio transmisión de Paquetes Generales (GPRS) es una solución para datos móviles que ofrece eficiencia espectral para nuevos y más veloces servicios de datos, así como para roaming internacional. Por tratarse de una tecnología de datos inalámbricos, GPRS ofrece velocidades de datos máximas de 115 kbps y un throughput promedio de 30-40 kbps. A GPRS a menudo se lo denomina tecnología de "2.5G" porque constituye el primer paso de un operador GSM hacia la tercera generación (3G).

GPRS es una tecnología basada en paquetes, lo que significa que los datos están divididos en paquetes que se transmiten en breves ráfagas sobre una red IP. Este diseño es mucho más eficiente que las redes conmutadas por circuitos, dando lugar a una reducción de los costos operativos de la red.

A través de GPRS se puede enviar y recibir información (e-mails, imágenes, gráficos, etc.) utilizando el mismo equipo celular a través del navegador WAP (Wireless Access Protocol) o utilizando el equipo celular como modem inalámbrico, conectándolo vía el puerto infrarrojo, Bluetooth o cable a una Lap top,

PDA u otros dispositivos. A diferencia de CSD y HCSO, con GPRS se puede estar enviando información y simultáneamente contestar una llamada (Always On).

2.2.1 Características principales de GPRS

Las características que a continuación se mencionan permiten mejorar y facilitar el acceso a servicios de datos desde dispositivos móviles.

- Compatibilidad con el sistema GSM. Las redes GPRS están basadas en GSM, así los terminales que vayan saliendo al mercado tendrán una capacidad dual GSM/GPRS.
- Permite la utilización de voz y datos a través del móvil.
- Mayor velocidad de transferencia de datos: puede alcanzar, en un marco ideal de transmisión, velocidades máximas teóricas de 171,2 Kbps.
- Permite que la terminal esté siempre conectado "always on". La percepción por parte del usuario será que el servicio GPRS está siempre disponible desde que conecta su terminal, ya que GPRS facilita conexiones instantáneas. Esta característica permite ahorrar el tiempo de conexión cada vez que se requiere una información.
- Soporta aplicaciones más robustas. El incremento de velocidad va directamente unido al tipo de aplicaciones que puede soportar. La baja velocidad de transmisión de datos del sistema de conmutación de circuitos limitado con el lento tiempo de conexión y la limitada longitud de los mensajes SMS hacían que las soluciones de aplicaciones móviles resultasen funcionalmente limitadas. El número de servicios de datos accesibles para dispositivos GPRS será mayor que con GSM, y una vez estén consolidadas las redes y aumenten las velocidades de transmisión, permitirá desarrollar nuevas aplicaciones que antes no eran posibles en servicios GSM.
- Facturación basada en volumen de datos transferidos, en lugar de tarifas basadas en tiempos de conexión.

- Soporta el protocolo IP: GPRS define un método de acceso a redes IP. Estas redes utilizan la conmutación de paquetes, lo que optimiza la utilización del espectro de radio disponible al no ser necesario que un canal de radio sea utilizado para la transmisión de un punto a otro. Los datos son divididos por paquetes, que son enviados separadamente. La información viaja a través de la red hasta llegar a su destino, y es reconstruida ahí y presentada en su forma original. Todas las partes que componen los datos están relacionadas unas con las otras, pero la forma en cómo viajan y son reagrupadas varía. Los paquetes viajan por las frecuencias disponibles, lo que permite que un número elevado de usuarios de GPRS pueda compartir el mismo ancho de banda. Esto permite al sistema GSM:
 - Proporcionar velocidades de acceso a Internet e intranets.
 - Mejora la eficacia de la red.

2.2.1.1 Arquitectura de la red GPRS

La arquitectura de red de GPRS está basada fundamentalmente en GSM como se muestra en la figura 2.2 pág (31).

Los principales elementos que se introducen son:

- Dos nodos de soporte GPRS: el nodo de conmutación (SGSN) y el de pasarela (GGSN) cuyas misiones son complementarias. En líneas generales el SGSN se encargará de la gestión de la movilidad y del mantenimiento del enlace lógico entre móvil y red. El GGSN es el que proporciona el acceso a las redes de datos basadas en IP.
- Actualización de software a nivel de BTS (Estación de transmisión).
- Nuevo hardware en el controlador de estación (BSC). Este hardware se denomina PCU (Packet Unit Control /Unidad de Control de Paquetes) y es la encargada de manejar la comunicación de paquetes.
- La red troncal GPRS o backbone basado en IP.

La función principal del Gateway GPRS Support Node (GGSN) es la de actuar como pasarela entre la red troncal GPRS y las redes externas como IP. El GGSN es el elemento principal de la infraestructura de GPRS.

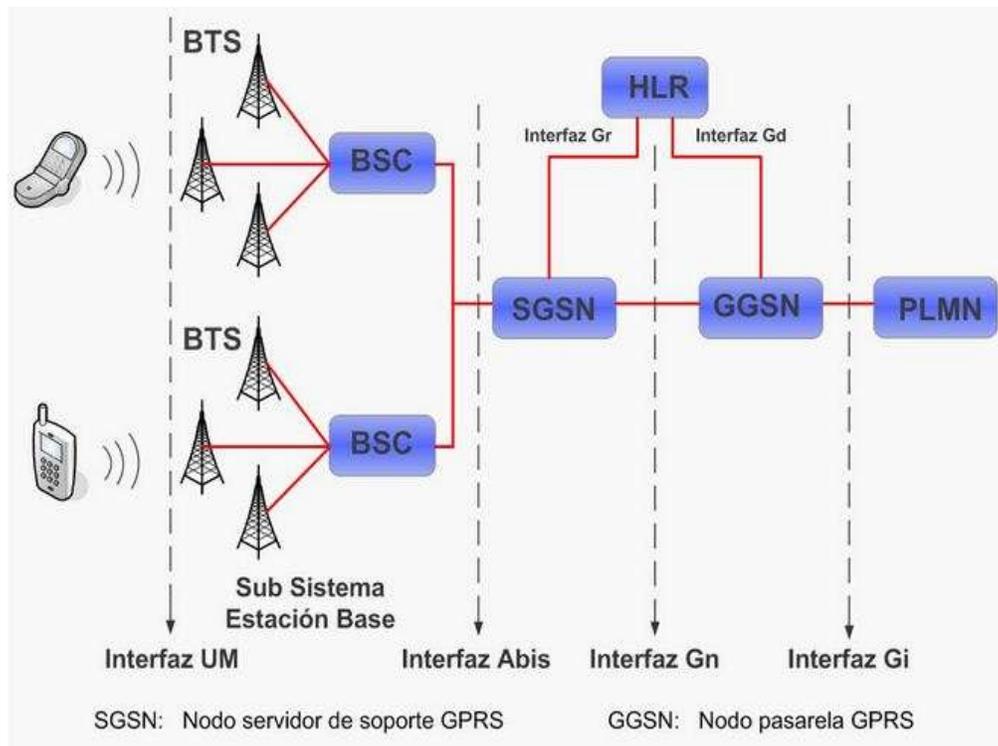


Figura 2.2 Arquitectura GPRS

2.2.1.2 Aplicaciones y servicios con GPRS

Las características básicas de GPRS abren las posibilidades al desarrollo de mejores aplicaciones, más robustas y estandarizadas, a las que será posible acceder de forma inmediata y desde cualquier lugar con una mejora en las velocidades de acceso.

La gama de teóricas aplicaciones a las que se podría acceder desde los dispositivos con tecnología GPRS es muy amplia, desde aplicaciones de ocio, hasta servicios orientados al ámbito empresarial y profesional. Este es realmente

el eje fundamental de la tecnología GPRS y lo que los usuarios disfrutarán: servicios de calidad.

Sin embargo, GPRS presenta una serie de limitaciones que hacen que en la actualidad y ante la inminente salida al mercado de estos dispositivos, no sea posible ofrecer toda la gama de servicios inicialmente definidos.

No hay que olvidar que pese al aumento de velocidad que se produce con GPRS, ésta nunca será mayor de 50 – 56 Kbps lo que supone un frenazo para la aparición inmediata de aplicaciones multimedia.

Encontramos, por tanto, una serie de aplicaciones que pueden ser ofrecidas en la actualidad a usuarios que posean dispositivos GPRS y que en gran medida serán una evolución y mejora de los servicios ofrecidos con GSM. Estas aplicaciones pueden ser divididas en dos grandes categorías:

1. Destinadas a usuarios empresariales: la mayoría de los operadores apuestan por los usuarios empresariales como los primeros destinatarios de servicios y aplicaciones GPRS, demandando accesos a Intranets, email y aplicaciones de agenda para la organización personal.
2. Destinadas a usuarios residenciales: con una mejora de los servicios actualmente ofrecidos con GSM destacando la evolución de los servicios de mensajería y de localización.

2.2.1.3 Servicios y aplicaciones iniciales sobre GPRS

Los usuarios podrán empezar a disfrutar en los próximos meses de mayor número de aplicaciones.

- Aplicaciones WAP: la salida al mercado de la versión 2.0 del protocolo WAP facilitará el desarrollo de sitios WAP más avanzados y de mayor calidad. Los usuarios disfrutarán de un acceso entre dos y cuatro veces más rápido con una mejora sustancial en la navegación gracias a interfaz y pantallas

más grandes, y es presumible la aparición de una mayor variedad de aplicaciones.

- Acceso a correo electrónico corporativo: Acceso desde dispositivos móviles al sistema de correo electrónico que la empresa tenga implantado como Microsoft Mail, Outlook, Outlook Express, Microsoft Exchange y Lotus. El usuario podrá acceder a su correo, leerlo y contestarlo, existiendo una notificación debe incluir unas pocas líneas del correo, así como los detalles del remitente, la fecha y la hora, y el asunto.
- Acceso a intranets: La primera etapa para posibilitar a los usuarios mantener el contacto con su oficina es a través de un acceso vía e-mail, fax y mail de voz, utilizando el sistema unificado de mensajes. Acceso a información del directorio personal como citas, listados de contactos, etc.
- Acceso a correo electrónico de Internet: siempre que se utilicen cuentas de correo de Internet a través de sistemas de correo estándar que cumplan con las normas POP3 o IMAP4. Los usuarios pueden recibir un mensaje corto, y acceder al texto completo del mismo a través del propio teléfono.
- Acceso a servicios de información práctica y servicios de directorio: mediante el acceso a páginas WAP o mediante sistemas de mensajería SMS/EMS se podrá acceder a servicios de páginas amarillas, páginas blancas, noticias, deportes, guías de restaurantes, así como a servicios de ocio (sorteos, horóscopos).
- Servicios de Banking: incluyen desde repaso de balances, movimientos de dinero entre cuentas, pago de facturas o alerta de descubiertos hasta transacciones bursátiles. Se verán beneficiadas por el aumento de la velocidad y por la mejora de los sistemas de seguridad proporcionados por GPRS y WAP.
- Comercio electrónico: compra y reservas de entradas de cines, teatros, conciertos, ofertas, subastas online.
- Acceso a servicios de Chat: posibilidad de acceder a salas de conversación de Internet a partir de terminales móviles. Principalmente encontraremos aplicaciones de Chat basadas en SMS. No estar limitados por el número de

caracteres que se transmiten. Chats interactivos, foros, tableros de anuncios.

- EMS: supone la transición desde los SMS hasta los MMS (Multimedia Messaging Service). EMS está basado en los estándares de SMS por lo que su implantación es relativamente fácil, pero permite que los mensajes contengan animaciones, fotos, melodías y texto con formato.
- Servicios de localización: Junto con los servicios de mensajería, el desarrollo de los servicios de localización supone una de las grandes esperanzas del sector en lo que al desarrollo de servicios móviles de datos se refiere. Proporcionan la capacidad de enlazar servicios de información independientemente de la localización del usuario. Obtener información útil (localización de calles mediante un mapa, restaurantes más cercanos). La utilización de esta función permite ofrecer al usuario información práctica de los alrededores de donde se encuentra en ese momento.
- Imágenes estáticas: posibilidad de recibir y visualizar fotografías, postales, imágenes sacadas de cámaras digitales, imágenes fijas, tarjetas de saludo y presentaciones pueden ser enviadas y recibidas. Será posible con GPRS mandar imágenes de una cámara digital, conectado al dispositivo de radio de GPRS, directamente a Internet.

2.3 EDGE

EDGE es el próximo paso en la evolución de GSM y TDMA. El objetivo de esta nueva tecnología es la de ofrecer tasas de transmisión superiores, una mejor eficiencia espectral, y facilitar nuevas aplicaciones y mayor capacidad para el usuario móvil. Con la introducción de EDGE en GSM fase 2+, servicios existentes como GPRS y HSCSD son mejorados al ofrecer una nueva capa física. EDGE es introducido dentro de las especificaciones y descripciones existentes en lugar de crear nuevas.

EDGE es un método para aumentar las velocidades de datos sobre el enlace de radio de GSM. Mientras que GPRS permite tasas de transmisión de 115kbps y teóricamente 160 kbps en la capa física, con la implementación de EDGE el sistema sería capaz de alcanzar tasas de 384 y teóricamente 473.6kbps.

Básicamente, EDGE sólo introduce una nueva técnica de modulación y una nueva codificación de canal que puede usarse indistintamente para transmitir servicios de voz y de datos por conmutación de paquetes y de circuitos. EDGE, por lo tanto, es un agregado a GPRS y no puede trabajar por separado.

Con esto se pueden aumentar las aplicaciones disponibles hasta acceso a Internet inalámbricamente, correo electrónico y transferencias de archivos.

2.3.1 Arquitectura de EDGE

La arquitectura de EDGE es la misma que la de GPRS, solamente con la introducción de algunos cambios. La unidad de control de paquetes se puede colocar en la radio base, en el controlador de la radio base, o el nodo de soporte de GPRS. La unidad central de control siempre se coloca en la radio base. El controlador del enlace de radio se tiene que extender a EDGE para evitar el colapso del protocolo de radio.

En la figura 2.3 (pág. 36) se muestran los elementos afectados de la arquitectura de GPRS para poder soportar EDGE. El cambio de GPRS a EDGE simplemente consisten en una actualización de software en la radio base de su Controlador de la Radio Base y la adición de un elemento que se llama EDGE TRU (Unidad de Transceptor) en el Transceptor de la Radio Base.

GPRS y EGPRS tienen diferentes protocolos y un comportamiento diferente en el lado de la radio base. Mientras que por el enfoque de la red central, GPRS y EGPRS comparten los mismos protocolos de manejo de paquetes, y por lo tanto,

se comportan de la misma manera. Con la utilización de EDGE, la misma ranura de tiempo puede soportar un número mayor de usuarios.

Esto decreta el número de recursos de radio que se requieren para soportar el mismo tráfico, lo cual libera capacidad del sistema para soportar más tráfico de aplicaciones de voz o de datos. Al igual que GPRS, EDGE puede ser visto como un elemento que incrementa la capacidad del sistema cuando es necesario.

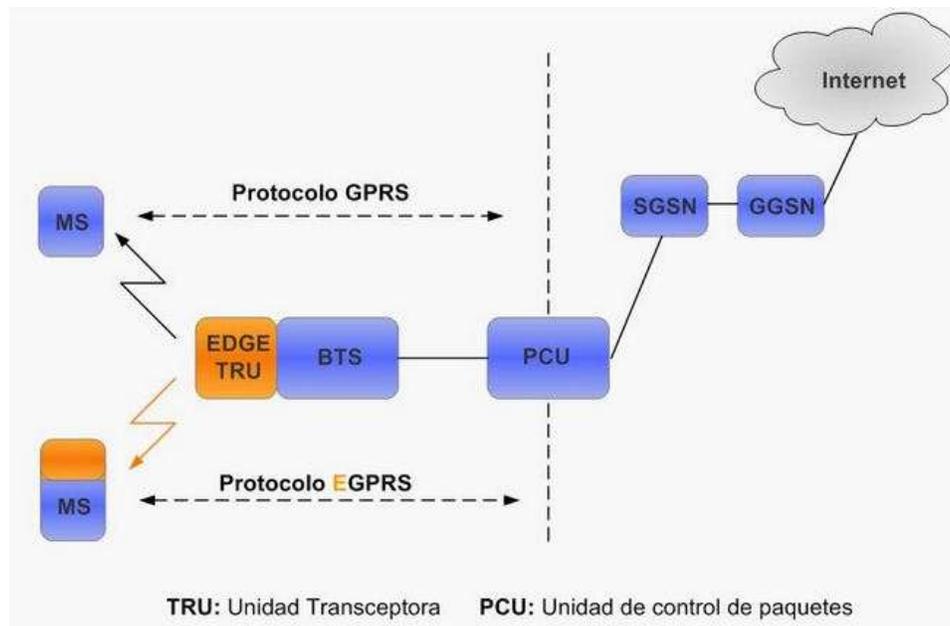


Figura 2.3 cambios introducidos por EDGE en la red GSM/GPRS

2.3.1.1 Características

Algunas características de EDGE son las que se muestran en la tabla 2-1.

Tabla 2-1 Características de EDGE

	EDGE
Modulación	8-PSK/GMSK
Velocidad de símbolo	270 Ksimb/seg
Velocidad de modulación de <i>bit</i>	810 Kb/s
Velocidad de datos por intervalo de tiempo	69,2 Kb/s
Velocidad de datos de usuario por intervalo de tiempo	59,2 Kb/s (MCS9)
Velocidad de datos de usuarios (8 <i>timeslots</i>)	472,6 Kb/s
	(553,6 Kb/s)

2.3.1.2 Tecnología de EDGE

EDGE aprovecha el uso de estándar de GPRS para entregar mejoras técnicas significativas. En la tabla 2-2 se muestra una comparación entre las especificaciones técnicas de EDGE y de GPRS.

Tabla 2-2 Comparación de datos entre GPRS y EDGE

	GPRS	EDGE
Modulación	GMSK	8-PSK/GMSK
Velocidad de símbolo	270 Ksimb/s	270 Ksimb/seg
Velocidad de modulación de <i>bit</i>	270 Kb/s	810 Kb/s
Velocidad de datos por intervalo de tiempo	22,8 Kb/s	69,2 Kb/s
Velocidad de datos de usuario por intervalo de tiempo	20 Kb/s (CS4)	59,2 Kb/s (MCS9)
Velocidad de datos de usuarios (8 <i>timeslots</i>)	160 Kb/s	472,6 Kb/s
	(182,4 Kb/s)	(553,6 Kb/s)

Aún cuando GPRS y EDGE comparten la misma tasa de transmisión de símbolo, la tasa de modulación de bit no es la misma. Debido a esto, EDGE puede transmitir 3 veces más bits que GPRS durante el mismo periodo de tiempo. La tasa de transmisión de datos de 384 kbps se usa en relación con EDGE. La ITU definió como el límite de 384 kbps para que un servicio cumpla con el IMT 2000. Ésta tasa corresponde a 48 kbps por ranura de tiempo, asumiendo una terminal de 8 ranuras de tiempo.

2.4 UMTS

En este capítulo se ofrece una amplia visión general del Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles o Universal Mobile Telecommunications System (Por sus siglas en inglés UMTS) como sus servicios, la arquitectura, incluyendo una introducción a los elementos lógicos de red y las interfaces.

Los sistemas de segunda generación, como por ejemplo, el Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM) fueron diseñados originalmente para la prestación eficiente de los servicios de voz. UMTS por el contrario, están diseñados desde un principio para una entrega flexible de cualquier tipo de servicio, donde cada uno de los nuevos servicios no requiere de una optimización de red.

Además de la flexibilidad en Acceso Múltiple Por División de Código de Banda Ancha o WideBand Code Division Multiple Access (por sus siglas en inglés WCDMA) y Acceso de Paquetes de Alta Velocidad o High Speed Packet Access (por sus siglas en inglés HSPA) trae capacidades avanzadas que permiten a los nuevos servicios.

Estas características son:

- Alta velocidad de bits, teóricamente de hasta 2 Mbps en Proyecto de asociación de 3ª generación (3GPP) Release 99, hasta 14,4 Mbps en 3GPP Release 5 y hasta 28,8 Mbps en el Release 7. Las tasas de bits son de 1 a 2 Mbps con la implementación del primer Release 5.
- Los retrasos de paquete en tiempos de ida y vuelta por debajo de 100 ms con el Release 5 e incluso por debajo de 50 ms con el Release 6.
- Movilidad para las aplicaciones y paquetes de datos sin interrupción alguna.
- La Calidad de Servicio (QoS) es la diferenciación de la alta eficiencia en la prestación de los servicios.
- Transmisión simultánea de voz y capacidad de datos.
- Cuando interactúa con las redes actuales que son GSM y GPRS.

2.4.1 Servicios de UMTS

Los servicios se dividen en: Servicios de persona a persona, contenido de servicios y conectividad de la empresa.

2.4.1.1 De Persona a Persona Servicios Conmutados de Circuitos o Circuit Switched Services

En esta sección se considera la voz, Multi-tasa Adaptivo o Adaptive Multi-Rate (por sus siglas en inglés AMR); de banda ancha AMR voz y vídeo. Estos servicios se proporcionan inicialmente a través de la red central de conmutación de circuitos (CS) en WCDMA, pero pueden ser proporcionados también a través de la red central de conmutación de paquetes.

2.4.1.2 Servicios de voz AMR-NB a AMR-WB

El códec de voz en UMTS empleará la técnica de AMR. La multitasa del codificador de voz es el único códec que está integrado dinámicamente con 8 anchos de banda diferentes que son: 12.2, 10.2, 7.95, 7.40, 6.70, 5.90, 5.15 y 4.75 kbps. Los Bits de AMR pueden ser controlados por la Radio Red de Acceso o Radio Access Network (por sus siglas en inglés RAN). El codificador AMR es capaz de cambiar la tasa de bits cada 20 ms por orden del discurso.

La AMR Banda Angosta (por sus siglas en inglés AMR-NB) opera en las tramas de voz de 20 ms correspondientes a 160 muestras a la frecuencia de muestreo de 8000 muestras por segundo, mientras que AMR Banda Ancha (por sus siglas en inglés AMR-WB) se basa en la frecuencia de muestreo de 16 000 Hz, por lo que se va extendiendo el ancho de banda de audio a 50-7000 Hz.

2.4.1.3 Video llamada

La norma 3GPP tiene especificado que la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU-T⁵ recomendación H.324M será utilizado para la video telefonía en conexiones conmutadas por circuito y el protocolo de inicio de

⁵ UIT-T Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT es uno de los tres sectores divisiones o unidades de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), que coordina las normas de telecomunicaciones.

sesiones para soportar las aplicaciones multimedia IP incluyendo video llamada en un 3GPP release 5 entorno de red básico.

Otros servicios de conmutación de circuitos posibles son:

- Las video conferencias: Punto a punto o de sesiones multi-punto entre los móviles o con los sistemas de videoconferencias en oficinas.
- Video Streaming: Televisión en el móvil con varias cadenas de TV, video on demand como por ejemplo noticias y películas.
- Juegos en Multimedia: Reproducción en tiempo real con otros usuarios remotos.

Ejemplo de video llamada figura 2.4.



Figura 2.4 video llamada

2.5 Persona-a-Persona Servicios conmutados por paquete

Esta técnica está especialmente diseñada para cursar tráfico de datos. Se consigue utilizar los recursos de la red sólo cuando hay tráfico que transmitir, por lo que no se desperdicia capacidad en los periodos de inactividad. Aquí los datos a transmitir entre origen y destino se dividirán en paquetes.

El tamaño de estos paquetes puede ser variable y dependerá de diversos factores, pero se suele establecer una longitud máxima que nunca se deberá superar. De

esta forma se asegura que ninguna comunicación se vea perjudicada frente a otra por el tamaño de los paquetes que utilizan. También existen colas en los nodos, de forma que cada paquete espera hasta que pueda ser transmitido a un enlace de salida.

Estos servicios son:

- Mensajería
- Mensaje De Audio
- Mensajería Instantánea (Whatsapp, Line, Skype, etc)
- Correo electrónico móvil
- Compartir vídeo - Video Compartido
- Pulsar para hablar en teléfono celular
- Voz sobre IP
- Juegos para Multijugadores

2.5.1 Mensajería

Excluyendo los móviles de voz, el servicio de mensajes cortos (SMS) es con toda probabilidad la más exitosa en servicios móviles. Mensajería de imágenes fue desarrollada en la parte superior de los SMS para transmitir simple escala de grises imágenes mapa junto con el texto.

Servicio de mensajería multimedia (MMS) fue una evolución natural hacia hacia una mensajería de persona-a-persona. MMS es un ejemplo de una tienda y tipo de desvío de los servicios, donde se redacta un mensaje en un dispositivo móvil, que consta normalmente de una imagen tomada con una cámara digital y un breve texto. Un MMS es enviado a un servidor donde se almacena hasta que obtiene al dispositivo del destinatario.

2.5.1.1 Mensaje De Audio

El Mensaje de Audio es un tipo especial de MMS que consiste únicamente en el componente de audio de SMIL⁶. Contrariamente al correo de voz, los mensajes de audio se pueden almacenar en el auricular para escuchar más tarde. También pueden ser transmitidos a otros usuarios con MMS-dispositivos. El Mensaje de Audio es fácil de implementar en cualquier red MMS, ya que no necesita hardware ni software adicional.

2.5.1.2 Mensajería Instantánea

La Mensajería Instantánea es una muy popular en el servicio de internet que está ahora también disponible para los usuarios de móviles. Todos los principales proveedores de servicios de internet, como Yahoo, MSN, AOL, ICQ, Jabber y Google, ofrecen acceso a los clientes el servicio con el teléfono inteligente.

También hay soluciones de mensajería móvil que combinan el acceso a los servicios mencionados en una sola aplicación. Las principales características del servicio de mensajería instantánea son en tiempos reales, envío/recepción imágenes u otros elementos multimedia y envío/recepción de documentos.

2.5.1.3 Correo electrónico móvil

Todos nosotros utilizamos el correo electrónico en los días laborables, pero ¿cuántos de nosotros somos capaces de utilizar correo electrónico móvil para conectarse a un correo electrónico de la empresa o a un correo electrónico privado?

⁶ SMIL es el acrónimo de Synchronized Multimedia Integration Language (lenguaje de integración multimedia sincronizada) y es un estándar del World Wide Web Consortium (W3C) para presentaciones multimedia. El lenguaje SMIL permite integrar audio, video, imágenes, texto o cualquier otro contenido multimedia. <http://es.wikipedia.org/wiki/SMIL> pagina recuperada Miércoles 5 de Junio 2013.

2.5.1.4 Video Compartido

De vídeo en directo o clips de vídeo en tiempo real durante una llamada de voz normal permite a los usuarios enriquecer su comunicación aún más. Los usuarios pueden agregar o quitar el elemento de vídeo que quieran compartir y ver vistas de cámara o clips de vídeo desde el dispositivo ver figura 2.5.



Figura 2.5 Video compartido

2.5.1.5 Pulsar para hablar en teléfono celular

Un push-to-talk para hablar sobre celular (por sus siglas en inglés PTT PoC) es una forma de comunicación: mientras una persona habla, los demás escuchan. La llamada se establece normalmente presionando un solo botón y el usuario receptor(s) oye el discurso sin responder. Si bien es voz bidireccional (full duplex), el servicio de PoC es unidireccional (half-duplex) servicio.

La aplicación PoC puede, por lo tanto, ser descrito como un walkie-talkie que es una aplicación a través de la Packet Switching en el dominio de una red celular. Además de la funcionalidad de comunicación básica de voz, el PDC aplicación ofrece al usuario final con características complementarias, tales como:

- Ad Hoc⁷ y grupos de comunicación predefinidos.
- Control de acceso para que el usuario puede definir quién está autorizado a hacer las llamadas a él/ella.
- De "no molestar" en el caso de recepción inmediata de audio no es deseable.

Ejemplo de push to talk figura 2.6.

teclas y conectores importantes



Figura 2.6 push to talk

2.5.1.6 Voz sobre IP

El principal impulsor de voz en redes fijas, ha sido el rápido aumento de las conexiones de banda ancha (xDSL⁸, WLAN, cable, etc.). La disminución de los costos de WiFi y la necesidad de generar cobertura en interiores a un costo

⁷ Ad Hoc En redes de comunicación, dicha expresión hace referencia a una red (especialmente inalámbrica) en la que no hay un nodo central, sino que todos los ordenadores están en igualdad de condiciones.

⁸ Se conoce como xDSL a la familia de tecnologías de acceso a Internet de banda ancha basadas en la digitalización del bucle de abonado telefónico (el par de cobre)

eficiente han dado lugar a la evolución del Acceso Móvil sin Licencia (Unlicensed Mobile Access por sus siglas en ingles UMA⁹).

Esto proporciona túneles IP para los servicios móviles de GSM/GPRS a través de los servicios sin licencia de Wi-Fi. Al implementar la tecnología UMA, a los proveedores de servicios, los operadores de red por lo general pueden permitir a los suscriptores recorrer y entregar entre las redes celulares, redes inalámbricas públicas y privadas sin licencia que utilizan los teléfonos móviles de modo dual. El controlador de red UMA (UNC¹⁰) es el vínculo fundamental entre una conexión WiFi y la red celular.

El controlador gestiona la conexión entre la red de área local y el centro de conmutación de servicios móviles, la autenticación autorizada por los suscriptores móviles y de la reglamentación de la transferencia, y extrae la llamada mediante GSM desde el túnel de transmisión IP, pasando sobre las portadoras CS o PS.

Los principios básicos de la UMA se ilustran en la figura 2.7.

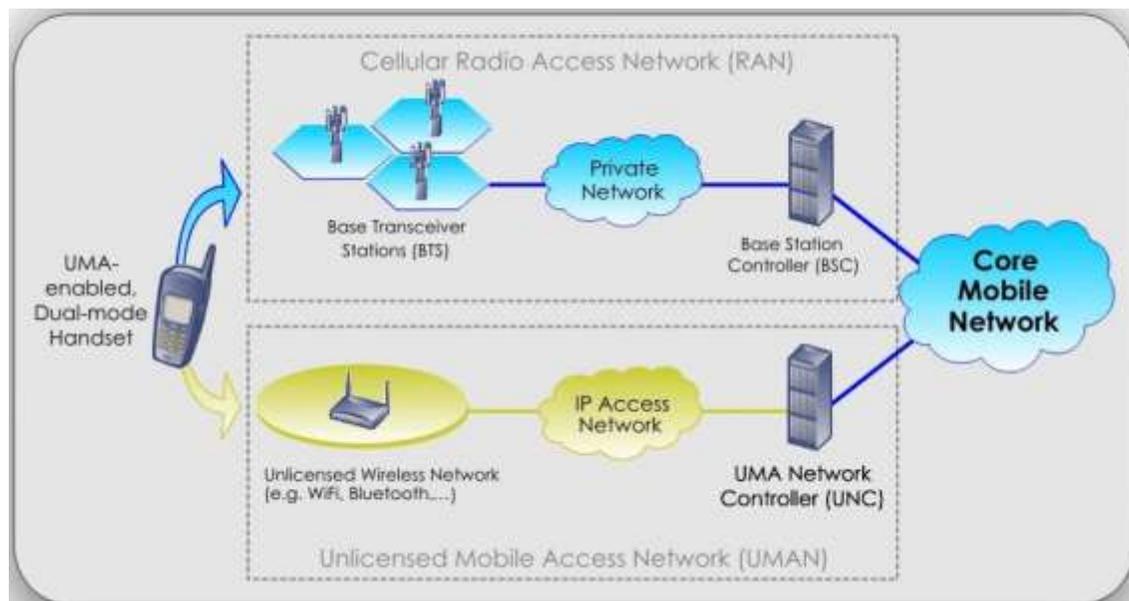


Figura 2.7 Acceso móvil sin licencia (UMA)

⁹ UMA es la tecnología que permite el acceso a GSM y GPRS mediante Bluetooth y Wifi

¹⁰ UNC controlador de la UMA

2.5.1.7 Juegos para Multijugadores

En primer lugar debemos caracterizar los actuales juegos para multijugadores existentes en las principales categorías en función a las necesidades de los usuarios finales. Tres categorías son razonables de acuerdo con los estudios en, juegos de acción en tiempo real juegos de estrategia y los juegos de estrategia por turnos. En tiempo real los juegos de acción de la red de comienzo a fin aplazan las exigencias que también puede ser tan baja como 50 m/s para satisfacer a los usuarios más exigentes. La red de comienzo a fin de las demoras tiempo son particularmente notables para algunos usuarios si se ha reducido las demoras como 30 m/s, mientras que otros tienen mayores demoras, como 200 m/s. ver Figura 2.8.

Teniendo en cuenta que las redes HSPA puede proporcionar red de extremo a extremo de retrasos por debajo de 50 m/s., si es posible proporcionar estrategia en tiempo real y juegos de estrategia basados en turnos.



Figura 2.8 Multijugadores

2.6 Contenido de Servicio Para Personas

2.6.1. Navegación

Desde el punto de vista del usuario es fundamental que la navegación sea fácilmente accesible y rápida. Los requisitos de rendimiento bruto de navegación de la primer descarga de la página inferior es a 10 s y la segunda descarga de la página es menor y es preferible de 4 a 7 s. Sin embargo, tenga en cuenta que los requisitos para los usuarios del servicio son diferentes en cada mercado y también en distintos segmentos de mercado dentro del mismo mercado.

Otro requisito es que también debería ser posible utilizar navegación fluida cuando se viaja en coche, tren o autobús. Esto requiere manejo eficiente de la reselección de celda a fin de evitar que la conexión se pierda en la celda reseleccionada.

2.6.1.1 Transmisión de audio y vídeo

La transmisión de Multimedia es una técnica que se utiliza para transferir datos de forma que pueda ser procesada como un flujo estable y continuo. Al igual que con la descarga progresiva, un plug-in de navegador o un reproductor de transmisión especial empieza a mostrar los datos después de unos segundos de búfer.

Las tecnologías de transmisión se hace cada vez más importante con el crecimiento de internet, y algo difícil debido a cuestiones de derechos contenido digital. Ya que el contenido no se puede almacenar y, por lo tanto, no fueron transmitidas y reutilizados, es más fácil llegar a un acuerdo sobre la distribución de contenidos como medios de transmisión que como medios descargables.

2.6.1.2 Descarga de contenido

Descarga de contenidos es la descarga de aplicaciones, tonos de llamada, video clips y música en MP3. El tamaño del contenido puede variar en gran medida de unos pocos kilobytes tonos de llamada a varios megabytes archivos de música.

Los tiempos de descarga debe ser preferiblemente bajo, lo que pone altas exigencias en la radio frecuencia de bits, sobre todo para las grandes descargas con varios cientos de kilobytes, ver Figura 2.9.



Figura 2.9 Contenido de descargas

2.6.1.3 Servicios de ubicación

Aplicaciones y servicios basados en la ubicación, se espera que se convierta en una de las nuevas dimensiones en UMTS. Es claro que, al combinar los datos de localización con las capacidades de comunicación y la capacidad de extensión de un smartphone ofrece nuevas experiencias de usuario y las oportunidades de negocio.

Mapas y guías de ciudades, incluyendo datos de puntos de interés como se muestra en la Figura 2.10 pag. (50), pueden mantenerse siempre al día, lo que significa también una mayor tráfico de datos.

De hecho, hay una buena lista de servicios de valor añadido que se puede actualizar a través del aire: nuevos mapas, guías de ciudades, nuevos comandos de voz, información meteorológica, información del tráfico, cámaras de seguridad, las cámaras de tráfico y así sucesivamente.

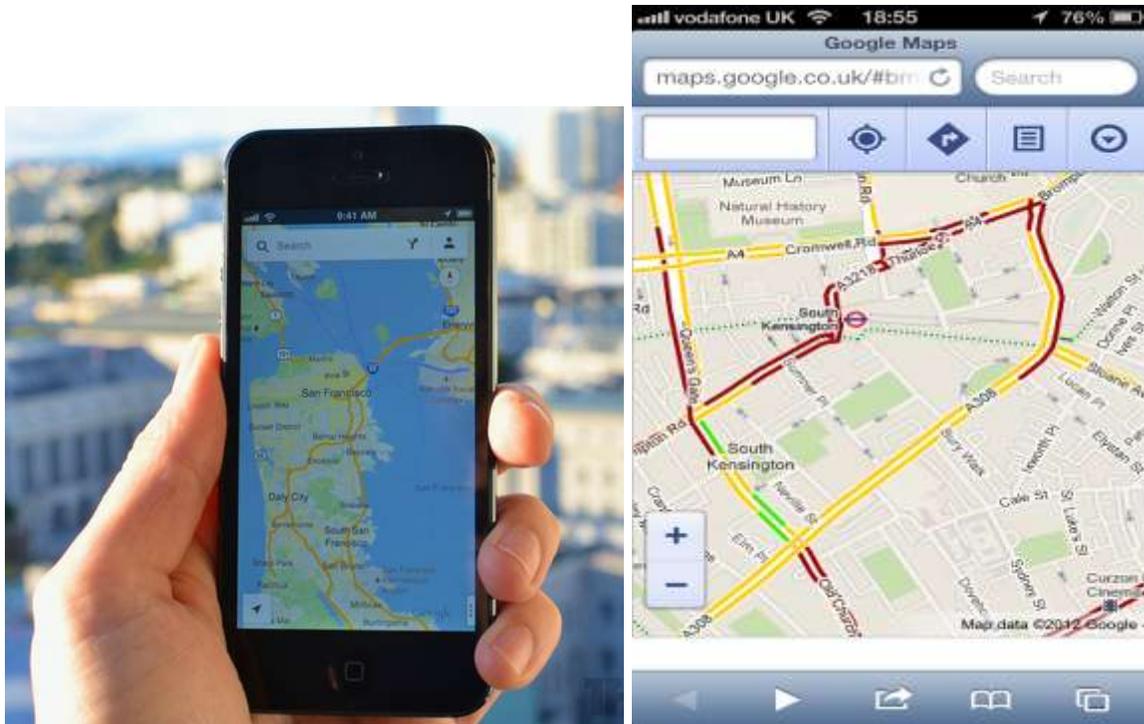


Figura 2.10 Servicios de localización

2.6.1.4 GPS asistido

Las medidas de ubicación más precisas se pueden obtener con un receptor de GPS integrado en el móvil. La red puede proporcionar información adicional, como satélites GPS visibles, tiempo de referencia y Doppler, para ayudar a las mediciones GPS móvil. Los datos de la asistencia mejora la sensibilidad del receptor GPS en el interior las mediciones, hace que los tiempos de adquisición sean más rápidos y reduce el consumo de alimentación de GPS¹¹.

¹¹ Harri Holma and Antti Toskala WCDMA for UMTS-HSPA Evolution and LTE, John Wiley & Sons, Ltd 2007 Cap 2. Pp 9-28

El principio del GPS asistido se muestra en la figura 2.11

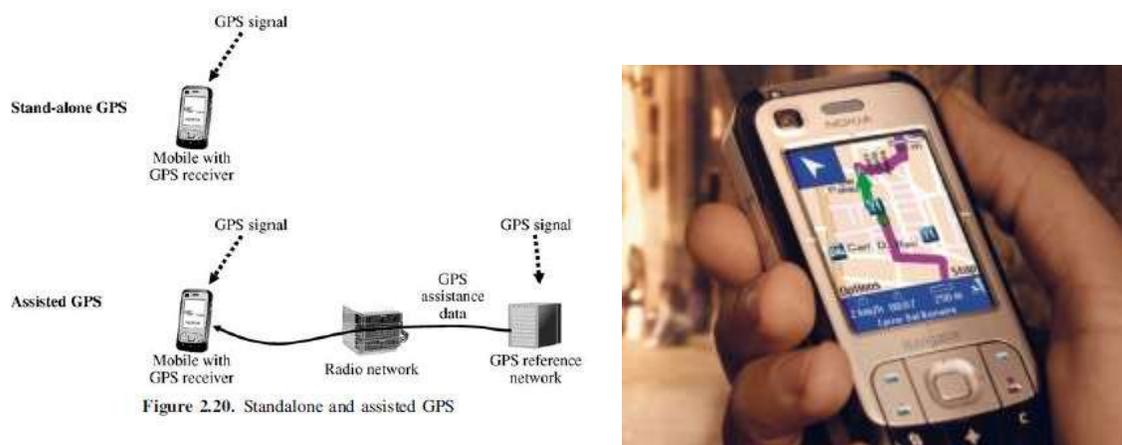


Figura 2.11 GPS Asistido

2.7 Arquitectura UMTS

UMTS utiliza la misma arquitectura bien conocida que ha sido usada por todos los principales sistemas de segunda generación e incluso por algunos sistemas de primera generación. La lista de referencia contiene las especificaciones 3GPP relacionados.

UMTS consta de un número de elementos de red lógicos, que cada uno tiene una funcionalidad definida. En las normas, los elementos de red se definen en el nivel lógico, pero esto a menudo resulta en una implementación física similar, sobre todo porque hay una serie de interfaces abiertas (para una interfaz de ser "abierto", el requisito es que ha sido definido a un nivel tan detallado que el equipo en los puntos finales puede ser de dos fabricantes diferentes). Los elementos de la red se pueden agrupar en base a una funcionalidad similar, o en base a la sub red que pertenece.

Funcionalmente, los elementos de red se agrupan en la Red de Acceso de Radio o Radio Access Network (Por sus siglas en inglés RAN; RAN Terrestre UMTS

(UTRAN)¹²) que se encarga de toda la funcionalidad relacionada con la radio, y la Red Central o Core Network (Por sus siglas en ingles CN), que es responsable de la conmutación y encaminamiento de las llamadas y conexiones de datos a redes externas. Para completar el sistema, el Equipo de Usuario o User Equipment (Por sus siglas en ingles UE) que interactúa con el usuario y la interfaz de radio se define. La arquitectura del sistema de alto nivel se muestra en la figura 2.12.

Desde un punto de especificación y estandarización de vista, tanto UE y UTRAN consisten completamente nuevos protocolos, los diseños de los cuales se basan en las necesidades de la nueva tecnología de radio WCDMA.



Figura 2.12 Arquitectura general de UMTS

La arquitectura UTRAN se presenta en la figura 2.13 pag (54). Una breve introducción a todos los elementos es la siguiente.

El UE consta de dos partes:

- El equipo móvil o Mobile Equipment (Por sus siglas en ingles ME) es el terminal de radio utilizado para la comunicación de radio por la interfaz Uu.
- El módulo de identidad de abonado UMTS o UMTS Subscriber Identity Module (Por sus siglas en ingles USIM) es una tarjeta inteligente que contiene la identidad del abonado, realiza algoritmos de autenticación, y almacena claves de autenticación y cifrado y alguna información de suscripción que se necesita en el terminal.

¹² UTRAN (Red de Acceso Radio Terrestre UMTS o UMTS Terrestrial Radio Access Network)

UTRAN también se compone de dos elementos distintos:

- El Nodo B convierte el flujo de datos entre la Iub y las interfaces Uu. También participa en la gestión de recursos radio. (Nota:.. El término "nodo B" de las especificaciones 3GPP correspondientes se utiliza en todo el capítulo 5 El término más genérico "estación base" utilizada en este libro en otros lugares significa exactamente lo mismo).
- El Controlador de la Red de Radio o Radio Network Controller (Por sus siglas en inglés RNC) posee y controla los recursos de radio en su dominio (el Nodo B conectado a la misma). La RNC es el punto de acceso para todos los servicios que ofrece la UTRAN que proporciona la CN, por ejemplo, gestión de conexiones al UE.

Los estándares UMTS están estructurados de modo que la funcionalidad interna de los elementos de la red no se especifica en detalle. En su lugar, las interfaces entre los elementos de red lógicos se han definido.

Las siguientes principales interfaces abiertas se especifican a continuación:

- Interfaz Cu. Esta es la interfaz eléctrica entre el USIM tarjeta inteligente y el ME. La interfaz sigue un formato estándar para tarjetas inteligentes.
- Interfaz Uu. El Uu es la interfaz a través del cual el UE accede a la parte fija del sistema y, por lo tanto, es probablemente la interfaz abierta más importante en UMTS. (La interfaz Uu proporciona interconexión entre RNC y la terminal de usuario a través del Nodo B).
- Interfaz Iu. Esta conecta UTRAN al CN. Similar a las interfaces correspondientes en GSM, A (CS) y Gb (PS), la interfaz Iu abierta da a los operadores UMTS la posibilidad de adquirir UTRAN y CN de diferentes fabricantes.
- Interfaz Iur. La interfaz Iur abierta permite el traspaso suave entre RNC de diferentes fabricantes y, por lo tanto, es complementario de la interfaz Iu abierta.

- Interfaz Iub. El Iub conecta un Nodo B y el RNC. La tecnología UMTS es el primer sistema de telefonía móvil comercial en la interfaz Controlador de Estación Base está estandarizado como una interfaz completamente abierta.

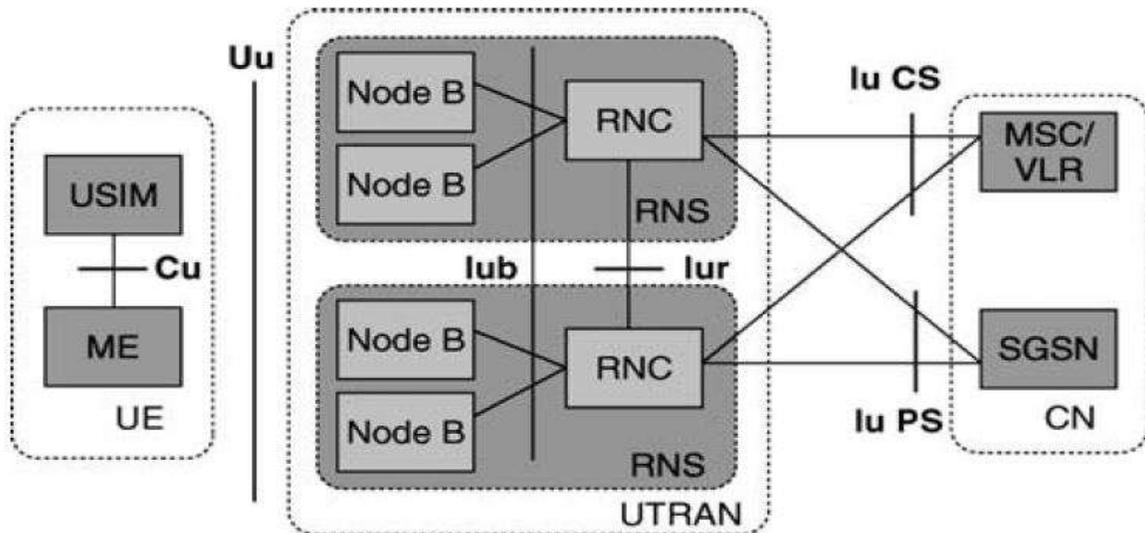


Figura 2.13 Arquitectura UMTS

La UTRAN se compone de uno o más sub-sistemas de red de radio (RNS). Un RNS es una sub-red dentro de la UTRAN y se compone de un RNC y uno o más Nodos B como se muestra en la Figura 2.13¹³.

¹³ Harri Holma and Antti Toskala WCDMA for UMTS-HSPA Evolution and LTE, John Wiley & Sons, Ltd 2007 Cap 5. Pp 67-70

Capítulo 3

Migración de tecnología 3G a 4G por LTE

3.1 Introducción

El sector de las comunicaciones móviles celulares ha mostrado un gran dinamismo en las dos últimas décadas. Los inicios de la década de los 1990 vinieron marcados por el crecimiento exponencial de usuarios de voz al amparo de un entorno cada vez más competitivo y con predominancia de la tecnología GSM como estándar de facto a nivel mundial. Posteriormente, y contrariamente a lo que pronosticaban muchos estudios de mercado, la madurez alcanzada en el servicio de voz no se vio relevada por los servicios de datos en los primeros años de los 2000 de la mano del cambio tecnológico asociado a la implantación del acceso radio WCDMA de UMTS. A nivel global, la principal competencia de UMTS es cdma2000, emanado del 3GPP2, tal y como se ilustra en la Figura 1-1. La clara necesidad de mayores velocidades de transmisión de datos como condición necesaria para el eventual despegue de estos servicios encuentra respuesta en la tecnología HSPA, y equivalentemente EV-DO en el contexto 3GPP2, elementos a la postre facilitadores del crecimiento exponencial del tráfico de datos observado desde 2007, junto con la generalización de las tarifas planas para el acceso a Internet móvil. El camino apuntado por el 3GPP para cubrir las necesidades tecnológicas en el horizonte 2010-2020 tiene a LTE como máximo exponente. La predominancia de LTE supone el fin del camino paralelo del 3GPP2, que abandona el desarrollo de UMB, equivalente a LTE. El contrapunto competitivo para LTE intenta impulsarse desde IEEE con WiMAX 802.16e y posteriormente 802.16m, como solución propiamente IMT-Advanced (sistema 4G), al igual que la propuesta LTE-Advanced por parte del 3GPP.

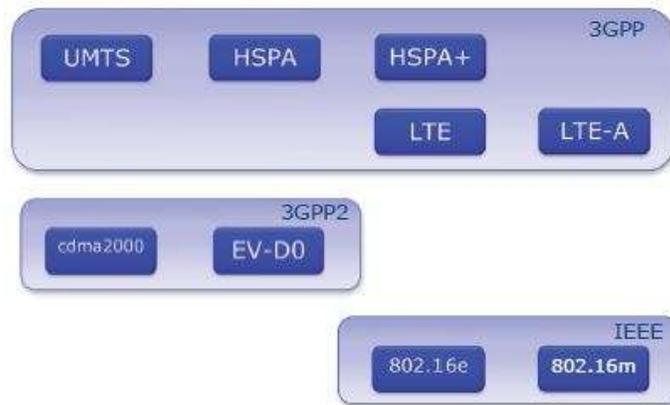


Figura 3.1 Panorámica de sistemas móviles celulares 3G-4G

La evolución tecnológica ilustrada en la figura 3.1 refleja, sin duda, la existencia de un mercado altamente dinámico, que requiere de una elevada capacidad de adaptación y anticipación para satisfacer las necesidades de los usuarios así como para hacer frente a los competidores, en un entorno marcado también por la evolución de los modelos de negocio, la aparición de nuevos agentes o la modificación del papel jugado por agentes ya presentes. En este sentido, la figura 3.2 ilustra uno de los principales paradigmas observados en los últimos tiempos. En efecto, mientras que el incremento del tráfico de voz supone un incremento de los ingresos del operador al facturarse por establecimiento de llamada y tiempo de ocupación de los recursos del sistema, en el caso del tráfico de datos se produce un desacople entre ambos, asociado a la adopción de tarifas planas. Por otra parte, tal y como se ilustra en la figura 3.3, el coste del despliegue y operación de las redes de comunicaciones móviles con la tecnología actual guarda cierta proporcionalidad con el volumen de tráfico a cursar si se pretende ofrecer una QoS adecuada, de manera que para preservar un cierto margen de beneficio es necesario reducir diferentes componentes de la estructura de costes, lo que constituye una de las principales motivaciones para el desarrollo de un sistema como LTE.

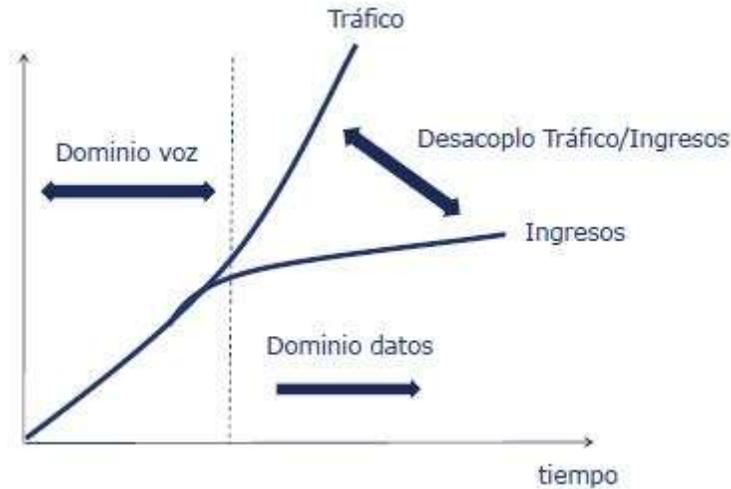


Figura 3.2 Paradigma de la evolución del mercado de comunicaciones móviles



Figura 3.3 Relación del coste de la red con el volumen de tráfico

3.1.1 Espectro radioeléctrico

La capacidad de una red puede aumentar de manera directamente proporcional al aumento de ancho de banda que pueda disponerse. Sin embargo, la asignación de espectro resulta en la práctica un proceso altamente complejo, que además lleva asociados unos plazos regulatorios y administrativos que se dilatan a lo largo de varios años. Así por ejemplo, el espectro asignado inicialmente a GSM correspondía a la banda 890-915 MHz para el enlace de subida y 935-960 MHz para el enlace de bajada.

En el caso de UMTS, la identificación de bandas de frecuencia se realizó en la WRC'92. La World Radio Conference (WRC) es un evento organizado por la International Telecommunication Union (ITU) -organismo de las Naciones Unidas-, que se suele realizar cada cuatro años y su objetivo es armonizar la utilización del espectro radioeléctrico a nivel mundial. Las administraciones europeas elaboran sus posiciones técnicas de manera conjunta dentro de la CEPT (European Conference of Postal and Telecommunications Administrations), si bien en última instancia las distintas administraciones europeas negocian en la ITU sobre una base nacional. En particular, se identificaron 155 MHz sobre la banda de 2100 MHz para la componentes terrestre de IMT-2000, correspondiendo dos bloques de 60 MHz para el modo FDD y 35 MHz para el modo TDD. Esta componente de espectro IMT-2000 suele denominarse como core band. La expectativa de mayor necesidad de espectro para IMT-2000 llevó a la WRC- 2000 a identificar las denominadas new 3G spectrum en las bandas 2500-2690 MHz.

Por su parte, la WRC'07 identificó espectro adicional para IMT-2000 e IMT-Advanced en las bandas 450-470, 698-806, 2300-2400 y 3400-3600 MHz, aunque la aplicabilidad de las bandas varía a nivel regional y nacional.

No obstante, el aumento continuado del tráfico en las redes móviles, conlleva que deban considerarse todas las componentes posibles para el incremento de la capacidad. En este sentido, en los últimos años se ha planteado la reconsideración de la asignación y uso del espectro radioeléctrico frente a los procedimientos clásicos descritos anteriormente. Las propuestas abarcan múltiples dimensiones, algunas de ellas revolucionarias, que deben ponderarse adecuadamente teniendo en cuenta los aspectos técnicos, regulatorios, impacto en el modelo de negocio y competencia, etc. En las secciones siguientes se presenta una panorámica de estas alternativas.

Una posible clasificación de los modelos de uso del espectro radioeléctrico permite distinguir los siguientes:

1. Modelo de uso exclusivo de derechos. En este caso se realiza la asignación de licencias exclusivas a operadores para ciertas bandas de frecuencias, que pueden estar ligadas o no con el uso de una determinada tecnología y la provisión de determinados servicios.
2. Modelo de uso común del espectro. En este caso se promueve el acceso compartido por parte de una serie de usuarios a una determinada banda del espectro radioeléctrico. La responsabilidad de la gestión de la interferencia en este caso recae directamente entre los propios usuarios. Dentro de este caso puede distinguirse el modelo de uso público (en el que el espectro está abierto a todos los usuarios con los mismos derechos, como sería el caso de la banda ISM – Industrial, Scientific and Medical) y el privado (en que es el adjudicatario de una licencia el que permite el acceso al espectro licenciado a un conjunto de usuarios bajo unas condiciones establecidas por el propio adjudicatario).
3. Modelo de uso oportunista del espectro. En este caso se permite que el denominado usuario secundario (que pretende acceder a una banda de espectro licenciada al denominado usuario primario) identifique de manera independiente bandas de espectro que no se estén utilizando en un cierto tiempo y lugar, pudiéndolas utilizar en ese caso siempre que se asegure que no generará interferencia dañina para el usuario primario. Dentro de este caso puede distinguirse entre el modelo underlay (en el que la interferencia al usuario primario se evita transmitiendo una señal con una densidad espectral de potencia que se encuentre por debajo del nivel de ruido, como es el caso de UWB) y el overlay (en el que no se da esta coexistencia sino que el usuario secundario debe detectar y aprovechar los huecos espectrales libres de usuario primario).

La tendencia es pues, de manera clara, hacia un uso más flexible y dinámico del espectro radioeléctrico.

3.2 LTE

En el caso de LTE, las especificaciones emanan del 3GPP (3rd Generation Partnership Project), que nació en 1998 con el objetivo de especificar 3G (UTRA-FDD y UTRA-TDD). También se encarga de mantener y desarrollar las especificaciones de GERAN (GSM EDGE RAN). La red de acceso radio se especifica en el marco del TSG RAN, que se organiza en cinco grupos de trabajo: WG1 (capa física), WG2 (capas 2 y 3), WG3 (interfaces fijos de la red de acceso), WG4 (aspectos de RF y RRM) y WG5 (conformidad de terminales). Los documentos del 3GPP se estructuran en Releases, cada una de ellas caracterizada por la incorporación de un conjunto de funcionalidades destacadas en relación a la versión anterior. Así, la que se llamó R99 (por el hecho de que se congeló en diciembre de 1999) supuso el primer conjunto de especificaciones UMTS. Seguidamente, tras la llamada R4, se completó en marzo de 2002 la R5 que incluye por ejemplo HSDPA. Tres años después se incorpora HSUPA así como MBMS en R6. En la R7 (septiembre de 2007) se incluye HSPA+, mientras que LTE/SAE se asocian ya a R8 y posteriores.

Puede decirse que el primer paso hacia LTE se llevó a cabo en noviembre de 2004, cuando 3GPP TSG RAN organizó un Workshop sobre “RAN Evolution” en Toronto (Canadá), en el que se presentaron unas 40 contribuciones con ideas, propuestas, etc. En el propio Workshop se identificaron una serie de requisitos de alto nivel, como un coste por bit reducido, mejora en la provisión de servicios, flexibilidad en el uso de las bandas frecuenciales, arquitectura simplificada con interfaces abiertos, consumo de potencia en el terminal razonable, etc. También se puso de manifiesto que el esfuerzo de estandarización que esta evolución, bautizada como E-UTRAN (Evolved UTRAN), llevaría asociado sólo resultaría justificable si las mejoras fueran significativas.

En diciembre de 2004 se creó el Study Item “Evolved UTRA and UTRAN” para la evolución hacia una tecnología de acceso de elevada velocidad de transmisión, baja latencia y optimizada para la transmisión de paquetes, de modo que con ello

quedase asegurada la competitividad de las soluciones 3GPP en un horizonte temporal largo. En particular, algunos de los objetivos de E-UTRA y E-UTRAN son¹:

- Velocidades de transmisión de pico de 100 Mbps en downlink y 50 Mbps en uplink,
- mejorando la velocidad de transmisión obtenible en el extremo de la celda.
- Mejora de la eficiencia espectral en un factor 2-4 con respecto a la Release6.
- Latencia del plano de usuario en la red de acceso radio inferior a 10 ms.
- Ancho de banda escalable.
- Interoperabilidad con sistemas 3G y sistemas no 3GPP.

Este primer periodo de trabajo concluyó con la aprobación del TR 25.912² en la reunión TSG-RAN #32 en junio de 2006. En TR 25.912 se recomendaba la creación de un WorkItem sobre E-UTRA y E-UTRAN tomando como punto de partida el concepto de sistema reflejado en dicho documento, ya que los estudios realizados validaban su viabilidad. Tras considerarse y discutirse múltiples propuestas sobre la capa física, protocolos radio, arquitectura de red, aspectos de RF, consideraciones de complejidad, etc., algunas de las características principales incorporadas al concepto del TR 25.912 fueron:

- Esquema de acceso radio OFDMA en el downlink y SC-FDMA en el uplink.
- Soporte de packet scheduling en el dominio temporal y frecuencial.
- Simplificaciones en la MAC y en el modelo de estados RRC, así como reducción del número de canales de transporte (no hay canales dedicados).
- Funcionalidades de packet scheduling, ARQ e HARQ terminadas en eNodeB.
- Simplificación de la arquitectura E-UTRAN y descentralización de la misma.

¹ 3GPP TR 25.913, Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (EUTRAN).

² 3GPP TR 25.912, Feasibility study for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN).

A partir de este Feasibility Study se pasó al desarrollo de tareas de especificación (Work Items). Para cada WI se establece un título y ámbito técnico, se define su resultado esperado (Technical Specification o Technical Report) e impacto sobre otros WIs así como el calendario de tareas. La primera versión completa de las especificaciones LTE se aprobó en diciembre de 2007. Durante 2008 el trabajo del 3GPP se centró en la finalización de Release 8, aunque también se han ido desarrollando con intensidad aspectos de Release 9 y Release 10. Las especificaciones de Release 8 quedaron congeladas en diciembre de 2008, lo que significa que no se pueden añadir nuevas funcionalidades a esta versión, si bien se continúa el trabajo para completar los contenidos acordados.

Cabe destacar que las capacidades y prestaciones de E-UTRA y E-UTRAN establecidas en corresponden a los objetivos fijados en la fase inicial de desarrollo de LTE, de manera que las prestaciones finalmente alcanzadas en muchos casos pueden superar los objetivos iniciales. Por ejemplo, la velocidad de pico teórica alcanzable en el downlink para 2x20 MHz (FDD), 64-QAM y 4x4 MIMO resulta de 326 Mbits/s³. No obstante, si bien por la propia necesidad de sintetizar las capacidades de un sistema se tiende a proporcionar la velocidad de transmisión de pico, en términos de evaluación de prestaciones las principales métricas a considerar deben ser de otro tipo (por ejemplo, el percentil 95 de la distribución bits/s/MHz/celda). Así mismo, siendo una buena referencia la cota teórica a nivel de enlace, es fundamental evaluar las prestaciones a nivel de sistema en entornos realistas (a través de simulaciones en una primera instancia y medidas de campo en una segunda).

En el contexto de la ITU, UTRA y E-UTRA (LTE) son el pariente europeo de la familia IMT-2000, ya que en realidad IMT-2000 no es una tecnología de acceso radio en sí misma, sino una familia de tecnologías que cumplen los requisitos establecidos por la ITU para IMT-2000 y que son aprobadas por la propia ITU. La

³ 3GPP R1-072578, "Summary of Downlink Performance Evaluation", Ericsson, mayo de 2007

principal recomendación IMT-2000 es ITU-R M. 1457⁴, en la que se incluye una descripción de cada uno de los miembros de la familia IMT-2000 acompañada de una lista de referencias a las especificaciones detalladas. ITU-R WP5D se encarga de ir revisando dicha recomendación, dado el continuo desarrollo de los diferentes interfaces radio IMT-2000.

Cabe mencionar que en ITU-R M. 1457-7 (Revisión 7 del documento), aprobado en octubre de 2007, se incluyó también el estándar IEEE 802.16 (WiMAX), como un nuevo miembro de IMT-2000. Dentro también de las familias IMT-2000 se encuentra CDMA-2000 y UMB (Ultra Mobile Broadband), que constituyen el equivalente a UMTS y LTE en el marco de 3GPP2, y que en el recorrido desde 2G (con IS-95) hasta la evolución de 3G ha supuesto el principal polo de competencia a las tecnologías 3GPP. No obstante, el desarrollo de UMB ha quedado paralizado desde finales de 2008, cuando algunos de los principales motores de las comunicaciones móviles (Qualcomm, Verizon, etc.) se inclinaron por LTE.

3.2.1 LTE Advanced

Al tiempo que las especificaciones de UMTS R99 se estaban completando, la ITU inició las primeras consideraciones en la concepción de soluciones más allá de IMT-2000, conocido actualmente como IMT-Advanced y referido como 4G. La Resolución 228 (WRC-2000 y revisada en WRC-03) invitó a la ITU-R a estudiar en detalle los aspectos técnicos y operativos relativos al futuro desarrollo de IMT-Advanced.

El marco general y los objetivos están definidos en la Recomendación ITU-R M. 1645⁵. Por su parte, la Resolución ITU-R 57⁶ establece los principios y criterios esenciales para el desarrollo de Recomendaciones para la interfaz radio IMT-

⁴ Recommendation ITU-R M. 1457. Detailed specifications of the radio interfaces of International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000).

⁵ Recommendation ITU-R M.1645 (2003), Framework and overall objectives of the future development of IMT-2000 and systems beyond IMT-2000.

⁶ Resolution ITU-R 57 (2007), "Principles for the process of development of IMT-Advanced".

Advanced. La ITU-R Circular Letter 5/LCCE/2 de marzo de 2008⁷ invita a la presentación de propuestas candidatas para la interfaz radio IMT-Advanced. La Revision 1 del documento IMT-ADV/2-E de agosto de 2008⁸ establece el calendario de desarrollo de IMT-Advanced. El 7 de octubre de 2009 el 3GPP presentó la propuesta “LTE Release 10 & beyond (LTE-Advanced)”, completando así el Step 3 de dicho proceso (recepción de candidatos). El documento de referencia para el 3GPP en este punto lo constituye la TR 36.912 v9.0.0⁹.

Previendo el inicio del proceso IMT-Advanced en el seno de ITU, el 3GPP inició en marzo de 2008 el Study Item LTE-Advanced¹⁰. El calendario del 3GPP está alineado con el calendario de la ITU, de manera que se espera completar las especificaciones de la Release 10 en la primera parte de 2011. Sin embargo, la visión dentro del 3GPP es que LTE-Advanced no debe limitarse a cumplir los requerimientos de IMT-Advanced, sino que debe perseguir unos objetivos mucho más ambiciosos. LTE se concibe como el punto de inicio para una transición suave hacia el acceso radio 4G (esto es, IMT-Advanced) o, en otras palabras, LTE-Advanced es la evolución de LTE. En este sentido, LTE-Advanced debe asegurar toda una serie de requisitos en relación a la compatibilidad hacia atrás con LTE Release 8. En cuanto a compatibilidad espectral, LTE-Advanced debería poderse desplegar en bandas ocupadas por LTE. Así mismo, el equipamiento LTE debería poder incorporar las funcionalidades LTE-Advanced con una complejidad y coste razonablemente bajos.

Los requerimientos de LTE-Advanced establecidos en TR 36.913¹¹ distinguen diferentes categorías: generales, capacidades (velocidad de transmisión de pico, latencias), prestaciones del sistema (eficiencia espectral, throughput en el extremo

⁷ ITU-R Circular Letter 5/LCCE/2, “Invitation for submission of proposals for candidate radio interface technologies for the terrestrial components of the radio interface(s) for IMT-Advanced and invitation to participate in their subsequent evaluation”.

⁸ ITU-R, Revision 1 to Document IMT-ADV/2-E, Submission and evaluation process and consensus building .

⁹ 3GPP TR 36.912 v9.0.0, Feasibility study for Further Advancements for EUTRA (LTEAdvanced) [Release 9].

¹⁰ 3GPP TD RP-080137: “Proposed SID on LTE-Advanced”, NTT DoCoMo.

¹¹ 3GPP TR 36.913, “Requirements for further advancements for E-UTRA (LTE-Advanced)”.

de la celda, movilidad, cobertura, etc.), despliegue (espectro, coexistencia e interoperación con legacy RATs, etc.), arquitectura E-UTRAN y migración, complejidad, coste, etc. Para poder satisfacer los requerimientos establecidos (por ejemplo, soporte de velocidades de pico de hasta 1 Gbit/s en downlink y 500 Mbit/s en uplink), son necesarias una serie de mejoras técnicas con respecto a LTE (Release 8). Algunas de las principales componentes técnicas de LTE-Advanced son:

- Agregación de banda hasta 100 MHz, por ejemplo a partir de agregar múltiples componentes de 20 MHz para poder alcanzar un ancho de banda de 100 MHz y así proporcionar las velocidades de transmisión más elevadas previstas en los requerimientos.
- Extensión de soluciones multi-antena, con hasta 8 niveles en el downlink y 4 niveles en el uplink, para así incrementar las velocidades de transmisión alcanzables sobre el enlace.
- Coordinated multipoint transmission and reception (CoMP), que permite mejorar las prestaciones observables en el extremo de la celda a través de efectuar la transmisión/recepción desde distintas celdas. CoMP es un término relativamente general, que incluye diferentes tipos de coordinación (packet scheduling, beam-forming, etc.) entre transceptores separados geográficamente.
- Repetidores, como mecanismo para mejorar la cobertura y reducir el coste de despliegue.

3.3 Arquitectura de LTE

Aquí se describe la arquitectura de una red de comunicaciones móviles basada en las especificaciones del sistema LTE. Para ello, a partir de un análisis inicial de la arquitectura genérica adoptada en los sistemas celulares 2G/3G actuales, se identifican las piezas fundamentales que componen la arquitectura de red de toda la familia de sistemas especificada por 3GPP (GSM, UMTS, LTE). Esta identificación permite acotar de forma clara cuáles son, y a qué criterios básicos

de diseño obedecen, los nuevos componentes introducidos por el sistema LTE respecto a las redes GSM y UMTS.

Una vez identificados los componentes de más alto nivel que forman parte del sistema LTE, en posteriores apartados se realiza una descripción detallada de cada uno de ellos en base a las entidades de red (estaciones base, pasarela de red, etc.) e interfaces asociadas en que se estructuran internamente. De cada una de las entidades de red se indican sus funciones más relevantes y se proporcionan las referencias necesarias hacia otros apartados del libro donde se abordan con más detalle algunas de sus funcionalidades. Respecto a las interfaces entre las entidades de red, conjuntamente con la descripción de su funcionalidad, se describen las torres de protocolos que sustentan las interfaces y los principios básicos de los protocolos utilizados.

El término LTE se acuñó inicialmente en 3GPP para denominar una línea de trabajo interna cuyo objeto de estudio era la evolución de la red de acceso de UMTS, denominada como UTRAN. Formalmente, la nueva red de acceso recibe el nombre de E-UTRAN (Evolved UTRAN) aunque muchas veces se utiliza también el término LTE en las especificaciones como sinónimo de E-UTRAN. Asimismo, en lo concerniente a la red troncal, 3GPP utilizó el término SAE (System Architecture Evolution) para referirse a las actividades de estudio relacionadas con la especificación de una red troncal evolucionada de conmutación de paquetes. Formalmente, dicha red troncal se denomina EPC (Evolved Packet Core) o también Evolved 3GPP Packet Switched Domain, y de la misma forma que pasa con la red de acceso, es común encontrar el término de SAE como sinónimo de EPC. La combinación de la red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC es lo que constituye la nueva red UMTS evolucionada y recibe el nombre formal de EPS (Evolved Packet System).

Clarificadas las formalidades de los términos LTE, SAE, E-UTRAN, EPC y EPS en el contexto del trabajo y especificaciones del 3GPP, es importante tener en cuenta

que ETSI ha registrado “LTE”, y su logotipo asociado, como marca comercial para hacer referencia de forma clara a la nueva red UMTS evolucionada. Por ello, es común encontrar la utilización del término LTE como sinónimo de EPS. En este libro se ha adoptado también este criterio.

3.3.1 Arquitectura del sistema LTE

Atendiendo a la arquitectura general de los sistemas 3GPP, en la figura 3.4 pág. (69) se ilustra de forma simplificada la arquitectura completa del sistema LTE, denominado formalmente en las especificaciones como Evolved Packet System (EPS). Los componentes fundamentales del sistema LTE son, por un lado, la nueva red de acceso E-UTRAN y el nuevo dominio de paquetes EPC de la red troncal (denominado en adelante simplemente como red troncal EPC), y por otro, la evolución del subsistema IMS concebido inicialmente en el contexto de los sistemas UMTS. Los diferentes componentes han sido diseñados para soportar todo tipo de servicios de telecomunicación mediante mecanismos de conmutación de paquetes, por lo que no resulta necesario disponer de un componente adicional para la provisión de servicios en modo circuito (en el sistema LTE los servicios con restricciones de tiempo real se soportan también mediante conmutación de paquetes). En este sentido, EPC constituye una versión evolucionada del sistema GPRS.

La red de acceso E-UTRAN y la red troncal EPC proporcionan de forma conjunta servicios de transferencia de paquetes IP entre los equipos de usuario y redes de paquetes externas tales como plataformas IMS y/o otras redes de telecomunicaciones como Internet. Las prestaciones de calidad de servicio (tasa de datos en bits/s, comportamientos en términos de retardos y pérdidas) de un servicio de transferencia de paquetes IP puede configurarse en base a las necesidades de los servicios finales que lo utilicen, cuyo establecimiento (señalización) se lleva a cabo a través de plataformas de servicios externas (IMS) y de forma transparente a la red troncal EPC. Formalmente, el servicio de

transferencia de paquetes IP ofrecido por la red LTE entre el equipo de usuario y una red externa se denomina servicio portador EPS (EPS Bearer Service). Asimismo, la parte del servicio de transferencia de paquetes que proporciona la red de acceso E-UTRAN se denomina E-UTRAN Radio Access Bearer (ERAB). En la Figura 1-4 se muestran las principales interfaces de E-UTRAN y EPC, la interfaz entre E-UTRAN y EPC se denomina S1 y proporciona a la EPC los mecanismos necesarios para gestionar el acceso de los terminales móviles a través de E-UTRAN. La interfaz radio entre los equipos de usuario y E-UTRAN se denomina E-UTRAN Uu. Por otro lado, las plataformas de servicios como IMS y la conexión a redes de paquetes externas IP se llevan a cabo mediante la interfaz SGI de la EPC. La interfaz SGI es análoga a la interfaz Gi definida en las redes GPRS/UMTS y constituye el punto de entrada/salida al servicio de conectividad IP proporcionado por la red LTE (los terminales conectados a la red LTE son “visibles” a las redes externas a través de esta interfaz mediante su dirección IP). Los mecanismos de control de los servicios de transporte ofrecidos por EPC se sustentan en información proporcionada por otros elementos de la red troncal que no son exclusivos del sistema LTE sino que pueden dar soporte también a otros dominios de los sistemas 3GPP. En la figura 3.4 pág. (69) se mencionan algunos de estos elementos comunes entre los que, a modo de ejemplo, se encuentra la base de datos del sistema con la información de suscripción de sus usuarios (HSS).

Otra característica fundamental del sistema LTE es que contempla también el acceso a sus servicios a través de UTRAN y GERAN así como mediante la utilización de otras redes de acceso que no pertenecen a la familia 3GPP (CDMA2000, Mobile WiMAX, redes 802.11, etc.). La interconexión de las redes de acceso alternativas, tanto 3GPP como no, se soporta a través de un conjunto de interfaces de la EPC.

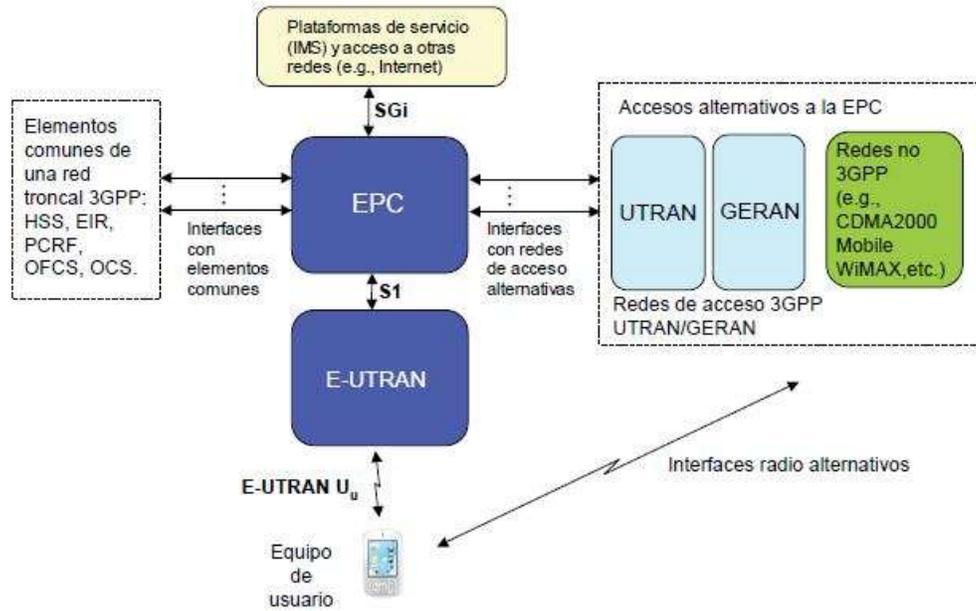


Figura 3.4 Arquitectura del sistema LTE

3.4 Arquitectura de red de acceso evolucionada: E-UTRAN

La arquitectura de la red de acceso se compone de una única entidad de red¹² denominada evolved NodeB (eNB) que constituye la estación base de E-UTRAN. Así pues, la estación base E-UTRAN integra toda la funcionalidad de la red de acceso, a diferencia de las redes de acceso de GSM y UMTS compuestas por estaciones base (BTS, NodeB) y equipos controladores (BSC y RNC). La descripción de la arquitectura de E-UTRAN se detalla en las especificaciones del 3GPP TS 36.300 [4] y TS 36.401¹³.

Tal y como se ilustra en la figura 3.5, una red de acceso E-UTRAN está formada por eNBs que proporcionan la conectividad entre los equipos de usuario (UE) y la red troncal EPC. Un eNB se comunica con el resto de elementos del sistema mediante tres interfaces: E-UTRAN Uu, S1 y X2.

¹² Formalmente, una entidad de red en 3GPP representa una entidad lógica que cubre una funcionalidad perfectamente delimitada. Por tanto, una entidad de red es una entidad funcional.

¹³ 3GPP 36.401, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Architecture description".

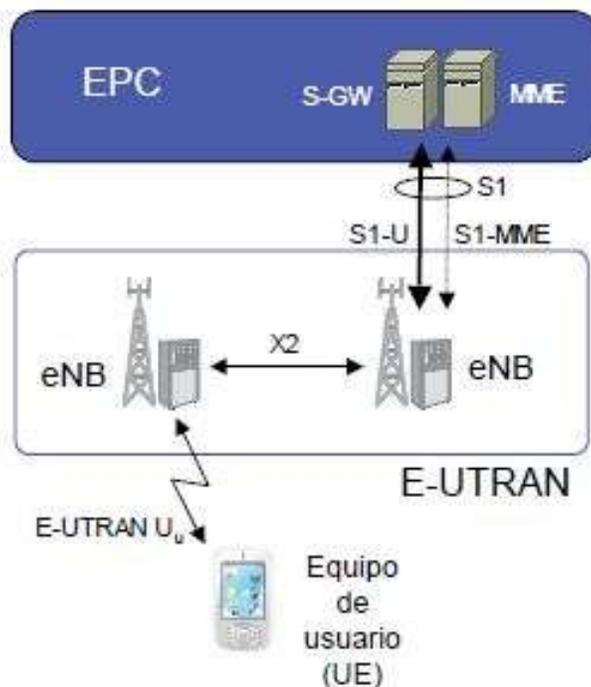


Figura 3.5 Red de acceso E-UTRAN

La interfaz E-UTRAN Uu, también denominada LTE Uu o simplemente interfaz radio LTE, permite la transferencia de información por el canal radio entre el eNB y los equipos de usuario. Todas las funciones y protocolos necesarios para realizar el envío de datos y controlar la operativa de la interfaz E-UTRAN Uu se implementan en el eNB.

El eNB se conecta a la red troncal EPC a través de la interfaz S1. Dicha interfaz está desdoblada en realidad en dos interfaces diferentes: S1-MME para sustentar el plano de control y S1-U como soporte del plano de usuario, la separación entre plano de control y plano de usuario es una característica importante en la organización de las torres de protocolos asociadas a las interfaces de la red LTE. Así pues, el plano de usuario de una interfaz se refiere a la torre de protocolos empleada para el envío de tráfico de usuario a través de dicha interfaz (paquetes IP del usuario que se envían entre E-UTRAN y EPC a través de S1-U). Por otro lado, el plano de control se refiere a la torre de protocolos necesaria para sustentar las funciones y procedimientos necesarios para gestionar la operación

de dicha interfaz o de la entidad correspondiente (configuración de la operativa del eNB desde la red EPC a través de S1-MME). Esta separación entre plano de control y plano de usuario en la interfaz S1 permite realizar la conexión del eNB con dos nodos diferentes de la red troncal. Así, mediante la interfaz S1-MME, el eNB se comunica con una entidad de red de la EPC encargada únicamente de sustentar las funciones relacionadas con el plano de control (dicha entidad de red de la red troncal EPC se denomina Mobility Management Entity, MME). Por otro lado, mediante la interfaz S1-U, el eNB se comunica con otra entidad de red encargada de procesar el plano de usuario (dicha entidad de red de la EPC se denomina Serving Gateway, S-GW). Esta separación entre entidades de red dedicadas a sustentar el plano de control o bien el plano de usuario es una característica importante de la red LTE que permite dimensionar de forma independiente los recursos de transmisión necesarios para el soporte de la señalización del sistema y para el envío del tráfico de los usuarios.

Opcionalmente, los eNBs pueden conectarse entre si mediante la interfaz X2. A través de esta interfaz, los eNB se intercambian tanto mensajes de señalización destinados a permitir una gestión más eficiente del uso de los recursos radio (información para reducir interferencias entre eNBs) así como tráfico de los usuarios del sistema cuando estos se desplazan de un eNB a otro durante un proceso de handover. En la Tabla 3-1 se resumen las entidades de red e interfaces de E-UTRAN y se indican las principales especificaciones del 3GPP relacionadas con cada una de ellas.

Tabla 1-1 entidades de red e interfaces de E-UTRAN

Entidades de red	Denominación	Descripción
	Evolved NodeB (eNB)	Estación base de la red de acceso E-UTRAN
Interfaces	Denominación	Entidades de red asociadas
	E-UTRAN Uu (también denominada LTE Uu o interfaz radio)	eNB UE
	X2	eNB eNB
	S1-MME	eNB Red troncal EPC (MME)
	S1-U	eNB Red troncal EPC (S-GW)

3.4.1 Evolved NodeB (eNB)

En la arquitectura de E-UTRAN, el eNB integra todas las funciones de la red de acceso. Por ello, en el eNB terminan todos los protocolos específicos de la interfaz radio. Mediante dichos protocolos, el eNB realiza la transmisión de los paquetes IP hacia/desde los equipos de usuario junto con los mensajes de señalización necesarios para controlar la operación de la interfaz radio. El servicio de transferencia de paquetes IP entre un eNB y un equipo de usuario se denomina formalmente como servicio portador radio (Radio Bearer, RB). El eNB mantiene un contexto de cada uno de los equipos de usuario que tiene conectados. En dicho contexto se almacena la información necesaria para mantener los servicios de E-UTRAN activos (información sobre el estado del equipo de usuario, servicios portadores activos, información de seguridad, capacidades del terminal, etc.).

Sin duda, la funcionalidad clave de un eNB consiste en la gestión de los recursos radio. Así, el eNB alberga funciones de control de admisión de los servicios portadores radio, control de movilidad (decisión de realizar un handover),

asignación dinámica de los recursos radio tanto en el enlace ascendente como descendente (denominadas funciones de scheduling), control de interferencias entre estaciones base, control de la realización y del envío de medidas desde los equipos de usuario que puedan ser útiles en la gestión de recursos, etc.

Otra función importante introducida en la funcionalidad de un eNB es la selección dinámica de la entidad MME de la red troncal EPC cuando un terminal se registra en la red LTE. Esta función otorga un grado de flexibilidad muy importante en la operativa de la red. En E-UTRAN, a diferencia de arquitecturas más jerarquizadas como GERAN o las primeras versiones de UTRAN, un eNB puede estar conectado simultáneamente a múltiples MMEs de la red troncal. El conjunto de MMEs a los que tiene acceso un NB se denomina su pool área. Así, mediante la selección de qué entidad MME va a controlar el acceso de cada usuario, es posible balancear la carga de señalización entre diferentes MMEs así como aumentar la robustez del sistema frente a puntos de fallo críticos. Esta opción se soporta mediante lo que se denomina la interfaz S1 flexible (S1-fl ex).

Al igual que la posibilidad de interactuar con múltiples MMEs, un eNB puede enviar/recibir paquetes IP de los usuarios a los que sirve a través de diferentes pasarelas S-GW de la red troncal EPC. Ello conlleva que el eNB albergue funciones de encaminamiento del tráfico de los usuarios hacia la pasarela de red S-GW correspondiente. La elección de S-GW en este caso compete a la entidad MME y no al eNB.

Un eNB puede gestionar una o varias celdas. Un caso típico es el uso de sectorización de forma que, el eNB ubicado en un emplazamiento soporta tantas celdas como sectores.

3.4.1.1 Interfaz radio

La interfaz radio soporta básicamente tres tipos de mecanismos de transferencia de la información en el canal radio: difusión de señalización de control, envío de paquetes IP y transferencia de señalización de control dedicada entre un equipo de usuario y el eNB. Los tres mecanismos citados se ilustran en la figura 3.6 pág. (75) se describen a continuación:

- Difusión (broadcast) de señalización de control en la zona de cobertura de la celda. La información enviada permite a los equipos de usuario detectar la presencia del eNB y conocer sus parámetros básicos de operación (potencia máxima que pueden utilizar los equipos de usuario en la celda) así como la identidad de los operadores de red a los que puede accederse a través del eNB. La información difundida corresponde tanto a información específica de la red de acceso (denominada información del access stratum, AS) como de la red troncal (denominada información del non access stratum, NAS). La difusión de señalización de control también sirve para forzar que un equipo de usuario que no tenga una conexión de control establecida con el eNB, inicie un acceso a la red (función de aviso o paging).
- Transferencia de paquetes IP de los usuarios a través del canal radio. Tal como se ha comentado anteriormente, los servicios de transferencia entre un eNB y un equipo de usuario se denominan servicios portadores radio (Radio Bearers, RB). Es importante destacar que los servicios portadores radio de E-UTRAN han sido diseñados específicamente para soportar tráfico IP y no permiten la transferencia de otros protocolos (paquetes X.25, tramas Ethernet, etc.). Por ello, de cara a la optimización del envío de tráfico IP a través de la interfaz radio, los servicios portadores albergan funciones como la compresión de cabeceras de los paquetes IP que permiten reducir el número de bytes enviados por la interfaz radio (las cabeceras de los paquetes IP pertenecientes a un mismo tipo de tráfico contienen un gran número de parámetros idénticos, direcciones origen y

destino, por lo que no resulta necesario enviar todos los bytes de la cabecera IP en cada uno de los paquetes).

- Transferencia de señalización de control dedicada entre el eNB y un equipo de usuario. El establecimiento de una conexión de control dedicada resulta imprescindible de cara a poder gestionar el uso de los servicios portadores radio así como para realizar cualquier gestión de señalización con la red troncal (registro del terminal en la red). La conexión de control se soporta mediante el protocolo Radio Resource Control (RRC). A través de dicho protocolo se gestionan, además del establecimiento, modificación y liberación de los servicios portadores radio entre el eNB y el equipo de usuario, otros mecanismos claves para la gestión eficiente de los recursos radio. Entre dichos mecanismos cabe citar el control y envío de medidas radio desde los terminales hacia el eNB y el mecanismo de handover, que permite que un equipo de usuario cambie de celda manteniendo activos tanto la conexión de control como los posibles servicios portadores radio que esté utilizando. Los terminales que mantienen una conexión de control con E-UTRAN se dice que se encuentran en modo conectado o activo, en contraposición al denominado modo idle en que el terminal no tiene una conexión RRC y básicamente se encuentra monitorizando la información de control difundida por la red.



Figura 3.6 Ilustración de los mecanismos de transferencia de información en la interfaz radio

Respecto al envío de paquetes de usuario, cada servicio portador tiene asociado un perfil de QoS que debe satisfacerse mediante la correcta configuración de los protocolos radio así como la adecuada operación de los mecanismos de gestión de recursos radio (scheduling).

La información enviada por la interfaz radio puede protegerse mediante funciones de cifrado que proporcionen confidencialidad e integridad. El servicio de confidencialidad permite que la información sea enviada de forma que ningún otro equipo que decodifique la señal transmitida por el canal radio sea capaz de conocer la información en claro. El servicio de integridad evita que la información transmitida pueda ser alterada de forma malintencionada en el camino entre eNB y equipo de usuario (equipo radio que se ubique en medio de la transmisión). Las funciones de cifrado se aplican tanto al tráfico de usuario (paquetes IP) como a los mensajes de señalización RRC utilizados en la conexión de control dedicada.

3.4.1.2 Interfaz eNB eNB (X2)

Al igual que el plano de usuario de S1, el plano de usuario de la interfaz X2 proporciona un servicio de transferencia de datos de usuario entre eNBs sin garantías de entrega y sin soporte de mecanismos de control de errores y de control de flujo. La transferencia de datos de usuario entre eNBs se realiza únicamente durante los procedimientos de handover en los que los paquetes de usuario almacenados en el eNB antiguo se transfieren al eNB nuevo. De esta forma, el cambio de eNB asociado a un procedimiento de handover puede resultar más transparente al usuario ya que se reduce la posible pérdida de paquetes durante el proceso. Nótese que, sobre todo en servicios de datos, el eNB antiguo podría tener acumulados en su buffer de transmisión paquetes IP del usuario en el momento del cambio. Dichos paquetes, cuando el usuario deja de estar accesible a través del eNB antiguo, podrían simplemente descartarse, con la consiguiente penalización en retardo y posible reducción en la tasa de transferencia del servicio asociado ya que la recuperación de dicha información recaería en la operación de

las capas superiores (protocolo TCP en la capa de transporte). En cambio, si la propia red es capaz de transferir los paquetes IP del eNB antiguo al eNB nuevo, el impacto en el servicio puede reducirse notablemente.

Respecto al plano de control, entre las funciones y procedimientos soportados en la interfaz X2 destacan:

- Soporte del mecanismo de handover entre eNBs. En concreto, a través del plano de control se realiza la transferencia del contexto de un usuario del eNB antiguo al nuevo y se controla el mecanismo de transferencia de paquetes IP en el plano de usuario de X2. El contexto de usuario contiene información relativa a los servicios portadores radio que tiene establecidos el usuario, claves de seguridad así como los datos sobre las capacidades del terminal.
- Indicación del estado de carga del eNB. A través de dicha interfaz, eNBs que tengan celdas vecinas pueden transferirse información para llevar a cabo funciones de gestión de recursos radio como la coordinación de interferencias entre celdas que operen en el mismo canal.

3.5 Protocolos en la interfaz radio

El envío de paquetes IP entre el eNB y un equipo de usuario a través de la interfaz radio se sustenta en una torre de protocolos formada por una capa de enlace (o capa de nivel 2) y una capa física. La torre de protocolos utilizada se muestra en la figura 3.7 pág. (79). La capa de enlace se desglosa a su vez en tres subcapas: Packet Data Convergence Protocol (PDCP), Radio Link Control (RLC) y Medium Access Control (MAC). Cada capa/subcapa de la torre de protocolos se ocupa de un conjunto de funciones concreto y define el formato de los paquetes de datos (cabeceras y colas) que se intercambian entre entidades remotas. A continuación se describen las principales características de las diferentes capas/subcapas:

- Packet Data Convergence Protocol (PDCP). Constituye la capa superior de la torre de protocolos encargada de proporcionar el punto de acceso al servicio portador radio (Radio Bearer, RB). Es decir, los paquetes IP del tráfico de usuario se entregan y se reciben a través del servicio de transferencia proporcionado por la capa PDCP. Las funciones principales de esta capa son la compresión de cabeceras de los paquetes IP y el cifrado de la información para garantizar su confidencialidad e integridad. La cabecera añadida por la capa PDCP básicamente contiene un número de secuencia que identifica al paquete IP enviado y permite realizar una entrega ordenada de los paquetes IP en el extremo receptor así como detectar posibles duplicados de los paquetes IP (ocasionados por ejemplo en un proceso de handover). Cada servicio portador radio tiene una entidad PDCP asociada.
- Radio Link Control (RLC). La capa RLC permite enviar de forma fiable los paquetes PDCP entre el eNB y equipo de usuario. Para ello, la capa RLC soporta funciones de corrección de errores mediante mecanismos Automatic Repeat ReQuest (ARQ), concatenación, segmentación y reensamblado, entrega ordenada de paquetes PDCP a capas superiores (excepto durante el mecanismo de handover), detección de duplicados y detección/recuperación de errores en el protocolo. Cada servicio portador radio tiene una entidad RLC asociada.
- Medium Access Control (MAC). Es la capa encargada de controlar el acceso al canal radio. Para ello, la capa MAC soporta funciones de scheduling dinámico entre equipos de usuario atendiendo a prioridades, multiplexa los paquetes RLC de diferentes servicios portadores radio en los canales de transporte ofrecidos por la capa física (un canal de transporte puede ser compartido por varios servicios portadores de uno o varios equipos de usuario) y realiza un control de errores mediante Hybrid ARQ (HARQ). Los servicios de transferencia que la capa MAC ofrece a la capa RLC se denominan canales lógicos. Existe una única entidad MAC por celda.

- Capa física. Es la capa encargada de realizar la transmisión propiamente dicha a través del canal radio. Alberga funciones de codificación de canal, modulación, procesado asociado a las técnicas de múltiples antenas de transmisión/recepción, y mapeo de la señal a los recursos físicos frecuencia-tiempo apropiados. En el enlace ascendente, la capa física se basa en un esquema single-carrier FDMA. En el enlace descendente, el esquema de transmisión es OFDMA. Los servicios de transferencia que la capa física ofrece a la capa MAC se denominan canales de transporte. Existe una única entidad de capa física por celda.

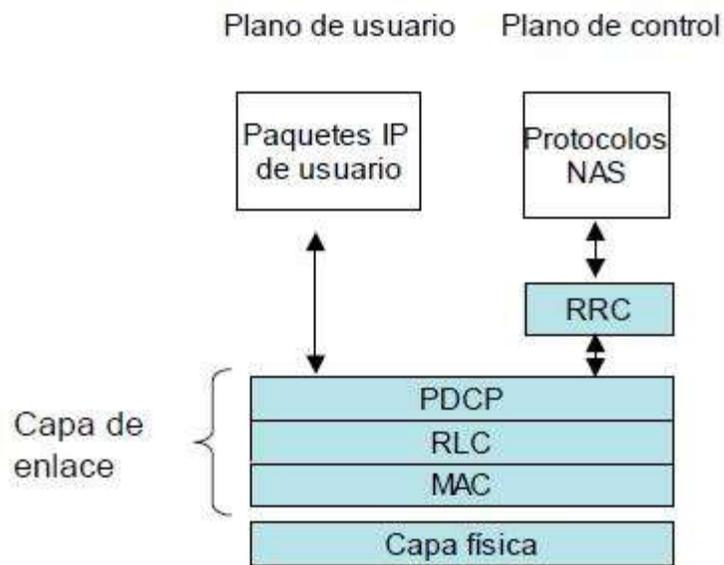


Figura 3.7 Protocolo de la interfaz radio de E-UTRAN

Respecto al plano de control entre el equipo de usuario y la red, éste se soporta sobre la misma capa de enlace (protocolos PDCP, RLC, MAC) y la misma capa física utilizadas en el plano de usuario. Los protocolos de nivel de red específicos de este plano son:

- Radio Resource Control (RRC). Esta capa permite establecer una conexión de control entre el eNB y un equipo de usuario a través de la cual se llevan a cabo un número importante de funciones relacionadas con la gestión de la operativa de la interfaz radio. Entre dichas funciones de la capa RRC destacan los mecanismos de gestión de los servicios portadores radio

(señalización para el establecimiento/liberación/modificación de los portadores radio), el soporte de funciones de movilidad (señalización de handover), la difusión (broadcast) de parámetros de sistema y funciones de aviso de los terminales que no disponen de una conexión RRC establecida (envío de avisos a través del canal de paging). El servicio de transferencia que ofrece la capa PDCP para el envío de los mensajes de señalización del protocolo RRC se denomina servicio portador de señalización (Signalling Radio Bearer, SRB).

- Señalización de los protocolos NAS. Los protocolos NAS se extienden entre la entidad de red MME en la red troncal y el equipo de usuario. Los mensajes de estos protocolos se transportan de forma transparente en la interfaz radio encapsulados dentro de la parte de datos de los mensajes RRC. Las principales funciones de los protocolos NAS son: autenticación, autorización, gestión de movilidad de los terminales que no tienen una conexión RRC establecida y gestión de los servicios portadores de la red EPS.

3.5.1 Protocolos en las interfaces S1 y X2

La estructura de protocolos utilizada en E-UTRAN para soportar las interfaces S1 y X2 establece una separación entre la capa de red radio (Radio Network Layer, RNL) y la capa de red de transporte (Transport Network Layer, TNL), tal como ya introdujo la red UMTS. Esta descomposición tiene como objetivo aislar las funciones que son específicas del sistema de comunicaciones móviles (UMTS o LTE), de aquellas otras que dependen de la tecnología de transporte utilizada (IP, ATM). De esta forma, los protocolos específicos de la red de acceso radio constituyen la capa RNL mientras que la capa TNL alberga los protocolos utilizados para el transporte de la información de la capa RNL entre las entidades de la red. En la figura 3.8 se ilustra la arquitectura de protocolos de las interfaces S1 y X2. La separación entre las capas TNL y RNL en E-UTRAN se establece en

el documento¹⁴. Los documentos de base del 3GPP que especifican la estructura de las interfaces S1 y X2 son, respectivamente, 3GPP TS 36.410¹⁵ y TS 36.420¹⁶.

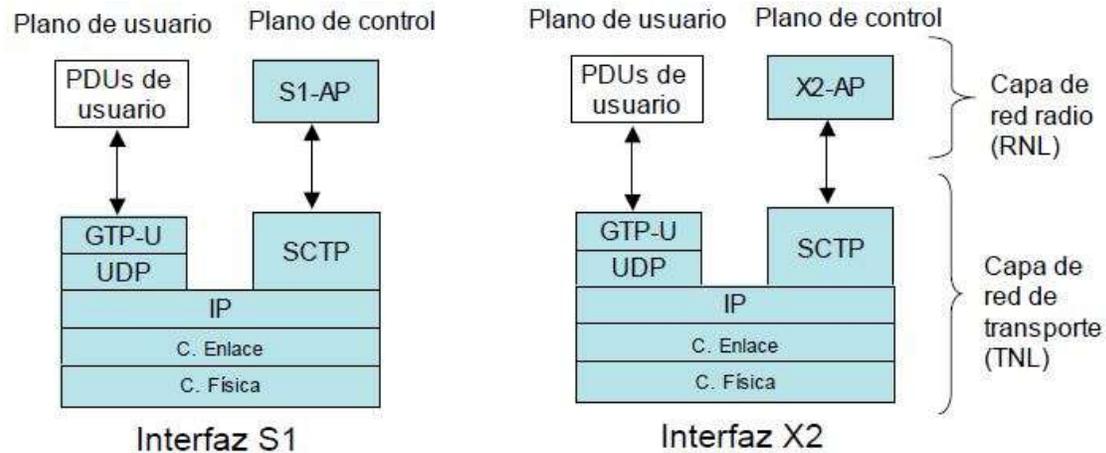


Figura 3.8 Protocolos de las interfaces S1 (izquierda) y X2 (derecha)

Tanto el plano de usuario de la interfaz S1 (S1-U) como el de la interfaz X2 utilizan el protocolo de encapsulado GTP-U (GPRS Tunneling Protocol – User Plane) para el envío de paquetes IP de usuario. El protocolo GTP-U es un protocolo heredado de GPRS que en las redes GSM y UMTS se utiliza dentro del dominio de paquetes de la red troncal (en la interfaz entre SGSN y GGSN) así como en el plano de usuario de la interfaz Iu-PS de la red de acceso UTRAN. En las interfaces S1-U y X2, el protocolo GTP-U se transporta sobre UDP/IP y fundamentalmente se utiliza para multiplexar los paquetes IP de múltiples usuarios (los paquetes IP de un determinado servicio portador se encapsulan con una determinada etiqueta, identificador de túnel). Finalmente, es importante destacar que los planos de usuario de ambas interfaces no contemplan mecanismos de entrega garantizada para la transferencia de los paquetes de usuario, ni tampoco mecanismos de control de errores o control de flujo.

¹⁴ 3GPP 36.401, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Architecture description".

¹⁵ 3GPP TS 36.410, "S1 General Aspects and Principles".

¹⁶ 3GPP TS 36.420, "X2 General Aspects and Principles".

Respecto al plano de control de la interfaz S1 (S1-MME o S1-C), la capa de red radio consiste en el protocolo S1-AP (S1 - Application Part). La especificación del protocolo se realiza en el documento 3GPP TS 36.413¹⁷. La transferencia de los mensajes de señalización del protocolo S1-AP entre eNBs y MMEs se realiza mediante el servicio de transferencia fiable que ofrece el protocolo de transporte Stream Control Transmission Protocol (SCTP).

SCTP es un protocolo de transporte (al igual que otros protocolos como TCP y UDP) de propósito general estandarizado y que fue concebido originariamente para el envío de señalización de redes telefónicas sobre redes IP. SCTP hereda muchas de las funciones contempladas en TCP a la vez que introduce importantes mejoras encaminadas a proporcionar mayor robustez y versatilidad en la transferencia de diferentes tipos de información. En particular, al igual que TCP, SCTP dispone de mecanismos de control de flujo y de congestión en la conexión, denominada asociación en SCTP. Por otro lado, SCTP incorpora soporte para multihoming (las asociaciones soportan la transferencia a través de múltiples caminos entre los nodos participantes, es decir, los nodos participantes pueden disponer de múltiples direcciones IP), multi-streaming (múltiples flujos pueden enviarse en paralelo en el seno de una misma asociación) y el envío de la información se estructura en base a mensajes (a diferencia del protocolo TCP que trata la información como una secuencia de bytes). Estas nuevas capacidades son las que hicieron que en 3GPP se optara por la utilización de este protocolo, en lugar de TCP, para implementar el plano de control de las interfaces S1 y X2 de E-UTRAN.

3.5.1.1 Plano de usuario entre UE y EPC

En la figura 3.9 se ilustra el plano de usuario completo de E-UTRAN para el envío de paquetes IP entre el equipo de usuario (UE) y la red troncal (S-GW). Los paquetes IP contienen la información correspondiente al servicio que el usuario

¹⁷ 3GPP TS 36.413, "S1 Protocol Specification".

está utilizando (voz, video, datos) así como la señalización a nivel de aplicación (protocolos SIP, RTCP, etc.). El eNB realiza funciones de “relay” entre la torre de protocolos PDCP/RLC/MAC/PHY de la interfaz radio y la torre de protocolos de la interfaz S1-U. Es importante destacar que el eNB no realiza ninguna decisión de encaminamiento a partir de la información contenida en las cabeceras IP de los paquetes de usuario sino que simplemente se ocupa de su transferencia entre las dos interfaces atendiendo a los servicios portadores establecidos.

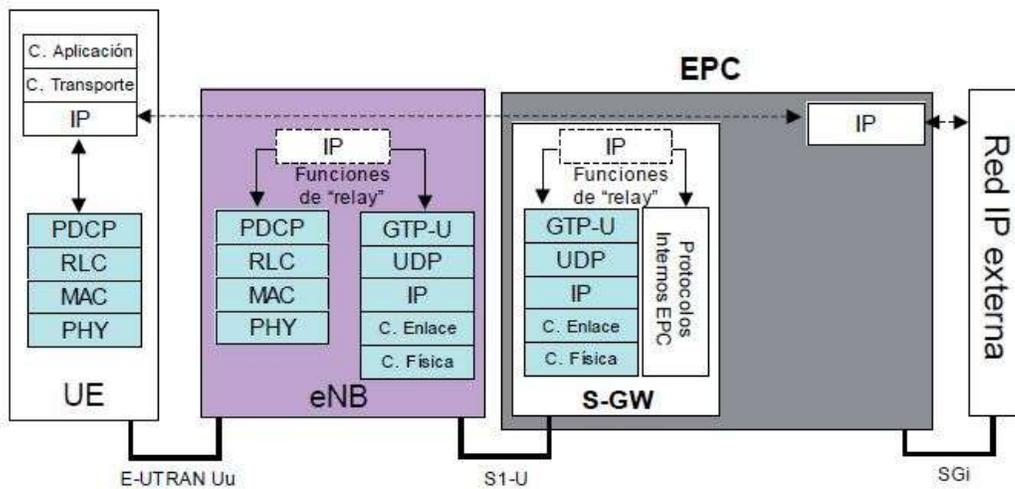


Figura 3.9 Protocolos del plano de usuario en E-UTRAN

3.5.1.2 Plano de control entre UE y EPC

En la figura 3.10 se ilustra la torre de protocolos del plano de control para el envío de señalización NAS entre el equipo de usuario y la red troncal. Los protocolos NAS (descritos en el apartado 2.6.3.5) se transportan encapsulados (de forma transparente) dentro de mensajes RRC en la interfaz radio y en mensajes S1-AP en la interfaz S1-MME. El eNB realiza las funciones de “relay” necesarias entre ambas torres de protocolos.

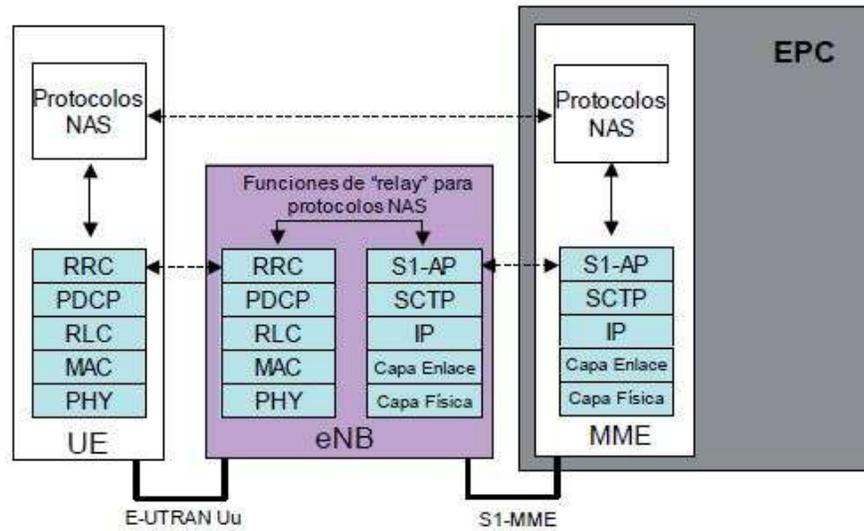


Figura 3.10 Protocolos del plano de control en E-UTRAN

3.5.1.3 Comparativa E-UTRAN y UTRAN

La arquitectura E-UTRAN presenta importantes diferencias con respecto a las redes de acceso UTRAN y GERAN. En la figura 3.11 se muestra a nivel ilustrativo un despliegue simple de una red E-UTRAN y de una red UTRAN, como ejemplo típico tanto de redes de acceso 3G como 2G, en aras a comparar ambas arquitecturas.

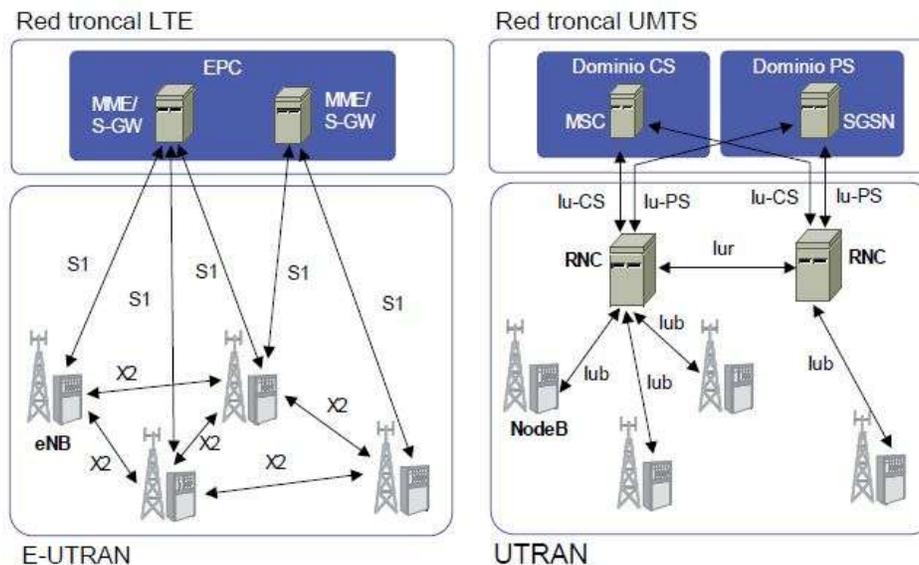


Figura 3.11 Comparativa de la arquitectura de red de E-UTRAN y UTRAN

Las redes de acceso anteriores a E-UTRAN se basan en una arquitectura jerárquica donde las funciones de la red de acceso se distribuyen en dos tipos de nodos: estaciones base (denominados Nodos B en UTRAN) y equipos controladores de estas estaciones base (denominados RNC en UTRAN). La arquitectura de UTRAN se especifica en el documento 3GPP TS 25.401¹⁸. En esta arquitectura jerarquizada, los equipos controladores albergan el plano de control de la interfaz radio (señalización de control del enlace radio) así como múltiples funciones del plano de usuario (algunas funciones de la capa de acceso al medio, control de enlace, compresión de cabeceras, etc.). Por otro lado, las estaciones base se ocupan principalmente de las funciones de transmisión radio (procesado de capa física) y su operación se gestiona de forma remota desde los equipos controladores. La interconexión entre estaciones base y controladores se realiza mediante una interfaz denominada Iub de forma que la topología de red resultante a nivel lógico es una topología en forma de estrella. Los equipos controladores también pueden conectarse entre sí mediante interfaces específicas como la interfaz Iur que, en el caso de UTRAN, permite la explotación del mecanismo de macro diversidad entre dos Nodos B que se encuentren conectados a RNCs diferentes. La interconexión de la red de acceso a la troncal se realiza a través de los equipos controladores mediante las interfaces Iu-PS, entre RNCs y los nodos SGSNs del dominio de paquetes, y Iu-CS, entre RNCs y las centrales de conmutación MSC del dominio de circuitos.

Comparando la arquitectura de UTRAN con E-UTRAN, puede observarse en la figura 3.11 que E-UTRAN sigue una arquitectura “plana”, sin ningún nivel de jerarquización. Tal como se ha indicado en la lista de funciones asociadas a un eNB, los protocolos radio se ejecutan íntegramente en los eNBs (no es necesario ningún equipo adicional como el RNC de UTRAN). Es importante destacar que la integración de los protocolos radio de capa física y de enlace en la estación base es una característica adoptada también en otras interfaces radio como IEEE 802.11 para redes de área local y IEEE 802.16 utilizada en WiMAX. La

¹⁸ 3GPP TS 25. 401, “UTRAN overall description”.

interconexión de E-UTRAN con la red troncal se realiza en cada uno de las estaciones base (eNBs) mediante la interfaz S1. Tal como se ha comentado anteriormente, la interfaz S1 soporta configuraciones donde un eNB puede estar conectado simultáneamente con múltiples elementos de la EPC (varios MME y/o varios S-GW). Esto hace que el dimensionamiento de la red de acceso (eNBs) y de los equipos de la red troncal (MME y pasarelas S-GW) pueda hacerse de forma más flexible, permitiendo, por ejemplo, que el tráfico cursado a través de los eNBs se derive hacia el nodo de la red troncal más adecuado atendiendo a criterios de balanceo de cargas. Por el contrario, en una estructura jerárquica en árbol como la utilizada en UTRAN, la capacidad sobrante en nodos ubicados en ramas diferentes no puede ser aprovechada. Asimismo, aunque de forma opcional, las estaciones base de E-UTRAN pueden conectarse directamente entre sí formando una topología semi-mallada (un eNB puede conectarse a un subconjunto de eNBs mediante la interfaz X2) que permite tanto la transferencia de información de control como de tráfico de usuario entre ellas. Esta opción no está contemplada en UTRAN (los Nodos B no se interconectan entre ellos).

Uno de los principales motivos que condujeron a la utilización de arquitecturas jerárquicas en los sistemas 2G y 3G fue básicamente económico: la concentración de los recursos de procesamiento en unos pocos equipos capaces de servir a un elevado conjunto de usuarios a través de estaciones base poco complejas, y por tanto, con un coste “relativamente” menor, constituía una opción más competitiva en términos de coste frente a la alternativa de utilizar estaciones base mucho más complejas capaces de albergar la mayoría de las funciones propias del sistema de comunicaciones¹⁹.

¹⁹ Bosch, H.G.P. et al., “Flat Cellular (UMTS) Networks”, Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), marzo 2007, Kowloon, China.

3.6 Arquitectura de EPC

El diseño de la red troncal EPC ha sido concebido principalmente para proporcionar un servicio de conectividad IP (evolución del servicio GPRS) mediante una arquitectura de red optimizada que permite explotar las nuevas capacidades que ofrece la red de acceso EUTRAN. Asimismo, otro factor clave considerado en el diseño de la arquitectura de la red troncal ha sido la posibilidad de acceder a sus servicios a través de otras redes de acceso tanto 3GPP (UTRAN y GERAN) como fuera del ámbito del 3GPP (cdma2000, WiMAX, 802.11). La descripción completa de la red troncal EPC se recoge en los documentos 3GPP TS 23.401 y 3GPP TS 23.402. En particular, en la especificación TS 23.401 se cubre la arquitectura de la red troncal EPC cuando la red de acceso es E-UTRAN, así como la utilización de redes de acceso 3GPP alternativas o complementarias como UTRAN y GERAN. Por otro lado, la especificación TS 23.402 extiende la arquitectura de la red troncal EPC para soportar el acceso a través de otras redes no 3GPP.

De cara a introducir los diferentes componentes de la arquitectura completa de EPC de forma progresiva, la arquitectura mostrada en la figura 3.12 comprende únicamente las entidades de red que forman el núcleo de la red troncal EPC para la provisión de servicios de conectividad IP a través de una red de acceso E UTRAN, junto con las entidades de red e interfaces que soportan las funciones relacionadas con el control de del servicio de conectividad (control de QoS) y de los mecanismos de tarificación.

Es importante matizar en este punto que las entidades de red en base a las cuales se realiza la descripción de la arquitectura de la red troncal son entidades funcionales: una entidad de red en 3GPP se concibe como una entidad “lógica” que cubre una funcionalidad perfectamente delimitada. Por tanto, una implementación concreta de la red troncal EPC admite que diferentes entidades funcionales puedan residir en el mismo equipo físico.

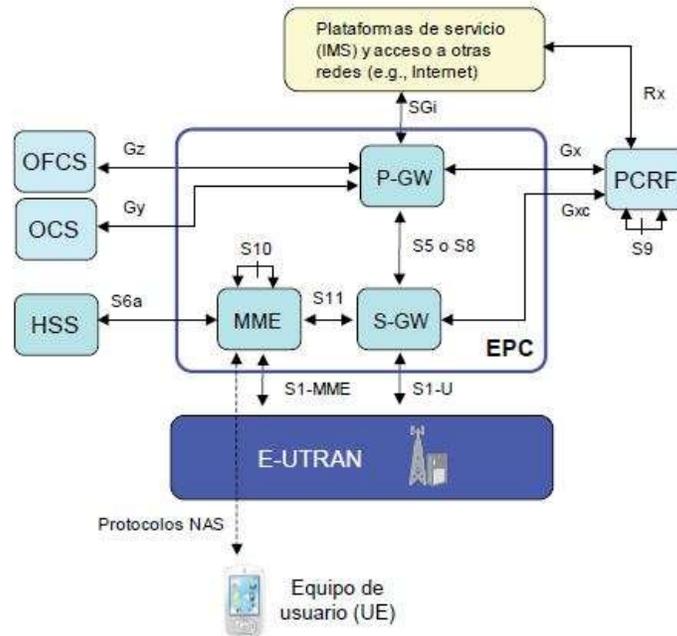


Figura 3.12 Arquitectura básica de la red troncal EPC

Tal como se ilustra en la figura 3.12, el núcleo del sistema EPC está formado por tres entidades de red: MME (Mobility Management Entity), Serving Gateway (S-GW) y Packet Data Network Gateway (P-GW). Estas tres entidades, junto con la base de datos principal del sistema 3GPP denominada HSS (Home Subscriber Server), constituyen los elementos básicos para la provisión del servicio de conectividad IP entre los equipos de usuario conectados a través de E-UTRAN y redes externas a las que se conecta la red troncal EPC. Las funciones asociadas con el plano de usuario se concentran en las dos pasarelas (S-GW y P-GW) mientras que la entidad MME se encarga de las funciones y señalización del plano de control.

La interconexión de la red de acceso E-UTRAN a la EPC se realiza a través de la interfaz S1. En particular, la interfaz S1-MME que sustenta el plano de control termina en la entidad MME mientras que la interfaz S1-U del plano de usuario termina en el S-GW.

La entidad MME termina el plano de control de los equipos de usuario conectados a la red LTE mediante los protocolos NAS y controla las funciones de transferencia del plano de usuario de red LTE a través de la interfaz S11²⁰ con la pasarela S-GW. Asimismo, la entidad MME se conecta a la entidad HSS a través de la interfaz S6a para acceder a la información asociada a los usuarios de la red que estén autorizados a establecer conexiones a través de E-UTRAN. Tal como puede observarse en la figura 3.12, las entidades MME también pueden comunicarse entre ellas mediante la interfaz S10.

Por otro lado, la interconexión de la EPC con redes externas o plataformas de servicio (plataformas IMS) se realiza a través de la pasarela P-GW mediante la interfaz SGi. La pasarela P-GW soporta funciones, entre otras, de asignación de direcciones IP a los equipos de usuario y mecanismos de control de los parámetros de calidad de servicio de las sesiones de datos establecidas a través de la red LTE. Internamente, la pasarela P-GW se conecta a la pasarela S-GW mediante la interfaz S5, cuando ambas pasarelas pertenecen al mismo operador, y mediante S8, cuando éstas se encuentran en redes de operadores diferentes y se proporciona un servicio de roaming o itinerancia.

También ilustrada en la figura 3.12, la entidad de red PCRF (Policy and Charging Rules Function) constituye un elemento clave de todos los sistemas 3GPP, y en particular, del sistema LTE. La entidad PCRF forma parte del marco funcional denominado PCC (Policy and Charging Control) que se utiliza para controlar los servicios portadores que ofrece la red LTE (activación y determinación de los parámetros de QoS asociados a cada servicio portador) así como realizar el control de los mecanismos de tarificación (tarificación on-line, off-line, medición del volumen de datos transferido, tiempo transcurrido, etc.). Así pues, mediante la interfaz Gx, el PCRF gestiona los servicios portadores EPS de la red LTE mediante el envío de unas reglas de uso (reglas PCC) que sirven para configurar

²⁰ Las interfaces específicas de la red troncal EPC se han codificado con un prefijo formado por la letra “S” y unos dígitos y letras adicionales, de forma similar al criterio adoptado en su día para GPRS donde las interfaces empiezan por el prefijo “G”.

la operación de unas funciones específicas del plano de usuario de la pasarela P-GW (funciones que limitan la tasa de transferencia en bits/s de los servicios portadores). La entidad PCRF es accesible desde las plataformas de servicios externas como IMS mediante la interfaz Rx. Dicha interfaz ofrece la funcionalidad de control necesaria para que los servidores de aplicación externos puedan proporcionar información asociada a los servicios finales a los que accede el usuario junto con las características y requerimientos de QoS. A modo de ejemplo, si un usuario establece un servicio de videoconferencia a través de IMS, el elemento que controla la provisión del servicio en IMS puede indicar a través de la interfaz Rx cuáles son los parámetros de QoS que debe proporcionar el servicio portador de la red LTE para transferir de forma adecuada la información de la videoconferencia. Con esta información, la entidad PCRF envía a la red LTE las reglas PCC pertinentes para la configuración de los servicios portadores.

Finalmente, las entidades OFCS (Offline Charging System) y OCS (Online Charging System) mostradas en la figura 3.12 constituyen el núcleo del sistema de tarificación de la red. Ambas entidades interactúan directamente con la pasarela P-GW mediante la interfaz Gz, en el caso de OFCS, y Gy, en el caso de OCS. El marco de tarificación soportado es un marco flexible que permite desplegar modelos de tarificación en base a diferentes parámetros tales como tiempo de uso, volumen de datos, eventos, etc.

En la Tabla 3-2 se resumen las entidades de red e interfaces propias de EPC junto con las otras entidades comunes de los sistemas 3GPP que han sido mencionadas en este apartado.

Tabla 1-2 entidades de red e interfaces de EPC para el acceso desde E-UTRAN

Entidades de red EPC	Denominación	Descripción
	MME	Nodo que canaliza el plano de control de la red LTE
	S-GW	Punto de anclaje del plano de usuario en la red troncal
	P-GW	Pasarela para la interconexión con redes externas
Entidades comunes a las redes 3GPP	Denominación	Descripción
	HSS	Base de datos global del sistema (contiene, entre otros, los datos de suscripción de los usuarios).
	PCRF	Elemento central del sistema de control de uso de la red (policy control) y control de tarificación
	OCS	Nodo de control para la provisión de servicios que requieren tarificación on-line
	OFCS	Nodo de recogida de la información de tarificación para su posterior transferencia al sistema de facturación.
Interfaces	Denominación	Entidades de red asociadas
	S1-MME	MME E-UTRAN (eNB)
	S1-U	S-GW E-UTRAN (eNB)
	SGi	P-GW Redes externas
	S6a	MME HSS
	S5/S8	P-GW S-GW
	S11	MME S-GW
	S10	MME MME
	Señalización NAS	UE MME
	Rx	PCRF Plataformas servicios
	S9	PCRF PCRF
	Gx/Gxc	P-GW/S-GW PCRF
	Gz/Gy	P-GW OFCS/OCS

3.7 Entidades de red e interfaces

Aquí se describe más detalladamente las funciones soportadas por las tres entidades de red que forman el núcleo de la red troncal EPC (MME, S-GW y P-GW) y la entidad HSS común al resto de sistemas 3GPP, junto con las interfaces SGi, S5/S8, S11, S10 y S6a.

3.7.1 MME (Mobility Management Entity)

La entidad MME constituye el elemento principal del plano de control de la red LTE para gestionar el acceso de los terminales 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. La elección de la entidad MME se realiza en el proceso de registro y depende de aspectos tales como la ubicación geográfica del terminal en la red (cada MME sirve a un conjunto determinado de eNBs) así como a criterios de balanceo de cargas. Dicha entidad mantiene un contexto de datos del usuario (identificadores del usuario, conexiones y servicios portadores EPS activos, claves de seguridad, datos de localización del usuario en la red, etc.) y articula todas las gestiones que se realicen en relación a dicho usuario. La entidad MME asignada a un usuario puede ir cambiando atendiendo a la movilidad de dicho usuario dentro de la zona de servicio de la red. Las principales funciones de la entidad MME son las siguientes:

- Autenticación y autorización del acceso de los usuarios a través de E-UTRAN. A partir de los datos de usuario obtenidos desde el HSS, la entidad MME se encarga de llevar a cabo el control de acceso a la red mediante la identificación, autenticación y autorización de los usuarios que se conectan a través de E-UTRAN.
- Gestión de los servicios portadores EPS. La entidad MME es la encargada de articular la señalización necesaria para establecer, mantener, modificar y liberar los servicios portadores EPS sobre los cuales se sustenta el envío de paquetes IP entre los equipos de usuario y la red externa.
- Gestión de movilidad de los usuarios en modo idle (i.e. terminales que no tienen ninguna conexión de control establecida con E-UTRAN). La entidad MME es la encargada de hacer un seguimiento de la localización de los usuarios dentro del área de servicio de la red. Para ello, se definen unas áreas de seguimiento (Tracking areas) y unos procedimientos asociados (denominados Tracking Area Update) que permiten disponer de información de localización de todos los usuarios que se encuentren registrados en la red LTE.

- Señalización para el soporte de movilidad entre EPS y redes 3GPP. La entidad MME de la EPC y la entidad SGSN pueden intercambiarse información relativa a los equipos de usuario conectados bien a través de E-UTRAN o de UTRAN/GERAN para poder gestionar. Dicha señalización se realiza a través de la interfaz S3 entre MME y SGSNs. También, a través de esta interfaz, se gestionan los procedimientos de reubicación del plano de usuario en las entidades de la red troncal (el plano de usuario de un terminal conectado inicialmente a UTRAN y que fluye a través de un determinado SGSN, se reubica hacia una pasarela S-GW cuando el terminal cambia de UTRAN a E-UTRAN).
- Terminación de los protocolos de señalización NAS (Non Access Stratum). Los protocolos NAS fluyen entre el equipo de usuario y la entidad MME que tenga asignada. A través de ellos se soportan los procedimientos relacionados con las funciones de control de acceso a la red LTE, la gestión de las conexiones a redes externas y el establecimiento de servicios portadores EPS, y la gestión de movilidad de los terminales que se encuentran en modo idle.

3.7.1.1 Serving Gateway (S-GW)

Esta entidad actúa de pasarela del plano de usuario entre E-UTRAN y la red troncal EPC. Al igual que sucede con la entidad MME, un usuario registrado en la red LTE dispone de una entidad S-GW asignada en la EPC a través de la cual transcurre su plano de usuario. La asignación de la pasarela S-GW responde también a criterios geográficos así como de balanceo de cargas. Entre las principales funciones del S-GW podemos destacar:

- La entidad S-GW proporciona un punto de anclaje en la red troncal EPC con respecto a la movilidad del terminal entre eNBs. De esta forma, en un proceso de handover entre dos eNBs, el cambio del plano de usuario puede únicamente derivar en un cambio del servicio portador S1 entre los eNBs

implicados y el S-GW, manteniéndose sin cambios el resto del plano de usuario (camino entre S-GW y P-GW).

- La funcionalidad de punto de anclaje también se aplica a la gestión de movilidad con las otras redes de acceso 3GPP (UTRAN y GERAN). De esta forma, equipos de usuario que se conecten a la red LTE a través de UTRAN o GERAN, disponen también de un S-GW asociado en la red troncal EPC por el que fluye su plano de usuario.
- Almacenamiento temporal de los paquetes IP de los usuarios en caso de que los terminales se encuentren en modo idle. En la red LTE, el plano de usuario entre S-GW y el equipo de usuario puede “desactivarse” cuando no haya tráfico para transmitir. Es decir, aunque las conexiones y servicios portadores EPS permanezcan activos, un terminal puede encontrarse en estado idle y, por tanto, no estar conectado a ningún eNB. Así pues, cuando se recibe tráfico de la red externa dirigido a un usuario en modo idle, este tráfico llega hasta la entidad S-GW a cargo de ese usuario, que retiene temporalmente los paquetes IP e inicia (a través de la señalización pertinente con la entidad MME) el restablecimiento del plano de usuario hasta el equipo de usuario.
- Encaminamiento del tráfico de usuario. Como todo el tráfico de un usuario fluye a través de una pasarela S-GW, ésta alberga la información y funciones de encaminamiento necesarias para dirigir el tráfico de subida (tráfico IP proveniente de los equipos de usuario) hacia la pasarela (o pasarelas) P-GW que corresponda y el tráfico de bajada (proveniente de las pasarelas P-GW) hacia el eNB a través del cual se encuentra conectado el equipo de usuario. Es importante destacar que, aunque un usuario puede tener múltiples conexiones establecidas con diferentes pasarelas P-GW de forma simultánea, todo el tráfico atraviesa una única S-GW.

3.7.1.2 PDN Gateway (P-GW)

Esta entidad es la encargada de proporcionar conectividad entre la red LTE y las redes externas (denominadas como Packet Data Network, PDN, en las especificaciones 3GPP). Es decir, a través de la entidad P-GW, un usuario conectado al sistema LTE resulta “visible” en la red externa. Por tanto, los paquetes IP generados por el usuario se inyectan en la red externa a través de esta pasarela y, viceversa, todo el tráfico IP dirigido a un terminal LTE proveniente de la red externa va a ser encaminado hasta el P-GW. Un usuario tiene asignada como mínimo una pasarela P-GW desde su registro en la red LTE. Entre las principales funciones de la pasarela P-GW podemos destacar:

- Aplicación de las reglas de uso de la red (policy control) 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 correspondiente. La dirección puede ser una dirección IPv4, IPv6 o bien un par de direcciones (IPv4, IPv6). El mecanismo de asignación de la dirección se sustenta en la señalización propia de la red LTE (el terminal recibe la dirección IP a través de los protocolos NAS) o bien en la utilización de protocolos propios de redes IP como DHCP.
- La pasarela P-GW actúa de punto de anclaje para la gestión de movilidad entre LTE y redes no 3GPP que son las heterogenias
- 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 correspondiente. Esto permite, por un lado, aplicar las reglas de uso y tarificación antes comentadas, y por otro, aplicar funciones de inspección y verificación de la validez de los paquetes IP que cursa la red (packet screening). De esta forma, la pasarela puede descartar los paquetes IP que sean considerados como tráfico anómalo (un equipo de usuario envía paquetes con una dirección o puertos para los que no está autorizado).

3.7.1.3 HSS (Home Subscriber Server)

El HSS es la base de datos principal del sistema 3GPP que almacena la información de los usuarios de la red. La información contenida en el HSS abarca tanto información relativa a la suscripción del usuario (i.e., perfil de suscripción) como información necesaria para la propia operativa de la red. La base de datos HSS es consultada, y modificada, desde las diferentes entidades de red encargadas de proporcionar los servicios de conectividad o servicios finales (desde MME de red troncal EPC, SGSN de la red GPRS, MSC del dominio de circuitos y también desde servidores de control del subsistema IMS). El HSS contiene tanto información permanente que sólo puede ser cambiada mediante procesos administrativos (campos creados al dar de alta a un usuario en la red o cambiar las condiciones de su contrato), así como información temporal que cambia a raíz de la propia operación del sistema (localización del terminal dentro de la zona de servicio del sistema). Así, entre la información almacenada en el HSS podemos destacar: identificadores universales del usuario (International Mobile Subscriber Identity, IMSI), identificadores de servicio (Mobile Station ISDN, MSISDN); información de seguridad y cifrado (vectores de autenticación); información de localización del usuario en la red (identificador de la entidad de control MME, que proporciona el plano de control hacia un determinado usuario); e información necesaria para la provisión de los servicios de acuerdo con las condiciones establecidas en el contrato de suscripción (identificador de la red externa y parámetros de calidad de servicio del servicio portador por defecto).

La entidad HSS se estandarizó en 3GPP R5 en base a la integración de dos entidades definidas inicialmente en redes GSM y que se denominan HLR (Home Location Register) y AuC (Authentication Center), a las que se añadieron funciones adicionales necesarias para soportar el acceso y la operativa del sistema LTE. En la Release 8 correspondiente al sistema LTE, el HSS abarca:

- El subconjunto de funciones de las entidades HLR/AuC necesarias para el funcionamiento del dominio de paquetes EPC, así como GPRS. El acceso a

HSS desde la red EPC se realiza desde la entidad de red MME mediante la interfaz S6a.

- El subconjunto de funciones de las entidades HLR/AuC necesarias para el funcionamiento del dominio CS.
- Funciones de soporte asociadas a las funciones de control del subsistema IMS como la gestión de información relativa a la suscripción de servicios IMS y el almacenamiento de perfiles de usuario asociados a servicios IMS.

La información almacenada en el HSS se detalla en la especificación 3GPP TS 23.008. Las entidades de red que acceden a la base de datos HSS para gestionar el acceso al servicio de conectividad de la red troncal EPC son las siguientes. Cuando el acceso se realiza a través de E-UTRAN, la entidad MME es la que interactúa con la base de datos a través de la interfaz S6a. Cuando el acceso es a través de UTRAN o GERAN, el acceso a HSS se realiza desde el Server GPRS Support Node (SGSN) mediante la interfaz S6d. Cuando el acceso es a través de redes heterogéneas, el acceso se canaliza a través del servidor AAA mediante la interfaz SWz.

3.8 Interfaz P-GW Redes Externas (SGi)

A través de la interfaz SGi se realiza la interconexión de la pasarela P-GW de la red LTE con redes externas IP. La red externa puede ser tanto una red pública (Internet) como cualquier otra red privada (intranet corporativa, red de un ISP, red interna del propio operador para la provisión, por ejemplo, de servicios IMS). La interfaz SGi es equivalente a la interfaz Gi especificada para la interconexión de la pasarela GGSN del dominio GPRS con redes externas.

La interfaz SGi soporta la interconexión tanto a redes IPv4 como IPv6. Desde la perspectiva de la red externa, la pasarela P-GW es vista como un router IP convencional. Sobre esta base, existen dos modelos básicos de interconexión de la red LTE con la red externa: acceso transparente y acceso no transparente. Ambos modelos se ilustran en la figura 3.13 y se describen a continuación.

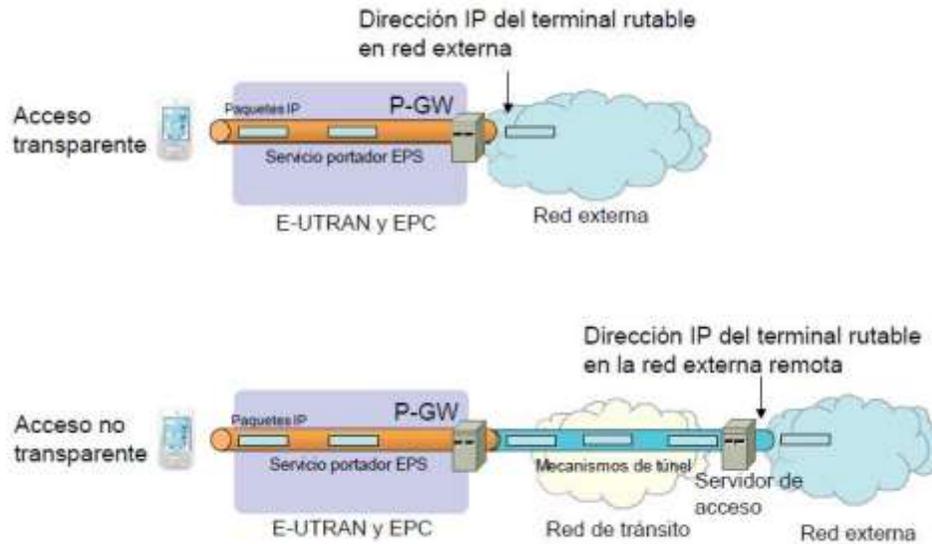


Figura 3.13 Tipos de interconexión a través de SGi

Bajo el modelo de interconexión transparente, la dirección IP asignada al terminal es válida en la propia interfaz SGi con la red externa, de forma que el terminal es “visible” en la red externa a la que proporciona acceso la pasarela P-GW a través de dicha dirección. En cambio, en el modelo no transparente, la red LTE ofrece un acceso a una red externa remota de forma que el espacio de direcciones utilizado por los terminales pertenece al espacio de direcciones de la red externa remota. La conexión entre la red LTE y la red remota admite diferentes soluciones tales como el establecimiento de un túnel IP (IPsec, GRE, etc.) entre la pasarela P-GW y el servidor de acceso remoto. En el modelo no transparente, puede ser necesario que la pasarela P-GW participe en funciones de autenticación del usuario y asignación de direcciones dinámicas pertenecientes a la red remota.

3.8.1.1 Interfaces P-GW S-GW (S5 y S8)

Las interfaces S5 y S8 proporcionan el soporte para la transferencia de paquetes de usuario entre las pasarelas S-GW y P-GW. La interfaz S5 se utiliza en situaciones donde ambas pasarelas pertenecen a la misma red mientras que la interfaz S8 es la utilizada en caso de escenarios de itinerancia (roaming) donde el

S-GW pertenezca a la red visitada (denominada Visited PLMN) y el P-GW a la red matriz (denominada Home PLMN).

Ambas interfaces S5 y S8 admiten dos implementaciones diferentes: una basada en el protocolo GTP y otra basada en el protocolo PMIPv6. La implementación basada en GTP proporciona funciones de creación, eliminación, modificación, cambio del servicio portador del plano de usuario entre S-GW y P-GW de los usuarios conectados a la red LTE. En el caso de la implementación basada en PMIPv6, no se soporta ninguna gestión de servicios portadores entre P-GW y S-GW de forma que, estrictamente el servicio portador EPS de la red LTE se extiende desde el equipo de usuario hasta el S-GW (y no hasta la pasarela P-GW, como sería el caso de utilizar GTP en la interfaz S5/S8). Ello es debido a que el protocolo PMIPv6 está concebido para ofrecer exclusivamente un servicio de movilidad entre el S-GW y el P-GW y no dispone de los mecanismos necesarios para señalar parámetros de QoS. Por tanto, las interfaces S5 y S8, en el caso de la variante basada en PMIPv6, básicamente ofrecen un servicio de conectividad entre las pasarelas implicadas de forma que todos los flujos de datos son llevados a través del mismo túnel (sin distinción de servicios portadores).

3.8.1.1 Interfaz MME S-GW (S11)

Esta interfaz permite controlar la operativa del plano de usuario en la red troncal EPC desde la entidad de red MME. Así, los procedimientos soportados en esta interfaz permiten la creación/eliminación/modificación/cambio de los servicios portadores que los terminales tienen establecidos a través de la red troncal LTE. En este sentido, dado que la entidad MME es la entidad de control que termina los protocolos NAS con los usuarios, la interfaz S11 permite establecer el nexo del plano de control con las funciones del plano de usuario de la red troncal LTE.

Las acciones a realizar sobre la interfaz S11 tienen su origen en los diferentes eventos relacionados con la señalización entre el terminal y la red troncal (registro

de un terminal en la red LTE, incorporación de un nuevo servicio portador EPS a una conexión, establecimiento de una nueva conexión con otra red externa, indicación de handover, etc.) así como en eventos originados desde la propia red troncal EPC (notificación de que existe tráfico almacenado en el S-GW pendiente de ser enviado a un terminal en modo idle, modificación de servicios portadores iniciada por la pasarela P-GW, etc.).

La interfaz S11 también da soporte al proceso de reubicación de la pasarela S-GW asociada a un terminal mediante la transferencia de contextos entre la pasarela antigua y la nueva (en el contexto se almacena toda la información relacionada con configuración del plano de usuario en el S-GW). Asimismo, durante la ejecución de un procedimiento de handover que implique una reubicación de S-GW, el nodo MME controla los mecanismos de transferencia de paquetes entre las dos posibles pasarelas involucradas.

3.8.1.2 Interfaz MME MME (S10)

La interfaz S10 se define entre dos entidades MME. Su principal función es el soporte del mecanismo de reubicación de la entidad MME. De esta forma, cuando la entidad MME que controla a un determinado equipo de usuario debe cambiarse (debido, por ejemplo, a su movilidad), a través de la interfaz S10 se realiza la transferencia del contexto de dicho usuario entre MMEs. En este caso, el contexto de un terminal en una entidad MME abarca toda la información relacionada con la gestión de los servicios portadores (configuración de las conexiones activas) y la gestión de movilidad (área de seguimiento donde se encuentra localizado el terminal), junto con otra información de seguridad (claves de cifrado), características del terminal (classmark), parámetros de suscripción del usuario obtenidos desde el HSS, etc.

3.8.1.3 Interfaz HSS MME (S6a)

Esta interfaz permite la transferencia de información entre la base de datos HSS y la entidad del plano de control MME de la red troncal EPC. A través de la interfaz S6a se da soporte a diferentes funciones:

- Mantenimiento de información de gestión de la localización. La base de datos HSS mantiene unos campos que contienen la identificación del nodo MME que controla a cada usuario registrado en la red. Esta información la actualiza el nodo MME correspondiente a través de la interfaz S6a. Esta información permite que cuando un terminal se conecta a un MME nuevo, dicho MME pueda recuperar información relativa al nodo MME que previamente dio servicio al terminal de cara a realizar la reubicación pertinente.
- Autorización de acceso a la red LTE. La base de datos HSS almacena los datos de suscripción de los usuarios que condicionan el acceso a los servicios que ofrece la red. El perfil de suscripción de un usuario se transfiere desde el HSS al nodo MME, que es la entidad encargada de ejecutar las comprobaciones pertinentes. Así, a modo de ejemplo, la entidad MME puede autorizar o no la conexión de un usuario a una red externa en función de que dicha red externa forme parte de lista de redes externas permitidas según la suscripción del usuario.
- Autenticación de los usuarios. A través de S6a, el nodo MME se descarga la información que permite llevar a cabo el procedimiento de autenticación desde el MME. Esta información se denomina vector de autenticación EPS.
- Notificación y descarga de la identidad de la pasarela P-GW que utiliza un usuario en una conexión. El almacenamiento en la base de datos HSS de información relativa a las pasarelas P-GW que dan servicio al usuario se utiliza para proporcionar soporte a los mecanismos de movilidad entre LTE y otras redes no 3GPP.

La interfaz también soporta escenarios de itinerancia donde una entidad MME de la red de un operador puede acceder a la base de datos HSS de otro operador.

3.8.1.4 Interfaces basadas en GTP-U

Todas las interfaces para el transporte de información de plano de usuario entre los diferentes elementos de la red troncal EPC se soportan a través del protocolo GTP-U, excepto la variante de la interfaz S5/S8 basada en PMIPv6. La torre de protocolos utilizada en las interfaces basadas en GTP-U y el listado de dichas interfaces se proporciona en la figura 3.14. Nótese que en la tabla ilustrada en la figura se indica el uso de GTP-U también sobre las interfaces S4 y S12 que forman parte de la solución de interworking entre EPC y el resto de redes 3GPP. Además, el protocolo GTP-U también se utiliza en el plano de usuario de las interfaces internas de E-UTRAN, S1-U y X2-U.

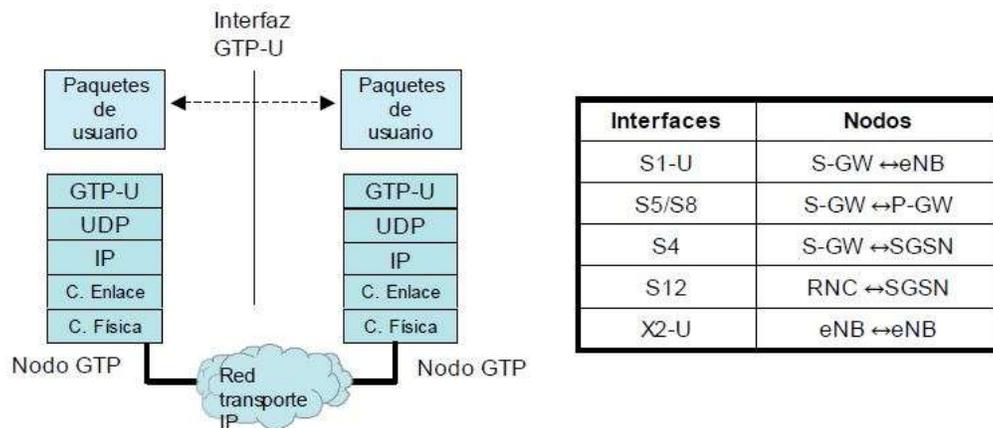


Figura 3.14 Interfaces basadas en GTP-U

El protocolo GTP-U fue desarrollado por 3GPP para dar respuesta a la implementación del servicio GPRS. En este sentido, el plano de usuario entre los nodos de red del dominio GPRS así como el plano de usuario de la interfaz lu-PS de UTRAN se soportan también sobre dicho protocolo.

GTP-U proporciona un mecanismo de encapsulado para el envío de paquetes de usuario (paquetes IP del usuario) entre nodos de una red IP. Los paquetes que corresponden a un mismo servicio portador EPS se transportan con un identificador de túnel único denominado TEID (Tunnel Endpoint Identifier). En la figura 3.15 se representa la implementación de un túnel entre las pasarelas S-GW y P-GW (interfaz S5/S8) mediante GTP-U. Tal como se observa en la figura, los paquetes IP del usuario llegan a la pasarela S-GW provenientes desde el equipo

de usuario a través de los servicios portadores radio y S1. Las direcciones IP origen y destino de los paquetes de usuario recibidos en el S-GW contienen, respectivamente, la dirección asignada al terminal móvil y la dirección del equipo de la red externa al que vaya dirigido el paquete. Nótese que estas direcciones no tienen porque pertenecer al espacio de direcciones IP utilizado en la red de transporte que une las pasarelas S-GW y P-SW, de ahí la necesidad de establecer el túnel. Así, para proceder al envío de estos paquetes IP de usuario hacia la pasarela P-GW, el nodo S-GW los encapsula mediante el protocolo GTP-U. La cabecera del protocolo GTP-U ocupa un mínimo de 6 bytes y contiene el identificador de túnel TEID, junto con otros parámetros tales como identificadores de secuencia y longitud del paquete. El paquete GTP resultante tiene como dirección IP origen la dirección de la pasarela S-GW y como dirección destino la dirección IP de la pasarela P-GW. De esta forma, el paquete GTP puede ser encaminado en la red de transporte IP que une a ambas pasarelas. Una vez el paquete GTP llega a la pasarela P-GW, ésta extrae el paquete IP del usuario y lo inyecta en la red externa.

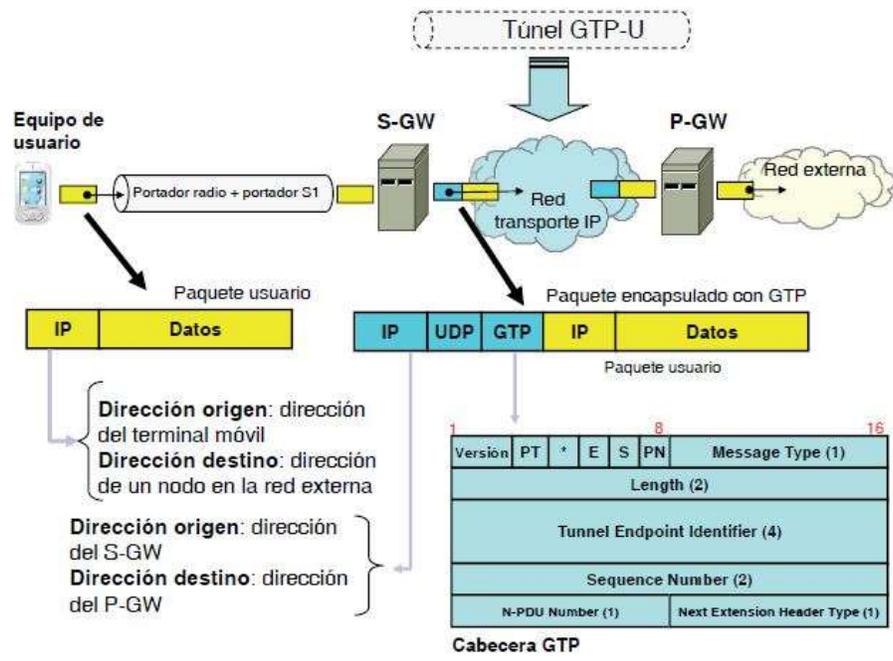


Figura 3.15 Ilustración del funcionamiento de un túnel GTP-U

El establecimiento de un túnel GTP-U consiste básicamente en la elección del identificador TEID asociado a un determinado servicio portador EPS en ambos extremos del túnel. La señalización necesaria para establecer el túnel se realiza mediante otros protocolos como GTP-C o S1-MME.

3.8.1.5 Interfaces basadas en GTP-C

El protocolo GTP-C soporta un conjunto de funciones que pueden clasificarse en torno a los siguientes aspectos:

- Gestión de sesiones. A través de los mensajes y procedimientos de señalización especificados para GTP-C, la red gestiona la creación de túneles GTP-U entre las entidades de la red por donde transcurre el plano de usuario. Dichos túneles forman parte de la propia gestión de sesiones en la red, mediante el establecimiento, mantenimiento/actualización y liberación de conexiones PDN y servicios portadores EPS.
- Gestión de movilidad. Mediante el protocolo GTP-C se llevan a cabo algunos de los procedimientos asociados con la gestión de movilidad tales como la transferencia de los contextos de información de los usuarios entre las entidades de red en casos de reubicación de las mismas.

En la figura 3.16 se ilustra la torre de protocolos de las interfaces basadas en GTP-C y la relación de las interfaces. El protocolo GTP-C se utiliza en las interfaces S3, S4, S5/S8, S10, S11 y S16. Nótese que no hay una correspondencia directa entre los interfaces que utilizan GTP-U en el plano de usuario (véase la Figura 2.16) y GTP-C en el plano de control, ya que, tal como se ha comentado, el protocolo GTP-C abarca otras funciones además de la gestión de túneles GTP-U.

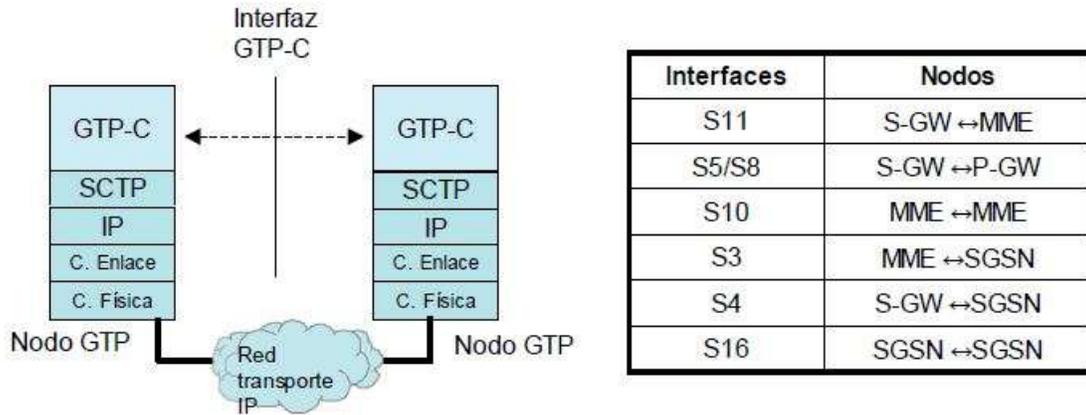


Figura 3.16 Interfaces basadas en GTP-C

La versión del protocolo GTP-C utilizada en las interfaces de LTE, denominada como GTPv2-C. En cambio, la versión del protocolo GTP utilizada en interfaces propias del sistema UMTS (interfaces entre los elementos de la red troncal GPRS).

3.8.1.6 Interfaces basadas en Diameter

El protocolo Diameter es una evolución del protocolo RADIUS²¹, inicialmente concebido para sustentar funciones de Autenticación, Autorización y Accounting (AAA). Diameter mejora las prestaciones de su antecesor RADIUS en aspectos tales como seguridad, robustez a pérdidas de mensajes, así como en su extensibilidad que permite el uso del protocolo para aplicaciones fuera del ámbito de AAA.

El protocolo Diameter se utiliza en un elevado número de interfaces del nuevo sistema LTE. En la figura 3.17 se ilustra la torre de protocolos sobre la que se sustenta Diameter junto con una tabla donde se indican todas las interfaces del sistema LTE basadas en dicho protocolo. La transferencia de los mensajes

²¹ RADIUS (acrónimo en inglés de Remote Authentication Dial-In User Service). Es un protocolo de autenticación y autorización para aplicaciones de acceso a la red o movilidad IP. Utiliza el puerto 1812 UDP para establecer sus conexiones.

Diameter entre nodos se realiza a través de un protocolo de transporte orientado a conexión como TCP o SCTP.

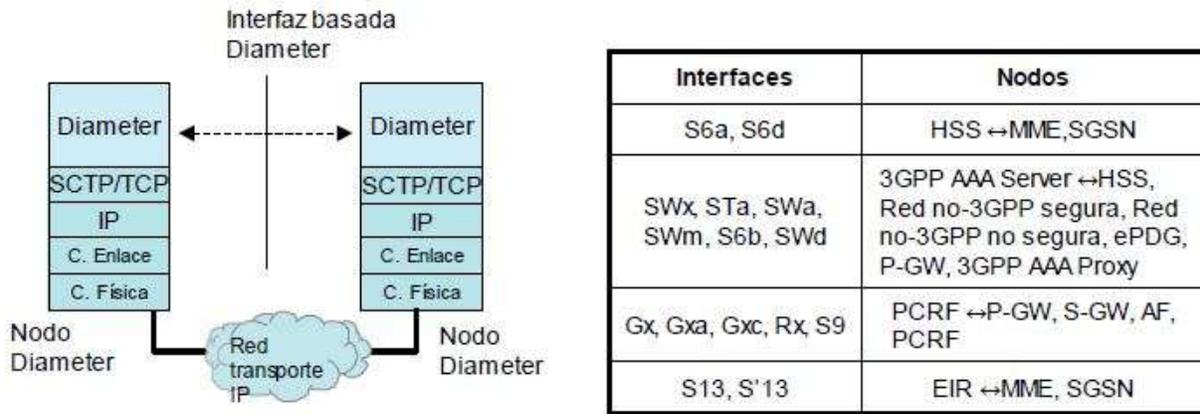


Figura 3.17 Interfaces basadas en Diameter

El protocolo Diameter se estructura en torno a una protocolo de base (Diameter base standard) y un número de extensiones denominadas aplicaciones. El protocolo de base aporta las funcionalidades comunes del protocolo: formatos de los mensajes y elementos de información genéricos (Attribute Value Pairs, AVPs), mecanismos de transferencia de mensajes, descubrimiento de capacidades de las entidades Diameter, aspectos de seguridad, etc. Las “aplicaciones” definen los mensajes adicionales y los procedimientos necesarios para adaptar el uso de Diameter al soporte de una determinada funcionalidad. Entre las aplicaciones de Diameter más relevantes estandarizadas por IETF se encuentran: Network Access Server Application (aplicación de Diameter para servicios AAA en el marco de control de acceso a redes) y Credit Control Application (aplicación de Diameter para la implementación de sistemas de tarificación on-line, como sistemas de pre-pago, además de IETF, otros organismos también pueden llevar a cabo la especificación de nuevas aplicaciones del protocolo, como es el caso de 3GPP. Estas aplicaciones de Diameter se denominan como “vendor-specific” y se les asigna un identificador de aplicación a través de IANA (Internet Assigned Numbers Authority²²). Así pues, 3GPP ha definido varias aplicaciones “vendor-specific” para

²² IANA es un órgano que depende de ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers, [http:// www.icann. org/](http://www.icann.org/)) que se encarga de la asignación y mantenimiento de identifi

la implementación de diferentes interfaces del sistema mediante extensiones del protocolo Diameter. Cada una de estas aplicaciones de Diameter se recoge en un documento de especificación técnica del 3GPP.

3.8.1.7 Interfaces basadas en PMIPv6

El protocolo PMIPv6 (Proxy MIPv6) es un protocolo para gestionar la movilidad a nivel de capa de red IP. El protocolo PMIPv6 ha sido adoptado por 3GPP para su posible utilización en la interfaz S5/S8 entre las pasarelas S-GW y P-GW, como alternativa al uso del protocolo GTP especificado por 3GPP. Al igual que la alternativa basada en GTP, PMIPv6 resuelve la movilidad de forma transparente al equipo de usuario, es decir, sin necesidad de que éste participe en la señalización pertinente. Este modelo de gestión de movilidad se conoce como gestión de movilidad “network-based”, en contraposición al modelo “host-based” establecido por el protocolo MIP donde los nodos extremos (equipos de usuarios) participan en la gestión de movilidad²³. En la figura 3.18 se ilustra el ámbito de utilización del protocolo de movilidad PMIPv6 junto con sus componentes funcionales. El protocolo define una entidad LMA (Local Mobility Anchor) que realiza funciones similares a un Home Agent (HA) en MIP. Fundamentalmente el LMA mantiene una asociación entre la dirección IP que tiene asignada el terminal (y que no pertenece al espacio de direcciones IP de la red de transporte IP que conecta el LMA y los MAGs) y la dirección IP hacia la que debe enviar los paquetes del usuario mediante un mecanismo de encapsulado. La dirección IP de envío de los paquetes es la dirección del router que alberga la funcionalidad de MAG (Mobile Access Gateway). De esta forma, en el caso de la interfaz S5/S8, todos los paquetes IP que llegan a la pasarela P-GW (LMA) desde la red externa y que contienen como dirección destino la dirección IP asignada a un terminal, son

cadros únicos y sistemas de numeración necesarios para el funcionamiento de los protocolos utilizados en Internet.

²³ “Mobile Inter-networking with IPv6: Concepts, Principles and Practices”, Rajeev S. Koodli y Charles E. Perkins, Editorial Wiley-Interscience, 2007.

encapsulados y enviados mediante un túnel PMIPv6 a la pasarela S-GW correspondiente (MAG), y viceversa.

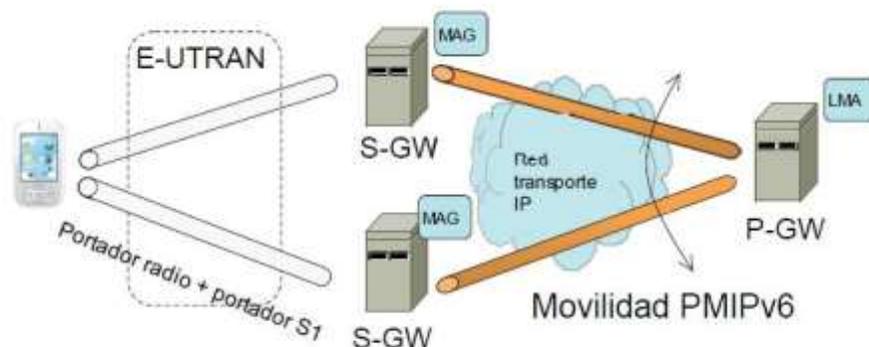


Figura 3.18 Ámbito y componentes del protocolo PMIPv6

En la figura 3.19 se ilustran los planos de control y de usuario del protocolo PMIPv6, junto con las interfaces donde puede utilizarse el protocolo. El plano de control consiste en unos mensajes de señalización especificados en el protocolo que se envían en la parte de datos de los paquetes IP intercambiados entre MAGs y LMA. A través de dichos mensajes de señalización se controlan las asociaciones de direcciones y los túneles necesarios. El plano de usuario del protocolo se basa en el establecimiento de un túnel que permite enviar de forma transparente los paquetes IP de los usuarios (con direcciones origen y destino pertenecientes al espacio de direcciones de la red externa) entre MAGs y LMA (que pueden utilizar un espacio de direcciones diferente a las de la red externa). Para ello, los paquetes IP de usuario se encapsulan dentro de la carga útil de paquetes IP mediante el protocolo GRE (Generic Routing Encapsulation). El protocolo GRE añade unas cabeceras al paquete IP de usuario que permiten asociar cada paquete con la conexión PDN a la que pertenece. En cambio, a diferencia de GTP, los túneles GRE utilizados por PMIPv6 no distinguen entre el tráfico que pertenece a diferentes servicios portadores EPS establecidos en el contexto de una misma conexión PDN (i.e., los identificadores de túnel GRE hacen referencia a una conexión PDN mientras que los identificadores de túnel GTP-U hacen referencia a un servicio portador EPS).

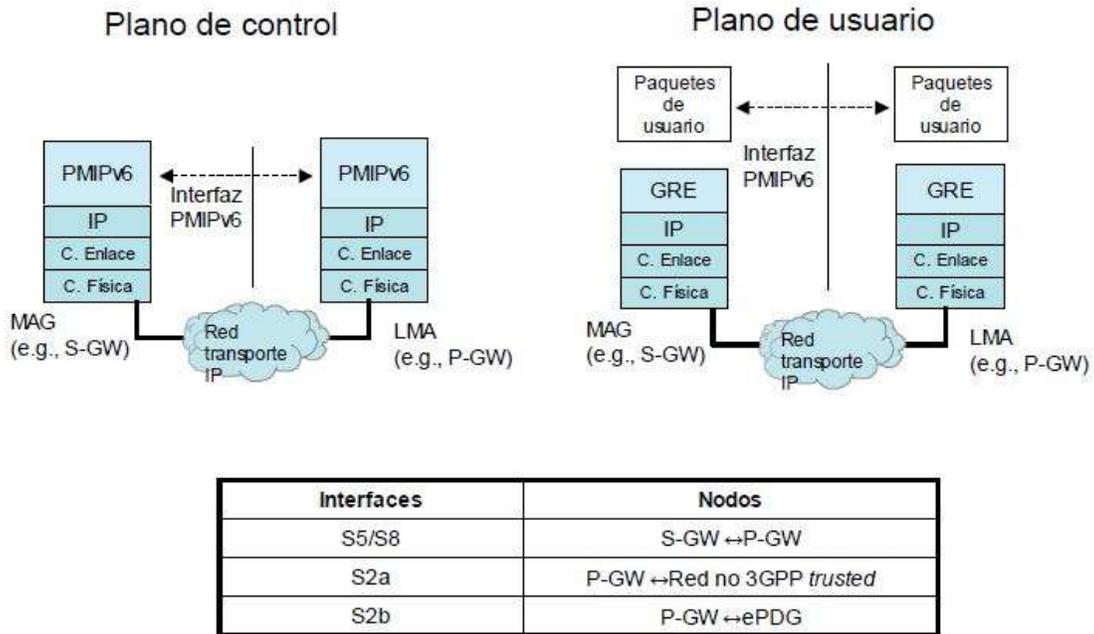


Figura 3.19 Interfaces basadas en PMIPv6

Además de la interfaz S5/S8, el protocolo PMIPv6 es uno de los protocolos especificados para el soporte de movilidad entre LTE y redes no 3GPP. En particular, las interfaces S2a y S2b están basadas en PMIPv6.

3.9 Protocolos NAS

Los protocolos NAS son los protocolos desarrollados por el 3GPP para llevar a cabo la gestión de movilidad de los equipos de usuario (EPS Mobility Management, EMM) y la gestión de las sesiones para el establecimiento de la conectividad entre el equipo de usuario y la pasarela P-GW (EPS Session Management, ESM). Los protocolos NAS se soportan entre el equipo de usuario y un nodo MME y se han desarrollado específicamente para E-UTRAN, aunque se mantienen muchas similitudes con los protocolos NAS utilizados en UMTS [20] (Session Management, SM, y GPRS Mobility Management, GMM, del dominio GPRS). En la figura 3.20 se ilustra el alcance de los protocolos NAS en la red LTE.

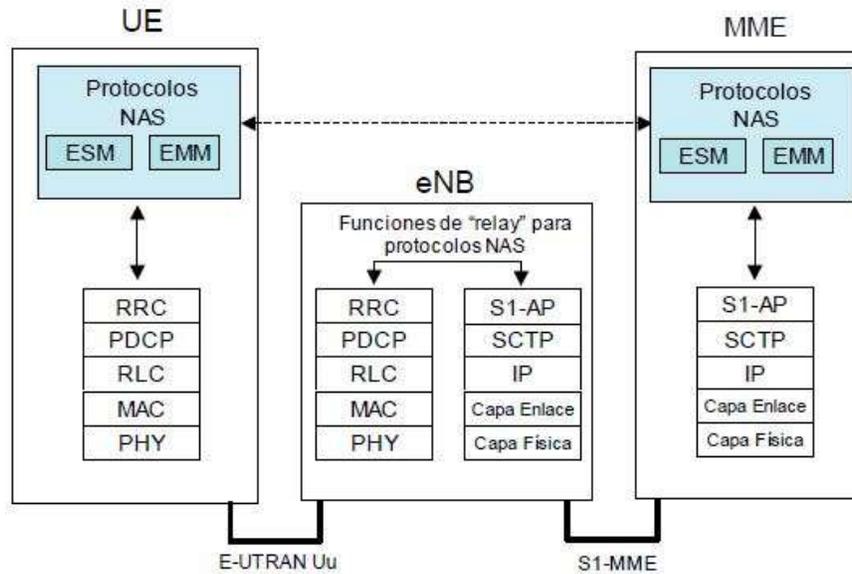


Figura 3.20 Protocolos NAS entre UE y MME

3.9.1 Protocolo NAS para la gestión de movilidad (EMM)

El protocolo EMM proporciona los procedimientos necesarios para el control de la movilidad de un equipo de usuario que utiliza E-UTRAN para el acceso a la red troncal EPC.

En particular, entre los procedimientos soportados por el protocolo EMM se encuentran los mecanismos de “registro” y “cancelación de registro” del usuario en la red LTE (procedimientos denominados como Network Attach y Detach en las especificaciones) y la actualización del área de seguimiento (procedimiento denominado como Tracking Area Update). Mediante estos procedimientos se gestiona la accesibilidad a los servicios de la red LTE de los usuarios (la realización del registro en la red LTE es necesaria para que el usuario pueda iniciar o ser contactado para proceder a la activación de un servicio).

En el caso de terminales que se encuentren en estado idle, mediante el protocolo EMM se soporta el procedimiento de aviso (paging). En particular, el mensaje de aviso es un mensaje de señalización generado por el protocolo EMM que se

distribuye a los terminales mediante las funciones disponibles en la interfaz S1-MME. El procedimiento de aviso lo utiliza la red troncal EPC para forzar el re-establecimiento de la señalización de control con un equipo de usuario que se encuentre en modo idle. Asimismo, el protocolo EMM soporta un procedimiento de petición de servicio (denominado Service Request) por parte del equipo de usuario cuyo propósito es permitir “reactivar” el plano de usuario entre el S-GW y un equipo de usuario que se encuentre en modo idle. La petición del servicio la realiza el equipo de usuario cuando tiene paquetes IP pendientes de ser transmitidos.

El protocolo EMM también contempla procedimientos que permiten a la red interrogar al equipo terminal para el envío de identificadores tales como el IMSI (International Mobile Subscriber Identity) o el IMEI (International Mobile Equipment Identity) y llevar a cabo la autenticación del usuario (procedimiento denominado como EPS Authentication and Key Agreement, AKA). En particular el procedimiento EPS AKA permite la autenticación mutua entre usuario y red LTE así como el establecimiento de una clave maestra a partir de la cual se derivan las claves de cifrado e integridad.

Finalmente, también cabe destacar que es posible llevar a cabo el envío de información diversa entre el equipo de usuario y la red troncal EPC mediante un procedimiento de transporte sobre mensajes NAS soportado por el protocolo EMM. A través de dicho procedimiento se puede soportar, por ejemplo, la transferencia de mensajes SMS a través de la red LTE. Los mensajes SMS se envían encapsulados en mensajes NAS EMM.

3.9.1.1 Protocolo NAS para la gestión de las sesiones (ESM)

El protocolo ESM sustenta los procedimientos necesarios entre el equipo de usuario y la red LTE para la gestión de los servicios portadores EPS cuando el equipo de usuario utiliza E-UTRAN.

Entre los procedimientos soportados por el protocolo ESM se encuentran los procedimientos de gestión (activación/desactivación/modificación) de los servicios portadores EPS. Estos procedimientos pueden realizarse en cualquier instante de tiempo, una vez el terminal se encuentra registrado y tiene establecido el servicio portador por defecto. En cuanto a la activación del servicio portador por defecto, una característica importante de LTE que no se contempla en UMTS y GPRS, es que su activación puede realizarse de forma conjunta con el procedimiento de registro, reduciéndose por tanto la señalización necesaria. Durante la activación del servicio portador por defecto, mediante el protocolo ESM se puede llevar a cabo la asignación de la dirección IP al equipo de usuario, aunque es importante señalar que LTE también soporta la asignación de la dirección a través de protocolos IETF en lugar de utilizar la señalización NAS.

El protocolo ESM también contempla un procedimiento que permite que un usuario solicite a la red el establecimiento de la conexión a una red externa. En respuesta a dicha petición, la red LTE puede proceder a activar el servicio portador por defecto con dicha red externa. El protocolo soporta también un mecanismo de petición de asignación de recursos (denominado como UE requested bearer resource allocation procedure). Este mecanismo permite que el equipo de usuario pueda notificar su necesidad de disponer de recursos que le permitan transferir un flujo de datos con unas determinadas características de QoS. Como respuesta a esta petición, la red LTE puede iniciar el establecimiento de un servicio portador EPS dedicado. Por tanto, este mecanismo permite disponer de una alternativa para que el terminal pueda solicitar el inicio de la activación del servicio portador, otorgando más flexibilidad para el soporte de aplicaciones cuya señalización no se controle directamente a través de plataformas de servicios.

3.10 Configuraciones de la red EPC

Las entidades de red en base a las que se describe la arquitectura de los sistemas LTE son entidades funcionales. Así, una entidad de red en 3GPP se concibe como una entidad “lógica” que cubre una funcionalidad perfectamente delimitada. Por tanto, una implementación concreta de la red LTE admite que diferentes entidades funcionales pueden residir en el mismo equipo físico.

En la figura 3.21 pág. (115) se ilustran cuatro posibles implementaciones de la red troncal EPC en base a la ubicación física de las tres principales entidades de red que la componen: MME, S-GW y P-GW. Tal como se muestra en la opción (A), una implementación posible de la red troncal EPC consiste en integrar las tres entidades funcionales en un único equipo de red. Esta opción conduce a que el número de “saltos” o puntos de procesamiento del plano de usuario en la red LTE sea únicamente de dos (eNB y equipo de la red troncal S-GW+P-GW), con la consiguiente mejora en términos de latencia. No obstante, esta configuración no permite dimensionar por separado los recursos necesarios para soportar el plano de control y el de usuario de forma que el número de equipos de red troncal necesarios debe contemplar el peor de los casos. Nótese que, como el dimensionado de los recursos del plano de control depende principalmente del número de usuarios mientras que el dimensionado del plano de usuario está asociado al volumen de tráfico, la proporción entre el número de recursos necesarios para soportar ambos planos puede abarcar un amplio rango de valores atendiendo a la relación y evolución del número de usuarios y del volumen de tráfico que genera cada usuario en la red. De la misma manera, el montante de recursos necesarios para soportar la funcionalidad de punto de anclaje del plano de usuario (i.e., S-GW) y la funcionalidad de pasarela con redes externas (i.e., P-GW) tampoco guarda una relación de proporcionalidad clara. El número de equipos de red que alberguen la funcionalidad de P-GW puede depender en gran medida del número y tipología de las redes externas a las que se debe proporcionarse servicio mientras que el número de equipos S-GW está vinculado más directamente al número de usuarios y distribución geográfica de la red de

acceso. Por tanto, implementaciones de equipos que alberguen ambas funciones, tal como sería el caso de la opción (A), limitan claramente la versatilidad y escalabilidad del sistema.

En el otro extremo, la opción (D) consiste en alojar cada entidad de red en un equipo físico diferente. Esta opción permite dimensionar más adecuadamente los recursos necesarios para cada funcionalidad: plano de control, plano de usuario y puntos de anclaje/pasarelas con redes externas. En este caso, el número de “saltos” del plano de usuario en la red es de tres (estación base, S-GW y P-GW).

Además de los dos casos extremos, la Figura 3.21 también muestra las otras dos posibilidades: la opción (B) permitiría explotar la separación de plano de control y usuario, y la opción (C) explotaría la separación de las funciones de anclaje y las funciones de interconexión a redes externas.

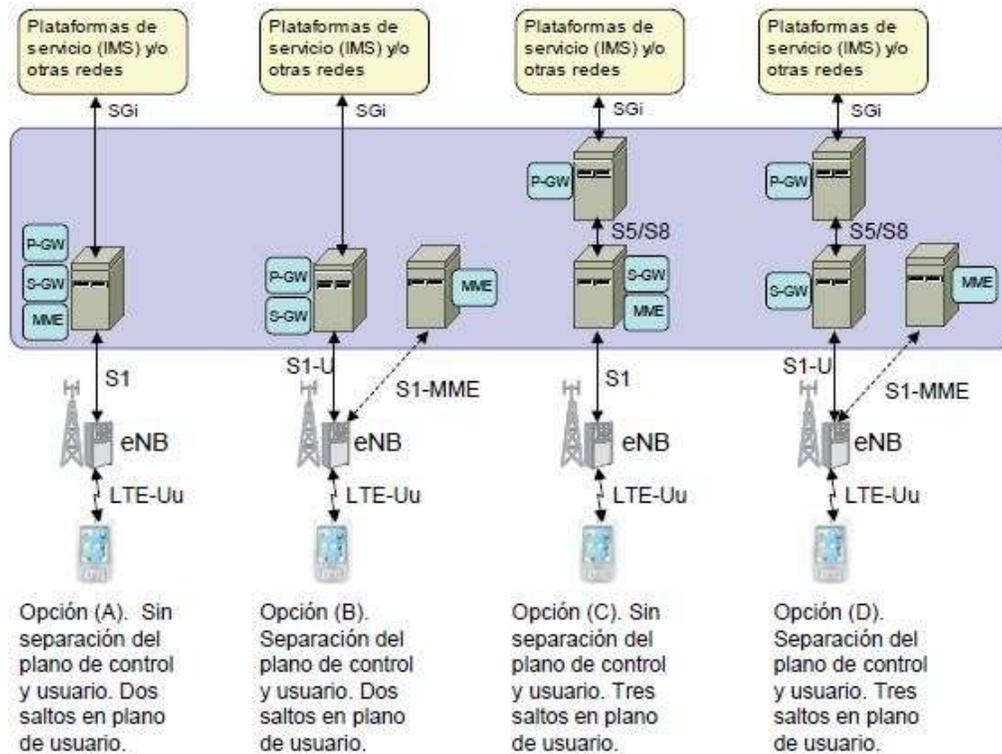


Figura 3.21 Posibles configuraciones de la red EPC

3.11 Interfaz Radio del sistema LTE

La interfaz aire permite la interconexión y el envío de tráfico y señalización entre el terminal móvil y las estaciones base denominadas evolved NodeB (eNB).

- Los objetivos marcados por el organismo de estandarización 3GPP para el diseño de la interfaz aire del LTE son:
- Altas velocidades de transmisión de pico: mayores de 100 Mb/s en el enlace descendente y 50 Mb/s en el ascendente. Para ello se utilizarán modulaciones de elevada eficiencia espectral (por ejemplo 64 QAM en el enlace descendente).
- Mejora de la eficiencia espectral entre 2 y 4 veces comparada con la eficiencia espectral del sistema UMTS versión (release) 6. En particular se espera una eficiencia espectral mayor que 5bits/s/Hz utilizando modulaciones de alta eficiencia espectral y un método de acceso basado en la técnica OFDM.

Mejora de la latencia (retardo) del sistema:

- La latencia de la red de acceso radio en el plano de usuario debe ser menor de 10 ms.
- Reducción significativa de la latencia del plano de señalización.
- Ello se consigue dotando de inteligencia al eNB, es decir ubicando en él la mayor parte de las funcionalidades relacionadas con la gestión del acceso radio,
- Ancho de banda escalable: Valores estandarizados de 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20 MHz. El sistema debe operar tanto en bandas apareadas (FDD) como en no apareadas (TDD).
- El sistema debe permitir/facilitar la interconexión con sistemas de comunicaciones móviles previos (UMTS, GPRS, etc.).

El sistema LTE debe ser eficiente en costes:

- Reducción de los costes de inversión (CAPEX) y de operación (OPEX),
- Los costes también deben ser limitados en el caso de migración desde sistemas de comunicaciones móviles previos.

3.11.1 División funcional y Pila de protocolos

La red de acceso radio del sistema LTE está compuesta básicamente por eNBs (o estaciones base) a través de los cuales se conectan los terminales móviles a la red, utilizando para ello la denominada interfaz aire del sistema.

El eNB se conecta a la red troncal a través de la interfaz S1, que en realidad está desdoblada en dos interfaces diferentes: una para conectarse con el nodo encargado de las funciones de control en la red troncal (denominado Mobility Management Entity o MME) y otro que se encarga de las funciones de transferencia de los paquetes de usuario entre el eNB y en la red troncal a través del denominado Server Gateway (S-GW). Opcionalmente, los eNBs pueden conectarse entre si mediante la denominada interfaz X2 que permite, entre otras funciones, realizar la transferencia de paquetes de usuario entre eNBs durante el proceso de transferencia de llamada (handover) para mejorar sus prestaciones.

En la figura 3.22 se resume la torre de protocolos de la interfaz aire del sistema LTE. Como es habitual en los equipos de telecomunicación, la estructura de esta torre de protocolos se articula en dos planos:

- El plano de usuario, destinado al envío de la información de usuario (paquetes IP generados por el terminal móvil o destinado a él).
- El plano de control o señalización, destinado a transportar los mensajes de control intercambiados entre la red y el terminal móvil, y que permiten un correcto funcionamiento del sistema.

Es importante destacar que el plano de usuario está interconectado al Gateway mediante los denominados Servicios Portadores S1 (S1 Bearer) y por él se transmiten los mensajes de voz, datos o de radiodifusión y de grupo (Broadcast/Multicast). Por el contrario, el plano de control está interconectado al nodo MME, en donde están ubicadas, entre otras, las funcionalidades de gestión de la sesión y la movilidad y los mecanismos de control de las llamadas.

Desde el punto de vista de la interfaz aire, el envío de paquetes de usuario (paquetes IP) mediante dicha interfaz se gestiona en base al establecimiento de los denominados servicios portadores radio (Radio Bearers). Cada servicio portador radio tiene asociado un perfil de calidad de servicio (QoS) que la torre de protocolos que caracteriza a la interfaz debe garantizar.

Los protocolos utilizados en el plano de usuario de la interfaz aire son los siguientes:

- Packet Data Convergence Protocol (PDCP) cuyas principales funciones son: compresión de las cabeceras de los paquetes IP, entrega/recepción ordenada de los paquetes IP desde/hacia las capas superiores, que están ubicadas en el Gateway.
- Radio Link Control (RLC), que permite establecer un enlace fiable a través de la interfaz aire.
- Medium Access Control (MAC) que permite un acceso ordenado de los diferentes usuarios (terminales móviles) al medio de transmisión (espectro radioeléctrico).
- Capa física, que proporciona el mecanismo físico de transmisión/recepción a través del espectro radioeléctrico.

Adicionalmente en la figura 3.22 también se muestra el denominado Broadcast Multicast Control Protocol (BMC), que es el encargado de almacenar y gestionar la transmisión de los mensajes de grupo (multicast) o radiodifusión (broadcast) hacia el terminal móvil.

Por lo que respecta al plano de control, comparte con el plano de usuario los protocolos PDCP, RLC, MAC y capa física, e incorpora un nuevo protocolo denominado Radio Resource Control (RRC) que es quien se encarga de la gestión de la conexión a nivel radio entre el terminal móvil y la red (eNB), de la configuración de los servicios portadores, y del envío de mensajes relacionados con la movilidad desde/hacia el terminal móvil.

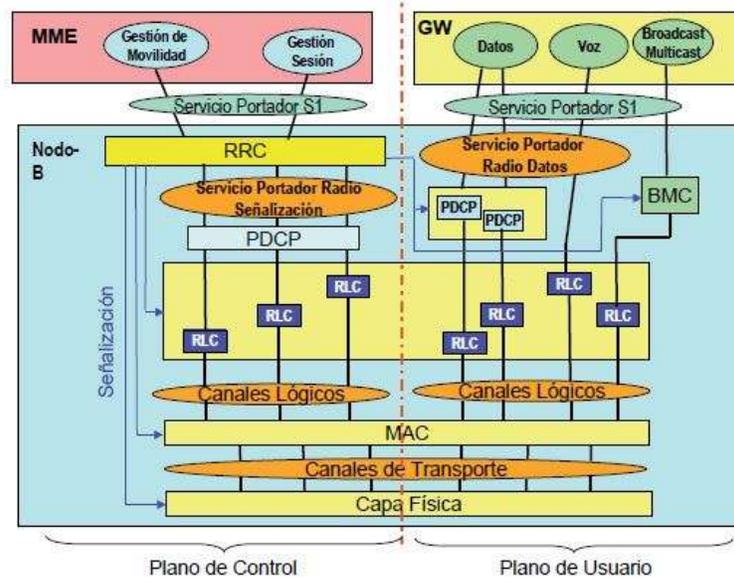


Figura 3.22 Torre de protocolos de la interfaz aire del sistema LTE

En tanto que gestionan el comportamiento y las prestaciones del enlace radio, los protocolos PDCP, RLC y MAC se denominan protocolos de capa 2 (Layer 2 protocols) o protocolos de la capa de gestión del enlace. Por su parte el protocolo RRC se entiende como un protocolo de capa 3 en tanto que gestiona funcionalidades a nivel de red. Obviamente el protocolo de la capa física es un protocolo de capa 1.

Por otra parte, la interrelación entre los diferentes protocolos se hace a partir de los denominados canales lógicos, de transporte y físicos. Los canales lógicos se establecen entre la capa RLC y la MAC y se utilizan para describir el tipo de información de usuario y/o señalización que se transmite a través de la interfaz aire. Los canales de transporte se establecen entre la capa MAC y la capa física y básicamente aportan flexibilidad a la interfaz aire, ya que permiten multiplexar diferentes canales lógicos en un canal de transporte. Además, los canales de transporte también se utilizan para describir cómo y con qué características se transmite la información a través de la interfaz aire. Finalmente los denominados canales físicos describen los mecanismos físicos de transmisión/recepción a

través del enlace radio tanto de la información de usuario como de la propia señalización del sistema.

Por convención, desde el punto de vista de transmisión, a los paquetes que se entregan a un determinado nivel de la torre de protocolos se les denominan SDU (Service Data Unit) mientras que los paquetes que una capa entrega a la capa inferior del protocolo se les denominan PDU (Protocol Data Unit). Así por ejemplo, los paquetes que entrega, a través de los canales de transporte, la capa RLC hacia la capa MAC se les denominará RLC-PDU desde el punto de vista de la capa RLC y MAC-SDU desde el punto de vista de la capa MAC. En recepción el proceso es el inverso. Es decir, a los paquetes que se entregan a capas superiores se les denomina SDU, mientras que los que se reciben de capas inferiores se les denomina PDU.

Una característica importante de los SDUs y PDUs de la interfaz aire LTE es que están alineados a nivel de octeto o byte, es decir, el número de bits que componen los paquetes SDU o PDU siempre es múltiplo de ocho. Ello se hace así para facilitar la implementación de los protocolos y el manejo de los paquetes utilizando dispositivos micro-controladores o microprocesadores.

3.12 Radio Resource Control (RRC)

El protocolo de Control de Recursos radio (Radio Resource Control o RRC) , es el encargado de controlar el comportamiento del móvil cuando éste está en el modo de operación “estado conectado”, mientras que especifica la señalización de aviso (paging) y del sistema de Información cuando el sistema todavía no tiene establecidos los servicios portadores radio (terminal en modo Idle).

El protocolo de Control de Recursos radio (Radio Resource Control o RRC), es el encargado de controlar el comportamiento del móvil cuando éste está en el modo de operación “estado conectado”, mientras que especifica la señalización de aviso

(paging) y del sistema de Información cuando el sistema todavía no tiene establecidos los servicios portadores radio (terminal en modo Idle).

Las principales funciones del protocolo RRC son:

- Radiodifusión de la información generada en el denominado Sistema de información (“Information System”) (véase anexo 5.2), que incluye la difusión de información común (destinada a todos los terminales móviles) procedente de capas superiores (NonAccess Stratum o NAS), información aplicable cuando el terminal móvil está en modo Idle (por ejemplo: parámetros para la reelección de celda, información sobre celdas vecinas, etc.).
- Control de conexión RRC, que implica a todos los procedimientos relacionados con el establecimiento, mantenimiento y cierre de una conexión RRC, incluyendo los mecanismos de aviso (paging), establecimiento de las portadoras radio de señalización (Signaling Radio Bearers o SRB) y de las portadoras radio de datos de usuario (Data Radio Bearers o DRB), establecimiento inicial de los mecanismos de seguridad, integridad y cifrado, configuración de las capas inferiores (PDCP, RLC, MAC, física), etc.
- Gestión de movilidad entre tecnologías de acceso controladas por la red, incluyendo los procedimientos de movilidad, seguridad y transferencia de la información de contexto²⁴ por parte del terminal móvil.
- Gestión de los mecanismos de configuración de medidas y de transferencia de información en el caso de movilidad tanto entre tecnologías radio, como inter e intrafrecuencia²⁵.

²⁴La información de contexto es el conjunto de datos que contiene toda la información necesaria para establecer una sesión activa por parte de un móvil. Los datos incluyen, entre otros, la dirección IP asignada al usuario, los servicios a los que tiene acceso y la calidad de servicio asignada a los mismos.

²⁵Se denomina movilidad intra-frecuencia a los procedimientos de traspaso de llamada entre celdas que utilizan las mismas subportadoras, mientras que se denomina movilidad inter-frecuencia cuando las subportadoras de las celdas implicadas en el traspaso ocupan zonas del espectro diferentes.

Para la transferencia de los mensajes RRC así como de los mensajes de las capas superiores (NAS) se utilizan las denominadas portadoras radio de señalización (SRB). Se han especificado tres clases de SRBs:

- SRB0 que se usa para transmitir mensajes RRC utilizando canales lógicos comunes de control.
- SRB1 que se usa para transmitir mensajes NAS y la mayor parte de mensajes RRC. Se utilizan canales lógicos dedicados de control.
- SRB2 que se usa para transmitir los mensajes RRC de alta prioridad. También se utilizan canales lógicos dedicados de control.

Todos los mensajes que utilizan canales lógicos dedicados de control utilizan mecanismos de protección de la integridad y cifrado de la información. También se utilizan mecanismos de retransmisión (ARQ) a nivel de capa RLC para garantizar un enlace radio fiable. Los mensajes que utilizan canales lógicos comunes de control no utilizan ninguno de los mecanismos mencionados anteriormente.

3.13 Packet Dependence Convergence Protocol (PDCP): Funcionalidades Principales

Este protocolo ubicado sobre la sub-capas RLC aplica a todos los flujos de datos transmitidos en el plano de usuario así como a la mayoría de mensajes emitidos por el Radio Resource Controller (RRC) y transmitidos a través del plano de control de la interfaz aire LTE.

El protocolo PDCP, tiene como funcionalidades más importantes:

- Compresión/descompresión de las cabeceras de los paquetes IP que llegan al eNB. El protocolo utilizado para ello es el denominado Robust Header Compresión (ROHC) definido por el IETF en su estándar RFC3095. Mediante ésta compresión el tamaño de la cabecera se reduce de los 40 octetos típicos de una cabecera UDP/TCP-IP a un tamaño medio de cabecera entre 1 y 3 octetos.

- Cifrado de los datos y la señalización, utilizando para ello una clave de 128 bits.
- Implementa mecanismos de protección de la integridad de los mensajes de señalizados generados tanto por la capa RRC como por los protocolos de la parte de Non- Access Stratum (NAS) ubicados en la entidad de gestión de la movilidad (MME).
- Funcionalidades adicionales de capa 2 tales como reordenación y/o detección de duplicidades de paquetes RLC cuando se implementan mecanismos de movilidad entre eNBs.

Es importante subrayar que los mecanismos de cifrado y protección de la integridad son obligatorios en los flujos de señalización que se transmiten a través del plano de control de la interfaz aire LTE, mientras que el cifrado es opcional en los flujos de datos transmitidos a través del plano de usuario de dicha interfaz aire. Por lo que respecta al mecanismo de compresión de cabeceras, si bien teóricamente es obligatorio en todos los casos, hay que mencionar que el protocolo ROCH soporta un modo de operación transparent uncompress mode que permite mantener la cabecera del paquete IP inalterada.

3.14 Funcionalidades relevantes de la sub-capa RLC

La subcapa RLC, es la responsable de una transmisión fiable de la información a través de la interfaz aire. En particular:

- Implementa procedimientos de segmentación/concatenación de los paquetes IP recibidos de capas superiores (también denominados RLC_SDU) para adaptar su tamaño a las capacidades de transmisión de la interfaz aire. A los paquetes creados se les denomina RLC_PDUs.
- Implementa mecanismos de retransmisión de los RLC-PDU recibidos erróneamente, así como evita duplicidades y gestiona que los paquetes SDU_RLC recibidos se entreguen ordenados a las capas superiores.

Existen tres modos de operación de la sub-capa RLC:

- Modo Transparente (Transparent Mode o TM). Este es el modo de operación más simple ya que la sub-capa RLC entrega directamente a la sub-capa MAC los RLC_SDU recibidos de las capas superiores. Es decir, no se introduce ninguna cabecera a nivel de capa RLC, ni existen mecanismos de segmentación/concatenación, ni de retransmisión. Este modo de operación es típico de los canales lógicos de radiodifusión (BCCH) o de aviso (PCCH).
- Modo de No-reconocimiento (Unacknowledged Mode o UM). Este modo de operación detecta si los paquetes SDU_RLC recibidos contienen errores, pero no implementa mecanismos de retransmisión. También realiza funciones de segmentación y re ensamblado así como gestiona la reordenación, si es necesario, de los SDU_RLC recibidos. Para ello utiliza un campo de la cabecera RLC denominado número de secuencia (Sequence Number). Este modo de operación fundamentalmente aplica a los canales de tráfico (TCH) y a canales multicast (MTCH), dependiendo del tipo de aplicación y de la calidad de servicio requerida (QoS).
- Modo de Reconocimiento (Acknowledged Mode o AM). Es el modo de operación más robusto. Además de las funciones de segmentación/re ensamblado y de ordenación de los RLC-SDU también proporciona mecanismos de retransmisión tipo ARQ para eliminar posibles errores introducidos por el canal radio. Este modo de operación típicamente aplica a los canales dedicados tanto de tráfico (DTCH), dependiendo de la calidad de servicio requerida (QoS), como de control (DCCH).

Existe un mapeo directo entre los flujos de información y/o control recibidos por la subcapa RLC y los canales lógicos definidos entre las capas RLC y MAC.

3.14.1 Canales Lógicos

Los canales lógicos se utilizan para describir el tipo de información que se transmite a través de la interfaz aire. Los canales lógicos se clasifican en canales lógicos de tráfico y canales lógicos de control.

3.14.1.1 Canales Lógicos de Tráfico

- DTCH (Dedicated Traffic Channel). Es un canal punto a punto destinado a transferir información entre la red (eNB) y un terminal móvil determinado. Puede ser utilizado para transferir información de usuario así como señalización a nivel de aplicación asociada a un flujo de datos de usuario. Este canal lógico existe tanto en el enlace descendente como ascendente.
- MTCH (Multicast Traffic Channel). Es un canal punto-multipunto utilizado para transmitir desde la red (eNB) información a un grupo de usuarios. Típicamente este canal se utiliza para implementar el servicio MBMS (Multimedia Broadcast and Multicast Service). Este canal lógico sólo existe en el enlace descendente.

3.14.1.2 Canales Lógicos de Control

- Broadcast Control Channel (BCCH). Este es un canal de control que utiliza el eNB para transmitir a los terminales móviles bajo su área de cobertura información sobre el sistema (la identificación del operador y la celda, configuración de los canales comunes de control o como acceder al sistema). Este es un canal lógico que sólo existe en el enlace descendente.
- Paging Control Channel (PCCH). Este es un canal que utiliza la red (eNB) para llamar a terminales móviles de los que se conoce cuál es su área de localización pero no la celda o eNB en la que están ubicados. Como en el caso anterior, este canal lógico sólo existe en el enlace descendente.
- Common Control Channel (CCCH). Este canal permite la comunicación entre el eNB y el terminal móvil cuando todavía no se ha establecido una conexión a nivel de RRC. Se utiliza para enviar información de control fundamentalmente en las

fases iniciales del establecimiento de la conexión. Este canal lógico existe tanto en el enlace descendente como ascendente.

- **Dedicated Control Channel (DCCH).** Es un canal punto a punto destinado a transferir información de control entre la red (eNB) y un terminal móvil determinado, una vez que se dispone de una conexión a nivel de RRC. Es importante subrayar que este canal lógico sólo contiene información de control procedente del RRC y señalización a nivel de NAS, pero no señalización a nivel de aplicación asociada a un flujo de datos de usuario. Este canal lógico existe tanto en el enlace descendente como ascendente.
- **Multicast Control Channel (MCCH)** Es un canal punto-multipunto utilizado para transmitir información de control desde la red (eNB) a un grupo de usuarios que reciben servicios MBMS. Este es un canal lógico que sólo existe en el enlace descendente.

3.14.2 Funcionalidades relevantes de la sub-capa MAC

La sub-capa MAC, proporciona el enlace entre los servicios proporcionados por la subcapa RLC y la capa física. La sub-capa MAC proporciona las siguientes funcionalidades:

- Mecanismos de corrección de errores mediante procedimientos de retransmisión (Hybrid ARQ o HARQ). Este es un mecanismo de retransmisión, distinto del situado en la capa RLC, que se aplica ahora sobre los canales de transporte. El procedimiento HARQ utiliza técnicas de retransmisión basadas en el incremento de redundancia. Esto es, inicialmente se transmite la información contenida en canal de transporte con un mínimo de redundancia capaz de corregir los errores que introduce el canal radio, si éste no está fuertemente desvanecido. Si en recepción con esta redundancia no basta para corregir los errores, en lugar de volver a retransmitir todo el paquete, como en el caso de las técnicas de retransmisión convencionales, ahora se solicita la transmisión sólo de

información de redundancia adicional, no transmitida anteriormente. Una vez recibida esta información de redundancia adicional, se añade a la ya disponible en el receptor para volver a intentar detectar correctamente la información transmitida por el canal de transporte. Si nuevamente se produce una detección errónea de la información transmitida se repite el proceso hasta que o bien se recibe correctamente dicho canal de transporte o bien se completa la transmisión de toda la información de redundancia asignada al código utilizado. Con este mecanismo de transmisión parcial de la redundancia de codificación se busca optimizar el uso del canal radio, transmitiendo la mínima información de redundancia posible para que en recepción se pueda detectar correctamente el canal de transporte transmitido.

- Gestión de prioridades entre canales lógicos de un mismo terminal móvil así como entre terminales móviles, utilizando técnicas de gestión dinámica de recursos (Dynamic Scheduling).
- Selección del formato de transmisión (tipo de modulación, tamaño del bloque de transporte, etc.) a utilizar por parte de la capa física.
- Multiplexado/demultiplexado de paquetes MAC (MAC_SDUs) pertenecientes a diferentes canales lógicos en los denominados bloques de transporte (Transport Blocks o TB) para ser entregados/recibidos a/de los canales físicos utilizando para ello los denominados canales de transporte. En el caso que existan diferentes posibilidades de mapeo entre los canales de transporte y los canales físicos, la sub-capa MAC selecciona la configuración más apropiada, tomando en consideración las posibles configuraciones definidas por el operador.
- Informar sobre la gestión de los recursos radio. De forma general, el sistema LTE gestiona los recursos de dos formas: gestión dinámica y gestión semi-estática o persistente. En el caso de gestión dinámica de recursos, utiliza el enlace descendente (eNB hacia Móvil) para enviar mensajes de asignación de recursos y el enlace ascendente (Móvil hacia eNB) para confirmar dicha asignación, subtrama a subtrama. En el caso de

asignación semi-estática el procedimiento es similar, sólo que los recursos asignados en el enlace ascendente lo son por un periodo de tiempo mayor que una subtrama. En ambos casos el móvil envía al eNB los denominados Buffer Status Reports que informan del número de bytes almacenados en las colas (buffer) del móvil todavía pendientes de transmitir. A partir de esta información el eNB puede realizar la asignación de recursos más apropiada, tanto en el enlace ascendente como descendente, en función de los requisitos de calidad de servicio asociados a cada flujo de información (ó servicio establecido).

3.14.2.1 Canales de Transporte

Los canales de transporte se utilizan para describir cómo y con qué características se transmite la información a través de la interfaz aire. Los canales de transporte se clasifican en función de que se utilicen en el enlace descendente o ascendente:

3.14.2.2 Enlace Descendente

- Broadcast Channel (BCH). Este canal de transporte está unívocamente asociado con el canal lógico BCCH. Tiene un formato fijo, y se transmite en toda el área de cobertura del eNB.
- Downlink Shared Channel (DL-SCH). Transporta tanto información de usuario como señalización. Soporta técnicas de retransmisión basadas en HARQ, y adaptación dinámica de enlace radio (dynamic link adaptation) variando modulación y códigos. Permite que le sean asignados recursos radio tanto de forma dinámica como semi-estática, así como la posibilidad de implementar mecanismos de recepción discontinua en el terminal móvil (DRX) para aumentar la eficiencia en potencia. En el caso del servicio MBMS, éste canal se puede configurar para difusión en toda la celda o bien en parte de ella utilizando técnicas de conformación de haz (beamforming).

- Paging Channel (PCH). Este canal se transmite en toda el área de cobertura de la celda. Permite llamar a los terminales móviles así como informarlos de actualizaciones realizadas en el denominado “Sistema de Información”. Permite una asignación dinámica de recursos.
- Multicast Channel (MCH). Transmitido en toda el área de cobertura de la celda. En el caso del servicio MBMS, facilita el uso de una red iso-frecuencia (Single Frequency Network) utilizando una trama temporal con prefijo cíclico largo y una gestión semiestática de los recursos radio.

3.14.2.3 Enlace Ascendente

- Uplink Shared Channel (UL-SCH): Transporta tanto información de usuario como señalización. Soporta técnicas de adaptación dinámica del enlace (modulación, codificación, potencia de transmisión.) así como mecanismos de retransmisión basados en HARQ. Permite la asignación de recursos radio tanto de forma dinámica como semiestática. Está preparado para permitir el uso de técnicas de conformación de haz (beamforming).
- Random Access Channel (RACH): Se utiliza para enviar peticiones de acceso al sistema, así como para transmitir mensajes cortos de información de control. Al ser un canal compartido por los diferentes usuarios del sistema existe riesgo de colisiones.

Conclusiones

Las tecnologías hoy en día van evolucionando de una forma muy acelerada comparado con otros tiempos. Esto se ve reflejado en la telefonía móvil la cual ha ido avanzando en gran medida en los últimos tiempos.

A lo largo de este trabajo de tesis mencionamos las diferentes tecnologías móviles 3GPP, haciendo énfasis en la tecnología LTE y sus mejoras con respecto a sus predecesoras. Además se ha realizado el estudio del mercado mundial, que junto con las proyecciones y discusiones han permitido entregar una tendencia con respecto a la incorporación de LTE.

LTE (Long Term Evolution), corresponde a la cuarta generación de tecnología de telefonía móvil y se basa completamente en el protocolo IP. Esto, según sus promotores, permite mantener una calidad de servicio de punta a punta y la adopción de esquemas de alta seguridad a partir de la amplia experiencia que ha tenido el mercado con este protocolo; y por su popularidad, es fácil de integrar y bajo en costo.

El desarrollo de la arquitectura de acceso radio 4G Mobile-IP RAN, incluye la definición de los elementos de red, sus funciones principales, sus interfaces y protocolos asociados, así como la definición de los procedimientos relacionados con los servicios de red.

El desarrollo de esta arquitectura permite establecer las siguientes conclusiones:

Es factible la integración de una arquitectura de acceso radio que proporcione los servicios asociados a una red de acceso móvil, utilizando protocolos de red genéricos y basados en IPv6, que se utilizan con una gran independencia de la tecnología de acceso radio utilizada. Estos servicios incluyen además de la transferencia de datos de usuario, desde el móvil a la red troncal, la movilidad radio (acceso al medio, registro, actualizaciones de localización, handover

horizontal y vertical), la gestión de los recursos radio (incluyendo la sincronización de red y usuario), la gestión de la calidad de servicio en el acceso, el descubrimiento de servicios de red, y la seguridad de usuario y de red.

La tecnología 4G evoluciona de la tecnología de tercera generación y como lo hizo ya esta tecnología masificándose rápidamente, no hay duda alguna de que la tecnología 4G llegara para revolucionar los mercados de telefonía móvil ya que la gente de hoy es cada vez más exigente en sus requerimientos tecnológicos.

La banda ancha móvil juega un papel cada vez más importante en la sociedad y la vida diaria. No sólo ha cambiado la forma de comunicarnos y entretenernos; también nos ha permitido realizar cualquier tipo de tareas sin importar nuestra ubicación. Tiene el poder de reducir la brecha digital y mejorar la calidad de vida de las personas. Las tecnologías de banda ancha móvil están siendo utilizadas cada vez más, gracias a la facilidad de conectarnos a la red, ya sea a través de un teléfono inteligente, una tableta, un computador o cualquier otro dispositivo conectado. Sin embargo, los usuarios están demandando más servicios y aplicaciones, mayores velocidades y menor latencia, razón por la cual los operadores en todo el mundo están evolucionando sus redes de banda ancha móvil a LTE, con múltiples enfoques de negocio e independiente del tipo de tecnología que tienen actualmente. De esta manera LTE se ha convertido en la tecnología global de banda ancha móvil por excelencia, gracias a su capacidad, flexibilidad, simplicidad y alto desempeño. Con esta evolución constante continuamos conectando millones de personas en todo el mundo a través de las redes de banda ancha.

¿La banda del espectro en la cual trabaja LTE en los diferentes países del mundo y específicamente en Latinoamérica será un problema para la universalización de equipos terminales?

En realidad la evolución tecnológica ha probado ser muy efectiva, hasta el punto de lograr que un solo terminal soporte varias bandas. Un fabricante de teléfonos

(el cual no es imposible nombrar pero que dispone del terminal actual más vendido actualmente), tiene entre su gama un modelo con múltiples sub-modelos.

Cada submodelo es diferente en términos de soporte de bandas.

Pero hay uno en particular que soporta todas las bandas de GSM+HSPA+LTE y se conoce en GSM arena como la versión internacional el cual no soporta 700 Mhz de USA.

Por otra parte un submodelo de este mismo soporta la banda de USA en LTE pero no soporta las bandas internacionales como mencionamos anteriormente.

¿Qué nos dice esto? Los fabricantes basan sus líneas de producción en base a competencia de mercados y precios, razón por la cual presentan tantos sub-modelos, pero ya está demostrado que pueden producir un solo modelo que soporte lo que sea este disponible en bandas y en conclusión eso nos permite tener confianza en que los terminales pueden ser universales sin problemas.

Lo que está en el camino de esta universalidad es la competencia de precios.

En Latinoamérica seguirán avanzando las bandas de 850, 900, 1800, 1900 y AWS¹ y posiblemente 2100 y 2600 con interés en algunos casos de la banda de 700 MHz. Entonces Latinoamérica podría ser un mercado muy universal.

En nuestro país, México, aún no está licitado el espectro radioeléctrico para la red 4G, a comparación de sus antecesoras, la evolución que ha tenido hoy en día es demasiado grande, la primera generación fue principalmente voz, y conforme fue avanzando la tecnología llegó a la segunda generación que principalmente su mejora es la transmisión voz y mensajes cortos, llegando alcanzar una velocidad de 9.6 kbps. En esta misma generación nacen lo que es la generación 2.5 y 2.75

¹ **AWS**, también conocida como UMTS banda IV o UMTS 1700 (pero no UMTS 1700/2100), es una red inalámbrica de telecomunicaciones banda de frecuencias utilizadas para los servicios móviles de voz y servicios de datos, video y mensajería. AWS

que consiste en mejorar la tasa de datos con una velocidad máxima de 384 kbps (teóricamente).

La tercera generación su objetivo principal es mejorar el envío de datos por medio de la conmutación de paquetes quedando la voz en la conmutación de circuitos, su antecesora tuvo problemas con dichos servicios.

El objetivo de la tercera generación es alcanzar velocidades hasta de 14 Mbps de bajada y 5 Mbps de subida, sus principales servicios son

- Mensajes Multimedia,
- Video, GPS,
- Video llamadas,
- Juegos.

Las diferentes empresas que prestan los servicios de telefonía hoy en día en México, **en cuestión**, la calidad de los servicios no son tan excelentes como imaginamos, los servicios propuestos no son los que requiere la sociedad, se presentan aun algunos problemas con dichos servicios (voz y datos).

4G hoy en día está funcionando solo en las zonas de mayor plusvalía en México y en la tecnología en la cual hoy nos encontramos es la de 2.75g con una velocidad máxima de datos 1.4 Mbps.

A grandes rasgos hablamos de una evolución en la telefonía celular desde la primera generación hasta la cuarta generación, explicando los estándares que fueron pioneros en la evolución de la telefonía celular tales como 3GPP y 3GPP2.

Nos referimos en tecnologías tales como GSM, GPRS, EDGE, UMTS, su evolución al paso del tiempo así mismo la evolución de sus arquitecturas de red, servicios y aplicaciones que nos han producido altas velocidades de datos tanto en subida y descarga. No olvidemos la importancia de la UIT para dar lineamiento

de las normas y los protocolos establecidos que nos han ayudado a esta gran evolución y migración en el avance y la rapidez de la tecnología celular.

Bibliografía

- 1.** Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Layer 1; General requirements ETSI TS 100 936 V7.0.0 (1999-08)
- 2.** European digital cellular telecommunications system (Phase 2); General description of a Public Land Mobile Network (PLMN) (GSM 01.02) ETSI European Telecommunications Standard Institute, Octubre 1993
- 3.** GPRS: la nueva generación de telefonía móvil Rafael Aguado Rodania Solutions; Havet Interactive S.A. www.havet.es; www.havetmobile.com
- 4.** GSM World GSM Technology GSM Association 2008 www.gsmworld.com
- 5.** <http://www.monografias.com/trabajos75/tecnologias-gsm-cdma-tdma-gprs/tecnologias-gsm-cdma-tdma-gprs2.shtml#canalderaa>
- 6.** LTE: NUEVAS TENDENCIAS EN COMUNICACIONES MÓVILES Ramón Agusti, Francisco Bernardo, Fernando Casadevall, Ramon Ferrús, Jordi Pérez-Romero, Oriol Sallent, Fundación Vodafone España
- 7.** LTE 10A Air Interface STUDENT BOOK LZT 123 8959 R1A ERICSSON
- 8.** Redes de computadoras Cuarta edición Andrew S. Tanenbaum Pearson Prentice Hall
- 9.** Sistemas inalámbricos de comunicación personal David Muñoz Rodríguez Alfaomega IPN
- 10.** Sistemas Móviles GSM, CDMA, TDMA, Universidad Nueva Esparta www.une.edu.ve/~iramirez/te1/sistemas_moviles.htm Octubre 2003
- 11.** WCDMA FOR UMTS – HSPA EVOLUTION AND LTE Fourth Edition Edited by Harri Holma and Antti Toskala Both of Nokia, Finland John Wiley & Sons Ltd

12.WCDMA (UMTS) DEPLOYMENT HANDBOOK Planning and Optimization
Aspects All of QUALCOMM Incorporated California, USA John Wiley &
Sons Australia Ltd