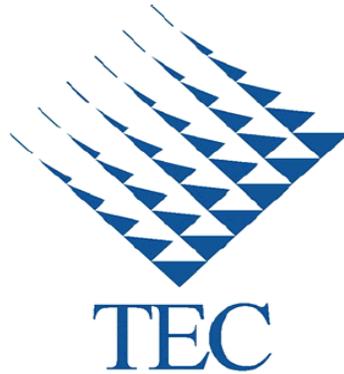


Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electrónica



Investigación de la Implementación de Tecnología 4G en Costa Rica
usando las Plataformas Existentes

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de
Ingeniería Electrónica con el grado académico de Licenciatura

Ronald Esteban Meléndez Suárez

Cartago, Junio 2010

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. Julio Stradi Granados
Profesor lector



Ing. Néstor Hernández Hostaller
Profesor lector



Ing. Anibal Coto Cortés
Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, 21 de Junio del 2010

Declaratoria de Autenticidad

Declaro que el presente documento ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo realizado y por el contenido del correspondiente anteproyecto.

Cartago, 24 de Junio de 2010.

A handwritten signature in blue ink, reading "Ronald E. Meléndez Suárez", is written over a horizontal line.

Firma del autor
Ronald Esteban Meléndez Suárez
Cédula: 1-1262-0382

Resumen

El presente documento es una investigación con el fin de determinar la factibilidad de implementar tecnología de cuarta generación en Costa Rica usando las plataformas de los sistemas de radiocomunicación celular existentes a la fecha.

Es por esta razón que se investigaron las características de la tecnología 4G para después encontrar las formas de interoperabilidad con las redes de segunda y tercera generación. Para esto se analizaron tanto los protocolos, servicios e infraestructura.

Al final se dan algunas recomendaciones para implementar tecnología de cuarta generación en el país y algunos servicios que se pueden llegar a ofrecer por parte de algún proveedor de servicios interesado en implementar la tecnología de cuarta generación en Costa Rica.

Palabras clave: equipo de usuario, eNodoB, núcleo de red, 2G, 3G, 4G, protocolos, ralentí, roaming.

Summary

The present document is an investigation with the objective of determining the feasibility of implementing fourth generation technology in Costa Rica using the radio communications systems existing to date.

For this reason, the features of the 4G technology were researched to later on find the interoperability methods with the networks of the second and third generation. It's for this reason that protocols, services and infrastructure was under analysis.

At the end some recommendations to implement technology of fourth generation in the country are given, and some services which may be offered by a service provider interested in implementing fourth generation technology in Costa Rica.

Key words: user equipment, eNodeB, network core, 2G, 3G, 4G, protocols, idle, roaming.

Dedicatoria

A Dios, mis papás, hermanos, familia y amigos.

Agradecimiento

Agradezco a Dios primero que nada por la oportunidad de afrontar este reto y por esa constante fortaleza y guía para llegar hasta aquí. A mis papás por todo el esfuerzo, amor y comprensión para lograr alcanzar el objetivo después de todos estos años. A mis hermanos por su cariño en todo momento. A mis amigos por su entendimiento de mis constantes ausencias. A mis compañeros por todo el apoyo a través de toda la carrera. A Alex por ser ese apoyo constante en todo momento, paciencia y vocación para poder haber llegado hasta este punto. Al Ing. Julio Stradi por la comprensión y oportunidad de realizar mi proyecto le estoy completamente agradecido con esta oportunidad. A Marcelo Salas por todo ese conocimiento compartido, esa constante ayuda en la empresa y guía. Al Ing. Aníbal Coto por esa guía constante a través de todo el proyecto y todas las recomendaciones brindadas para hacer de este proyecto una realidad. También a la Ing. Rosa Zúñiga Quesada por todas las observaciones.

INDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	14
Capítulo 2: Objetivos	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos	15
Capítulo 3: Aspectos Tecnológicos	16
Historia	16
Releases	18
¿Qué es LTE?	25
Espectro	26
Tasas de Rendimiento en LTE	29
Tecnología OFDMA y Programación o Scheduling	31
Armonización TDD	34
4G, IMT-Avanzado y LTE-Avanzado	35
Antenas	38
Evolución del Núcleo de Red	40
Capítulo 4: Arquitectura y Protocolos	42
4.1 Arquitectura	42
Evolución de la Arquitectura del Sistema / Núcleo de Paquetes Evolucionado	42
Interoperabilidad de redes LTE con 2G-3G	44
Importancia del soporte de Red en Servicios de datos Transparentes	46
Servicio de Voz en LTE	46
Cobertura de Voz Transparente Utilizando LTE para Datos	47
Cobertura de Voz Transparente para LTE VoIP	48
Cobertura de Voz Transparente cuando se utilice CS sobre PS	49
Arquitectura de Radio	51
Modelo WINNER	52
4.2 Protocolos	54
Flujo de Datos en LTE	54
Terminología Bearer EPS	55
Signalling Radio Bearers (SRB)	57

Canales y Modelo del Canal.....	59
Canales Lógicos	59
Canales de Transporte	61
Información de Control	62
Canales Físicos	63
Señales Físicas.....	64
Flujo de Información en el Uplink	65
Flujo de Información en el Downlink	65
Flujo de Control en el Downlink	66
Pila de Protocolos para señalización RRC	68
Secuencia de Mensajes NAS	68
Pila de Protocolos para la señalización NAS.....	70
Pila de protocolos del Plano de Usuario	70
Información del Sistema.....	71
Programación del dominio del tiempo de la Información del Sistema	72
Validez y Notificación de Cambio	73
Control de Conexión con LTE	75
Seguridad de Gestión de Claves	75
Establecimiento y Entrega de Conexión.....	77
Secuencia de Establecimiento de Mensajes.....	78
Establecimiento DRB	81
Control de Movilidad en RRC_Ralentí y RRC_Conectado	82
Movilidad en modo Ralentí	83
Movilidad en Modo Conectado	84
Capítulo 5: Redes de Optimización Propia (SON).....	86
Redes de Optimización Propia (SON).....	86
Aprovisionando SIM y Acción sobre el aire.	88
Tunelización SMS sobre la interfase SGS.....	89
SMS COMO UN SERVICIO SIP	89
Capítulo 6: Sub Sistemas Multimedia IP (IMS).....	90
Capítulo 7: Servicios	94
Experiencia de Siempre Encendido.....	95
Escogencia de Niveles de Servicios	96
Políticas en la Red	96

Servicios nuevos y Enriquecidos.....	97
Expectativas y Consideraciones del Operador	97
Consideraciones del Dispositivo	98
Dispositivos Multi-modo.....	98
Dispositivos Multi-Banda.....	98
IPV4 y IPV6.....	100
Capacidades Críticas del Dispositivo	100
Requisitos de Regulación	101
Intercepción Lícita de Voz	101
Servicio TTY-TDD	103
Servicios de Emergencia	103
Evolución del Servicio	104
Innovación del Dispositivo.....	106
Servicios Broadcast y Multicast	107
Tecnología VOLGA.....	108
Alto Rendimiento de Datos y Baja Latencia	109
Transparencia y Paridad de Servicios.....	111
Capítulo 8: Migración.....	113
Migración Eficiente.....	113
Arquitectura EPS.....	113
Soporte para acceso de redes no-3GPP	120
Consideraciones del Espectro.....	125
Compartir Antenas y Reutilización del Equipo de Acceso.....	126
Técnicas para Compartir Antenas	127
Multi-Banda	127
Co-Banda.....	127
Consideraciones del Rendimiento de Compartir Antenas	128
Núcleo de Red y Reutilización de la Oficina de Respaldo	128
Interoperabilidad en el Núcleo de Red	129
Señalización del modo Ralentí	130
Conclusiones del Servicio de Datos Transparente.....	132
La Solución CS-Fallback para Datos LTE con voz 2G-3G.....	133
Soluciones Basadas en IMS para voz sobre LTE	134
Entrega SRVCC para Continuidad.....	135

Servicios de Voz – Interacciones, Equivalencia, Transparencia, Paridad e Interoperabilidad	135
Capítulo 9: Conclusiones y recomendaciones para el país	138
Recomendaciones para el país.....	138
Conclusiones	143
Bibliografía	144
Apéndice 1: Acrónimos.....	148

INDICE FIGURAS

Figura 1	Evolución de Tecnologías 3GPP y no 3GPP.	24
Figura 2	Eficiencia Espectral como función del ancho de banda del Canal de Radio	29
Figura 3	Símbolo OFDM con Prefijo Cíclico	32
Figura 4	Asignación de Recursos en el Tiempo y la Frecuencia de LTE OFDMA	33
Figura 5	Scheduling en el Dominio de la Frecuencia en LTE	34
Figura 6	Co-existencia de tramas TDD entre TD-SCDMA y LTE TDD	35
Figura 7	Anchos de Banda soportados en LTE-Advanced	37
Figura 8	Efecto de Agregar Portadoras en las Capas de Protocolos.....	38
Figura 9	Retransmisión en LTE-Advanced	39
Figura 10	Arquitectura Multi Acceso del Evolved Packet Core	43
Figura 11	CS-Fallback en la Arquitectura EPS	48
Figura 12	Transferencia de llamada entre redes LTE y redes 2G-3G.....	49
Figura 13	Arquitectura de Radio.....	51
Figura 14	Relación de Canales de Comunicación con la Arquitectura.....	54
Figura 15	Canales y señalización entre el Equipo de Usuario y eNodeB	59
Figura 16	Flujo de Información en el Uplink	65
Figura 17	Flujo de Información en el Downlink.....	66
Figura 18	Flujo de Información en el Downlink.....	67
Figura 19	Flujo de Control en el Downlink.....	67
Figura 20	Pila de Protocolos para Señalización RRC.....	68
Figura 21	Pila de Protocolos para Señalización RRC.....	69
Figura 22	Pila de Protocolos para Señalización NAS.....	70
Figura 23	Pila de Protocolos de los diferentes Equipos en una red LTE	70
Figura 24	Ejemplo de la Configuración para la Programación del Sistema	72
Figura 25	Ejemplo de la Información de Programación del Sistema	73
Figura 26	Períodos de Modificación de la Información del Sistema.....	74
Figura 27	Jerarquía de Claves	77
Figura 28	Posibles combinaciones de los Estados NAS y AS.....	78
Figura 29	Establecimiento de la Conexión RRC.	79
Figura 30	Parámetros de Información del Sistema para diferentes Tecnologías	84
Figura 31	Arquitectura del IP Multimedia Subsystem	91
Figura 32	Introducción de Políticas en las redes LTE	97
Figura 33	Bandas de Radio LTE	99
Figura 34	Broadcasting Eficiente utilizando OFDM	108
Figura 36	Configuración de ejemplo para soportar EPS de acceso 3GPP incluyendo UMTS-HSPA.....	115
Figura 37	Ejemplo de arquitectura para interoperación con Gn/Gp SGSN	115
Figura 38	Vista de la Arquitectura EPS detallada.....	116
Figura 39	Movimiento de un Equipo de Usuario en Diferentes Zonas de Cobertura.....	131
Figura 40	Estaciones base que utilizan RRE.....	141

INDICE TABLAS

Tabla 1	Resumen de las Generaciones de Tecnologías Celulares	17
Tabla 2	Características de Tecnologías 3GPP	21
Tabla 3	Bandas FDD para tecnologías 3GPP	27
Tabla 4	Bandas TDD para tecnologías 3GPP	28
Tabla 5	Tasas de Rendimiento Pico en LTE	30
Tabla 6	Requisitos de Eficiencia Espectral por Celda	36
Tabla 7	Requisitos para Capacidad de Voz	36
Tabla 8	Requisitos de IMT-Advanced y Capacidades de LTE-Advanced	39
Tabla 9	Escenarios de Propagación WINNER	53
Tabla 10	Características de los Bearers GBR y no-GBR	56
Tabla 11	Tipos de Signalling Radio Bearers	58
Tabla 12	Canales y Lógicos en LTE	60
Tabla 13	Canales de Transporte en el Uplink y Downlink	61
Tabla 14.	Canales Información de Control en el Uplink y Downlink	62
Tabla 15	Canales Físicos en el Uplink y el Downlink	63
Tabla 16	Señales Físicas en el Uplink y el Downlink	64
Tabla 17	Interfaces y protocolos para tecnologías 3GPP	123
Tabla 18	Interfaces y protocolos para tecnologías no-3GPP	124

Capítulo 1: Introducción

Este proyecto tiene como meta permitir conocer la factibilidad técnica de implementar tecnología celular 4G en Costa Rica de tal forma que sea compatibles con las plataformas de redes existentes de 3G y 2G. Para esto se investigó mediante diversas fuentes de información, tales como white papers, libros, revistas y foros especializados en la materia basándose principalmente en organizaciones que definen los estándares para los creadores de productos de dichas tecnologías y que cumplan con los requisitos de la ITU (del inglés International Telecommunication Union). A través de la investigación se encontró con un grupo de estandarización llamado 3GPP (del inglés 3rd Group Partnership Project) el cual se encarga de publicar los Releases de las diferentes tecnologías. Los Releases son informes técnicos que especifican el nivel de desarrollo de los componentes de alguna tecnología celular específica. Con base a estos Releases se definen los estándares para cumplir con los requisitos que impone la ITU para clasificar una tecnología perteneciente a cada tecnología. Por medio de estos Releases fue posible encontrar las diferentes formas que existen para que la tecnología LTE sea compatible con 2G y 3G. Esto en cuanto a servicios, protocolos y plataformas comprobando que con la tecnología existente en el país es posible implementar tecnología 4G y se dan finalmente algunas recomendaciones de cómo hacer esta transición.

Capítulo 2: Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una investigación en la cual se analizan las tecnologías de punta en el área de las telecomunicaciones, específicamente de las redes 2G, 3G y 4G, para así analizar la factibilidad de interconexión entre estas en cuanto a capacidades, servicios y protocolos respecta.

Objetivos Específicos

- 1) Determinar el estado del arte de tecnologías 2G y 3G que incluya capacidades, servicios, protocolos y tendencias de estas.
- 2) Determinar el estado del arte de tecnologías 4G que incluya las capacidades, servicios, protocolos, tendencias, aporte y nivel de desarrollo al que se ha llegado.
- 3) Determinar la factibilidad de comunicación entre las redes 2G,3G y 4G en lo que infraestructura respecta.
- 4) Determinar la factibilidad de comunicación entre las redes 2G, 3G y 4G en lo que protocolos respecta.
- 5) Determinar la factibilidad de comunicación entre las redes 2G, 3G y 4G en lo que servicios respecta.
- 6) Determinar a nivel de redes 2G, 3G y 4G la forma integral de operación entre todas las tecnologías.

Capítulo 3: Aspectos Tecnológicos

En el presente capítulo se hace una reseña de las características principales que componen el sistema LTE y las características que lo diferencian de sus tecnologías predecesoras. Además se explican los canales de radio que se utilizan en las tecnologías celulares y a través de cuales tecnologías es que el sistema es que LTE puede alcanzar tasas de datos tan altas.

Historia

Los sistemas de radiocomunicación celular datan desde la década de los años ochentas. Es a partir de este decenio que se comienza a clasificar las diferentes tecnologías en generaciones según sus capacidades. Pero es importante decir que existe a nivel de industria dificultades para diferenciar cuales tecnologías pertenecen a generaciones específicas.

La tecnología de primera generación conocida como 1G se refiere a las tecnologías de teléfonos móviles que implementan circuitos analógicos para su funcionamiento. El lanzamiento de dicho sistema ocurrió en la década de los ochenta y fue implementado inicialmente en países Nórdicos y luego al resto de Europa utilizaron el estándar NMT (Nordic Mobile Telephone). En el Reino Unido se utilizó el sistema Total Access Communications System (TACS), en Francia Radiocom 2000, TZ-801, TZ-802, TZ-803 en Japón y AMPS en Estados Unidos entre otros. Es importante aclarar que se implementó tecnología digital para conectar las radio bases con el resto del sistema telefónico.

A finales de la década de los ochenta, el lanzamiento de las tecnologías de segunda generación 2G, que significan el comienzo de los sistemas digitales en telefonía, implica el ofrecimiento de servicios tales como Servicios de Mensajes Cortos (SMS del inglés Short Message Service) y tasas de transmisión de datos bajas. Los mayores exponentes de la tecnología 2G son GSM y CDMA2000 1xRTT que también se considera tecnología de tercera generación debido a que cumple con los requisitos de rendimiento. Las tecnologías 2G fueron lanzadas comercialmente en la década de los noventas.

La tercera generación de telefonía móvil 3G fue especificada por la Unión de Telecomunicaciones Internacional (ITU del inglés International Telecommunication Union) como parte del proyecto International Mobile Telephone 2000 (IMT-2000), donde las redes digitales debían proveer al usuario 144kbps de rendimiento en velocidades móviles, 384 Kbps en velocidades peatonales y 2 Mbps en interiores.[6] También la tecnología WiMax se ha definido como perteneciente a la tecnología 3G según la ITU en sus estándares IMT-2000.

La tecnología de cuarta generación 4G oficialmente fue definida según los requerimientos establecidos por la ITU en lo que se denomina International Mobile Telecommunications Advanced (IMT-Advanced). El ITU recomienda canales de radio de hasta 100 MHz y eficiencia espectral pico de 15 bps/Hz, resultando en un rendimiento teórico de 1.5Gbps. [7] En el caso de las tecnologías WiMax y Acceso de Paquetes de Alta Velocidad (HSPA del inglés High Speed Packet Access) no califican como de cuarta generación. En la Figura 1 se muestra un resumen de las generaciones de las tecnologías mencionadas anteriormente.

Tabla 1 Resumen de las Generaciones de Tecnologías Celulares [1]

Generación	Nombre comercial	Comentario
1G	AMPS	Desarrollo norteamericano
	ETACS	Desarrollo europeo
Se considera una transición importante entre la primera y segunda generación debido a que las transmisiones pasan de ser análogas a digitales.		
2G	TDMA	Corresponden a las normas IS-54 e IS-136). Es la evolución de la tecnología AMPS, se conoce también como D-AMPS (Digital-AMPS).
	CDMA One	Corresponde a la norma IS-95, es un desarrollo norteamericano que compitió con TDMA.
	GSM	Desarrollo europeo que luego se expandió globalmente, es el primer intento por unificar las comunicaciones móviles a una escala mundial, de hecho hasta Estados Unidos lo ha utilizado, aún después de haber implementado sistemas CDMA One. Dicho sistema funciona en diversas bandas de frecuencias.

	GPRS	Es la evolución del GSM básico que incorpora la transferencia de datos con conmutación de paquetes, es decir, se integran servicios IP, tal como internet móvil celular. Es considerado como generación 2.5G
	EDGE	Es la evolución del GPRS pero éste mejora las tasas de transferencias de datos, tiene mayor ancho de banda comparada con las versiones GPRS y GSM básico. Es considerado como generación 2.75G
3G	CDMA 2000	Es la mejora del CDMA One, es un desarrollo de la 3GPP.
	EV-DO	Pertenece a la familia CDMA 2000, sin embargo, por la mejoras realizadas se considera como la evolución del CDMA-2000
	UMTS/WCDMA	UMTS es una tecnología que se desarrolló con diferentes interfaces de radio. La interfaz de radio que ha tenido mayor despliegue se conoce como UMTS-FDD, o UTRA-FDD y se denomina también como WCDMA. Este sistema es un desarrollo japonés de la empresa NTT DoCoMo. Luego, la ITU aprobó el estándar y lo adoptó como norma internacional, haciéndolo formar parte de la familia IMT-2000. En sentido estricto UMTS/WCDMA es la evolución para 3G del GSM.
	HSPA (HSDPA y HSUPA)	Es la optimización de UMTS/WCDMA que mejora la capacidad de transferencia de datos. El HSDPA aumenta la capacidad del enlace de bajada mientras que el HSUPA aumenta la capacidad del enlace de subida. Es considerado como generación 3.5G
4G	LTE	Es una tecnología basada completamente en el protocolo IP, desarrollada por la 3GPP y que utiliza una interfaz de radio basada en la tecnología de acceso OFDMA.

Releases

En el año de 1998 el grupo 3GPP fue creado en colaboración entre asociaciones de telecomunicaciones de distintas partes del mundo para definir las especificaciones del Global System for Mobile Communications (GSM) para que su alcance cumpliera con el proyecto International Mobile Telecommunications-2000 de la ITU. Los grupos que conforman 3GPP son Alliance for Telecommunications Industry Solutions (Norte América), European Telecommunications Standards Institute (Europa), Association of

Radio Industries and Businesses / Telecommunication Technology Committee (ARIB/TTC) (Japón), China Communications Standards Association (China) y Telecommunications Technology Association (Corea del Sur). Las normalizaciones de 3GPP cubren aspectos de núcleo de red, la arquitectura de servicio y tecnologías de acceso de radio que soportan. [3]

El enfoque original era producir las especificaciones y reportes técnicos para los sistemas de tercera generación basados en redes de núcleo GSM evolucionadas y las interfaces de radio que estas utilizaban tales como Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) que utilizan los modos de Frequency Division Duplex (FDD) y Time Division Duplex (TDD). El alcance después fue modificado para continuar con el desarrollo de las especificaciones técnicas y reportes de GSM incluyendo tecnologías de radio evolucionadas tales como por ejemplo General Packet Radio Service (GPRS) y Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE). [4] Al contrario de enfocarse en una sola tecnología inalámbrica, el plan 3GPP tiene como objetivo resaltar las fortalezas y debilidades de cada tecnología para poder aprovechar al máximo tales adeptos para que de esa manera puedan ser explotadas al máximo.

El desarrollo de GSM y UMTS-HSPA ocurre en etapas que se denotan como Releases por parte de 3GPP. Cada vendedor de equipos produce hardware que soporta versiones particulares de cada especificación provista dentro de cada Release, ya que en cada uno de estos se hace referencia a diferentes tecnologías. La mayoría de vendedores y operadores que están involucrados en el desarrollo de los sistemas inalámbricos están constantemente pendientes de las versiones de los Releases realizados por parte de 3GPP. A continuación se muestra un resumen con las características más importantes de los releases 3GPP:

Release 99: Completado. Primeras versiones entregables de UMTS. Mejoras a GSM data (EDGE). La mayoría de las puestas en marcha hoy están basadas en el Release 99. Provee soporte para redes de acceso de radio GSM/EDGE/GPRS/WCDMA.

Release 4: Completado. Soporte de mensajería multimedia. Primeros pasos hacia utilizar transporte IP en la red núcleo.

Release 5: Completado. HSDPA. Primera fase de IMS (del Inglés IP Multimedia Subsystem). Completamente habilitado para utilizar transporte basado en IP en vez Asynchronous Transfer Mode (ATM) en la red núcleo.

Release 6: Completado. HSUPA. Soporte de multimedia mejorado a través de Multimedia Broadcast /Multicast Services (MBMS). (MBMS es un servicio punto a multipunto en el cual los datos son enviados desde un transmisor múltiples receptores. Esta transmisión de datos a múltiples receptores permite compartir recursos de red. El MBMS para el canal de servicio de datos EPS soporta el modo Broadcast en E-UTRAN y UTRAN. MBMS para GPRS soporta tanto el modo Broadcast como el modo Multicast sobre UTRAN y GERAN.)[8] Especificaciones de rendimiento para receptores avanzados. Opción de integración WLAN. Mejoras IMS. Capacidad VoIP inicial.

Release 7: Completado. Provee funcionalidad de datos GSM mejorados con Evolved Edge. Especifica HSPA Evolution (HSPA+), que incluye mayor orden de modulación y MIMO. Provee sintonización fina y mejoras en características de Releases anteriores. Los resultados incluyen mejoras de rendimiento, eficiencia espectral mejorada, capacidad incrementada y mejor resistencia a la interferencia. Continuous Packet Connectivity (CPC) permite el servicio eficiente “always on” y mejorada capacidad de uplink VoIP, al igual que reducciones en la demora de establecimiento de llamadas para PoC. Mejoras de radio a HSPA incluye 64QAM en el downlink DL y 16QAM en el uplink. También incluye la optimización de capacidades MBMS a través de multicast/broadcast, función single frequency network (MBSFN). En el caso de MBMS esto es un soporte que puede ser proveído con el modo de operación de red de frecuencia única. Este modo de operación se caracteriza por la transmisión síncrona por todos los eNodeB que se encuentran participando en el servicio MBMS. El contenido se sincroniza a través de los eNodeB al sincronizar los tiempos de tramas de radio, la configuración común de la pila de protocolos y el uso del protocolo SYNC en el núcleo de red. Los estudios demuestran que la transmisión MBSFN puede significativamente mejorar la eficiencia espectral del downlink con respecto a la transmisión de una sola celda. [8]

Release 8: Completado. Comprende más características de HSPA Evolution tales como uso simultáneo de MIMO y 64QAM. Incluye ítem de trabajo para portadora dual HSPA (DC-HSPA) donde dos canales de radio WCDMA pueden combinarse para doblar el rendimiento. Especifica LTE de 3GPP basado en OFDMA. Define EPC.

Release 9: Bajo desarrollo. Se estima que su desarrollo finalice en el año 2010. Va a incluir HSPA y mejoras LTE incluyendo HSPA y operación multi portadora.

Release 10: Bajo desarrollo. Se estima que su desarrollo finalice en el año 2011. Va a especificar LTE-Advanced que alcanza los requisitos establecidos por ITU en su proyecto IMT-Advanced.

En la Figura 2 se muestra las características de las tecnologías especificadas por parte de 3GPP.

Tabla 2 Características de Tecnologías 3GPP [2]

Nombre de la	Tipo de	Características	Típica velocidad de	Típica velocidad de
--------------	---------	-----------------	---------------------	---------------------

Tecnología	Acceso		Downlink	Uplink
GSM	TDMA	Tecnología celular más utilizada en todo el mundo. Provee servicios de voz y datos vía GPRS/EDGE		
EDGE	TDMA	Servicio de datos para redes GSM. Una mejora al sistema de datos GSM original llamado GPRS.	70kbps a 135kbps	70kbps a 135kbps
Evolved Edge	TDMA	Versión avanzada de EDGE que puede duplicar y eventualmente cuadruplicar tasas de rendimientos, disminuir la latencia a la mitad e incrementar la eficiencia espectral.	175kbps a 350kbps esperado (portadora simple) 350kbps a 700kbps esperado (portadora dual)	150 kbps a 300kbps esperado
UMTS	CDMA	Tecnología 3G proveyendo capacidades de voz y datos. Las actuales puestas en marcha implementan HSPA para servicios de datos.	200 a 300kbps	200 a 300kbps
HSPA	CDMA	Servicios de datos para UMTS. Una mejora a servicios de datos originales.	1Mbps a 4Mbps	500kbps a 2Mbps
HSPA+	CDMA	Evolución de HSPA en varias etapas para incrementar rendimiento y capacidad y disminuir la latencia.	1.5Mbps a 7Mbps	1Mbps a 4Mbps
LTE	OFDMA	Nueva interface de radio que puede utilizar canales de radio anchos y tener tasas de rendimiento extremadamente altas. Todas las comunicaciones se manejan en el dominio IP.	4Mbps a 24Mbps (en 2x20MHz)	
LTE Advanced	OFDMA	Versión avanzada de LTE diseñada para alcanzar los requisitos de IMT-Advanced		

GSM, emplea el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA). TDMA es ampliamente implementado. Ya es notablemente eficiente aunque siempre hay oportunidades para optimizaciones adicionales y mejoras. Organizaciones de estandarización ya han definido “Evolved EDGE”, que van a estar disponibles para entregar entre el 2009 y el 2010.

Evolved EDGE duplica el rendimiento con respecto a los sistemas EDGE actuales, reduce a la mitad la latencia e incrementa la eficiencia espectral.

Mientras tanto, el esquema de acceso múltiple por división de códigos (CDMA) se ha escogido como la base de las tecnologías 3G incluyendo WCDMA para el modo FDD (del inglés frequency división duplex) de UMTS (TD-CDMA) para el modo Time Division Duplex (TDD) de UMTS. Los sistemas de datos evolucionados para UMTS tales como HSPA y HSPA+, introduce mejoras y simplificaciones que ayudan a los sistemas basados en CDMA igualar las capacidades de los mismos compitiendo, especialmente en el espectro de 5MHz.

Innovaciones tales como dual-carrier HSPA coordinan la operación de HSPA en dos portadoras de 5MHz para mayores tasas de rendimiento. En combinación con MIMO, dual-carrier HSPA va alcanzar velocidades de red pico de 84Mpbs.

Dadas algunas de las ventajas de un enfoque OFDM, 3GPP ha especificado OFDMA como la base de su LTE (del inglés Long Term Evolution que es como se le denomina a la tecnología 4G). LTE incorpora la mejor clase de técnicas de radio para alcanzar niveles de rendimiento por encima de lo que va a ser práctico con enfoques CDMA, particularmente en ancho de banda de canal grande. De la misma forma que 3G coexiste con sistemas de segunda generación (2G) en redes integradas, los sistemas LTE van a coexistir con sistemas 2G y 3G. Los dispositivos multimodo van a funcionar a través de LTE/3G o hasta LTE/3G/2G, dependiendo de las circunstancias del mercado. Más allá de la tecnología de radio, EPC/SAE provee una nueva arquitectura de núcleo que permite arquitecturas planas e integración de LTE con redes de legado GSM-HSPA, al igual que otras tecnologías inalámbricas. La combinación de EPC y LTE es referida como Evolved Packet Systems (EPS).

LTE es de crucial importancia para los operadores ya que provee las eficiencias y capacidades siendo demandadas por el rápido creciente mercado de banda ancha móvil. El costo de los operadores de entregar datos (por ejemplo costo por Mbyte es casi directamente proporcional a la eficiencia espectral de las tecnologías. LTE tiene la mayor eficiencia espectral de cualquier tecnología especificada, convirtiéndola en una tecnología esencial en la manera que los mercado maduran.

Es importante aclarar que además de tecnologías creadas con base a 3GPP existen otras denominadas no 3GPP que fueron desarrolladas por otras organizaciones como por ejemplo WiMAX que nace de la IEEE, la cual también se ha desarrollado en paralelo con las tecnologías de 3GPP, pero no han tenido el nivel de acogida mostrado por las tecnologías 3GPP. En la Figura 3 se muestra la evolución de las diferentes tecnologías.

Los operadores y vendedores de servicios que se encuentran envueltos constantemente en el desarrollo de tecnologías inalámbricas se basan en versiones de los Releases 3GPP, mientras que para el usuario final lo que importa son los servicios que le pueda brindar cierto dispositivo.

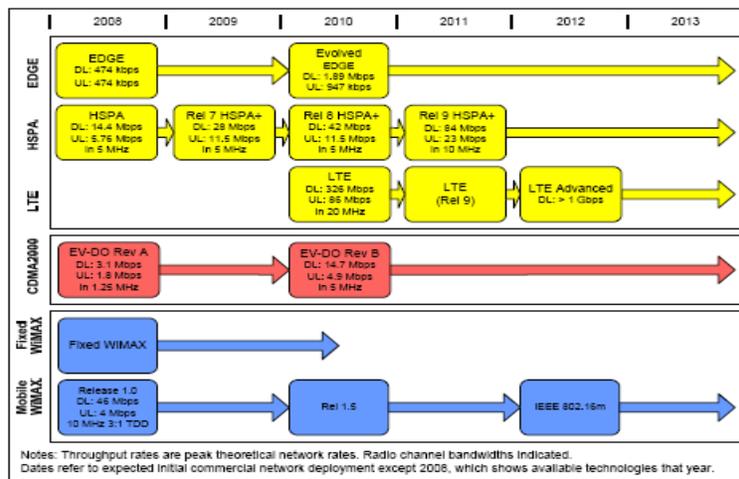


Figura 1 Evolución de Tecnologías 3GPP y no 3GPP. [3]

¿Qué es LTE?

LTE es Long Term Evolution de 3GPP que ha completado la especificación como parte del Release 8. LTE va a permitir a los operadores alcanzar rendimientos pico mucho más altos en anchos de banda mayores. El trabajo en LTE comenzó en el 2004 con un ítem de trabajo iniciado en el 2006 y una especificación completada en el año 2009. Las puestas en marcha iniciales van a ocurrir en al año 2010. LTE utiliza OFDMA en el downlink (del inglés enlace de bajada) y el uplink (del inglés enlace de subida), que está provisto para alcanzar altas tasas de datos pico en un ancho de banda del espectro superior.

La tecnología de radio WCDMA es básicamente tan eficiente como OFDM para entregar tasas de datos pico de alrededor de 10Mpbs en anchos de banda de 5MHz. Alcanzar tasas pico en el rango de los 100Mbps con canales de radio de mayor ancho de banda, resultaría en terminales altamente complejas y no es práctico con la tecnología actual. Es aquí donde OFDM provee una ventaja de implementación práctica.

El enfoque de OFDMA es altamente flexible en lo que canalización respecta, y LTE va a operar en distintos tamaños de canal de radio en un rango de 1.4MHz a 20Mhz. Sin embargo, en el uplink un enfoque completamente OFDMA resulta en una relación de potencia alta PAR (del inglés Peak to Average Ratio) de la señal lo cual compromete la eficiencia de la potencia y ultimadamente la vida de la batería del equipo de usuario. Además, LTE utiliza una aproximación llamada SC-FDMA, que es de alguna forma similar a OFDMA, pero tiene una ventaja PAR de 2 a 6dB sobre los métodos de OFDMA utilizados por otras tecnologías tales como WiMAX.

LTE básicamente es una tecnología basada en conmutación de paquetes IP la cual permite alcanzar altas velocidades de transmisión de datos con respecto a todas las tecnologías anteriores tanto en el uplink como en el downlink. Por ejemplo la cantidad de datos picos en el downlink es de hasta 326Mbps utilizando un ancho de banda de canal de 20MHz como se especifica en el Release 8. Además permite la operación en los modos TDD y FDD. Los canales utilizados en LTE consisten de anchos de banda escalables de hasta 20MHz utilizando canales de 1.4, 3, 5, 10, 15 y 20MHz en las fases de estudio. En comparación con otras tecnologías posee eficiencia espectral aumentada sobre la que fue

presentada en el Release 6 por ejemplo para HSPA por un factor mínimo de dos y máximo de cuatro. Gracias al hecho de que es una tecnología basada en conmutación de paquetes LTE tiene una latencia reducida, a 10 milisegundos ida y vuelta entre equipos de usuario y la estación base, y menos de 100 milisegundos en realizar la transición del estado inactivo al activo. Las capacidades de optimización propia pueden estar bajo control del operador, lo cual permite a los operadores automatizar el planeamiento de la red resultando en menores costos de implementación.

Espectro

Un aspecto importante que tuvo la puesta en marcha de UMTS-HSPA fue la expansión del número de bandas de radio disponibles, y como consecuencia el correspondiente soporte que tuvo por parte de vendedores de equipo móvil e infraestructura. Es por esta razón que el diseño fundamental del sistema con respecto a los protocolos de red permanece igual para cada banda. Por ende solamente los radios tienen que cambiar según las frecuencias a las operen tales dispositivos.

En la medida que otras bandas de frecuencia se vuelvan disponibles para puestas en marcha, las organizaciones de normalización están adaptando UMTS para estas bandas también. Esto incluye bandas tales como los 450MHz y 700MHz. Uno de estos avances se muestra en los equipos de UMTS-TDD el cual ya se encuentra disponible para 450MHz. El ancho de banda del uplink que se encuentra en el rango de frecuencias de 1710MHz a 1770MHz se ha igualado con el downlink de 2110MHz a 2170 MHz lo que va a permitir armonización global adicional de la banda 1.7GHz con la de 2.1GHz. Por ejemplo la comisión Federal de Comunicaciones subastó la banda de 700MHz en los Estados Unidos en Enero del 2008 al igual que la banda Advanced Wireless Services (AWS) que van emparejados en rangos de 1710MHz a 1755MHz y de 2110MHz a 2155 MHz. Además la banda de frecuencia de 2.6GHz en Europa va a permitir a los operadores mayores opciones de puesta en marcha. Un número mayor de operadores también están poniendo en marcha UMTS en 900 MHz la cual es una banda tradicional de GSM. La re-utilización del espectro para tecnologías más eficientes explota de maner más eficiente el recurso.

En la medida que el espectro disponible incrementa y de la misma manera las tecnologías simultáneamente se vuelvan espectralmente más eficientes, la capacidad total del sistema aumenta rápidamente, soportando más suscriptores y haciendo nuevos tipos de aplicaciones factibles. La siguiente figura muestra las bandas FDD definidas para las tecnologías 3GPP.

Tabla 3 Bandas FDD para tecnologías 3GPP [9]

Banda Operante	Nombre de la Banda	Espectro Total	Uplink (MHz)	Downlink (MHz)
Banda 1	2.1GHz	2x60MHz	1920-1980	2110-2170
Banda 2	1900MHz	2x60MHz	1850-1910	1930-1990
Banda 3	1800MHz	2x75MHz	1710-1785	1805-1880
Banda 4	1.7/2.1 GHz	2x45MHz	1710-1755	2110-2155
Banda 5	850MHz	2x25MHz	824-849	869-894
Banda 6	800MHz	2x10MHz	830-840	875-885
Banda 7	2.6GHz	2x70MHz	2500-2570	2620-2690
Banda 8	900MHz	2x35MHz	880-915	925-960
Banda 9	1700MHz	2x35MHz	1749.9-1784.9	1844.9-1879.9
Banda 10	Ext 1.7/2.1 MHz	2x60MHz	1710-1770	2110-2170
Banda 11	1500MHz	2x25MHz	1427.9-1452.9	1475.9-1500.9
Banda 12	Menor 700MHz	2x18MHz	698-716	728-746
Banda 13	Mayor 700MHz	2x10 MHz	777-787	746-756
Banda 14	Mayor 700MHz <small>Seguridad Publica y privada</small>	2x10MHz	788-798	758-768

Es importante resaltar que aunque el soporte para una nueva banda de frecuencia pueda ser introducida en un Release particular, el grupo 3GPP también va a especificar las formas de implementar tanto dispositivos como infraestructura que se encuentre operando en cualquier banda de frecuencia, de acuerdo al Release anterior, a esa banda de frecuencia particular. En la Figura 5. se muestra las bandas definidas para tecnologías 3GPP que utilizan TDD.

Tabla 4 Bandas TDD para tecnologías 3GPP [10]

Banda Operante	Total de Espectro	Frecuencias (MHz)
Banda 33	20 MHz	1900-1920
Banda 34	15 MHz	2010-2025
Banda 35	60 MHz	1850-1910
Banda 36	60 MHz	1930-1990
Banda 37	20 MHz	1910-1930
Banda 38	50 MHz	2570-2620
Banda 39	40 MHz	1880-1920
Banda 40	100 MHz	2300-2400

A nivel mundial la regulación del espectro por país ha sido muy variable. Por ejemplo, los operadores en Estados Unidos pueden utilizar tecnologías 2G o 3G en comunicaciones en bandas de Servicios de Comunicaciones Personal (PCS del inglés Personal Communications Service estas bandas son utilizadas por ejemplo por radio aficionados o walkie-talkies) y en bandas 3G, mientras que en Europa, hay mayores restricciones aunque se han realizado esfuerzos que están dando como resultando una mayor flexibilidad incluyendo el uso de tecnologías 3G en las bandas actuales de 2G.

En la medida que los reguladores hagan más espectro disponible, es importante que dicho espectro sea:

- Armonizado en una base regional o global.
- No estar sometidos por los topes de espectro y otras políticas de espectro de voz céntrica.
- Disponibles en un amplio rango de canales de radio (por ejemplo 10MHz, 20MHz y más).
- Utilizados eficientemente sin causar interferencia a los dueños de espectro existentes.

Las tecnologías emergentes tales como LTE se benefician de canales de radio más anchos. Estos canales de radio no son espectralmente más eficientes, pero ofrecen gran capacidad, un atributo esencial, porque típicamente el uso de banda ancha contribuye a una mayor carga para el sistema que la de un usuario de voz. Por ejemplo ver un video en YouTube consume 100 veces más bits por segundo en el downlink que una llamada de voz.

La Figura 2 muestra el incremento de eficiencia espectral de LTE obtenida utilizando canales de radio más anchos como se puede ver de manera progresiva el aumento en el eje x, siendo 20MHz la configuración más eficiente.

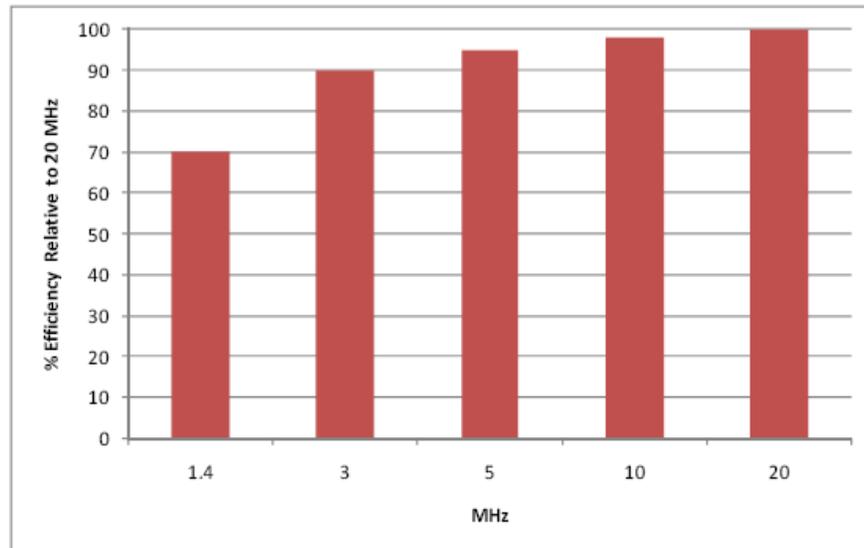


Figura 2 Eficiencia Espectral como función del ancho de banda del Canal de Radio [11]

Un hecho que preocupa a los operadores para poder realizar roaming a nivel global es que el espectro de LTE se está volviendo disponible en diferentes bandas de frecuencia en diferentes países. Por ejemplo, las puestas en marchas iniciales en Estados Unidos va a ser en la banda de 700MHz, en Japón a 1500MHz y en Europa en la banda de 2.6GHz. Además con algunas bandas de espectro variantes, lo más probable es que se va a necesitar que la operación de roaming sea basada en GSM o HSPA que ya tienen una base robusta a nivel mundial, ya sea en bandas regionales o globales. [11]

Tasas de Rendimiento en LTE

El objetivo global de LTE es proveer un desempeño extremadamente alto, tecnología de acceso de radio que ofrezca movilidad de velocidad vehicular completa y que pueda coexistir fácilmente con HSPA al igual que con redes inalámbricas anteriores. Debido a la escalabilidad del ancho de banda, los operadores van a ser capaces de migrar fácilmente sus redes y usuarios de HSPA a LTE en el tiempo. La Tabla 5 muestra tasa de datos picos de LTE basados en diferentes diseños de downlink y uplink.

Tabla 5 Tasas de Rendimiento Pico en LTE [12]

Configuración LTE	Downlink (Mbps) Tasa de datos pico	Uplink (Mbps) Tasa de datos pico
Utilizando 2X2 MIMO en el downlink y 16 QAM en el uplink	172.8	57.6
Utilizando 4x4 MIMO en el downlink y 64 QAM en el Uplink	326.4	86.4

LTE no es solamente eficiente para datos, ya que un uplink altamente eficiente, es extremadamente versátil para tráfico de VoIP (Voice over IP). En 10MHz de espectro, la capacidad VoIP de LTE va a permitir a casi 500 usuarios por cada eNodeB.

Con estas mejoras que presenta LTE en lo que rendimiento respecta, implica que se puede ofrecer servicios que necesitan de plataformas robustas con altas tasas de transmisión los cuales son de interés para los usuarios. Uno de los servicios que se ven beneficiados es IPTV. La tecnología IPTV (del inglés internet protocol televisión) se basa en la programación de flujo de video que es codificado como una serie de paquetes IP. Dicho protocolo permite entregar ya sea televisión en vivo o video almacenado. La IPTV es distribuida por un proveedor de servicio y se puede ofrecer junto con otros servicios basados en IP tales como VoIP. Este servicio puede llegar a ser ya sea gratuito o pagado. A diferencia de la televisión tradicional donde toda la programación es difundida simultáneamente en un broadcast, en IPTV se envía solamente una programación ya sea un canal de televisión o alguna película que escoja ver el usuario. Todo el contenido se encuentra en el núcleo del proveedor de servicios y únicamente el programa que seleccione el usuario va a ser transmitido a su casa. En el caso que el usuario cambie de canal, el nuevo flujo de paquetes IP es enviado desde los servidores del proveedor a su casa con el contenido de dicho canal. Al igual que la televisión por cable, IPTV requiere de una caja para la recepción y conversión de la señal. [5] Esto permite a los proveedores de servicios ampliar su gama de productos y a la vez suplir las necesidades que tienen los usuarios por ver televisión a través de internet y a la vez unificar todos los servicios voz, datos y videos bajo una misma conexión.

Sin embargo, la televisión por internet ha representado grandes retos para las empresas proveedoras de servicios. Esto debido a que el video representa dos grandes retos para estos. Primero que nada el tamaño de un video en comparación con otro tipo de archivo es realmente grande por lo que consume mucho mayor ancho de banda. En segundo lugar el hecho de utilizar streaming para lograr que el video llegue hasta las personas que lo soliciten requiere de una red con un rendimiento en tiempo real muy consistente. Esto debido a que las aplicaciones de video son poco tolerantes a retrasos o pérdidas de paquetes haciendo que este se vuelva corrompido o inclusive destruyendo la experiencia de visualización. Aquí es donde las empresas proveedoras de servicio pueden sacarle gran provecho a las redes LTE debido a que con sus altas tasas de rendimiento es posible entregar al usuario final el servicio de IPTV con pocos retrasos y así permitiendo tener una calidad de experiencia muy alta. Con LTE el IPTV va a ser un servicio muy factible que se le pueda entregar al cliente con lo cual amplía su cartera de servicios.

Tecnología OFDMA y Programación o Scheduling

LTE implementa OFDM en el downlink. El principio básico de OFDM es separar un solo flujo de datos de alta velocidad en un número definido de flujo de datos de baja velocidad en paralelo, cada uno siendo una señal de banda angosta transportada por una subportadora. Los diferentes flujos de banda angosta se generan en el dominio de la frecuencia y después se combinan para formar el flujo de banda ancha utilizando un algoritmo matemático llamado Transformada Rápida Inversa de Fourier (IFFT del inglés Inverse Fourier Fast Transform) que es implementada en los procesadores digitales de señales.

En LTE, las sub portadoras tiene un espaciamiento de 15kHz una de otra. LTE mantiene este espaciado sin importar el ancho de banda del canal total, que simplifica el diseño de radio, especialmente en soportar los canales de radio de diferentes anchos de banda. El número de sub portadoras va desde 72 en un canal de 1.4MHz hasta 1200 en un canal de 20MHz. La señal compuesta se obtiene después de que la IFFT se extiende al repetir la parte inicial de la señal (llamada el Prefijo Cíclico (CP)). Esta señal extendida representa un símbolo OFDM. El CP es básicamente un tiempo guarda durante la cual las señales refractadas van a alcanzar el receptor. Esto resulta en casi una eliminación completa

del multipath inducido ISI (del inglés Intersymbol Interference), el cual hace problemático las transmisiones de altas tasas de datos. En la Figura 8 se muestra dicho símbolo.

El sistema es llamado ortogonal, porque las sub portadoras son generadas en el dominio de la frecuencia (haciéndolas inherentemente ortogonales), y la IFFT conserva esa característica. Los sistemas OFDM pueden perder su naturaleza ortogonal como resultado del desplazamiento Doppler inducido por la velocidad del transmisor o el receptor.

3GPP específicamente seleccionó el espaciado de sub portadoras de 15 KHz para evitar cualquier degradación de rendimiento en condiciones de alta velocidad. Es por esta razón que los sistemas WiMAX que utilizan un espaciado de subportadora menor alrededor de los 11kHz tiene como consecuencia un mayor impacto en condiciones de alta velocidad en comparación a LTE.

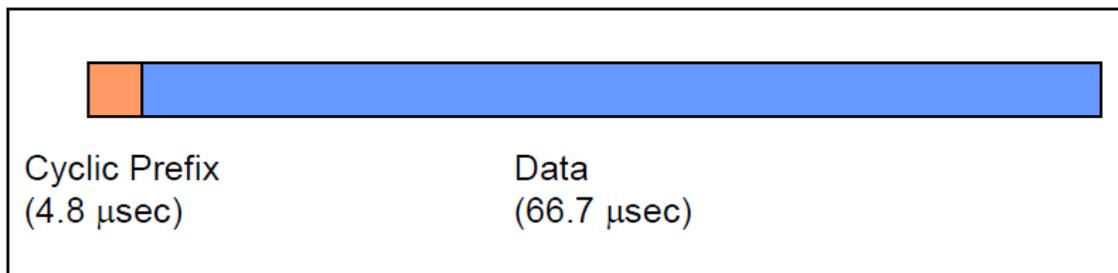


Figura 3 Símbolo OFDM con Prefijo Cíclico [13]

El aspecto de múltiple acceso de OFDMA viene del hecho de ser capaz de asignar a los diferentes usuarios diferentes sub portadoras sobre el tiempo. Un bloque mínimo de recursos que el sistema puede asignar a una transmisión de usuario consiste de 12 sub portadoras sobre 14 símbolos en 1.0 milisegundos. La Figura 4 muestra como el sistema puede asignar estos bloques de recursos a diferentes usuarios en el tiempo y la frecuencia.

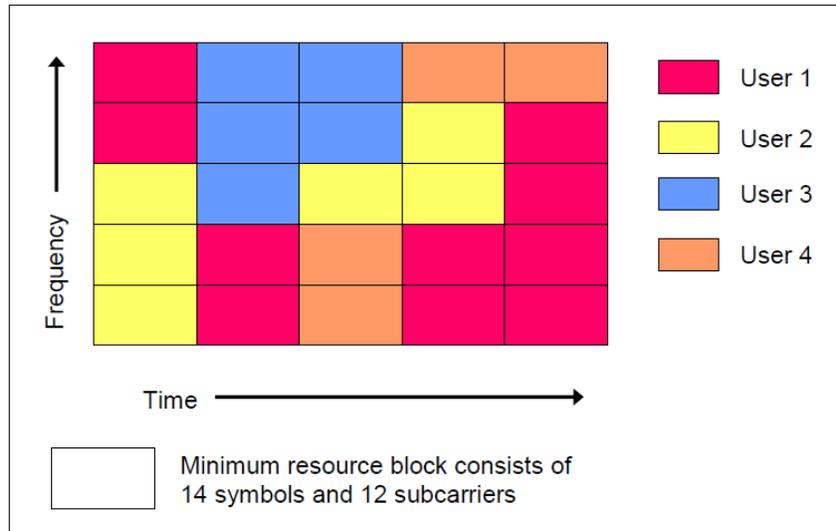


Figura 4 Asignación de Recursos en el Tiempo y la Frecuencia de LTE OFDMA [14]

Al tener control sobre cuales sub portadoras se encuentran asignadas en los diferentes sectores, LTE puede controlar la reutilización de frecuencias. Cuando se utilizan todas las sub portadoras en cada sector, el sistema opera en una reutilización de frecuencia de 1 pero si hace uso de solamente un tercio de las sub portadoras en cada sector, el sistema alcanza una frecuencia más flexible de 1/3. La frecuencia más flexible reduce la eficiencia espectral global, pero entrega altas tasas a los usuarios.

Más allá de controlar la reutilización de frecuencia, la programación del dominio de frecuencia puede utilizar esos bloques de recursos que no se han desvanecido, algo que no es posible en los sistemas basados en CDMA. Debido a que diferentes frecuencias pueden desvanecerse de forma diferente para distintos usuarios, el sistema puede ubicar esas frecuencias para cada usuario que resultan en un mayor rendimiento. Esto resulta en una ganancia de hasta 40% en promedio de rendimiento por celda para velocidades de usuario bajas como por ejemplo un peatón que viaja a una velocidad de (3km/hora), asumiendo un número grande de usuarios grande y sin la utilización de MIMO. El beneficio disminuye a velocidades de usuario o equipos de usuario mayores. En la Figura 5 se muestra la programación del dominio de la frecuencia en LTE.

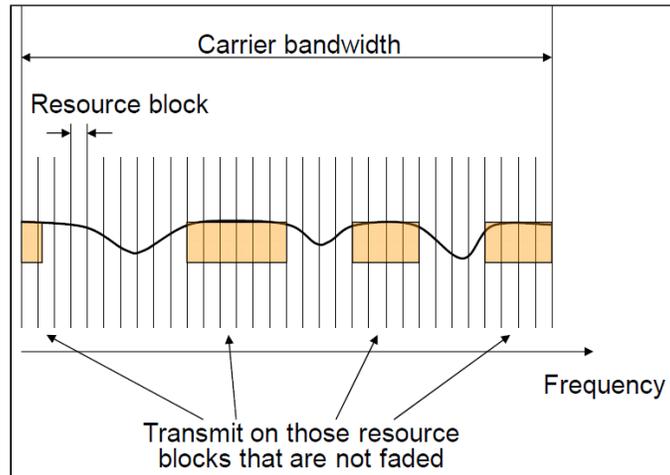


Figura 5 Scheduling en el Dominio de la Frecuencia en LTE [15]

LTE se encuentra especificado para una variedad de configuraciones MIMO. En el downlink, estos incluyen 2x2, 4x2, y 4X4 (donde el primer número es el número de antenas por sector en el transmisor y el segundo número es el número de antenas en el receptor). Las instalaciones iniciales probablemente van a ser de 2x2. 4X4 va a ser lo más probablemente usados inicialmente en femto celdas. En el uplink, hay dos posibles enfoques: usuario MIMO solo (SU-MIMO del inglés Single User - MIMO) y multi-usuario MIMO (MU-MIMO del inglés Multi-User MIMO). SU-MIMO es más complejo de implementar ya que requiere dos cadenas paralelas de transmisión en el dispositivo móvil, mientras que MU-MIMO no requiere implementación adicional en el dispositivo. Como se mencionó anteriormente el ancho de banda del canal se encuentra entre 1.4MHz y 20MHz. Sin embargo la mayor eficiencia ocurre con anchos de banda mayores. El sistema alcanza casi toda su eficiencia con canales de 5 MHz o mayores.

Armonización TDD

3GPP desarrolló LTE TDD (del inglés Time Division Duplex) para ser completamente armonizado con LTE FDD (del inglés Frecuency Division Duplex) incluyendo alineamiento de estructuras de trama, numerología de nivel de símbolo idéntica, la posibilidad de utilizar patrones similares de señal de referencia, y canales de sincronización y control similares. Además, solo hay una variante TDD.

Además LTE TDD ha sido diseñado para coexistir con TDSCDMA y TD-CDMA/UTRA (ambos versiones low-chip rate y high-chip rate). LTE TDD alcanza compatibilidad y coexistencia con TD-SCDMA al definir estructuras de tramas donde los periodos de tiempo de downlink y uplink pueden ser alineados en el tiempo para prevenir interferencia de BTS a BTS y de UE a UE para soportar la operación en portadores adyacentes sin la necesidad de grandes bandas guardas entre las tecnologías. Esto va a simplificar la puesta en marcha de LTE TDD en países tales como China que están implementando TD-SCDMA. La Figura 6 muestra la sincronización entre TC-SCDMA y LTE-TDD en canales adyacentes.

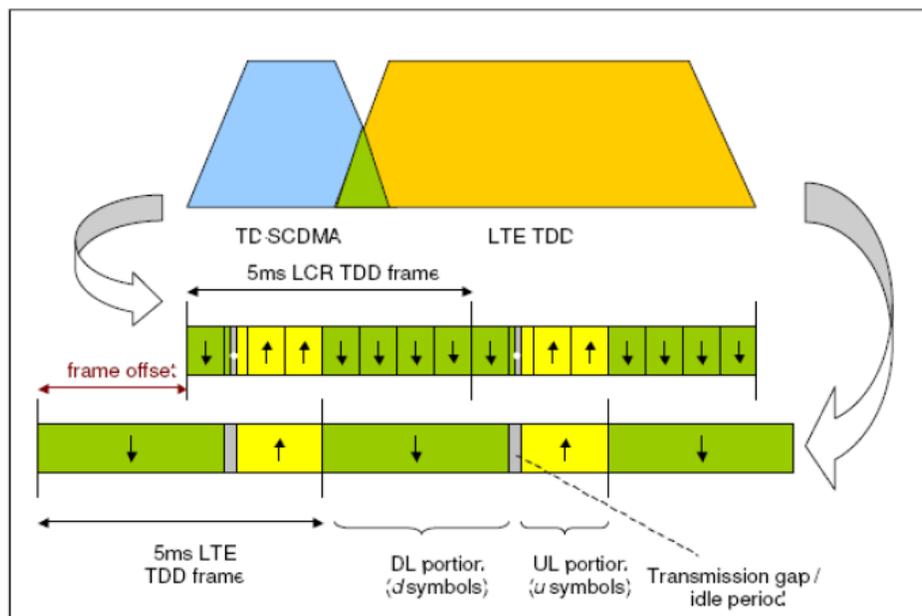


Figura 6 Co-existencia de tramas TDD entre TD-SCDMA y LTE TDD [16]

Para que LTE FDD y TDD coexistan, grandes bandas guarda van a ser necesitadas para prevenir interferencia. La organización Next Generation Mobile Networks tiene un proyecto para LTE TDD y convergencia FDD.

4G, IMT-Avanzado y LTE-Avanzado

Algunos de los requerimientos clave para considerar una tecnología como 4G son los siguientes:

- Soporte para ancho de banda escalable hasta e incluyendo 40MHz.
- Impulso a soportar mayores anchos de banda por ejemplo 100MHz.
- Mínima eficiencia espectral de downlink de 15bps/Hz (asumiendo 4x4 MIMO).
- Mínima eficiencia espectral pico de 6.75 bps/Hz (asumiendo 2X4 MIMO).

La Tabla 6. muestra los requisitos de la eficiencia espectral por celda, mientras que las capacidades de voz en diferentes ambientes se muestra en la Tabla 7.

Tabla 6 Requisitos de Eficiencia Espectral por Celda [17]

Ambiente de Prueba	Downlink (bps/Hz)	Uplink (bps/Hz)
Interiores	3.0	2.25
Microcelular	2.6	1.8
Base de Cobertura Urbana	2.2	1.4
Alta Velocidad	1.1	0.7

Tabla 7 Requisitos para Capacidad de Voz [18]

Ambiente de Prueba	Capacidad VoIP Mínima (Usuarios Activos/Sector/MHz)
Interior	50
Microcellular	40
Base de Cobertura Urbana	40
Alta velocidad	30

3GPP está definiendo los requisitos de IMT-Avanzado a través de una versión de LTE llamada LTEAdvanced, un proyecto que es parte del release 10. LTE-Advanced va a ser compatible completamente con LTE, lo que significa que los dispositivos LTE pueden operar en nuevas redes LTE-Advanced, y los dispositivos LTE-Advanced van a operar en viejas redes LTE. 3GPP se encuentra estudiando las siguientes capacidades para LTE-Advanced:

- Mayores anchos de banda para soportar hasta 100MHz al agregar bloques de 20MHz.
- Uplink MIMO (dos antenas de transmisión en el dispositivo).
- Downlink MIMO de hasta 8 por 8.
- Coordinated Multipoint transmission (CoMP) con dos enfoques propuestos:
- Scheduling coordinado y/o beamforming, y procesamiento y transmisión en conjunto. La intención es coordinar transmisiones en diferentes sitios de celda, por ende alcanzando mayor capacidad del sistema y mejorando tasas de datos de borde de celdas.

La Figura 7 muestra el resultado de agregar portadoras, con hasta 100MHz de ancho de banda soportado que se piensa implementar en LTE-Advanced.

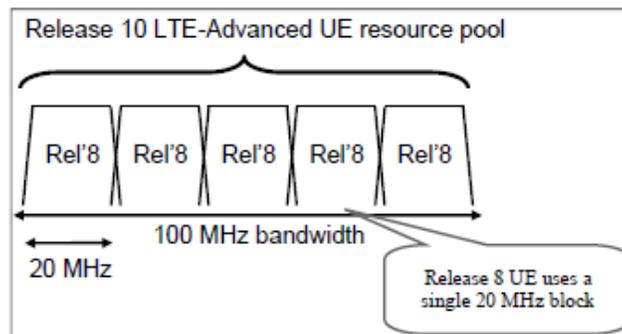


Figura 7 Anchos de Banda soportados en LTE-Advanced [19]

El efecto que tiene sobre las diferentes capas de protocolos se muestra en la Figura 8.

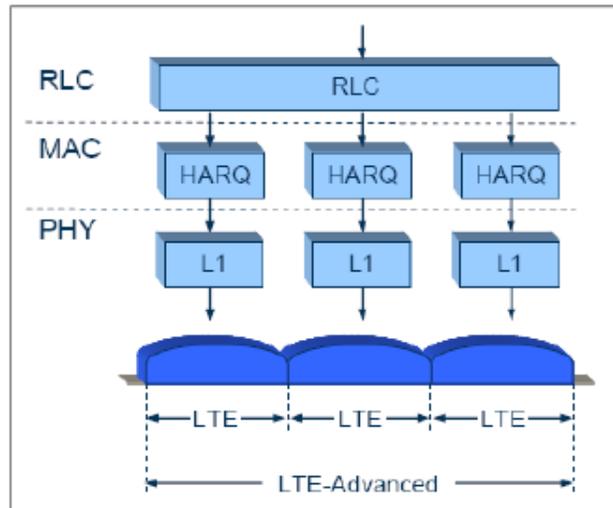


Figura 8 Efecto de Agregar Portadoras en las Capas de Protocolos [20]

Antenas

Además de mayores anchos de banda, LTE-Advanced va a mejorar su rendimiento a través de capacidades de antena multi potentes. Para el downlink, la tecnología va a ser capaz de transmitir en hasta 8 capas usando la configuración 8X8 para una eficiencia espectral de 30bps/Hz que excede los requerimientos IMT-Advanced, posiblemente soportando una tasa pico de 1Gbps en solo 40MHz y hasta tasas más altas en anchos de banda mayores. Esto requeriría señales de referencia adicionales para estimación del canal y para mediciones tales como calidad del canal para habilitar transmisión multi-antena adaptiva. LTE-Advanced también va a incluir transmisión de cuatro capas en el uplink resultando en una eficiencia espectral excediendo 15bps/Hz. La Tabla 8 muestra el rendimiento anticipado relativo a los requisitos IMT-Avanzados.

Tabla 8 Requisitos de IMT-Advanced y Capacidades de LTE-Advanced [21]

Item	Requisito IMT-Advanced	Capacidad Proyectada LTE-Advanced
Tasa de Datos Pico de Downlink		1 Gbps
Tasa de Datos Pico de Uplink		500 Mbps
Distribución de Espectro	Hasta 40 MHz	Hasta 100 MHz
Latencia del Plano de Usuario	10mseg	10mseg
Latencia del Plano de Control	100mseg	50mseg
Eficiencia Espectral Pico DL	15bps/Hz	30bps/Hz
Eficiencia Espectral Pico UL	6.75bps/Hz	15bps/Hz
Eficiencia Espectral Promedio DL	2.2bps/Hz	2.6bps/Hz
Eficiencia Espectral Promedio UL	1.4bps/Hz	2.0bps/Hz
Eficiencia Espectral Cell-Edge DL	0.06 bps/Hz	0.09 bps/Hz
Eficiencia Espectral Cell-Edge UL	0.03 bps/Hz	0.07bps/Hz

Como se puede observar en todos los casos las proyecciones de rendimiento de LTE-Avanzados exceden aquellos de los requisitos de IMT-Avanzados.

Otra capacidad que está siendo planeada para LTE-Avanzado es la que se muestra en la Figura 9. La idea es retransmitir las tramas a un nodo intermedio, resultando en una mejor penetración en edificios y con mejor calidad de señal, con lo que las tasas de usuarios van a ser mejoradas.

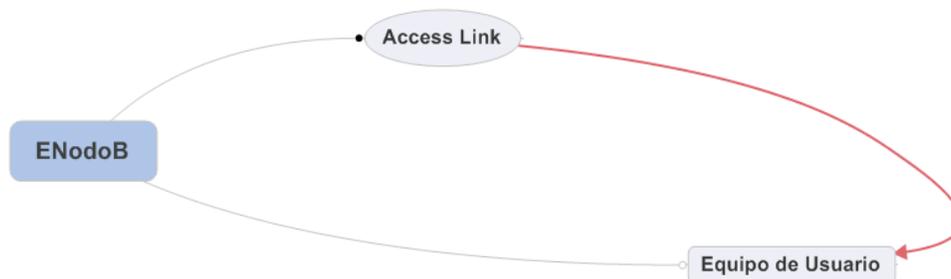


Figura 9 Retransmisión en LTE-Advanced [22]

Las puestas en marcha iniciales de LTE van a basarse en el Release 8, y en la manera en que nuevos espectros se vuelvan disponibles en la siguiente década, especialmente si incluyen canales de radio anchos, entonces LTE-Advanced va a ser la tecnología ideal para estas nuevas bandas. Inclusive en bandas existentes, los operadores probablemente van a

actualizar sus redes LTE a LTE-Advanced para obtener ganancias de eficiencia espectral y capacidades tales como retransmisión.

Evolución del Núcleo de Red

3GPP está definiendo una serie de mejoras al núcleo de la red para incrementar el rendimiento de la red y el rango de servicios proveídos para que de esta forma se habilite un cambio a arquitecturas basadas completamente en IP.

Una forma de mejorar el rendimiento del núcleo de red es utilizar arquitecturas más planas. Entre más jerárquica sea una red, con mayor facilidad puede ser manejada centralmente con el compromiso de un rendimiento reducido, especialmente para comunicaciones de datos, porque los paquetes deben atravesar y procesar múltiples nodos en la red. Para mejorar rendimiento de datos y particularmente reducir la latencia (delays), 3GPP ha definido un número de mejoras en el Release 8 que reduce el número de nodos procesadores de paquetes dando como resultado una arquitectura más plana.

En el Release 7, una opción llamada arquitectura túnel permite a los operadores configurar sus redes para que el usuario sobrepase los nodos sirviendo y viaja directamente vía un nodo Gateway. También hay una opción de integrar la funcionalidad del controlador de la red de radio directamente a la estación base.

Para el Release 8, 3GPP ha definido una red núcleo enteramente nueva, llamada el Evolved Packet Core, previamente llamado System Architecture Evolution. Las características clave y capacidades de EPC/SAE incluyen:

- Latencia reducida y mayor rendimiento de datos a través de una arquitectura plana.
- Soporte para ambas tecnologías de acceso de radio LTE e interoperación con redes de acceso de radio GSM-HSPA.
- La habilidad de integrar redes no 3GPP tales como WiMAX.

- Optimización para todos los servicios proveídos vía IP.

Capítulo 4: Arquitectura y Protocolos

El siguiente capítulo se divide en dos secciones. En la primera parte se aborda el tema de la arquitectura de la red LTE desde lo que es el núcleo con sus características diferenciadas. Además se proveen las arquitecturas utilizadas para que pueda ser puesto en marcha un sistema LTE y que pueda interoperar con redes 2G y 3G. Otra situación que se tomó en consideración fue la entrega de servicios de voz en conjunto entre redes LTE y del legado 3GPP.

En la segunda parte de este capítulo se mencionan los protocolos que se utilizan en los sistemas LTE para diferentes aplicaciones a través de diferentes canales de datos con calidad de servicio para poder ofrecer los distintos sistemas multimedia o servicios que por parte del proveedor a sus clientes.

4.1 Arquitectura

Evolución de la Arquitectura del Sistema / Núcleo de Paquetes Evolucionado

System Architecture Evolution (SAE) es sinónimo de Evolved Packet Core (EPC). SAE/EPC está definido por 3GPP en el Release 8 (Rel-8) como una red núcleo enteramente nueva con una arquitectura IP más plana permitiendo tasas de datos mayores, sistema optimizado en lo que paquetes respecta al tener menor latencia que soporta tecnologías múltiples de acceso de radio, enfocándose en el dominio de conmutación de paquetes, asumiendo que el sistema va a soportar todos los servicios incluida la voz en este dominio.

3GPP ha hecho progreso significativo en el Release 8 hacia los estándares de desarrollo y definición de núcleo IP de red más plano para soportar el Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (EUTRAN) a través del ítem de trabajo SAE, que recientemente fue renombrado el Evolved Packet Core Architecture. En paralelo 3GPP ha realizado progreso significativo hacia estándares de desarrollo y la definición de nueva tecnología OFDMA basada en el ítem de trabajo de LTE. Esta nueva interface de aire basada en OFDMA también se le refiere como EUTRAN. Hay que subrayar que el sistema

completo de paquetes consistiendo en EUTRAN/LTE y SAE/EPC es llamado el Evolved Packet System (EPS).

La combinación de LTE y SAE/EPC provee la visión a largo plazo de 3GPP de un sistema basado completamente en paquetes IP con sistema OFDMA de banda ancha que se espera mejore el rendimiento al proveer mayores tasas de datos, eficiencia espectral mejorada y latencia reducida. La habilidad de LTE de soportar anchos de banda mayores que 5MHz es de particular importancia ya que las demandas para mayores velocidades de datos inalámbricos y eficiencias espectrales continúan creciendo. En la Figura 10 se muestra la arquitectura del núcleo de red.

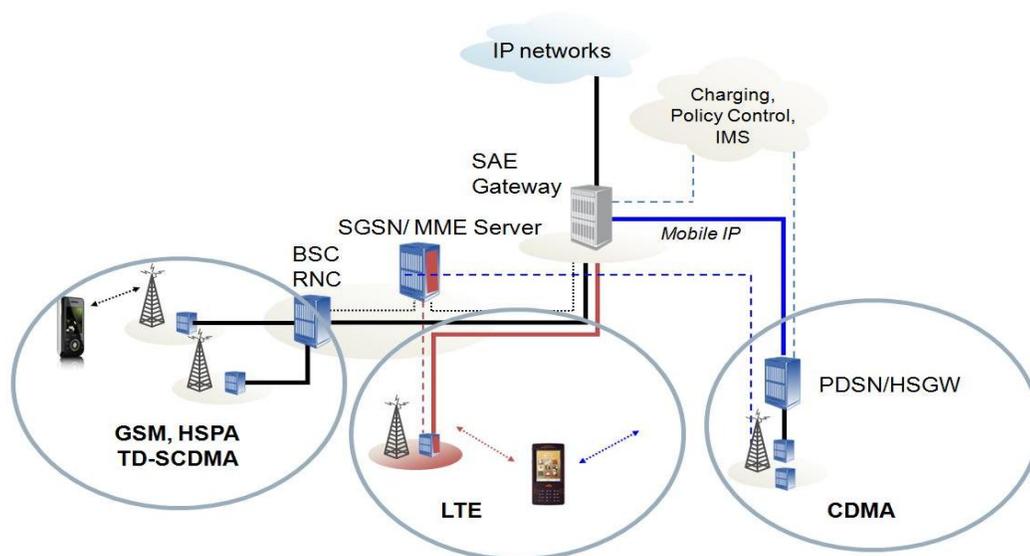


Figura 10 Arquitectura Multi Acceso del Evolved Packet Core [23]

En la manera en que los operadores agreguen HSPA+ y LTE a sus redes de acceso de radio, van a evolucionar simultáneamente el resto de sus redes y por ende los equipos de usuario de los suscriptores. Estos van a reforzar su núcleo redes de alta velocidad para que de esa manera puedan manejar el crecimiento exponencial en tráfico IP habilitado para HSPA+ y LTE.

Para mantener sus redes funcionando de manera óptima, los operadores móviles van a tener arquitecturas de red más planas considerablemente al utilizar tecnología EPC. EPC

reduce el número de nodos en el núcleo el cual reduce la latencia aunque la cantidad de tráfico aumente. Esto simplifica la puesta en marcha y por ende el costo de las redes basadas en IP.

EPC va a utilizar IMS como un componente. También va a manejar QoS (Quality of Service) a través de todo el sistema, que va a ser esencial para habilitar un set de servicios ricos basados en multimedia. El EPS va a ser optimizado para que todos los servicios sean entregados a través de IP en una manera que sea tan eficiente como sea posible por medio de la minimización de latencia dentro del sistema.

Aunque lo más probable es EPC sea entregado en conjunto con LTE, este también va a ser puesto en marcha con HSPA+, donde proveerá un acercamiento hacia LTE. Además va a soportar continuidad de servicio a través de redes heterogéneas, que es importante para los operadores de LTE que simultáneamente soporten clientes GSM/GPRS/EDGE/UMTS/HSPA.

Las características claves y capacidades de SAE/EPC incluyen:

- Latencia reducida y mayor rendimiento de datos a través de una arquitectura de red totalmente plana. 3GPP ha apuntado latencia del plano de usuario en 10 milisegundos.
- Soportar redes de acceso de radio LTE e interoperabilidad con redes de acceso de radio GSM-UMTS.
- La habilidad de integrar redes no 3GPP.
- Optimización de todos los servicios proveídos vía IP.

Interoperabilidad de redes LTE con 2G-3G

Un aspecto importante de QoE (Quality of Experience) es tener servicios de alta calidad disponible en todo momento, en todos los lugares. Indistintamente de cuan agresivo sea el plan puesta en marcha y entrega de los sistema LTE, este va a tomar tiempo para llegar a tener el nivel de cobertura que se ha llegado con los sistemas 2G-3G. Debido a que los sistemas LTE no se pueden hacer accesibles inmediatamente en todo lugar, surge

entonces la necesidad de interoperabilidad con las redes existentes de 2G y 3G. Para proveer una experiencia transparente, los operadores van a necesitar instalar entrega activa de voz, datos y servicios de multimedia.

En la mayoría de los casos los proveedores de servicios que desean introducir LTE van a tener redes existentes de 2G y 3G, o infraestructura de cualquiera de ellas. Con más razón que la cobertura de LTE desde el primer día no va a tener una cobertura ubicua, por lo que la implementación inicial de la tecnología más avanzada de LTE en el momento se va a tener que presentar al usuario como una conexión de alta velocidad de forma adicional a los servicios de los que ya goza.

Desde la perspectiva de la movilidad del proveedor de servicios, un usuario debería tener una experiencia similar ya sea si la red es 2G, 3G o LTE. En el caso que el equipo de usuario sea un móvil y este se encuentre atravesando condiciones de radio frecuencia variantes que fuerzan al equipo de usuario a realizar una re-selección de la tecnología de radio, la conexión a la red de paquetes siempre debería de permanecer arriba y bajo ninguna circunstancia debería de existir una reasignación de la dirección IP que pueda finalizar ninguna de las sesiones que están corriendo. En el caso de ocurra la pérdida de algunos paquetes, esto puede ser aceptable si ocurre durante cortos periodos de tiempo de tal forma que los protocolos de las capas superiores o la capa de aplicación puedan recuperarse sin ningún efecto notable para el usuario. Es por esto que existen tres mecanismos usando en el núcleo de la red de paquetes para alcanzar interoperabilidad transparente de servicios de paquetes entre LTE y el legado 3GPP en 2G y 3G que incluyen:

- Usar la S-GW (Serving Gateway) como un ancla de movilidad para todas las tecnologías de radio 3GPP. Es importante decir que el S-GW es el nodo principal del EPC (del inglés Evolved Packet Core que en español es Núcleo de Paquetes Evolucionado) utilizado para el enrutamiento de paquetes. [24]
- Hacer que el MME (del inglés Mobility Management Entity) el cual cumple con diversas funciones tales como la distribución de los mensajes de búsqueda a los nodos B, control de seguridad, control de la movilidad en el estado ralentí, control del canal de datos SAE y la protección de integridad y cifrado de la señalización

NAS) aparezca para las redes 2G y 3G como otro SGSN (Serving GPRS Support Node).

- Usar una técnica para el registro simultáneo de RA (del inglés Routing Area) y TA (del inglés Tracking Area) como ISR (del inglés Idle-Mode Signalling Reduction).

Es importante resaltar que los mecanismos de entrega para conmutación de paquetes no aplican para el trabajo entre paquetes de voz en LTE (VoIP) y el núcleo CS 2G-3G.

Importancia del soporte de Red en Servicios de datos Transparentes

Para entender porque el soporte de red es crítico, hay que considerar la implementación de entrega de equipo de usuario más simple en I-RAT (Inter-Radio Access Technology). Esta implementación se basa en el concepto de que un equipo de usuario que se encuentre desligado de cualquier red, esté monitoreando tecnologías simples y seleccionando el radio más accesible. En el caso que la cobertura para el radio al que se encuentra conectado actualmente baje, el equipo de usuario simplemente re-selecciona y se vuelve a adherir al que le suministre la mejor cobertura.

El problema con este enfoque es que una nueva dirección IP se va a emitir cada vez que el equipo de usuario se adhiera a la red, y no hay garantía que este vaya a continuar utilizando la misma dirección IP. Como consecuencia todas las sesiones de la capa de aplicación van a tener que ser destruidas y reconectadas. En algunos casos, como es la navegación de red, el impacto va a ser mínimo, pero en otras situaciones tales como la utilización de servicios tales como VPN (Virtual Private Networks) y streaming de video, la sesión entera va a necesitar ser reconstruida.

Servicio de Voz en LTE

Existen diferentes modos de operación en los que se puede encontrar un equipo de usuario. Uno de estos es el roaming que se refiere al concepto, cuando un equipo de usuario conmuta de una antena fija a otra con mejor señal y esta puede encontrarse fuera del área de cobertura de su operador de servicios pero utiliza las redes de otros proveedores para continuar realizando haciendo uso de las capacidades que tendría dentro de su red. Esto es

con el fin de darle conectividad ininterrumpida. [24] Otro modo es el de ralentí (del inglés Idle) que se refiere al estado del equipo de usuario cuando este se encuentra utilizando la menor cantidad de recursos con el fin de ahorrar la mayor cantidad de energía. [25] Finalmente el modo activo se refiere cuando el equipo de usuario tiene una sesión activa para un servicio particular.

Para los suscriptores que requieren continuidad de servicio de voz entre LTE y la redes 2G-3G, ya sea en los modos de roaming, activos y de ralentí van a existir tres tipos de situaciones que van a poder experimentar. La primera es donde la voz se encuentra implementada al sistema por medio de las redes 2G-3G y los servicios de datos se encuentren a cargo de la red LTE. El segundo caso es cuando la voz se provea en los sistemas LTE por medio de VoIP utilizando IMS. Por último se encuentra el proveer voz en LTE por medio de CSoPS (del inglés Circuit Switch over Packet Switch).

Cobertura de Voz Transparente Utilizando LTE para Datos

Inicialmente la instalación de LTE va a permitir servicios de datos solamente. Cuando el equipo de usuario es una tarjeta de datos para una computadora personal, no se va a necesitar cobertura de voz. Es por esto que se espera que las terminales LTE de datos habilitada sean instaladas antes que exista una cobertura universal de voz en LTE. En este caso, va a ser necesario proveer tanto la interoperabilidad de datos al igual que proveerle al usuario una buena QoE cuando la voz se cubra en la red 2G-3G, y los datos sean suministrados por medio de la red LTE. Esto se va a lograr por medio CS – Fallback (del inglés Circuit Switched Fallback). El CS-Fallback se refiere cuando el equipo de usuario conmuta de una red LTE a una basada en conmutación de circuitos como es el caso de las redes 2G y 3G para realizar una llamada de voz. [26] En el caso de las llamadas que son salientes al equipo de usuario este va a iniciar la propia transición a la red 3G y una vez logrado esto puede proceder normalmente la inicialización de la llamada de voz en la red 3G.

En el caso de las llamadas entrantes al equipo de usuario se busca el equipo de usuario a través de LTE. Esto comienza un procedimiento con la red y el equipo de usuario

para que este realice la transición a 3G o 2G para recibir la llamada. Si hay una sesión activa de datos, puede ser continuada por medio de la red 3G. En el caso de las interface SGs, también pueden ser utilizadas para dar soporte a la entrega de SMS sobre LTE. Un centro SMS se conecta al MSC (del inglés Mobile Switching Center) de 3G por medio de una interface de mapa. El servidor MSC puede entregar mensajes SMS sobre LTE por medio de la interface SG al MME como se muestra en la Figura 11. Esta funcionalidad SMS no necesita un MSC full, solo requiere un servidor MSC. La arquitectura que permite el CS-Fallback se muestra en la Figura 19.

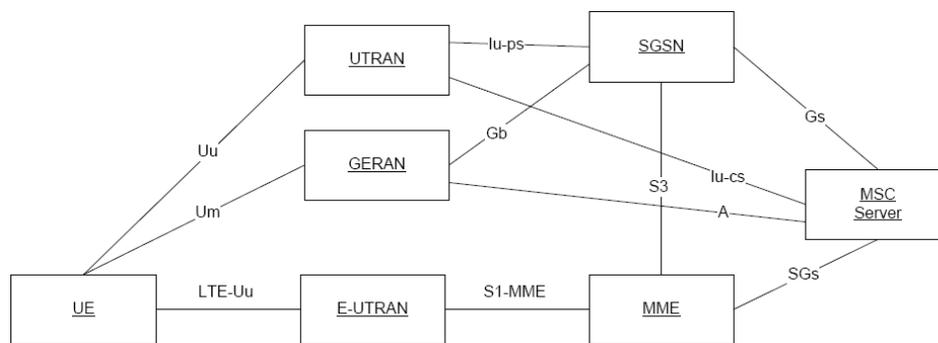


Figura 11 CS-Fallback en la Arquitectura EPS [27]

Cobertura de Voz Transparente para LTE VoIP

Debido a que las redes 3G generalmente utilizan voz sobre circuitos y las redes LTE están basadas en paquetes, es necesario suministrar movilidad entre el dominio de circuitos y paquetes para servicios de voz. La característica SRVCC provee esta capacidad tanto para los modos de movilidad activos y de ralentí. Las llamadas van a ser entregadas de forma transparente a LTE o redes 2G-3G de acuerdo con la red en la que se encuentre activo el usuario. En el caso de un usuario que se encuentra activo en una llamada y deja un área de cobertura de LTE, SRVCC (del inglés Single Radio Voice Call Continuity) que es un estándar que permite que la llamada sea entregada a la red 2G-3G sin interrupción. Para facilitar la transferencia de sesión, el MSC de 2G-3G debe de actualizarse con las

capacidades SRVCC, que incluyen el soporte de la interface Sv como se muestra en la Figura 12.

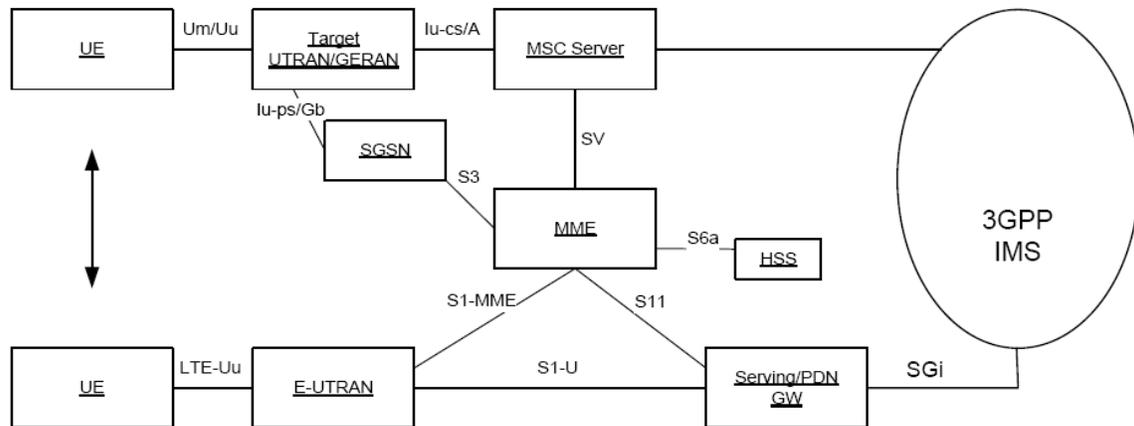


Figura 12 Transferencia de llamada entre redes LTE y redes 2G-3G [28]

Cuando se requiere una entrega de voz entre el dominio LTE basado en el IMS y el dominio 2G-3G basado en conmutación de circuitos, la Sv se utiliza para disparar al MSC a iniciar la transferencia SRVCC. El Enhanced MSC Server (del inglés Mobile Switching Centre Server) se utiliza para iniciar el procedimiento de transferencia de sesión al IMS y lo coordina con el procedimiento handover de entrega CS a la celda meta.

SRVCC soporta la transferencia concurrente de un bearer de un paquete si la red meta es 2G o 3G y es capaz de soportar concurrente voz y datos.

Si VoIP es utilizado en 3G, entonces una llamada de voz puede ser entregada a una red de paquetes 3G sin usar SRVCC el cual se logra por medio de PS HO (Packet Switching Handover).

Cobertura de Voz Transparente cuando se utilice CS sobre PS

VoLGA (del inglés Voice over LTE via Generic Access) es una tecnología desarrollada que soporta la entrega de llamadas de voz, de la red LTE a GSM-UMTS utilizando alguna de las capacidades de SRVCC descritas anteriormente. Cuando el E-UTRAN (del inglés Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network que es una tecnología desarrollada en el Release 8 la cual es clave para proveer altas tasas de datos,

baja latencia y sistema de paquetes optimizados) detecta la necesidad de una entrega basada en reportes de mediciones recibidos por parte del dispositivo móvil, este envía un mensaje Handover Required (Entrega Requerida) al MME, iniciando el proceso. El MME le informa de vuelta al VANC (del inglés VoLGA Access Network Controller el cual es un elemento de red introducido que se utiliza como interface entre una red LTE y una basada en conmutación de circuitos. Desde el punto de vista de LTE el VANC se conecta al P-GW (del inglés Packet Data Network Gateway) por medio de la interface estándar SGi. Tanto la señalización y tráfico producido por el usuario se transportan por esta interface. Desde el punto de vista del núcleo LTE el VANC se mira como otro nodo externo basado en IP y los paquetes son enviados de forma transparente a través de la red EPC.

Desde un punto de vista de la red conmutada por circuitos la interface A se utiliza para conectar VANC a un Mobile Switching Center (MSC). La interface Iu se utiliza para conectar VANC al MSC de UMTS. Por ende el VANC se ve como un GSM Base Station Controller para un GSM MSC y como un UMTS Radio Network Controller para un UMTS MSC) que en un handover se necesita para enviarle un mensaje de solicitud SRVCC PS (del inglés conmutación de paquetes) a CS (del inglés conmutación de circuitos) por medio de la interface Sv. El VANC convierte esta solicitud en un CS Handover Request y se lo envía al MSC instruyéndolo a que se prepare para la entrega. Una vez que las preparaciones han sido completadas, el MSC le informa al VANC que está listo para la entrega. El VANC notifica al MME, que luego comanda al equipo de usuario, por medio de la UTRAN, que entregue al GERAN/UTRAN.

Con la finalización de la entrega, el VANC despeja todos los recursos usados por la llamada y le instruye al MME a realizar lo mismo al enviarle la Notificación Completa SRVCC PS a CS. En este punto, el VANC puede también cancelar el registro del equipo de usuario y liberar el bearer de señal VoLGA. Si una sesión de datos está actualmente activa con la llamada de voz, puede ser entregada a la red GSM-UMTS o suspendida, dependiendo de las características de la red.

Arquitectura de Radio

Debido a que los sistemas de LTE se basan en conmutación de paquetes esto significa que para toda la transmisión dichos paquetes existen diferentes modos de transmisión y señalización según la prioridad de cada servicio. Es por esta razón que se ha definido la arquitectura de radio encargada del manejo y manipulación de toda la información a través de la red LTE.

La Figura 13 muestra la arquitectura general de protocolo de radio al igual que el uso de bearers de radio (canales de datos), canales lógicos, canales de transporte y canales físicos.

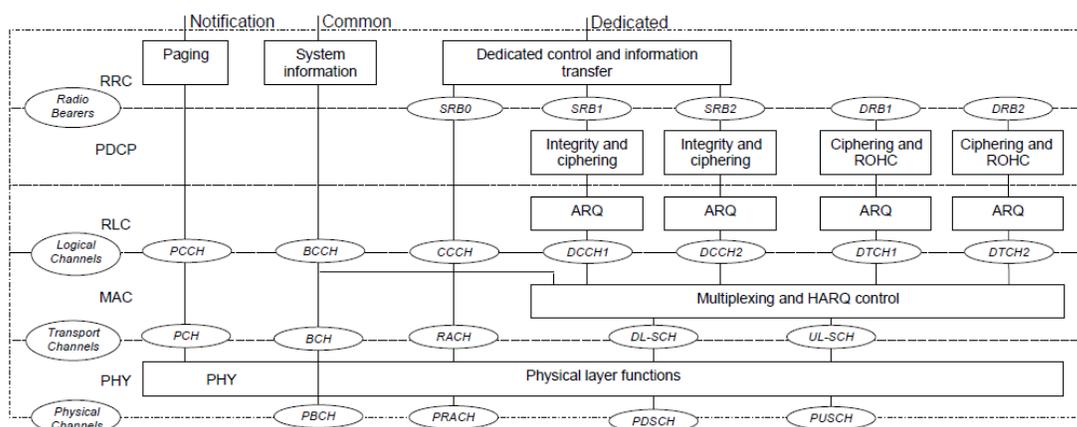


Figura 13 Arquitectura de Radio [30]

Los mensajes RRC (del inglés Radio Resource Control) son transferidos a través de los SRB (del inglés Signalling Radio Bearers), que son mapeados por medio de las capas PDCP (del inglés Packet Data Convergence Protocol) y RLC (del inglés Radio Link Control) en canales lógicos, ya sea el CCCH (del inglés Common Control Channel) durante el establecimiento de la conexión o un canal de control dedicado DCCH (del inglés Dedicated Control Channel) en modo RRC conectado. Información del sistema y mensajes de Paging (del inglés búsqueda) se mapean directamente a canales lógicos. El BCCH (del inglés Broadcast Control Channel) y al PCCH (del inglés Paging Control Channel) son los canales a los que se ven mapeados respectivamente.

El SRB0 se utiliza para mensajes RRC que usan el CCCH, SRB1 es para mensajes RRC usando el DCCH, SRB2 es para mensajes RRC de baja prioridad utilizando el DCCH que solo incluye información NAS dedicada. Todos los mensajes RRC utilizando DCCH tienen protección de integridad y están cifrados por la capa PDCP (después de que se active la seguridad de este) y utilizan protocolos ARQ (del inglés Automatic Repeat Request) para una entrega confiable a través de la capa RLC. Los mensajes RRC utilizando CCCH no tienen protección por integridad y no utilizan ARQ en la capa RLC. Es importante resaltar que de forma independiente NAS aplica protección de integridad y cifrado.

Para los parámetros los cuales los retrasos de transferencia bajos son más importantes que una transferencia segura, es decir los casos en los cuales la implementación de ARQ es inapropiado debido a los retrasos en que se incurre, la señalización MAC se utiliza siempre y cuando no hay preocupaciones de seguridad ya que la protección de integridad y cifrado no son aplicables. Esto se va a analizar a profundidad en la sección de protocolos seguidamente.

Modelo WINNER

Los modelos de canal de radio WINNER representan el último desarrollo del modelado del canal MIMO. Fueron desarrollados gradualmente durante cuatro años en dos fases del proyecto IST-WINNER. Debido a que el modelo SCME no era adecuado para simulaciones avanzadas, nuevos modelos basados en medición tuvieron que ser desarrollados.

El modelo Phase I, conocido como el modelo genérico WINNER, fue el primer paso hacia delante desde SCME y fue basado en mediciones del canal realizados en 2 y 5 GHz. El modelo genérico hace posible crear una geometría arbitraria de radio basada en el modelo del canal. El modelo es un multienlace basado en haces doblemente direccional que son independientes de la antena, escalables y capaces de modelar canales MIMO. Las distribuciones estadísticas y parámetros de canal extraídas de las mediciones en cualquier escenario de propagación puede ser adaptado al modelo genérico. El modelo cubre una limitada cantidad de escenarios de propagación. El modelo Phase II incrementa el número de escenarios a 13, agregando nuevas características al modelo, y extendiendo el rango de

frecuencias para cubrir un rango de 2 a 6 GHz. Estos modelos cubren un gran rango de escenarios y ambientes, incluyendo interiores, de afueras a interiores (y viceversa), micro y macro celdas urbanas y correspondientes ambientes urbanos complicados, macro celdas suburbanas y rurales, enlaces feeder y redes móviles. La Tabla 9 muestra los escenarios más importantes que pertenecen a entornos de área local (LA), área metropolitana o entornos de Wide Area. Están basados en un enfoque de canal genérico, que significa que es posible variar el número de antenas, las configuraciones de antenas, geometría y patrones de formación de haces sin cambiar el modelo básico de propagación.

Este método permite el uso del mismo canal de datos en diferentes simulaciones de nivel de enlace y sistema. Los modelos incluyen los modelos CDL para la calibración del sistema. Las pérdidas de trayectoria han sido especificadas para todos los escenarios, divididos en dos sub escenarios de acuerdo a las condiciones de propagación (LOS/NOS) cuando sea aplicable. La estructura general de las pérdidas de trayectorias están dadas por:

$$PL = A \log_{10} d + B + C \log_{10} \frac{f_c}{5} + X \quad [1]$$

Tabla 9 Escenarios de Propagación WINNER [45]

Escenario	Definición	Ambiente	LOS/NOS	Movilidad (km/h)	Notas
A1	Oficina interior	LA	LOS/NOS	0-5	
B1	Microcelda urbana	LA,MA	LOS/NOS	0-70	
B4	Microcelda de interior a exterior	MA	NLOS	0-5	
B5	Alimentador estacionario LOS	MA	LOS	0	Bajo techo a nivel de calle
C1	Suburban	WA	LOS/NLOS	0-120	
C2	Macrocelda urbana típica	MA, WA	LOS/NLOS	0-120	
D1	Macrocelda urbana típica	WA	LOS/NLOS	0-200	

Donde d es la distancia en metros y f_c es la frecuencia de la portadora de GHz. Para cada sub escenario, un set de constantes A , B y C se encuentran definidas al igual que el término adicional X , para casos especiales. X es un factor dependiente del entorno, por

ejemplo para modelar la atenuación debido a paredes o pisos (si el transmisor y el receptor están ubicados en diferentes pisos).

4.2 Protocolos

Flujo de Datos en LTE

En lo que al flujo de datos respecta, en los sistemas LTE existen dos sistemas que se encargan de esta tarea. Los bearers (del inglés canales de datos) que son los encargados de llevar información de una parte del sistema a otro con una calidad de servicio particular, por lo que un bearer lleva la información de un elemento de red a otro. Se asocia con una particular calidad de servicio, que describe parámetros tales como la tasa de datos, tasa de error y retraso.

El otro sistema son los canales, los cuales llevan la información entre diferentes niveles de la pila de protocolos de la interface de aire. En la Figura 14 se muestra como está distribuido el modelo de los bearers.

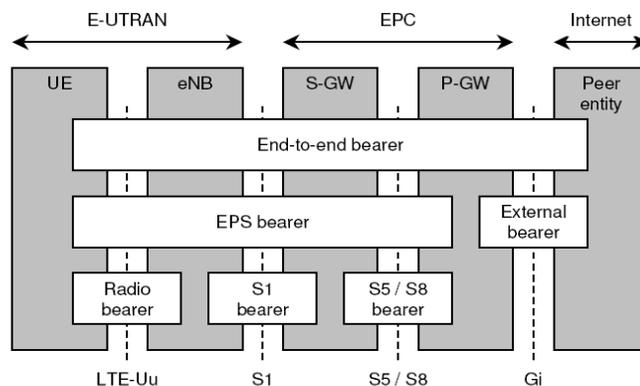


Figura 14 Relación de Canales de Comunicación con la Arquitectura [29]

El bearer más importante es el EPS, que lleva datos entre el equipo de usuario y el PDN Gateway (P-GW). Cuando la red establece un flujo de datos, los datos son transportados por un EPS bearer, y están asociados con una particular calidad de servicio. Es imposible implementar un bearer EPS directamente, porque extiende diversas interfaces que usan diferentes protocolos de transporte. El bearer EPS por ende está dividido en tres

bearers de nivel inferior. El bearer de radio que es el que lleva datos entre el equipo de usuario y el E-UTRAN Nodo B (eNodoB). El bearer S1 que lleva datos entre el eNodoB y el Serving Gateway (S-GW). Y finalmente el bearer S5/S8 que lleva datos sobre la interface S5 o S8, entre el S-GW y el PDN GATEWAY(P-GW). Si estos elementos se encuentran juntos en la red este bearer no existe.

La red puede implementar cada uno de estos bearers usando los protocolos de transporte que son apropiados para las interfaces correspondientes. En particular, el bearer de radio está implementado utilizando los protocolos de la interface de aire, y los canales que se describirán más adelante.

Por supuesto el bearer EPS no carga el servicio completo de extremo a extremo, porque también hay un bearer externo que carga los datos en la red externa. Este bearer se encuentra fuera del alcance del sistema, y no se considerará.

Terminología Bearer EPS

Existen diferentes tipos de Bearers EPS. Una clasificación se refiere a la calidad del servicio. Un bearer GBR (Guaranteed Bit Rate) tiene una tasa de bits garantizada entre sus parámetros de calidad de servicio. Este bearer GBR sería conveniente para un servicio de telefonía por ejemplo. Un bearer Non-GBR (Non-Guaranteed Bit Rate) no tiene una tasa de bits garantizada. Un bearer Non-GBR sería adecuado para servicios como por ejemplo el correo electrónico.

Otra clasificación que se le da a estos bearers es según el tiempo de establecimiento. Por ejemplo un bearer EPS se establece cuando el equipo de usuario se conecta a una red de paquetes de datos. Esto se conoce como el bearer default. Provee al usuario con una conexión IP siempre en marcha. Un bearer default siempre está en bearer non-GBR.

Cualquier bearer EPS adicional para el mismo Packet Data Network se conoce como bearer dedicado. Los bearers dedicados pueden ser ya sea GBR o no GBR. Además cada bearer EPS está asociada con dos TFT (del inglés Traffic Flow Templates), una para el uplink y la otra para el downlink. El TFT es un set de filtros de paquetes, que el equipo de usuario y la red usan para mapear paquetes entrantes al bearer EPS correcto.

Existen en los bearers parámetros de Calidad de Servicio (QoS). Cada bearer EPS tiene un QCI (del inglés QoS class identifier) y una prioridad de asignación y retención. En el caso de los bearers GBR estos tienen una tasa de bits máxima.

Cada bearer EPS se encuentra asociado con distintos parámetros de QoS. Uno de estos es el Identificador de clase QoS (QCI) que consiste de un número que describe la tasa de error y el retardo que está asociado con el servicio. Otro de los parámetros es el de prioridad de asignación y retención (ARP). Esto determina si un bearer puede ser finalizado si la red se congestiona, o si puede causar que otros bearers sean finalizados. Las llamadas de emergencia pueden ser asociadas con un ARP alto por ejemplo.

En el caso de los bearers GBR, estos también se asocian con distintos parámetros. Uno de estos es el Guaranteed Bit Rate (GBR) que es la tasa de bits promedio en LTE que un usuario puede esperar recibir del proveedor. También se define el MBR (del inglés maximum bit rate). Esto es la máxima tasa de bits instantánea que la red va a ser capaz de proveer. El UE-AMBR (del inglés per UE aggregate maximum bit rate) limita la tasa total de bits de todos los bearers para un particular equipo de usuario.

Para los bearers no-GBR estos se encuentran colectivamente asociados a dos parámetros. El primero es el UE-AMBR el cual limita la tasa total de bits de todos los bearers para un particular equipo de usuario. El segundo es el APN-AMBR (del inglés Per APN aggregate maximum bit rate) cuya función es limitar la tasa de bits máxima de los bearers no-GBR que un equipo de usuario está intercambiando con un Particular Access Point Name. En la Tabla 10 se muestran las características de los bearers GBR y no-GBR.

Tabla 10 Características de los Bearers GBR y no-GBR [29]

QCI	Bearer	Prioridad	Delay	PELR	Ejemplos
1	GBR	2	100 ms	10^{-2}	Conversación de Voz
2		4	150 ms	10^{-3}	Conversación de video
3		3	50 ms	10^{-3}	Juegos en tiempo real
4		5	300 ms	10^{-6}	Streaming de Video
5	No-GBR	1	100 ms	10^{-6}	Señalización IMS
6		6	300 ms	10^{-6}	Streaming video, web, Email
7		7	100 ms	10^{-3}	Voz, video, juegos
8		8	300 ms	10^{-6}	Streaming de video, web, Email
9		9	300 ms	10^{-6}	Streaming de video, web, Email

Cada bearer EPS está asociado con un número llamado el identificador de clase QoS (QCI). Los nodos de red usan el QCI como referencia, para buscar los parámetros que controlan la forma en la que los paquetes del flujo de datos son enviados. Algunos de estos valores QCI han sido estandarizados, y están asociados con parámetros de calidad de servicios que están listados en la Figura 22. Uno de los parámetros son los QCI que son los identificadores de Clase QoS Estandarizado. Otros valores pueden ser definidos por el operador de red. Por ejemplo si el bearer tiene o no una tasa de bits garantizada. En el caso de la prioridad esto afecta la programación de los nodos de red donde uno es la prioridad más alta. También existe el delay Upper bound (con 98% de confiabilidad) para el retraso que un paquete puede experimentar entre el equipo de usuario y el P-GW.

El Packet Error Loss Rate (PELR) es el límite superior para la proporción de paquetes que se pierdan con un 98% de confianza para el retraso que un paquete pueda experimentar entre el equipo de usuario y la P-GW. (Servicios Non-GBR pueden experimentar pérdida de paquetes adicional debido a la congestión). Los parámetros QoS no son mandatorios, en vez, son guías que los operadores de red pueden usar para trabajar fuera de los parámetros específicos mencionados anteriormente. La intención es que las aplicaciones mapeadas a un particular QCI deberían recibir aproximadamente la misma calidad de servicio no importa en cual red esté.

Signalling Radio Bearers (SRB)

Tres bearers especiales de radio son usadas para transferir mensajes de señalización entre el equipo de usuario y la red. Estos se conocen como Signalling Radio Bearers (SRBs). En la Tabla 11 se resumen la aplicación y configuración de cada bearer.

Tabla 11 Tipos de Signalling Radio Bearers [29]

Bearer	Función	Configurado por
SRB0	Establece la señalización RRC	Información del sistema
SRB1	Transporta otros mensajes RRC y mensajes NAS incluidos. Establece señalización NAS	Mensajes en SRB 0
SRB2	Transporta otros mensajes NAS	Mensaje en SRB1

EL SRB 0 es el encargado de establecer la señalización de comunicaciones entre el equipo de usuario y el E-UTRAN. La red pública establece la configuración del SRB 0 usando la información del sistema que se difunde en toda la celda, y se asegura que todos los equipos de usuario puedan transmitirlo y recibirlo.

El siguiente es el SRB 1 el cual desempeña dos funciones. La primera es que el SRB1 se utiliza para todos los mensajes subsecuentes RRC. Algunos de estos mensajes también pueden contener mensajes NAS incluidos, para reducir la latencia de señalización entre el equipo de usuario y la red.

El otro es el SRB 1 que también es usado para señalización de comunicaciones NAS entre el equipo de usuario y el EPC. SRB 1 se configura cuando el equipo de usuario establece comunicaciones de señalización con el EUTRAN, usando mensajes que son intercambiados en la SRB 0.

Finalmente el SRB 2 es el utilizado para todos los mensajes NAS. Este es configurado por el E-UTRAN, después de que los procedimientos de seguridad han corrido, utilizando los mensajes que son intercambiados en SRB 1.

Los signalling radio bearers son similares a los de UTRAN, pero hay una menor cantidad y son utilizados ligeramente en diferentes formas.

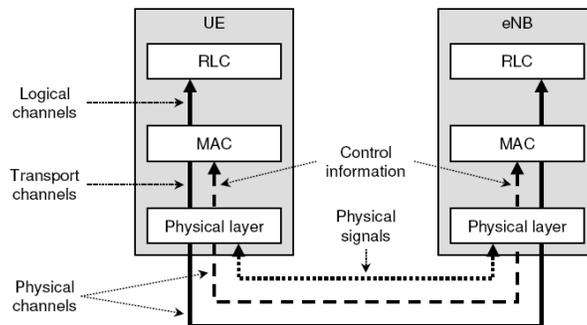


Figura 15 Canales y señalización entre el Equipo de Usuario y eNodoB [29]

Canales y Modelo del Canal

Un canal lleva información entre diferentes niveles de la pila de protocolos de la interface de aire. Al igual que en UTRAN, existen tres tipos de canales. Estos son los canales lógicos, físicos y de transporte. Los canales lógicos existen entre el RLC(Radio Link Control) y los protocolos del medio de control de accesos (MAC). En el caso de los canales de transporte hay un flujo entre el protocolo MAC y la capa física. Los canales físicos: fluyen fuera de la capa física.

Las especificaciones también definen dos tipos de información de señalización de bajo nivel. La primera es la Información de control que aparece al mismo nivel que los canales de transporte. Está compuesto por el transmisor del protocolo MAC; después se transporta usando los canales físicos, y viaja tan lejos como el protocolo de MAC receptor. Es completamente invisible para capas superiores.

Las otras son las señales físicas las cuales aparecen al mismo nivel que los canales físicos. Están compuestos por la capa física del transmisor, y viaja tan lejos como el receptor de la capa física. Son completamente invisibles a las capas superiores.

Canales Lógicos

El flujo de datos de los canales lógicos entre los protocolos de radio link control y los del médium access control están distinguidos por el tipo de información que está siendo intercambiada entre el EUTRAN y el equipo de usuario.

Existen tres canales lógicos que son usados tanto en el uplink como en el downlink. El DTCH (del inglés Dedicated Traffic Channel), DCCH (del inglés Dedicated Control Channel) y el CCCH (del inglés Common Control Channel). El DTCH es el encargado de transportar datos del plano de usuario hacia o desde un solo equipo de usuario. El DCCH lleva mensajes de señalización del plano de control hacia o desde un único equipo de usuario, en SRB 1 o SRB 2. Es usado por los equipos de usuarios que ya tienen una conexión de señalización con el E-UTRAN. El Common Control Channel (CCCH) porta señalización radio bearer 0. Este es usado para realizar una conexión de señalización entre el equipo de usuario y el E-UTRAN. El DTCH y DCCH son los más importantes. En la Tabla 12 se encuentran las descripciones de dichos canales.

Tabla 12 Canales y Lógicos en LTE [29]

		Nombre	Uso
Uplink + Downlink	DTCH	Canal de tráfico dedicado	Datos
	DCCH	Canal de control dedicado	Señalización en SRB ½
	CCCH	Canal de control común	Señalización en SRB 0
Downlink solamente	MTCH	Canal de tráfico multicast	Datos MBMS
	MCCH	Canal de control multicast	Señalización MBMS
	PCCH	Canal de control de Paging	Mensajes Paging
	BCCH	Canal de control de Broadcast	Información del sistema

Existen otros cuatro canales que se utilizan solamente en el downlink. El primero es el MTCH (del inglés Multicast Traffic Channel) el cual es un canal punto a multipunto. Lleva los MBMS (del inglés broadcasts multimedia / servicios multicast) de la red a un grupo de equipos de usuario, para aplicaciones como televisión móvil. El segundo es el Multicast Control Channel (MCCH) el cual es un canal punto a multipunto. Este lleva los mensajes de señalización que están relacionados con MBMS. El tercero es el Paging Control Channel (PCCH) el cual transfiere mensajes de búsqueda de la red al equipo de usuario, si la red no sabe en cual celda se encuentra el equipo de usuario. (Si la red sabe en cual celda el equipo de usuario se encuentra, entonces puede transferir el mensaje de

búsqueda al DCCH como cualquier otro tipo de señalización. Finalmente se encuentra el Broadcast Control Channel (BCCH) el cual lleva información del sistema, que se difunde por toda la celda para decirle a los equipos de usuario como está configurada la celda.

Canales de Transporte

Los canales de transporte fluyen entre el protocolo MAC y su capa física. Se distingue por la forma en la cual la información es transportada. El uplink usa dos canales de transporte. El primero es el UL-SCH (del inglés Uplink shared channel) el cual transporta todos los datos del equipo de usuario y la señalización en el uplink. Además de que soporta hybrid ARQ. El otro es el RACH (del inglés Random Access Channel). Este es utilizado para solicitar el establecimiento de una conexión de señalización entre el equipo de usuario y la red, y re-establecer la sincronización de tiempo entre ellos. (A diferencia de UTRAN, en realidad no lleva datos o señalización, tal información se lleva en UL-SCH.) Estos canales de transporte se resumen en la Tabla 13.

Tabla 13 Canales de Transporte en el Uplink y Downlink [29]

		Nombre	Uso
Uplink	UL-SCH	Canal compartido de Uplink	Señalización y datos Uplink
	RACH	Canal de acceso aleatorio	Solicitud de conexión para señalización
Downlink	DL-SCH	Canal compartido DownLink	Señalización y datos Downlink
	MCH	Canal Multicast	MBMS cuando utiliza MBSFN
	PCH	Canal de Paging	Mensajes de paging
	BCH	Canal de broadcast	Información del sistema importante

El downlink utiliza cuatro canales. El primero de ellos es el DL-SCH (del inglés Downlink shared Channel), el cual transporta todos los datos de los equipos de usuario y señalización en el downlink, excepto por los casos que se mencionan abajo. Además soporta hybrid ARQ. El segundo es el MCH (del inglés Multicast Channel). Este lleva datos y señalización para el MBMS. Además soporta la transmisión utilizando MBSFN (del inglés multimedia broadcast over a simple frequency network). Si no se utiliza MBSFN, entonces la información puede ser transmitida en el DL-SCH.). El tercero es el Paging channel (PCH) el cual lleva mensajes de búsqueda que han sido transmitidos en el PCCH. Además soporta la recepción discontinua (DRX). El último es el Broadcast Channel (BCH)

el cual transporta la información más importante de broadcast del sistema del BCCH. (Otra información de broadcast del sistema puede ser transportada en el DL-SCH.)

Información de Control

La información de control está compuesta por el protocolo del médium access control del transmisor. Es transportado usando los canales físicos, y viaja tan lejos como el protocolo MAC en el receptor. Es completamente invisible a las capas superiores. En la Tabla 14 se muestra los canales de información.

Tabla 14. Canales Información de Control en el Uplink y Downlink [29]

		Nombre	Uso
Uplink	UCI	Información de control Downlink	Información de la calidad del canal Acknowledgements Hybrid ARQ Solicitudes de scheduling de Uplink
Downlink	DCI	Información de control Downlink	Información de scheduling UL Información de scheduling DL Comandos de control de potencia
	HI	Indicador Híbrido ARQ	Acknowledgements Hybrid ARQ
	CFI	Indicador de formato de control	Como leer el PDCCH

El uplink usa un set de información de control el cual transporta la información de la calidad del canal de downlink. Además, los datos de los reconocimientos (acknowledgement) del algoritmo ARQ hybrid, que el equipo de usuario ha recibido en el downlink, además de solicitudes para programación del uplink.

En el caso del downlink, este utiliza tres tipos de canales de información. El primero es el DCI (del inglés downlink control information), cuya función es transportar ya sea la información de programación para el uplink.

En el caso de los comandos de control de potencia para el transmisor del móvil son el HI (del inglés Hybrid ARQ indicator) cuya función es transportar los datos de reconocimiento de los algoritmos de hybrid ARQ que el eNodoB ha recibido en el uplink, y

el CFI (del inglés Control Format Indicator) que describe los recursos del canal físico que están siendo usados por el PDCCH.

Canales Físicos

El canal físico transita fuera del fondo de la capa física. Este tiene una relación con los canales de transporte que es muy cercano de uno a uno. El uplink usa tres canales físicos. Uno de estos es el PUSCH (del inglés Physical Uplink Shared Channel) que lleva el uplink shared channel. También puede llevar la información de control de uplink, si un móvil necesita transmitir datos e información de control al mismo tiempo. El segundo es el PRACH (del inglés Physical Random Access Channel) cuya función principal es la de transportar el random access channel. El downlink utiliza seis.

El primero es el Physical Downlink Shared Channel (PDSCH) que transporta el downlink shared channel y el canal de búsqueda. El segundo es el Physical Multicast Channel (PMCH) cuya función es transportar el multicast channel. De tercero se encuentra el Physical Broadcast Channel (PBCH) el cual transporta el canal de broadcast. De cuarto está el PCFICH (del inglés Physical Control Format Indicator Channel) que transporta los indicadores de formato de control. De quinto está el PDCCH (del inglés Physical Downlink Control Channel) que transporta la información de control de downlink. Finalmente se encuentra el PHICH (Physical hybrid ARQ indicator channel) utilizado para transportar los indicadores de hybrid ARQ. En la Figura 28 se muestran todos los canales físicos del sistema de radio.

Tabla 15 Canales Físicos en el Uplink y el Downlink [29]

		Nombre	Uso
Uplink	PUSCH	Physical UL shared channel	UL-SCH, UCI
	PUCCH	Physical UL control channel	UCI
	PRACH	Physical random access channel	RACH
Downlink	PDSCH	Physical DL shared channel	DL-SCH, PCH
	PMCH	Physical multicast channel	MCH
	PBCH	Physical broadcast channel	BCH
	PCFICH	Physical control format indicator channel	CFI
	PDCCH	Physical DL control channel	DCI
	PHICH	Physical hybrid ARQ indicator channel	HI

Señales Físicas

Las señales físicas están compuestas en la capa física del transmisor, y viajan tan lejos como la capa física en el receptor. Son completamente invisible a las capas superiores (Son análogas a los canales físicos del UTRAN y no llevan canales de transporte, como lo son SCH y CPICH).

La mayoría de los canales físicos son señales de referencia, también comúnmente conocidos como señales piloto. Esto provee al receptor con referencias de fase y amplitud que tienen diferentes usos. El uplink tiene dos señales de referencia. La primera es la señal de referencia de demodulación la cual ayuda al eNodoB a demodular la información que el equipo de usuario está transmitiendo en el PUSCH y PUCCH. La segunda es la SRS (del inglés Sounding Reference Signal) que ayuda al eNodoB a decidir cuales frecuencias portadoras debería asignar al equipo de usuario para transmisión. La idea de escoger las frecuencias portadoras que están siendo recibidas fuertes, y evitar frecuencias que están actualmente teniendo desvanecimientos. El downlink usa tres señales de referencia, que todas son usadas para la demodulación. La primera es el Cell-specific reference signal que es una señal piloto para las señales que la celda transmite hacia los equipos de usuario. El segundo es el UE-Specific Reference Signal que es una señal piloto para las señales de la antena que son dirigidas hacia los equipos de usuario individuales. La tercera es la señal de referencia MBSFN que es una señal piloto para el PMCH. Las señales de sincronización ayudan al equipo de usuario durante la adquisición. El downlink utiliza dos, la señal de sincronización primaria y la señal de sincronización de la señal secundaria. Juntos, permiten al equipo de usuario establecer la sincronización de tiempo con la celda, y encontrar su identidad. En la Tabla 16 se muestran las señales de referencia.

Tabla 16 Señales Físicas en el Uplink y el Downlink [29]

	Name	Uso
Uplink	Señal de referencia de demodulación	Señal piloto para demodulación
	Señal Sounding Reference (SRS)	Señal piloto para scheduling
Downlink	Señal de referencia específica de celda	Señal piloto para cualquier equipo de usuario
	Señal de referencia específica de celda	Señal piloto para cualquier equipo de usuario
	Señal de referencia MBSFN	Señal piloto para el PMCH
	Señal de sincronización primaria	Adquisición
	Señal de sincronización secundaria	Adquisición

Flujo de Información en el Uplink

Hay muchos canales como para recordarse fácilmente. Como sea se agrupan en un número limitado de flujos de información, que son mejor considerados al ver la información de control del nivel de transporte y los canales de transporte. La Figura 16 muestra el flujo de información en el uplink. Las flechas son dibujadas desde el punto de vista del receptor eNodoB, para que las flechas apuntando hacia arriba correspondan a los canales de uplink.

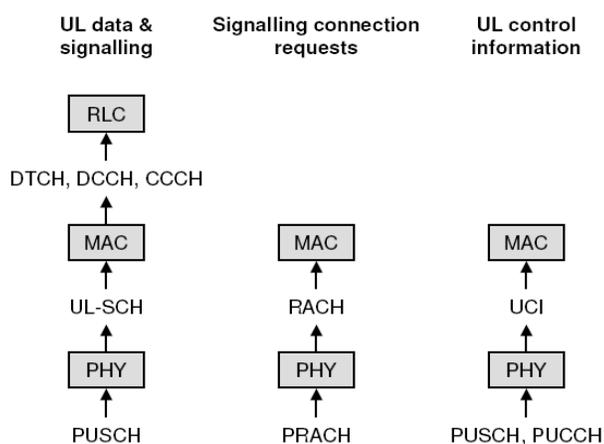


Figura 16 Flujo de Información en el Uplink [29]

Hay tres casos importantes a considerar. El primero es el de los datos de uplink en que los mensajes de señalización son transmitidos en el UL-SCH y el PUSCH. El segundo caso se refiere a las solicitudes para una conexión de señalización o para sincronización de tiempo que son transmitidas en el RACH y el PRACH. (El RACH se inicia en el equipo de usuario del protocolo MAC y finaliza en el eNodoB's protocolo MAC). El último caso se refiere a la Información de Control del Uplink que es transmitida en el PUSCH (si el equipo de usuario tiene datos que transmitir), o en el PUCCH (si no lo hace).

Flujo de Información en el Downlink

La Figura 31 muestra el flujo de información en el downlink. Primero se verá los canales de transporte del downlink. Hay cuatro casos a considerar:

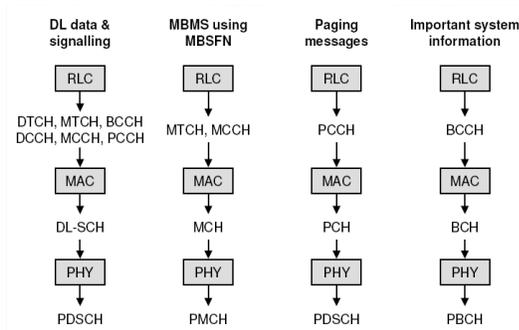


Figura 17 Flujo de Información en el Downlink [29]

La mayoría de los datos de downlink y mensajes de señalización son transmitidos en el DL-SCH y PDSCH. El multimedia broadcast / multicast service (MBMS) es transmitido en el MCH y el PMCH, si la red está usando broadcast multimedia en una red de frecuencia sencilla (MBSFN). Si fuese de otra forma el servicio puede ser transmitido en el DL-SCH y PDSCH).

Los mensajes de búsqueda son transmitidos en el PCCH, PCH y PDSCH, si la red no sabe en cual celda está el equipo de usuario. De otra forma los mensajes pueden ser transmitidos en DCCH, DL-SCH y PDSCH.) En el caso de la Información del sistema importante, esta es transmitida en el BCCH, BCH y PBCH.

Flujo de Control en el Downlink

Existen tres flujos de control de información en el downlink. Uno de ellos es la información de control de downlink el cual se transmite en el PDCCH. Además se tienen las confirmaciones (acknowledgements) que son transmitidos en el PHICH Hybrid ARQ. Finalmente se encuentra la información describiendo el PDCCH que es transmitida en el PCFICH.

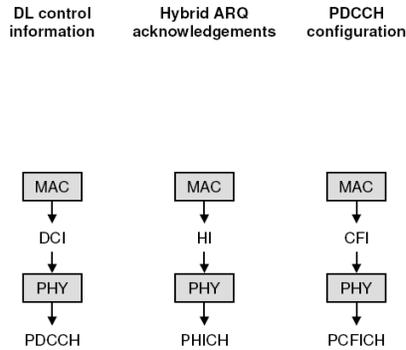


Figura 18 Flujo de Información en el Downlink [29]

Claramente hay muchas interacciones entre estos diferentes flujos de información. Si por ejemplo la red quiere enviar datos del equipo de usuario o señalización en el PDSCH, entonces primero debe mandar la información de programación en el PDCCH. Después de recibir la información, el equipo de usuario va a responder con un acknowledgement hybrid ARQ en el PUCCH o PUSCH.

En la Figura 33 se muestra el flujo de información en una secuencia de Mensajes RRC

- UE capability transfer procedure

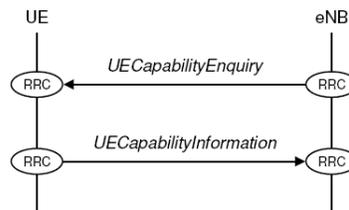


Figura 19 Flujo de Control en el Downlink [29]

Esta figura muestra la secuencia de mensaje para un procedimiento RRC simple, la transferencia de capacidad del equipo de usuario. Si el eNodeB desea encontrar la capacidad de acceso de radio de los equipos de usuario, entonces le envía al equipo de usuario un mensaje RRC llamado UECapabilityEnquiry. El mensaje es transmitido en el SRB1 (del inglés signalling radio bearer 1), usando el DCCH, DL-SCH y PDSCH. El

equipo de usuario responde con un mensaje RRC llamado UE Capability Information, donde lista las capacidades de acceso de radio que se mencionaron anteriormente. El mensaje es transmitido en el SRB 1, usando el DCCH, UL-SCH y PUSCH. (Algunos mensajes RRC son transmitidos en SRB 0. Esto es cuando el canal lógico CCCH, pero los canales de transporte y físicos no se cambian.)

Pila de Protocolos para señalización RRC

En la Figura 34 se muestra la pila de protocolos que son utilizados para transmitir los mensajes RRC. En el eNodeB, el mensaje es creado en el protocolo RRC, y después pasa a través de los siguientes:

1. El PDCP realiza la encriptación y protección de integridad, y bufferiza el mensaje en caso de handover.
2. El protocolo RLC bufferiza el mensaje nuevamente, en caso que necesite ser retransmitido desde la capa 2.
3. El protocolo MAC prioriza el mensaje y lo programa para transmisión.
4. La capa física transmite el mensaje al equipo de usuario. El mensaje es recibido por el equipo de usuario, y reversa el proceso para su respuesta.

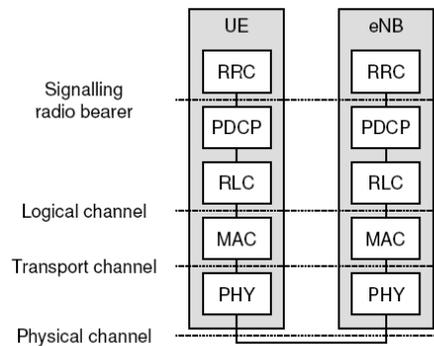


Figura 20 Pila de Protocolos para Señalización RRC [29]

Secuencia de Mensajes NAS

El intercambio de mensajes del non-access stratum entre el equipo de usuario y el EPC es más complicado. El diagrama a la izquierda en la Figura 35 se muestra un procedimiento NAS simple, el procedimiento de Identificación. Si el MME desea confirmar la identidad de un móvil, entonces le manda al móvil un mensaje EMM llamado solicitud de identidad. El móvil responde con un mensaje EMM llamado respuesta Identidad, que contiene la identidad solicitada.

El diagrama a la derecha de la Figura 35 muestra la implementación de este procedimiento en el Access Stratum. En la interface S1-MME, los mensajes NAS son transmitidos al incrustarlos en mensajes escritos usando la aplicación del protocolo S1: Transporte NAS Downlink en el downlink, y Transporte NAS en el Uplink.

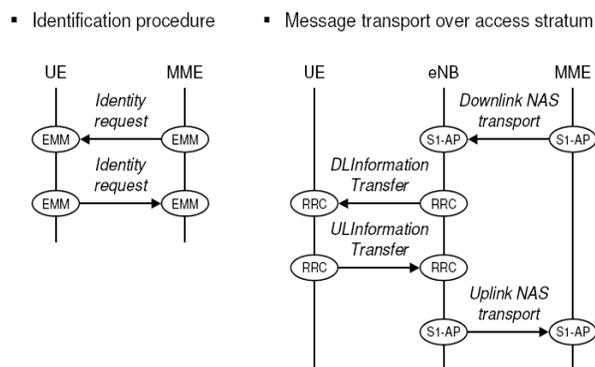


Figura 21 Pila de Protocolos para Señalización RRC [29]

En la interface de aire, los mensajes NAS son transmitidos al incrustarlos en mensajes escritos usando el protocolo RRC: DLInformationTransfer en el downlink y ULInformationTransfer en el uplink. Estos mensajes usualmente se transmiten usando el SRB2. (Estos mensajes del estrato de acceso son los equivalentes de las transferencias directas en UTRAN). Existen dos casos que son levemente diferentes y van a ser considerados luego. El primero es si el equipo de usuario establece una conexión de señalización con el EPC, entonces sus mensajes NAS se transportan por medio de un mensaje S1-AP llamado mensaje Initial UE. El segundo es que en algunos casos (incluyendo el establecimiento de una conexión de señalización EPC), los mensajes NAS pueden ser transportados en la interface de aire incluyéndolos en otros mensajes RRC. Esto reduce los retrasos de señalización.

Pila de Protocolos para la señalización NAS

En la interface de aire, los mensajes son transportados al incluirlos en las transferencias de información RRC, de la misma forma que los mensajes RRC se consideraron anteriormente. En la interface S1, los mensajes son transportados al incluirlos en los mensajes de transporte S1 NAS. La pila de protocolos es la misma que se utiliza para otros mensajes de señalización S1.

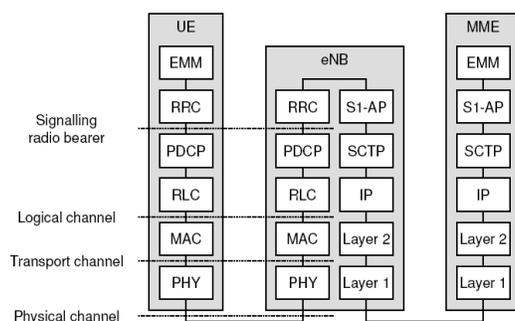


Figura 22 Pila de Protocolos para Señalización NAS

Pila de protocolos del Plano de Usuario

La Figura 23 muestra la pila de protocolos que son utilizados para intercambiar datos entre el equipo de usuario y un servidor en el mundo exterior. La pila de protocolos son menos complejos de lo que probablemente se vean. En la interface de aire, los datos son transportados usando el PDCP, RLC, MAC y la capa física. En tanto las interfaces S1 y S5, son transportados utilizando el protocolo GPRS tunneling de la parte del usuario, UDP e IP.

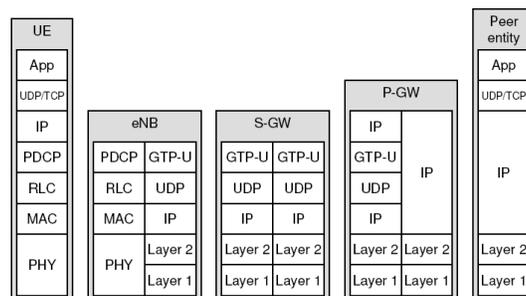


Figura 23 Pila de Protocolos de los diferentes Equipos en una red LTE [29]

Información del Sistema

La información del sistema se encuentra estructurada por medio de Bloques de Información del Sistema (SIB) de los cuales cada uno contiene un set de parámetros funcionalmente relacionados. Los tipos de SIB que se han definido incluyen:

- El Master Information Block (MIB) que consta de un número limitado de los parámetros transmitidos de manera más frecuente que son esenciales para los equipos de usuario cuando están inicialmente accedando la red.
- System Information Block Type 1 (SIB1) contiene los parámetros que se necesitan para definir si una celda es apta para la selección de celdas, al igual que información de programación del dominio del tiempo para otros SIBs.
- System Information Block Type 2 (SIB2), que incluyen información del canal tanto común como compartido.
- SIB3-SIB8 incluye los parámetros usados para controlar intra frecuencia, inter frecuencia y re selección de celda inter-RAT.

Existen tres tipos de mensajes RRC usados para transferir información del sistema: el mensaje MIB, el mensaje SIB1 y los mensajes de Información del Sistema (SI). Un mensaje SI, de los cuales pueden existir varios, incluye uno o más SIBs que tienen los mismos requerimientos de programación, es decir los mismos períodos de transmisión, dando como resultado la misma periodicidad de transmisión. La Figura 24 muestra un ejemplo programación de la información de configuración del sistema.

Message	Content	Period (ms)	Applicability
MIB	Most essential parameters	40	Idle and connected
SIB1	Cell access related parameters, scheduling information	80	Idle and connected
1st SI	SIB2: Common and shared channel configuration	160	Idle and connected
2nd SI	SIB3: Common cell reselection information and intra-frequency cell reselection parameters other than the neighbouring cell information SIB4: Intra-frequency neighbouring cell information	320	Idle only
3rd SI	SIB5: Inter-frequency cell reselection information	640	Idle only
4th SI	SIB6: UTRA cell reselection information SIB7: GERAN cell reselection information	640	Idle only, depending on UE support of UMTS or GERAN

Figura 24 Ejemplo de la Configuración para la Programación del Sistema [30]

Programación del dominio del tiempo de la Información del Sistema

La programación del dominio del tiempo de los mensajes MIB y el SIB1 son fijos: tienen repeticiones de 40ms y 80ms respectivamente. La programación de dominio del tiempo de los mensajes SI es dinámicamente flexible ya que cada mensaje SI se transmite en una ventana de dominio de tiempo definida periódicamente, mientras que la señalización de la capa física de control indica cuales subtramas dentro de esta ventana está programada el SI. Las ventanas de programación de los diferentes SIs (referidas como ventanas SI) son consecutivas ya que no se traslapan ni existen espacios entre ellos y tienen una longitud común que es configurable. Las ventanas SI pueden incluir subtramas en las cuales no es posible transmitir mensajes SI, tales como las utilizadas para SIB1, y aquellas para el uplink en TDD.

La Figura 40 ilustra un ejemplo de la programación del dominio del tiempo de la información del sistema, usando las sub-tramas para la transferencia de MIB, SIB1 y cuatro mensajes SI. El ejemplo utiliza una ventana cuya longitud son 10 subtramas, y muestra un mayor número de transmisiones siendo utilizadas para los mensajes SI.

Los mensajes SI pueden tener diferentes tiempos de repetición. Consecuentemente en algunos grupos (clusters) de ventanas SI todos los mensajes tienen diferentes tiempos de transmisión. Además en algunos grupos de ventanas SI todos los mensajes SI son programados, mientras que en otros grupos de ventanas SI solo los SIs con menor período de repetición son transmitidos.

Por ejemplo de la Figura 25 el cluster de ventanas SI comenzando en el System Frame Number (SFN) 0 contiene todos los mensajes SI, el grupo comenzando en SFN1 contiene solo el primer mensaje SI, que comenzando en SFN3 contiene los mensajes SI primeros y segundos, y que comenzando en SFN4 contiene solo el primer SI.

En la Figura 25 se muestra un grupo de ventanas SI donde todos los mensajes son transmitidos. En ocasiones donde un dado SI no se transmite (debido a un periodo de repetición más largo, su correspondiente ventana SI no se utiliza.

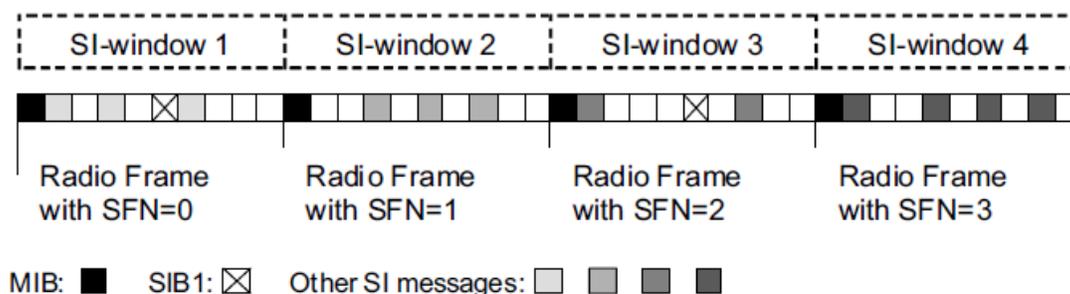


Figura 25 Ejemplo de la Información de Programación del Sistema [30]

Validez y Notificación de Cambio

La información del sistema normalmente cambia solamente a tramas de radio específicas cuyo Número de Trama del Sistema está dado por $SFN \bmod N=0$, donde N es configurable y define el período entre dos tramas de radio en donde un cambio pueda ocurrir, conocido como el período de modificación. Antes de realizar un cambio a la información del sistema, LTE notifica a los equipos de usuario por medio de un mensaje de búsqueda incluyendo una bandera de SystemInfoModification. La Figura 26. muestra el

cambio de información del sistema, con diferente sombreado indicando contenido diferente.

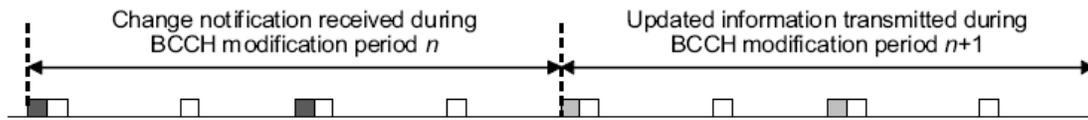


Figura 26 Períodos de Modificación de la Información del Sistema [30]

LTE provee dos mecanismos por los cuales se indican que la información del sistema ha cambiado. El primero es un mensaje de búsqueda que incluye una bandera indicando que la información del sistema ha cambiado. El segundo es una etiqueta de valor en SIB1 que se incrementa cada vez que uno o más mensajes SI cambian. Los usuarios de equipos en modo ralentí RRC usan este primer mecanismo, mientras que los equipos en modo RRC conectado pueden usar cualquier mecanismo.

El segundo mecanismo puede ser útil en casos cuando un equipo de usuario no puede recibir los mensajes de búsqueda. Los equipos de usuario en el estado de Ralentí RRC solamente se les requieren recibir el mensaje de búsqueda en ocasiones de búsqueda normales lo que implica que no se requieren de wake-ups para la detección en la información del sistema. Con tal de asegurar confiabilidad de recepción, el mensaje de búsqueda de notificación de cambio normalmente se repite un número de veces durante el período de la modificación BCCH después de que la primera información del sistema se transmite. El período de modificación se expresa como un múltiplo del ciclo de búsqueda por defecto de una celda específica.

Los equipos de usuarios en modo RRC se espera que reciban un mensaje de búsqueda igual al número de veces por período de modificación como equipos de usuario usando el ciclo de búsqueda predeterminado. Los tiempos exactos no se encuentran especificados en los equipos de usuario que se encuentran en estado RRC que tienen que intentar recibir un mensaje de búsqueda.

Los equipos de usuario pueden realizar estos intentos en momentos convenientes tales como en el wake-up del DRX, usando cualquiera de estas sub tramas que están

configuradas para búsqueda durante el periodo de modificación. Debido a que el eNodeB de todas formas tiene que notificar todos los equipos de usuario en RRC ralentí, tiene que enviar un mensaje de búsqueda en todas las subtramas que están configuradas para una búsqueda de hasta un máximo de cuatro subtramas por trama de radio, durante un periodo entero de modificación. Equipos de usuario en modo conectados pueden utilizar cualquiera de estas subtramas.

La carga además de transmitir mensajes de búsqueda para transmitir mensajes de búsqueda para notificar a los equipos de usuario de un cambio de información del sistema se considera marginal, debido a los cambios de la información del sistema se esperan que sean poco frecuentes, en el peor de los casos una vez cada cierta cantidad de horas. Si un equipo de usuario recibe un cambio de la información del sistema, considera toda la información del sistema a ser inválida desde el comienzo del siguiente período de modificación. Esto significa que la operación del equipo de usuario tiene restricciones en cuanto a las operaciones que puede realizar hasta el momento en que el equipo de usuario haya readquirido la información del sistema más esencial, especialmente en el estado RRC_Conectado. Se asume de todas maneras que el cambio de la información del sistema no ocurre frecuentemente.

Si el equipo de usuario retorna a una celda, se permite considerar la información del sistema previamente adquirida de la celda que permanezca como válida si fue recibida tres horas antes que las igualaciones del value tag.

Control de Conexión con LTE

La conexión de control implica distintos pasos. El primero es la activación de seguridad. El siguiente es el establecimiento de conexión DRB, modificación y liberación. Una vez logrados los pasos anteriores se tiene movilidad dentro de LTE.

Seguridad de Gestión de Claves

La seguridad es una característica muy importante de todas las tecnologías de acceso de radio 3GPP. LTE provee seguridad de una forma muy similar a sus predecesores UMTS y GSM. Dos funciones que se proveen para mantener la seguridad son el cifrado de

plano de control (RRC), datos (es decir SRBs 1 y 2), el plano de datos (es decir todos los DRBs), y protección de integridad que es utilizada para los datos del plano de control (RRC) solamente. El cifrado se utiliza con tal de proteger los flujos de datos de ser recibidos por terceros, mientras que la protección de integridad permite al receptor detectar la inserción de paquetes o su reemplazo.

RRC siempre activa ambas funciones juntas, ya sea seguido del establecimiento de la conexión o como parte de la entrega a LTE. La jerarquía de las claves por el cual las claves de seguridad de los sistemas autónomos se ilustran en la Figura 42. El proceso se basa en una clave secreta común KASME (del inglés Access Security Management Entity) que está disponible que está disponible sólo en el centro de autenticación del HSS y es una parte segura del Universal Subscriber Identity Module (USIM). Un set de claves y sumas de control se generan en el centro de autenticación usando la clave secreta y un número aleatorio. Las claves generadas, sumas de control y número aleatorio son transferidas al Mobility Management Entity (MME) que pasa una de las sumas de control y el número aleatorio al equipo de usuario. El USIM en el equipo de usuario después computa el mismo set de claves utilizando el número aleatorio y la clave secreta. La autenticación mutua se realiza al verificar las sumas de control computadas en el equipo de usuario y la red utilizando los protocolos NAS.

Una vez establecida la conexión, el Access Stratum (AS) se compone de una clave base AS KeNB, que es específica del eNodeB, de KASMEKeNB es usado para generar tres claves más conocidas como las claves derivadas AS: una para protección de integridad del signalling SRB (SRBs), uno para el cifrado del señalamiento RRC y otro para el cifrado de la información de usuario (DRBs).

En el caso de la entrega (handover) dentro de LTE una nueva clave base AS y nuevas claves derivadas AS son computadas de la clave base AS usado en la celda fuente. Para la entrega a LTE desde UTRAN o GERAN, la clave base AS se deriva de las claves de cifrado e integridad usados en GERAN y UTRAN. La entrega dentro de LTE puede ser usada para tomar un nuevo KASME en cuenta, es decir, siguiendo una re-autenticación por NAS.

El uso de claves de seguridad para protección de integridad y funciones de cifrado es manejado por la capa PDCP. Las funciones de seguridad nunca están desactivadas, aunque es posible aplicar un algoritmo de cifrado “NUL”. El algoritmo “NULL” también puede ser utilizado en casos especiales, tales como en el caso de necesitar hacer una llamada de emergencia sin USIM.

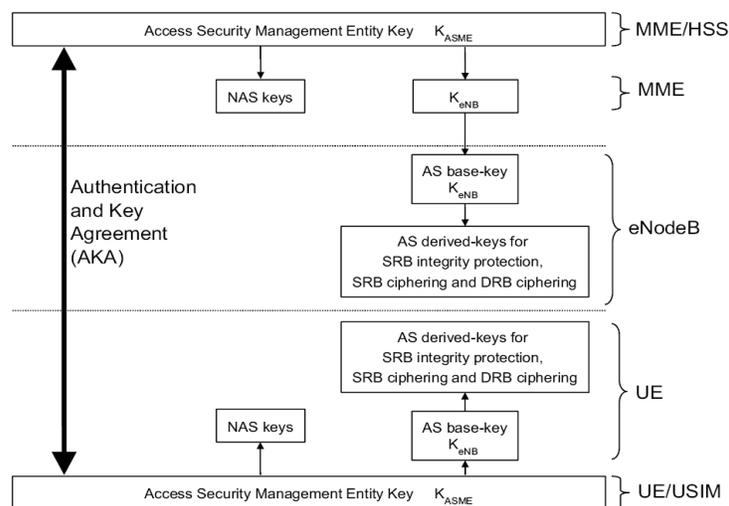


Figura 27 Jerarquía de Claves [30]

Establecimiento y Entrega de Conexión

Dos niveles de los estados de NAS reflejan el estado del equipo de usuario con respecto a la al establecimiento de la conexión. Para empezar se encuentra el estado EPS Mobility Management (EMM) ya sea EMM no registrado o EMM registrado que refleja si el UE está registrado en el MME, y el estado de la conexión EPS Management (ECM) ya sea ECM ralentí o ECM conectado refleja la conectividad del equipo de usuario con el Evolved Packet Core. Los estados NAS y su relación con los estados RRC AS se ilustran en la siguiente Figura 28.

	1: Off	Attaching	2: Idle / Registered	Connecting to EPC	3: Active
EMM	DEREGISTERED		REGISTERED		
ECM	IDLE				CONNECTED
RRC	IDLE	CONNECTED	IDLE	CONNECTED	

Figura 28 Posibles combinaciones de los Estados NAS y AS [30]

La transición de ECM-ralentí a ECM-conectado no solo implica el establecimiento de la conexión RRC pero también incluye el establecimiento de la conexión S1. El establecimiento de la conexión RRC es inicializada por el NAS y es completada antes del establecimiento de conexión de S1, que significa que la conectividad en el modo RRC conectado inicialmente se limita al intercambio de información de Control entre el equipo de usuario y LTE.

Los equipos de usuario típicamente se pasan al estado ECM conectado cuando se vuelven activos. Debería de notarse, que en LTE la transición de ECM-ralentí a ECM-Conectado se realiza dentro de una ventana de tiempo de 100ms. Además, el equipo de usuario que forma parte de la transferencia de información de forma intermitente necesita ser mantenidos en el estado ECM-Conectado si los servicios corriendo pueden tolerar tales retrasos de transferencia. De todos modos, un objetivo en el diseño de LTE era soportar consumo potencia de batería similar para equipos de usuario en RRC-conectado como los equipos de usuario en RRC-ralentí. La entrega de la conexión RRC es iniciada por el eNodoB seguido de la entrega de la conexión S1 entre el eNodoB y la red Core (CN).

Secuencia de Establecimiento de Mensajes

El establecimiento de la conexión RRC implica el establecimiento de SRB1 y la transferencia del mensaje inicial uplink NAS. Este mensaje NAS provoca el establecimiento de la conexión S1, que normalmente inicia un paso posterior durante el cual LTE activa la seguridad AS y establece SRB2 y uno o más DRBs (correspondiendo a los bearers EPS por defecto y opcionalmente dedicados).

La Figura 29 ilustra el procedimiento del establecimiento de la conexión RRC, incluyendo el paso siguiente de la activación de seguridad inicial y el establecimiento del bearer de radio.

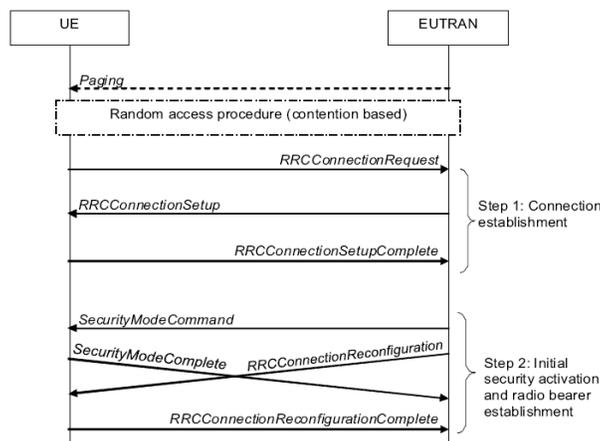


Figure 3.6 Connection establishment.

Figura 29 Establecimiento de la Conexión RRC. [30]

Las capas superiores en el equipo de usuario provocan el establecimiento de conexión, que puede ser en respuesta de una búsqueda (del inglés paging). El equipo de usuario revisa si el acceso es prohibido. Si este no es el caso las capas inferiores del equipo de usuario realizan un procedimiento de acceso aleatorio basado en contención y el equipo de usuario comienza un timer conocido como T300 y envían el mensaje de pedido RRCConnectionRequest. Este mensaje incluye una identidad inicial (S-TMSI o un número aleatorio) y una causa de establecimiento.

Si LTE acepta la conexión, devuelve un mensaje RRCConnectionSetup que incluye la configuración inicial de recursos de radio incluyendo SRB1. En vez de indicar cada parámetro individual, E-UTRAN le puede ordenar al equipo de usuario que aplica una configuración predeterminada. Esto significa una configuración para la cual los valores de parámetros se especifican en la especificación RRC.

El equipo de usuario regresa el mensaje RRCConnectionSetupComplete e incluye el mensaje NAS, un identificador del PLMN seleccionado (usado para soportar compartir la

red) y si es proveído por capas superiores, un identificador del MME registrado. Basado en los últimos dos parámetros, el eNodoB decide con cual nodo CN debería establecer la conexión S1. El segundo paso es la activación de seguridad inicial y el establecimiento de portador de radio.

E-UTRAN envía el mensaje SecurityModeCommand para activar la protección de integridad y cifrado. Este mensaje que es protegido por integridad pero no cifrado, indica cuales algoritmos deben ser usados.

El equipo de usuario verifica la integridad de protección del mensaje SecurityModeControl, y si acierta, configura capas inferiores para aplicar protección de integridad y cifrado a todos los mensajes subsecuentes (con la excepción que el cifrado no se aplica al mensaje de respuesta es decir al SecurityModeComplete o al mensaje SecurityModeFailure).

E-UTRAN envía el mensaje RRCConnectionReconfiguration incluyendo una configuración de recursos de radio usada para establecer SRB2 y una o más DRBs. Este mensaje también puede incluir otra información tal como un mensaje NAS o una configuración de medición. E-UTRAN puede enviar el mensaje RRCConnectionReconfiguration antes de recibir el mensaje SecurityModeComplete. En este caso, EUTRAN debería dejar la conexión cuando uno o más procedimientos (porque los dos procedimientos resultan de un simple procedimiento S1, que no soporta el éxito parcial.

El equipo de usuario finalmente retorna el mensaje RRCConnectionReconfigurationComplete. Un establecimiento de conexión puede fallar por un número de razones como por ejemplo que el acceso puede ser restringido.

En caso que ocurra un re-selección de celdas durante el establecimiento de conexión, el equipo de usuario aborta el procedimiento e informa a las capas superiores de la falla para establecer la conexión.

E-UTRAN puede temporalmente rechazar la el establecimiento de la conexión al incluir un timer de espera, en cuyo caso el equipo de usuario rechaza cualquier solicitud de

establecimiento de conexión hasta que el tiempo de espera haya terminado. El NAS puede abortar el establecimiento de una conexión RRC, por ejemplo al expirar el timer de NAS.

Establecimiento DRB

Para establecer, modificar o entregar DRBs, E-UTRAN aplica el procedimiento de reconfiguración de la conexión RRC. Cuando se establece un DRB, E-UTRAN decide como transferir paquetes de un bearer EPS a través de un interface de radio. Un bearer EPS se mapea uno a uno a un DRB, un DRB es mapeado uno a uno a un canal lógico DTCH (Dedicated Traffic Channel), todos los canales lógicos se mapean n a uno al correspondiente Physical Downlink o Uplink Shared Channel (PDSCH o PUSCH). Este mapeo se ilustra en la Figura 30.

La configuración de recursos de radio cubre la configuración del PDCP, RLC, MAC y capas física. Las principales opciones de parámetros de configuración incluyen las siguientes:

Para servicios utilizando paquetes de menor tamaño como por ejemplo en el caso de VoIP, PDCP puede ser configurado para aplicar compresión de encabezado para reducir significativamente el exceso de señalización.

El Modo RLC se selecciona según un listado. EL Modo RLC Acknowledged es aplicable, excepto para los servicios que requieren en retardo muy bajo y para el cual la transferencia confiable es menos importante.

E-UTRAN asigna prioridades y tasas de bits priorizadas (PBRs, Priorized Bit-Rates) para controlar como el equipo de usuario divide los recursos del uplink garantizados entre los diferentes bearers de radio.

A menos que los requisitos de transferencia de retardo de cualquiera de los servicios corriendo sean muy estrictos, el equipo de usuario puede ser configurado con un ciclo DRX.

Para servicios involucrando una tasa de paquetes semi estática (por ejemplo VoIP), programación semi persistente puede ser configurada para reducir el excesivo señalamiento

de control. Recursos específicos también pueden ser configurados para reportar el status del buffer la calidad del enlace de radio. Los servicios tolerando mayores retrasos de transferencia pueden ser configurados con un perfil Hybrid ARQ (HARQ) involucrando un mayor número promedio de transmisiones HARQ.

Control de Movilidad en RRC_Ralentí y RRC_Conectado

El Control de movilidad en RRC_IDLE es controlado por el equipo de usuario (reselección de celdas), mientras que en RRC_CONECTADO es controlado por el E-UTRAN (handover). Pero los mecanismos usados en los dos estados necesitan ser consistentes para evitar ping-pong entre celdas ante transiciones de estado. Los mecanismos de movilidad están diseñados para soportar una amplia variedad de escenarios incluyendo compartir la red, límites de países, instalación en casa y rangos de celdas variables y densidades de suscriptores; un operador puede por ejemplo instalar su propia red de acceso de radio en áreas pobladas y hacer uso de la red de otros operadores en áreas rurales.

Si un equipo de usuario fuera a acceder una celda que no tiene el la mejor calidad de enlace de radio de las celdas disponibles en una frecuencia dada, podría crear interferencia significativa con otras celdas. Además para la mayoría de las tecnologías la calidad del enlace de radio es el criterio principal para seleccionar una celda en una frecuencia LTE. Cuando se escoge entre celdas a diferentes frecuencias o RATs la preocupación por la interferencia no aplica. Además para inter frecuencia y selección de celda inter-RAT otros criterios pueden ser considerados tales como el la capacidad del equipo de usuario, tipo de suscriptor y tipo de llamada.

Como ejemplo, equipos de usuario con ninguna o limitada capacidad para transmisión de datos puede ser preferiblemente manejado en GSM, mientras que clientes de casa o suscriptores Premium pueden serle dados accesos preferenciales a la frecuencia o RAT soportando las tasas de datos más altas. Además, en algunos escenarios de instalación de LTE, los servicios de voz pueden ser inicialmente proveídos de un legado RAT solamente (como una aplicación CS Circuit-Switched), en cuyo caso el equipo de usuario necesita moverse al legado RAT una vez establecida una llamada de voz (también referida como CS fallback).

E-UTRAN provee una lista de frecuencias colindantes y celdas que el equipo de usuario debería considerar para la reelección de celdas y para reportar las mediciones. En general, tal lista se refiere como lista blanca si el equipo de usuario debe considerar solo las frecuencias listadas o celdas, es decir, otras frecuencias o celdas no están disponibles; inversamente en el caso de que sea una lista negra la que se provea, un equipo de usuario puede considerar cualquier frecuencia que no se encuentre listada o celdas. En LTE, el listado blanco se utiliza para indicar todas las frecuencias adyacentes de cada RAT que el equipo de usuario debería considerar.

En la otra mano, E-UTRAN no se requiere para indicar todas las celdas vecinas que el equipo de usuario debe considerar. Las celdas que el equipo de usuario requiere para detectar por sí mismo depende del estado del equipo de usuario al igual que en el RAT. Hay que notar que para GERAN, típicamente ninguna información es proporcionada de las celdas individuales. Solo en casos específicos, como en los límites de los países, la señalización es proporcionada para indicar el grupo de celdas que el equipo de usuario debe considerar, es decir una lista blanca de celdas.

Movilidad en modo Ralentí

En el modo RRC IDLE, la re selección de celdas entre frecuencias se basa en prioridades absolutas, donde cada frecuencia tiene una prioridad asociada. Los valores predeterminados específicos de celda de las prioridades son proporcionados a través del sistema de información. Además, E-UTRAN puede asignar valores específicos a los equipos de usuario al soltar la conexión, tomando en cuenta factores tales como capacidad o tipo de suscriptor. En caso de tener iguales prioridades asignadas a múltiples celdas, las celdas son clasificadas basadas en la calidad del enlace de radio. Prioridades iguales no son aplicables entre frecuencias de diferentes RATs. El equipo de usuario no considera frecuencias para la cual no tiene una prioridad asociada; esto es útil en situaciones tales como cuando una frecuencia vecina es aplicable solo para equipos de usuario en una de la redes siendo compartida.

	Intra-Freq.	Inter-Freq.	UMTS	GERAN	CDMA2000
Frequency list					
White frequency list	n/a	+	+	+	+
Frequency specific reselection info ^(a)	Priority	Priority Qoffset, ThresX-High, ThresX-Low	Priority ThresX-High, ThresX-Low	Priority ThresX-High, ThresX-Low	Priority ThresX-High, ThresX-Low
Frequency specific suitability info ^(b)			Q-RxLevMin, MaxTxPower, Q-QualMin	Q-RxLevMin	
Cell list					
White cell list	-	-	-	NCC permitted ^(c)	-
Black cell list	+	+	-	-	-
List of cells with specific info ^(d)	Qoffset	Qoffset	-	-	-

Figura 30 Parámetros de Información del Sistema para diferentes Tecnologías [30]

La tabla anterior provee un vista de los parámetros de información del sistema que E-UTRAN puede utilizar para controlar la reelección de celda (excluyendo parámetros de servicio a una celda específica y parámetros de RAT específicos.)

Además de la prioridad de una frecuencia, parámetros relacionados con movilidad en modo no ralentí pueden ser asignados a través de señalización dedicada.

Movilidad en Modo Conectado

En RRC_CONECTADO, el E-UTRAN decide a cual celda debería entregar un equipo de usuario dado con el fin de mantener el enlace de radio. Como con RRC_IDLE, EUTRAN puede tomar en consideración no solo la calidad del enlace de radio pero también factores tales como capacidad del equipo de usuario, tipo de suscriptor y restricciones de acceso. Aunque E-UTRAN puede disparar handover sin medición de información (entrega a ciegas), normalmente configura el equipo de usuario para reportar mediciones de la celdas candidata meta. La tabla 3.3 provee una visión general de la frecuencia e información específica de la celda que E-UTRAN puede configurar.

En LTE el equipo de usuario siempre se conecta a una celda nada más, es decir la transición de la conexión de un equipo de usuario de una celda fuente a un celda meta es un handover duro. El proceso handover duro es normalmente uno “hacia atrás”, mientras que

el eNodoB que controla la celda fuente solicita al eNodoB meta a prepararse para la entrega. El eNodoB meta subsecuentemente genera el mensaje RRC para ordenarle al equipo de usuario a realizar la entrega, y el mensaje es transparentemente enviado por el eNodoB al equipo de usuario. LTE también soporta un tipo de entrega “hacia adelante” en donde el equipo de usuario por sí solo decide conectarse a la celda meta, donde luego solicita que la conexión sea continuada. El equipo de usuario aplica el procedimiento de re establecimiento de esta conexión solo después de la pérdida de la conexión a la celda fuente; el procedimiento solo es exitoso si la celda meta ha sido preparada con anterioridad para el handover. Además del procedimiento de handover, LTE también provee al equipo de usuario a ser redireccionado a otra frecuencia o RAT ante la liberación de conexión. Esta redirección también puede ser realizada si ASseguridad no ha sido activada. Redirección durante el establecimiento de la conexión no está soportado, debido a que en ese momento E-UTRAN puede no estar en posesión aún de toda la información relevante tal como la capacidad del equipo de usuario y el tipo de suscriptor.

Capítulo 5: Redes de Optimización Propia (SON)

En este capítulo se trata el tema de la automatización de red que se puede lograr a través de redes SON con lo que se hace el sistema en general más eficiente además de realizar una re-distribución del recurso en las oficinas del proveedor de servicios al utilizar dichos sistemas en las redes LTE.

Una necesidad para cualquier operador de red es la habilidad de operar su red eficientemente. La siguiente sección identifica dos actividades importantes de red que los operadores deberían de considerar cuando migran de una red GSM-UMTS a LTE. La primera trata con automatización incrementada en el manejo de la red de acceso de radio mientras que la segunda trata de activar eficientemente nuevos suscriptores.

Redes de Optimización Propia (SON)

La industria inalámbrica está entregando LTE para soportar una amplia variedad de aplicaciones requiriendo altas tasas de datos y altas tasas de señalización que significan rigurosos requerimientos de QoS. La instalación de un gran número de estaciones base (eNodoBs), femtos-eNodoBs y eNodoBs caseros van a resultar en una red altamente compleja que necesitan ser establecidos y sintonizados. En un ambiente heterogéneo, los parámetros dinámicos de una estación de base van a cambiar más rápido. Los suplidores de tecnología deben proveer soluciones que van a permitir las redes inalámbricas servir a los consumidores de la manera más eficiente posible y capitalizar por completo las capacidades superiores que tiene la tecnología LTE. En operaciones de red actuales, las mediciones de red en vivo son realimentados para sintonizar los parámetros diseñados inicialmente. Como sea esta realimentación es típicamente manual, ardua y lenta. Como resultando se obtiene rendimiento subóptimo. La automatización si existe dentro de la red y funciona bien para algoritmos de programación de tareas, control de potencia etc. Con un diseño adecuado, la automatización puede extenderse a otras operaciones de red beneficiosos significativamente en cuanto a rendimiento y operacionalmente. [31]

Las SON automáticamente configuran y optimizan la redes para optimizar y minimizar los esfuerzos operacionales y mejorar el rendimiento de red. SON ofrecen una

visión en las cuales automáticamente las estaciones base interactúan una con otras y con la red núcleo para realizar funciones de organización propia. [31]

Las redes SON comprenden tres aspectos importantes que son la configuración propia, optimización propia y saneamiento propio. 3GPP ha definido diversas áreas funcionales en SON para lograr estos objetivos. El aspecto de la configuración propia en SON apunta a soportar operación plug and play de los nuevos elementos eNodeB. Las áreas funcionales correspondientes configuración automatizada de la Identidad Física de la Celda y la función de Relación Automática Vecino. El aspecto de optimización propia de SON apunta a mitigar las degradaciones de calidad al optimizar los parámetros de red bajo interferencia y condiciones de sobrecarga. Las características que son tocadas es el balanceo de carga entre eNodeBs, optimización de parámetros de handover, interferencia estática y dinámica de control mejoran el rendimiento del borde de celdas, optimización de cobertura y capacidad, optimización Random Access Channel y ahorro de energía. El aspecto de saneamiento propio de SON apunta a alcanzar identificación automática de falla basada en las mediciones de equipo de usuario de calidad de radio que luego se utilizan para la compensar la salida de funcionamiento de algunas celdas. [31]

Para el caso de los algoritmos SON pueden ser implementados en una arquitectura centralizada, híbrida o distribuida. En una arquitectura centralizada, las funciones SON podrían ser soportadas a través de un manejo centralizado en el EMS y manejo local en el eNodeB. El objetivo es eventualmente poner toda la funcionalidad SON al eNodeB, con intercambio de información entre los eNodeB sobre la interfase X2. Esto permite mayor grado de automatización de las redes LTE, para que los recursos del plano de manejo no sea continuamente re planeada cuando la red LTE gradualmente se instala.

Para un operador, la red que es su inversión clave y además la base de sus ingresos. Por ende para que SON sea implementado con LTE, es importante que los siguientes objetivos operacionales sean alcanzados:

1. El operador debe tener una fuerte confianza en los procesos de automatización propuestos bajo condiciones altamente impredecibles, mientras se minimizan el

riesgo y el esfuerzo. La automatización los provee con un camino para maximizar el rendimiento de la red con un esfuerzo mínimo y costo mínimo.

2. El operador debe reservarse la habilidad de mantener el control manual del sistema bajo demanda.
3. La implementación de SON para LTE debe tomar en cuenta la operaciones existentes de 2G-3G.

SON va a comenzar a automatizar funciones operacionales de bajo nivel (eNodeB configuración plug and play), por ende liberando recursos operacionales para concentrarse en el valor agregado, cuestiones de mayor complejidad como la capacidad y optimización de cobertura. Los mecanismos de SON van a permitir a un operador enfocarse en el manejo estratégico de la red en vez del manejo día a día, por ende habilitando operaciones para subir la cadena de valor agregado.

Aprovisionando SIM y Acción sobre el aire.

Dependiendo en la estrategia de servicios de LTE, los operadores van a tener que actualizar el UICC (Universal Identity Cryptographic Computer) para ofrecer servicios IMS y puede escoger cambiar la forma en la que actualizan su UICC en el momento de activación de un mecanismo de push a un mecanismo de pull.

En sistemas 3GPP, los consumidores reciben su UICC con toda la información necesaria ya proveída para que puedan funcionar en la red. Como sea, algunos operadores actualizan el UICC para refrescar el USIM y ISIM en el momento de la primera adhesión a la red durante un proceso comúnmente conocido como activación OTA (Over the Air). Actualmente la activación OTA entrega las nuevas actualizaciones de archivo por medio de un mecanismo push dependiendo del bearer SMS con descarga de tipos de datos. Con la activación OTA, el ISIM está poblado con el IMPI (del inglés IMS Private Identity) e IMPU (del inglés IMS Public Identities) sin los cuales los servicios IMS no pueden ser entregados.

En el ambiente LTE, SMS puede ser entregado por medio de la interfase SG o tornarse un servicio SIP que se basa en IMS para la entrega. La actual activación OTA es impactada por la elección de entrega de SMS. [32]

Tunelización SMS sobre la interfase SGS

Con tunelización SMS sobre la interfase SG, el servicio SMS permanece disponible independientemente de la disponibilidad propia. Por eso los operadores pueden continuar realizando la activación OTA a través del mecanismo push basado en SMS. Este mecanismo habilita la activación OTA sobre el circuito 2G-3G, paquetes 2G-3G (con la interfase SG) y redes LTE.

SMS COMO UN SERVICIO SIP

Con SMS disponible solo como un servicio SIP apoyándose en IMS, la activación UICC OTA para el aprovisionamiento ISIM remoto no solo puede apoyarse en el bearer SMS. Una solución es cambiar la activación OTA UICC desde un mecanismo push a un mecanismo pull basado en IP. Con un mecanismo pull, el UICC inicia la activación OTA cuando está disponible en la red, sacando información del servidor OTA para actualizar sus aplicaciones, incluyendo el ISIM. El pull basado en IP ha sido estandarizado sobre HTTPS por GlobalPlatform, ETSI y requiere dispositivos que soporten el BIP (del inglés Bearer Independent Protocol)

Capítulo 6: Sub Sistemas Multimedia IP (IMS)

En este capítulo se hace mención de las funciones del núcleo de red LTE, específicamente del IMS como un marco de servidores que le va a permitir al proveedor de servicios entregar aplicaciones a sus clientes según las que el tenga en su núcleo de red. Además se mencionan algunos de los protocolos que se utiliza en dicho núcleo.

IMS es una plataforma de servicios que permite los operadores soportar aplicaciones multimedia IP. Aplicaciones potenciales incluyen compartir video, PoC, VoIP, streaming de video, gaming interactivo entre otras. IMS por sí solo no provee estas aplicaciones. En vez provee un marco de servidores de aplicaciones, bases de datos de suscriptores, y gateways para hacerlos posibles. Los servicios exactos van a depender en operadores de celulares y desarrolladores de aplicaciones que hacen las aplicaciones disponibles a los operadores. [33]

El protocolo de red núcleo usado dentro de IMS es Session Initiation Protocol (SIP) que incluye Session Description Protocol (SDP) usado para transmitir información de configuración tales como codecs de voz soportados. Otros protocolos incluyen Real Time Transport Protocol (RTP) y Real Time Streaming Protocol (RTSP) para transportar sesiones actuales. La mecanismos QoS en UMTS va a ser un importante componente de algunas aplicaciones IMS. Aunque originalmente especificado por 3GPP, numerosas organizaciones alrededor del mundo están soportando IMS. Estas incluyen Internet Engineering Taskforce (IETF) que especifica protocolos claves tales como SIP, y la Open Mobile Alliance, que especifica aplicaciones de la capa de servicios de fin a fin. Otras organizaciones soportando IMS incluyen la asociación GSM (GSMA), la ETSI, CableLabs, 3GPP2, El Grupo Parlay, la ITU, el American National Standards Institute (ANSI), los Telecoms e Internet Converged Services y Protocols para Advanced Networks (TISPAN), y la Java Community Process(JCP).

IMS es relativamente independiente del radio-access network y puede, y seguramente va a ser usado por otras redes de acceso de radio o redes alambradas. Los operadores ya tienen en progreso pruebas y una aplicación inicial bajo consideración PoC está siendo especificada por el Open Mobile Alliance. Otras aplicaciones incluyen

compartir video y fotos que ocurren en paralelo con comunicaciones de voz. Operadores que busquen implementar VoIP sobre redes podría utilizar también IMS. 3GPP inicialmente introdujo IMS en el Release 5 y lo ha mejorado a través de los Releases subsecuentes.

Figure 50: IP Multimedia Subsystem

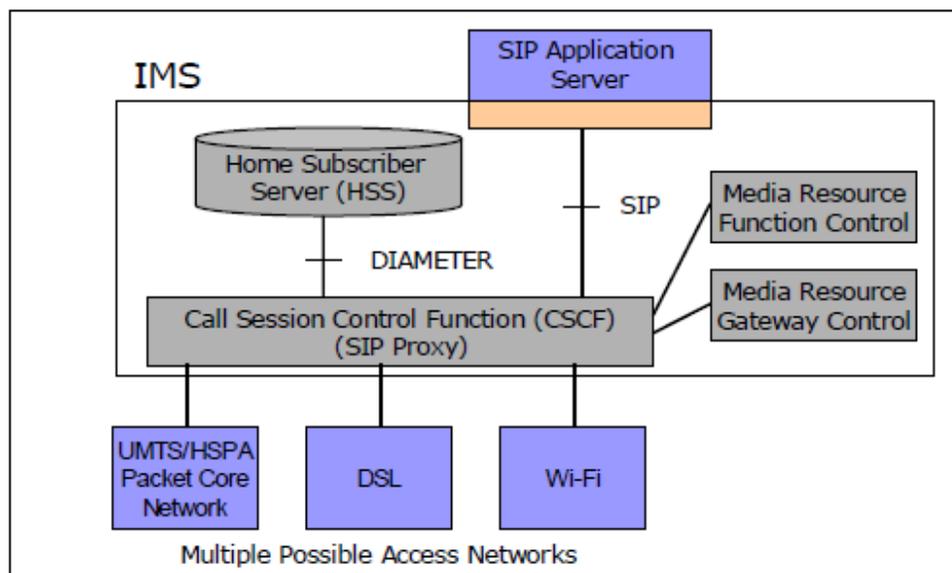


Figura 31 Arquitectura del IP Multimedia Subsystem [33]

Los beneficios de utilizar IMS incluyen manejar toda la comunicación en el dominio de paquetes, integración más estrecha con el Internet, y una infraestructura de menor costo que está basada en bloques de construcción de IP usados para servicios de voz y datos. Este permite a los operadores a potencialmente entregar servicios de datos y voz a un menor costo, además proveyendo estos servicios a menores precios impulsando de esa forma el uso y la demanda.

Las aplicaciones IMS pueden residir ya sea en la red del operador o en las redes de terceros incluyéndolos en aquellos de empresas. Al manejar servicios y aplicaciones centralizados e independientemente de la red de acceso – IMS puede habilitar convergencia de redes. Esto permite a los operadores ofrecer servicios comunes a través de 3G, Wi-Fi y redes alámbricas.

IMS es una plataforma de control de servicio y sesión basada en SIP (Session Initiation Protocol) la cual permite la entrega de aplicaciones multimedia a través de una red de banda ancha ya sea inalámbrica o alamburada. Al ser LTE una tecnología inalámbrica basada completamente en paquetes IP, LTE permite proveer la conectividad de banda ancha que el IMS requiera, para entregar servicios basados en SIP tales como por ejemplo la voz. Este concepto fue inicialmente introducido en el Release 5 de 3GPP y ha continuado a través de los sucesivos para implementar mejoras continuas con el fin de incluir nuevas funciones múltiples, como el MSC Enhanced para SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity) HO, SCC AS (Service Centralization Continuity Application Server), MSC Enhanced para ICS (Mobile Switching Center Enhanced for ICS (IMS Centralized Services)). Adicionalmente en el Release 9 de 3GPP se implementan funciones críticas a este sistema tales como el manejo de servicios de ubicación de emergencia, que durante la etapa del Release 8 se ocupaban del uso de CS-Fallback.

Este continuo desarrollo ha sido en parte a los proveedores y operadores que buscan implementar IMS, VoIP y SMS en LTE los cuales han tenido el reto de identificar los requisitos mínimos para implementar servicios tales como los son la voz y SMS en LTE. Para solucionar dichos problemas los operadores y proveedores de equipo han creado la One Voice Initiative. Esta iniciativa identificó los requisitos mínimos y opciones para que el ecosistema de extremo a extremo pudiese construirse a la capacidad inicial a través del equipo de usuario, eUTRAN, ePC e IMS. El 15 de Febrero del 2010 One Voice Initiative fue adoptado por GSMA bajo el acrónimo de VoLTE (Voice over LTE). Con esta iniciativa se obtuvo el respaldo de más de 40 organizaciones incluyendo las líderes de operadoras móviles, fabricantes de equipo y proveedores de equipos.

Al estar la iniciativa VoLTE acogida por tantas empresas protagonistas en el mercado de las telecomunicaciones, los miembros de esta industria previeron adoptar un ecosistema LTE de extremo a extremo. Este hecho tiene tanta importancia debido al hecho que el usuario va a poder disfrutar de una variedad de servicios tales como lo son el global roaming, además de los servicios de banda ancha de datos proveídos por los sistemas LTE.

Debido a que los servicios de voz en LTE por medio de IMS se encuentra aún en el proceso de desarrollo y la transición de los usuarios de 2G-3G a LTE van a ocurrir en el

tiempo, ofrecer servicios de voz sobre LTE basados completamente en IMS va tardar un tiempo mientras se implementan inicialmente los servicios de datos. Las soluciones híbridas de voz sobre LTE y sistemas 2G-3G como CS-Fallback o soluciones IMS basadas en su propia optimización para trabajar con otros sistemas es lo que inicialmente va a suceder.

Capítulo 7: Servicios

En este capítulo se abarca toda la información pertinente a servicios que se pueden ofrecer por medio de las redes LTE. Primero se muestra la forma en la que el proveedor de servicios puede mostrar una oferta más atractiva a los consumidores por medio de implementación de calidad de servicio. Además se mencionan algunos de los servicios que se pueden implementar en las redes LTE que son de importancia para los usuarios y le dan un valor agregado a las redes LTE.

Cuando se refiere a servicios inalámbricos de LTE, los usuarios esperan que sus dispositivos LTE trabajen igual o mejor que sus dispositivos 2G-3G en lo que voz y datos respecta. Esto es sin tomar en consideración los servicios de multimedia nuevos que deben ser muy simples de utilizar. Además se espera que la telefonía funcione como mínimo igual que las comunicaciones al día de hoy. Esto significa que para que LTE cumpla con estas expectativas, se va a exigir mucho del plano de aplicación, Radio Access Network (RAN) y finalmente del núcleo.

Para medir la percepción que tiene un usuario se han establecido lineamientos para medir de un suscriptor el valor del servicio que este obtiene y se le refiere como QoE (Quality of Experience, Calidad de Experiencia). Este parámetro toma en cuenta cada factor que contribuye a la percepción general del usuario e incluye factores tales como ancho de banda, velocidad, área de cobertura, movilidad, personalización y costo. Para proveer la QoE que cumpla con las expectativas del suscriptor, existen puntos críticos para sistemas LTE que permitan dar la talla. Uno de estos es que el sistema LTE debe proveer transparencia y paridad de servicios permitiendo un desempeño y funcionalidades iguales o mejores que las tecnologías inalámbricas predecesoras. En el caso del equipo de usuario este debe proveer servicios transparentes los cuales permitan tener una experiencia de estar siempre conectado a la red aunque muchas veces puede ser que el servicio no sea mejor que 2G-3G. En el caso de los servicios de voz, estos deberían de mantener sus características mientras se realiza una transición de una zonas con cobertura de servicios LTE a zonas cuya cobertura está dada por redes de 2G-3G. Además el usuario debería de tener la capacidad de iniciar una sesión y obtener información o servicios de inmediato gracias a la

característica mencionada anteriormente de tener la experiencia de estar siempre conectado. Además estas redes deberían tener la capacidad de inter operar a través de operadores distintos con lo que se le permite la funcionalidad de roaming. Esta idea se toma de la idea de GSM la cual logró un roaming a nivel global y quiere igualarse como mínimo en las redes LTE.

Desde el punto de vista del proveedor de servicios el sistema LTE debe de tener la capacidad de soportar diferentes planes para el usuario acorde a sus necesidades y opciones de pago tales como distintas velocidades de datos. Es importante darle a conocer al cuales son los límites de los servicios a los que tiene acceso según el monto que está pagando para así no causarle una impresión al cliente de que lo que está comprando no es capaz de satisfacer sus necesidades.

Experiencia de Siempre Encendido

Los usuarios se están acostumbrando a estar constantemente activos en la red por lo que esperan tener servicios e información a la mano al igual que tener datos enviados a él sin previa inicialización. Un ejemplo de un servicio de datos terminado de usuario es SMS. Este provee una experiencia de siempre encendido, especialmente para servicios terminales que pone un estrés significativo en una red 3G. Con tal de proveer una experiencia de siempre encendido para los usuarios de SMS, las redes 3G dependen de la tecnología de búsqueda de la infraestructura de servicio de circuito. Esto es específico para SMS y no es aplicable para servicios de datos genéricos. Esto significa un reto para las redes 3G para poder proveer servicios de datos, los cuales permitan una experiencia de datos de siempre encendido debido a la ubicación o retención de un código para recibir datos consume recursos. [34]

LTE realiza la rápida ubicación para la asignación y desasignación de recursos de datos significativamente más granular, rápido y menos consumidor de recursos. Estos van a permitir a los proveedores de servicios de dar una experiencia real de siempre encendido. Con LTE, se vuelve práctico soportar eficientemente un gran número de usuarios que pueden estar activos sin enviar grandes cantidades de datos. [34]

Escogencia de Niveles de Servicios

Las actuales instalaciones de 3G usualmente no ofrecen para los servicios de datos algún tipo de QoS (Quality of Service). Hoy en día los clientes están limitados a sistemas con datos del mejor esfuerzo. Es por esta razón que los usuarios piensan que QoS y QoE son el mismo concepto pero en redes LTE, QoS es un área de enfoque. Con la introducción de LTE, los operadores van a tener la habilidad de ofrecer planes de servicios para los suscriptores con niveles de QoS diferenciados. Parte de la migración a LTE va a incluir la implementación de una arquitectura para manejar y proveer QoS que van a alcanzar las expectativas de usuario y el interés del proveedor de servicios en monitorear el nivel de servicio previsto.

Políticas en la Red

Las políticas son introducidas en la red por medio de la PCRF (del inglés Policy Charging and Rules Function) como se muestra en la Figura 47. Esto permite un punto de decisión para permitir o prohibir solicitudes de QoS. Las decisiones se pueden realizar basados en la suscripción del usuario, es decir, la interfase Sp al HSS/SPR, la función de aplicación (es decir la interfase Rx a la función de aplicación) o peticiones de usuario. La política se ve reforzada por medio de la política de refuerzo y filtrado de paquetes en el P-GW.

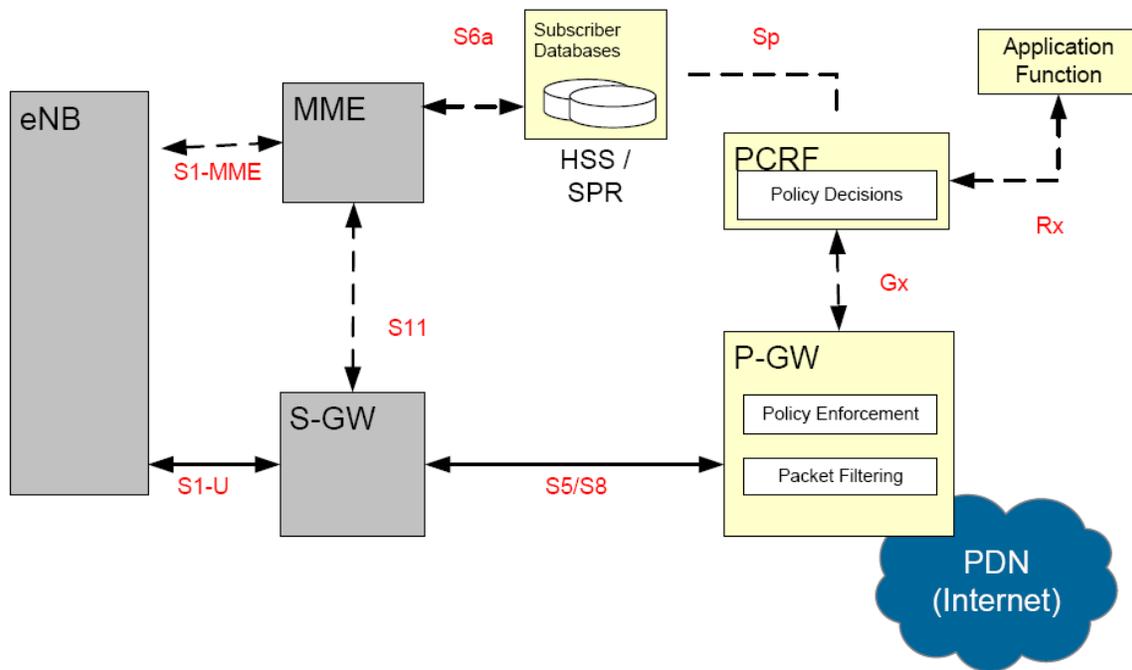


Figura 32 Introducción de Políticas en las redes LTE [35]

Las funciones de políticas y carga están estrechamente relacionadas. Hay que recordar que la intención de un sistema de QoS es permitir al proveedor de servicios vender cualquier QoS que desee un suscriptor. La intención de las políticas no es bloquearles a los usuarios de obtener ciertos servicios, sino más bien ofrecer servicios de mayor calidad a los que lo requieran y estén pagando por ello.

Servicios nuevos y Enriquecidos

LTE va a habilitar servicios que requieren altas tasas de rendimiento como es el caso de servicios de videos, de baja latencia como en el caso de los video juegos y alta calidad de servicio como lo son las video conferencias. IMS se espera que sea uno de los principales facilitadores de estos nuevos servicios. [35]

Expectativas y Consideraciones del Operador

Una importante consideración de cualquier operador migrando a LTE es que cumplan con las expectativas del usuario. También los operadores van a tener sus necesidades y expectativas. Algunas de las necesidades del operador puede ser de poco

interés para los clientes no significa que sea de menos importancia para la instalación de LTE y su modelo de negocio.

Consideraciones del Dispositivo

Mientras que la selección del dispositivo va a ser manejado por las preferencias del consumidor base, los proveedores de los servicios LTE van a necesitar tomar en cuenta diversos factores que pueden no ser tomadas por sus consumidores. Factores críticos incluyen la necesidad de dispositivos multimodales, dispositivos multibanda, capacidades de pila dual IPV4/IPV6 y características tales como SRVCC HO y/o CS-Fallback.

Dispositivos Multi-modo

La cobertura total de LTE RF para llegar a tener una cobertura igual a los sistemas de 2G-3G va a tardar años. Con tal de proveer igual o mejor cobertura, los operadores no solo van a tener que construir una infraestructura que permita las redes 2G y 3G coexistir con LTE sino que además ofrecer dispositivos con capacidades multimodo.

Los dispositivos que soporten GSM-HSPA-LTE van a proveer al suscriptor con la mejor habilidad de adquirir servicios a través de todo el área. También, los dispositivos multimodo van a ser necesarios con la introducción de LTE para las personas que adopten la tecnología de forma rápida y una gran porción de la base suscriptora. [36]

Dispositivos Multi-Banda

Hay diferentes clases de bandas definidas por LTE que se muestran en la Figura 33. Para proteger los ingresos y proveer una cobertura LTE óptima, es importante para los proveedores tener acceso a un ecosistema vibrante de terminales que incluyen el soporte para múltiples bandas. [36]

FDD				
Operating	UL Frequency	DL Frequency	Popular Name	Usage
I (1)	1920 - 1980	2110 - 2170	IMT Core	3G in Japan & EU
II (2)	1850 - 1910	1930 - 1990	PCS 1900	PCS 1900 in Americas***
III (3)	1710 - 1785	1805 - 1880	GSM 1800	DCS in EU
IV (4)	1710 - 1755	2110 - 2155	AWS (US)	AWS in Americas
V (5)	824 - 849	869 - 894	850 (US)	Cellular 850 in Americas
VI (6)	830 - 840	875 - 885	850 (Japan)	Japan
VII (7)	2500 - 2570	2620 - 2690	IMT Extension	Europe & WiMAX
VIII (8)	880 - 915	925 - 960	GSM 900	Extended GSM in EU
IX (9)	1749.9 - 1784.9	1844.9 - 1879.9	1700 (Japan)	Japan
X (10)	1710 - 1770	2110 - 2170	3G Americas	Extended AWS in
XI (11)	1427.9 - 1452.9	1475.9 - 1500.9		Japan
XII (12)	698 - 716	728 - 746	Lower 700	Lower 700 MHz A-B-C
XIII (13) *	777 - 787	746 - 756	Upper 700	Upper 700 MHz C block in
XIV (14) *	788 - 798	758 - 768	700 MHz Public	Public Safety in US **
XVII (17)	734 - 746	704 - 716	Lower 700	Lower 700 MHz B-C
tbd	790 - 862	790 - 862	Digital Dividend	Digital Dividend in EU

Figura 33 Bandas de Radio LTE [36]

Los cobros por Roaming pueden ser un gasto y al mismo tiempo un generador de ganancias para los operadores. En el caso de los operadores con bandas de espectro mixto, van a requerir terminales multibanda. Estos operadores van a necesitar dispositivos multibanda para soportar tanto su espectro como el de los socios.

Muchas de las bandas utilizadas para la instalación de LTE están confinadas a zonas geográficas específicas. Por ejemplo los operadores en Asia y Europa utilizan bandas distintas a las que se instalan en Norte América. Dependiendo del país el proveedor puede utilizar diferentes bandas de frecuencias como por ejemplo los proveedores Europeos y Asiáticos utilizan la banda de 900MHz (GSM), 1800MHz (DCS) y 2100MHz (W-CDMA). En Norte America la banda de 700MHz (700), 800MHz (celular), 1700/2100 MHz (AWS), y 1900 MHz (PCS) son las utilizadas.

Es esencial que la industria rápidamente maneje un ecosistema robusto que soporte el chipset (RF y banda base) bajo los cuales la terminales multibandas y banda simples dependan. Esto debido a que van a existir asociaciones que van a trabajar con el gobierno para regular las bandas de espectro. Los operadores con espectros en común y servicios de roaming, van a trabajar en conjunto para ayudar la industria inalámbrica a incrementar las eficiencias de escala y enfoque con el fin de llevar adelante la habilidad de las terminales, eficiencia y acceso con sus bandas requeridas.

IPV4 y IPV6

La migración a LTE lleva implícita la transición al sistema IPV6. Esto debido a que la instalación de LTE va a ponerle mayor demanda a las direcciones IP. Esto debido a que van a existir más dispositivos, y estos dispositivos van a estar conectados una mayor fracción del tiempo. Los dispositivos usando VoIP van a permanecer conectados por lo que van a retener su dirección IP todo el tiempo. Esto implica que se agoten las direcciones IP que tiene como solución alternativa temporal el uso de IPV6.

Se espera que VoIP va a necesitar utilizar direcciones IPV6 y otros servicios similares. También se espera que las direcciones IPV4 van a seguir siendo necesitadas por algún tiempo para tener acceso a Internet. Windows XP y dispositivos MacOS son solamente compatibles con IPv4 y esto crea la necesidad de IPv4 en el equipo que se conecte con LTE. La necesidad de IPv4 e IPv6 para la experiencia de estar siempre conectado, VoIP y servicios push) conllevan a dispositivos de pila dual. Debido a que el agotamiento de direcciones IP no puede totalmente ser direccionado por IPv6, se espera que muchos operadores van a tener que utilizar NAT (Network Address Translation) para las direcciones IPv4.

Capacidades Críticas del Dispositivo

Para soportar operación transparente a través de las tecnologías 2G-3G y LTE los equipos de usuario deben soportar ciertas características. La primera de estas es la entrega de voz transparente entre LTE y 3G que requiere soportar capacidades SRVCC. Además el equipo de usuario se necesita también para CS-Fallback. Finalmente para las terminales de voz operando en LTE va a ser requisito que tengan capacidades de ubicación para LTE. Los

sistemas existentes de AGPS (Assisted Global Positioning System) van a ser complementados por tecnología de ubicación de observación del tiempo de arribo del downlink. Esto con el fin de cumplir con los mandatos FCC de localización de llamadas 911. En el caso de equipos terminales LTE, incluyendo data cards van a tener que soportar SMS tanto como para mensajes al igual que actualizaciones y activaciones en el aire (Over-the-Air Activation). Debería de notarse que una terminal que soporta servicios de voz definidos VoLGA también requiere un nuevo set de capacidades que no se encuentran en terminales 3G existentes o una terminal capaz LTE IMS.

Requisitos de Regulación

Un requisito fundamental de cualquier instalación de red es que se adhiera a las regulaciones de los gobiernos según el país en que se encuentre. Aunque estas regulaciones varían de país a país, existen tres requisitos que se deben incluir en todo el mundo, que son la interceptación lícita, TTY-TDD y servicios de emergencia.

Intercepción Lícita de Voz

Para satisfacer los requisitos LI (Lawful Intercept, Intercepción Lícita) es un criterio clave para nuevos productos y arquitecturas para ser viables en el mercado. Los operadores de red, proveedores de acceso y proveedores de servicio deben satisfacer los requisitos LI al capturar cierta información y ponerla a disposición de las instalaciones de monitoreo de vigilancia de ley. Si existe un producto que no satisface los requisitos LI, su venta se verá bloqueada. Algunos de los retos involucrados para LI se encuentra en los estándar IMS los cuales son independientes del entorno de acceso.

LI implica una personalización debido a que incluye un amplio rango de interacciones de servicio y sus requisitos son específicos según el país. Además como muchas veces se utiliza para investigaciones de casos importantes LI debe de ser realizado con tal grado de transparencia que los usuarios finales no puedan notar ninguna diferencia en el comportamiento de los servicios.

En la arquitectura IMS, los usuarios pueden acceder a servicios a través de S-CSCF (Serving Call Session Control Function) desde las redes en los hogares. Esto implica

nuevas consideraciones para una red, la cual la visita una persona por medio de roaming. Para capturar el contenido tanto en los planos de control de sesión y bearer, la red visitada y la red original deben realizar ambas LI. Las soluciones LI deben tener en cuenta las barreras jurisdiccionales especialmente cuando es a través de barreras nacionales.

Los servicios IMS pueden ser proveídos por servidores de aplicación que reciben mensajes SIP de la S-CSCF cuando los criterios de filtrado son alcanzados. Estos servidores van a tener que soportar LI. Similarmente, los diferentes tipos de servidores de media que existen dentro del IMS (por ejemplo los servidores de conferencia) van a tener que soportar LI. El crecimiento en tanto el número y tipos de nodos en IMS comparados a las redes de voz 2G y 3G van a presentar consideraciones adicionales para proveer LI y la correlación de los reportes LI.

En países tales como los Estados Unidos, LI en el dominio CS utiliza trunks ISUP para pasar información del bearer (contenido de voz) a centros de monitoreo LI y esto es improbable que cambie. Como SIP es el único protocolo de control de llamadas soportado en IMS, usa un nodo de Gateway (una función de interoperabilidad) para acceder estos trunks es anticipado.

Capturar paquetes de VoIP en el Evolved Packet Core implica retos con interacciones de servicio. Por ejemplo, los requisitos de LI incluye capturar el contenido de voz de una llamada que fue redireccionada por un blanco LI que ya no se encuentra involucrado en la llamada. Si el usuario A llama al usuario B y se transfiere al usuario C, y el usuario B es el blanco de LI, entonces la llamada A-C debe ser monitoreada. En el dominio CS, Gateway B's o MSC sirviendo tiene acceso al plano bearer de la llamada A-C. Pero en IMS, una nueva solución va a tener que ser divisada, como las B's S-CSCF no tiene control sobre el plano bearer en la llamada A-C y en la mayoría de las implementaciones de transferencia de llamada o adelantamiento estas no permanecen en el plano de control de la llamada A-C.

Servicio TTY-TDD

TTY-TDD es un servicio regulatorio existente que provee comunicaciones para suscriptores con discapacidad del habla y del escucha usando dispositivos TTY-TDD desplegados por toda parte. Este servicio se utiliza para servicios de emergencia y normales. Para servicios normales se utiliza directamente entre usuarios con dispositivos TTY y vía centros de servicio que realizan la traslación. Este servicio debe trabajar con el PSTN. [36]

Servicios de Emergencia

En el Release 8, los dispositivos con capacidad para tecnología LTE dependen del existente núcleo de voz para proveer servicios de emergencia. IMS en el release 8 no tiene la habilidad de identificar un número de emergencia e instruye la terminal de en vez de poner la llamada en el dominio CS [36]. La razón de esta regresión es que 3GPP tiene que definir las capacidades:

- Como soportar E911 para una terminal que no se ha registrado (análoga al soporte CS para una llamada de emergencia sin SIM y solamente con IMEI).
- Cómo proveer información de ubicación.
- Como darle a las llamadas E911 la prioridad sobre llamadas que no son de emergencia.
- Cómo soportar llamadas E911 en áreas restringidas por ejemplo cuando no se permite roaming.

Estas soluciones deberían de darse en el Release 9 y se van a propagar devuelta al Release 8 para que las llamadas E911 puedan llevarse sobre LTE. Esto también significa que soportar el handover de llamadas de emergencia de LTE a 2G-3G CS. También porque los servicios de emergencia son locales por naturaleza, la propuesta del Release 9 incluye la detección de llamadas de emergencia dentro del P-CSCF para que puedan ser enrutables a un E-CSCF (Emergency CSCF) y de ahí a un centro de emergencia local, ya sea a través de

la interfase Mm y una red multimedia IP, o a través de una interfase Mi o Mg a un BGCF o MGCF que se conecta al dominio CS.

En los Estados Unidos E911 PSAP (del inglés Public Safety Answering Points) son accedidos por medio del ISUP y troncos MF. SIP es el protocolo de control de llamada soportado en IMS. Por ende va a ser necesario usar un nodo Gateway (una función de interoperabilidad) para completar llamadas sobre estos trunks.

Evolución del Servicio

No solamente las tecnologías 3GPP proveen mejoras continuas en rendimiento de capacidad y datos, también evolucionan capacidades que expanden los servicios disponibles a los suscriptores. Avances en servicios incluyen FMC (del inglés Fixed Mobile Convergence), IMS y tecnologías de broadcasting.

Hay varios enfoques para FMC, incluyendo Generic Access Network (GAN), comúnmente conocido como UMA (del inglés Unlicensed Mobile Access), femtoceldas e IMS. Con GAN, los dispositivos GSM-HSPA pueden conectarse vía Wi-Fi o conexiones celulares para voz y datos. UMA/GAN es una tecnología 3GPP y ha sido puesta en marcha por un número de operadores, incluyendo T-Mobile en los Estados Unidos. Una alternativa para utilizar Wi-Fi para la porción fija de FMC son las femtoceldas. Estas son estaciones bases pequeñas que cuestan un poco más que un access point de Wi-Fi y al igual que Wi-Fi, las femtoceldas aprovechan una conexión de línea de banda ancha por ejemplo de DSL. En vez de operar en bandas sin licencia, las femtoceldas usan las bandas con licencia del operador a niveles de potencia muy bajos. La ventaja clave del enfoque de la femtocelda es cualquier dispositivo móvil o de comunicaciones monomodo que tenga un usuario puede operar usando las femtoceldas.

IMS es otra tecnologías clave para la convergencia. Permite acceso a los servicios del núcleo y aplicaciones por medio de redes de múltiples acceso. IMS es más potente que GAN, porque soporta no solo FMC, pero también un rango más amplio de aplicaciones potenciales. En los Estados Unidos, AT&T se ha comprometido a un enfoque IMS y ya ha puesto en marcha un servicio de compartir video basado en IMS. Aunque definido por

3GPP, el Third Generation Partnership Project 2 (3GPP2), CableLabs y WiMAX han adoptado IMS. IMS es como VoIP va y podría ser implementarse en CDMA 2000 EV-DO, WiMAX, HSPA y redes LTE.

IMS la mezcla creativa de los diferentes tipos de comunicaciones e información, incluyendo voz, video, IM, presencia de información, ubicación y documentos. Provee a los desarrolladores de aplicaciones los medios para crear aplicaciones que nunca antes habían sido posibles de crear, y permite a las personas comunicarse enteramente en nuevas formas al utilizar servicios múltiples de manera dinámica. Por ejemplo, durante una sesión de chat interactiva, un usuario podría hacer una llamada de voz. O durante una llamada de voz, un usuario podría establecer de manera simultanea una conexión de video o empezar a transferir archivos. Mientras se navega en la red, un usuario podría decidir hablar con un representante de servicio al cliente. IMS va a ser una plataforma para un arquitectura completamente para las arquitecturas basadas completamente en IP para HSPA y LTE.

Una nueva iniciativa llamada Rich Communications Suite (RCS), soportada por muchos operadores y vendedores, se basa en tecnología IMS para proveer una característica de conjunto consistente, al igual que guías de implementación, utilización de casos y referencias de implementación. RCS utiliza estándares existentes y especificaciones de 3GPP, OMA y GSMA.

Características del Núcleo incluyen:

- Una guía telefónica mejorada (basado en dispositivo o red) que incluye capacidades de servicio y contactos de información de presencia mejorada.
- Mensajería mejorada (soporta texto, mensajería instantánea y multimedia) con Chat e historial de mensajería.
- Llamadas enriquecidas que incluyen contenido multimedia (por ejemplo compartir video) durante llamadas de voz.

Otro nuevo servicio importante es soportar televisión móvil a través de funciones multicast y broadcast. 3GPP ha definido capacidades multicast/broadcast para HSPA y LTE.

Innovación del Dispositivo

La computación por si sola se está volviendo más móvil, y las computadoras notebook y los smartphones ahora prevalecen. De hecho, todos los teléfonos móviles se están volviendo inteligentes ya que tienen capacidad de datos, y los vendedores líderes del notebook ahora están ofreciendo computadoras con capacidades 3G integradas (por ejemplo HSPA). Los módems ahora se encuentran disponibles en múltiples formatos incluyendo dispositivos USB, tarjetas PC y tarjetas Express.

Los fabricantes de computadoras también están entregando nuevas formas de dispositivos tales como los netbooks, mobile Internet devices (MID) y smartbook. El abrir nuevas redes también permite a un mayor número de compañías que desarrollan productos a utilizar redes wireless tanto en escenarios de mercados horizontales como verticales. De acuerdo a un reporte reciente por parte de Forward Concepts, el MID global se espera que crezca de 305,000 embarques en el 2008 a 40 millones en el 2012. Los teléfonos celulares se están volviendo más poderosos y cuentan con pantallas táctiles más grandes, observadores de gráficos, cámaras fijas, cámaras de películas, reproductores MP3, clientes IM, correo electrónico, clientes, Push-to-Talk over Cellular (PoC), capacidades de contenido ejecutable bajable, y navegadores más poderosos. Todas estas capacidades consumen datos.

Mientras tanto, los smartphones que enfatizan un ambiente de computación rico en un teléfono, representa la convergencia del asistente digital personal, una computadora móvil completamente capaz, y un teléfono, todo en un dispositivo que solo es levemente más grande que el teléfono celular promedio. Muchos usuarios preferirían cargar un dispositivo que lo haga todo. Los smartphones originalmente fueron dirigidos a la gama de alto poder adquisitivo del mercado, ahora están disponibles a menores precios y por ende asequibles para un mayor segmento del mercado. Ovum predice que los smartphones van a constituir un 29% de los teléfonos para el 2014. El éxito del iPhone demuestra el potencial de este mercado.

Servicios Broadcast y Multicast

Una importante capacidad de 3G y sistemas 3G evolucionados es broadcasting y multicasting, mientras que múltiples usuarios reciben la misma información usando el mismo recurso de radio. Esto crea un enfoque más eficiente para entregar contenido tal como programación de video a los cuales múltiples usuarios tienen suscripciones. En un broadcast, cada unidad de suscriptor en un área de servicio recibe la información, mientras que en un multicast, solo los usuarios con suscripciones reciben la información. Las áreas de servicio para broadcast y multicast pueden abarcar la red entera o un área geográfica específica. Porque múltiples usuarios en una celda están sintonizados al mismo contenido, broadcasting y multicasting resultan en una eficiencia de espectro mayor para servicios tales como televisión móvil. 3GPP definió capacidades de broadcast/multicast altamente eficientes para UMTS en el Release 6 con MBMS. El Release 7 incluye optimizaciones a través de una solución llamada multicast/broadcast, que es una simple red de operación que involucra transmisión simultánea de la forma de onda exacta a través de múltiples celdas. Esto permite al receptor superponer de forma constructiva transmisiones de celda múltiples MBSFN. El resultado es altamente eficiente, tecnologías de transmisión broadcast basados en WCDMA que concuerdan los beneficios de los enfoques de broadcast basados en OFDMA.

LTE también va a tener capacidad multicast/broadcast. OFDM está particularmente dotado para broadcasting, porque el sistema móvil puede combinar las señales de múltiples estaciones base y por la naturaleza de banda angosta de OFDM. Normalmente, estas señales interferirían con cada una. Como tal, la capacidad de broadcast de LTE se espera que sea bastante eficiente.

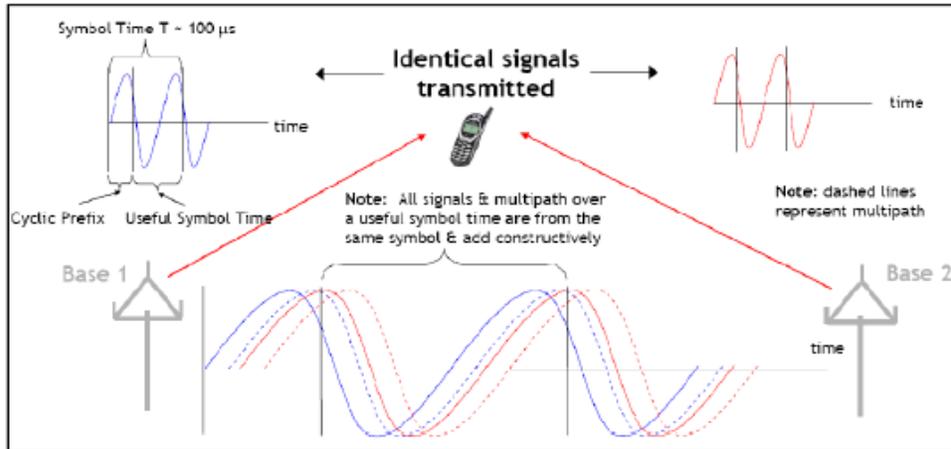


Figura 34 Broadcasting Eficiente utilizando OFDM

Un enfoque alternativo para la televisión móvil es utilizar en una red de broadcast entera con tecnologías tales como Digital Video Broadcasting-Handheld (DVB-H) o Media Forward Link Only (MediaFLO), que varios operadores alrededor del mundo han optado por hacer. Aunque esto requiere un radio separado en el dispositivo móvil, las redes están optimizadas para broadcast.

Tecnología VOLGA

Aunque se encontraba en sus primeras fases de desarrollo los sistemas VOLGA (Voice over LTE vía Generic Access) esta se encontraba dirigida a proveer a los operadores la capacidad de ofrecer servicios de voz y mensajería sobre redes de acceso LTE basadas en el estándar GAN (Generic Access Network). [37]

Al utilizar un estándar 3GPP GAN para GSM, UMTS y LTE, VoLGA tiene la capacidad de proveer a los usuarios con servicios de voz, SMS y otros de conmutación de paquetes, mientras realizan la transición entre las diferentes tecnologías de acceso 3GPP. [36]

La capacidad de utilizar recursos de núcleos de red es una ventaja que plantea el sistema VoLGA. Hay preocupación por parte de los operadores y vendedores en el tema de roaming el cual es uno de los factores más importantes a tomar en cuenta para suministrar servicios inalámbricos lo cual es casi imposible si la industria no armoniza la forma en que los servicios de voz deberían de entregarse. [37]

La solución VoLGA requiere que un VANC (VoLGA Access Network Controller) sea agregado al núcleo de voz GSM-UMTS. Un VANC es un GANC (Generic Access Network Controller) de 3GPP, el cual permite que servicios ofrecidos en sistemas conmutados por paquetes en LTE sean ofrecidos en redes 2G-3G, al crear un túnel IP mientras emula una internase A hacia los nodos del núcleo de las redes 2G-3G la cuales se basan en conmutación de circuitos. [38]

En 3GPP, el método VoLGA también se le denomina CSoPS (Circuit Switch over Packet Switch). Tanto en el Release 8 como en el caso del Release 9 se vio un menor interés por parte de 3GPP y para el mes de Marzo del 2009 se detuvieron los trabajos en desarrollar dicho sistema. [38]

Alto Rendimiento de Datos y Baja Latencia

El ambiente de comunicaciones inalámbricas es todo un reto en lo que ofrecer una calidad de servicio consistente respecta. Esto debido a que las zonas en las que se ofrecen los servicios son lugares donde existen interferencias por parte de estructuras tales como edificios o zonas donde el ruido puede incrementar a causa de interferencias por otras fuentes creando además un bajo nivel de señal. Adicionalmente el desvanecimiento causa que el rendimiento de los dispositivos se vea perjudicado aunque el usuario muchas veces entienda que esto se deba a la poca señal que está recibiendo el dispositivo por lo que va a intentar buscar alguna posición donde reciba mejor señal. [39]

LTE tiene la característica de poseer una mayor eficiencia espectral que las tecnologías previas tales como 2G-3G. Inicialmente esto va a proveer una buena calidad de experiencia debido a las mejores tasas de datos y menores latencias que hoy en día se perciben en banda ancha pero cableada. En la medida que LTE se vuelva más popular, va a existir una mayor necesidad del espectro por parte de los usuarios y por ende mayor interferencia. Es por esto que va a ser necesario implementar capacidades adicionales para mantener la alta QoE ante una expansión rápida del número de usuarios. Pero esta necesidad va a ser proporcional al número de suscriptores en LTE lo cual va a permitir tener los recursos para implementar dichas capacidades.

Existen diferentes técnicas para proveer mayor QoE. Estas involucran mejorar el rendimiento, mejorando la eficiencia espectral y reduciendo la latencia. Una de ellas es el uso de la tecnología OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) en conjunto con otras innovaciones de interferencia de aire, las cuales ofrecen conexiones de menor latencia al igual que mayor eficiencia espectral, particularmente en el uplink. Las antenas utilizadas en LTE pueden incrementar la eficiencia al utilizar antenas de 4x2 MIMO en áreas críticas las cuales permiten incrementar la capacidad de la red para soportar una alta QoE para los usuarios. Esto debido a que entre mayor sea el número de caminos de transmisión y recepción, esto implica que la relación de señal a interferencia incrementa por lo que la eficiencia espectral aumenta.

Las celdas de menor radio también conocidas como femto celdas incrementan la capacidad debido al hecho que incrementan la reutilización del espectro de forma más frecuentemente en el dominio espacial. Debido a los avances en la tecnología de construcción, permiten que sea viable usar celdas de menor tamaño en áreas donde la demanda es muy alta.

En lugares donde se implementen estas celdas pequeñas es muy práctico implementar técnicas de modulación de alto orden las cuales permiten la transmisión de más datos dentro de una cantidad dada de espectro. Esto especialmente en zonas donde la demanda es muy alta como por ejemplo en zonas metropolitanas.

LTE tiene la característica de soportar un gran rango de anchos de portadoras incluyendo 1.4MHz, 3MHz, 5MHz, 10MHz, 15MHz y 20MHz. Esta característica le permite a un proveedor de servicios usar completamente el espectro disponible en una sola portadora de radio proveyendo tasa de datos mayores utilizando el espectro disponible en una portadora de radio y menores latencias que las tecnologías anteriores.

La red núcleo de LTE que se le llama EPC (Evolved Packet Core, Núcleo de Paquetes Evolucionado) ha sido diseñada para minimizar los elementos de procesamiento específicos con el fin de disminuir el exceso de tráfico y además los cuellos de botella por causa de paquetes excesivos. Además del hecho que si los paquetes tienen que realizar

menores saltos, estos reducen la latencia de extremo a extremo en la red y simplifican las operaciones de esta.

Transparencia y Paridad de Servicios

Cuando se realiza la migración de un dispositivo capaz de trabajar en las redes 2G y 3G a uno que soporta LTE, los usuarios van a esperar tener acceso a los mismos servicios de los que se disfrutaban con las redes anteriores a lo que se le llama paridad de servicio (Service Parity) y ellos van a esperar que esos servicios trabajen de la forma en la que estaban acostumbrados llamado “transparencia de servicio”(Service Transparency), independientemente de la tecnología de acceso que se encuentre utilizando el equipo de usuario. [40]

LTE va a tener servicios los cuales puede que no operen del todo o solo de forma parcial en redes 2G, lo cuál no debería de ocurrir debido a que los sistemas LTE van a necesitar tener las mismas capacidades o exceder las existentes de los sistemas 2G y 3G.

Los servicios existentes que actualmente operan en las redes 2G o 3G típicamente van a operar transparentemente o con mejor rendimiento en un ambiente LTE. Esto como consecuencia del mayor rendimiento el cual LTE provee los cuales van a un incremento de las velocidades de las aplicaciones basadas en red. Además de que la paridad y transparencia de servicios de datos existentes generalmente no son una preocupación para los operadores migrando de las tecnologías 2G-3G a LTE. También se encuentra el hecho que el transporte de nuevos servicios de datos los cuales pueden no desempeñarse bien en tecnologías como lo son la 2G, van a tener un mejor desempeño al utilizar LTE. Algunas aplicaciones que requieren altas velocidades con baja latencia se van a limitar a operar en sistemas LTE gracias a estas velocidades de datos permitidas.

En el caso de la voz que es una aplicación inalámbrica esencial, para lo que son servicios básicos LTE VoIP se va a proveer de una forma transparente al existente sistema de basado en conmutación de circuitos GSM-UMTS. Esto se puede realizar utilizando la tecnología SRVCC HO entre otras.

En el caso de SMS (Short Message Service, Servicio de Mensaje Corto) el cual no es solamente utilizado por los usuarios, sino que también para actualizaciones a las terminales, estos ser entregados a los dispositivos LTE por IMS y SIP, o utilizando la infraestructura existente y tunelización de mensajes SMS desde el MSC (Mobile Switching Center) al MME (Mobility Management Entity) sobre la interface SG. La ventaja que tiene este método es que permite la entrega de SMS antes de introducir IMS y evita tener que actualizar la infraestructura SMS después de que IMS es utilizado.

Capítulo 8: Migración

Este capítulo menciona como es que las redes LTE pueden ser compatibles con las redes tanto 3GPP como no-3GPP. Es por esta razón que se muestran las arquitecturas de las diferentes tecnologías tanto 3GPP como no 3GPP y la forma en la que estas pueden co-existir bajo una misma arquitectura. Es por esta que se mencionan con detalle las interfaces y protocolos en estas con mayor detalle. Además se mencionan algunas características de los equipos de usuario para poder trabajar bajo las especificaciones de la tecnología LTE.

Migración Eficiente

Además de satisfacer las expectativas del suscriptor, satisfacer los requisitos regulatorios, seleccionar dispositivos que cumplan sus objetivos, y asegurar que sean alcanzadas las eficiencias operacionales, los operadores también van a necesitar crear un plan que hace un uso eficiente de los recursos disponibles para una instalación sin problemas. [41]

Arquitectura EPS

En su forma más básica, la arquitectura EPS consiste de solo dos nodos en el plano de usuario: una estación base y un red núcleo GW. El nodo que realiza la funcionalidad del plano de control (MME) se encuentra separada del nodo que cumple con la funcionalidad del plano bearer (GW), con una interface abierta bien definida entre ellos (S11), y al utilizar la interface opcional S5 el GW puede dividirse en dos nodos separados (Serving GW y el PDN GW). Esto permite el escalamiento y crecimiento independiente del rendimiento del tráfico y control del procesamiento de las señales de control y además de que los operadores pueden escoger ubicaciones topológicas optimizadas de los nodos dentro de la red con tal de optimizar la red en diferentes aspectos. La arquitectura básica EPS se muestra en la Figura 35. [8]

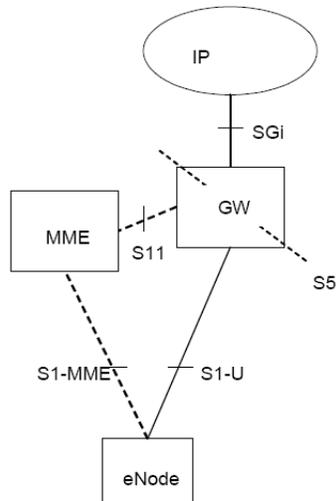


Figura 35 Arquitectura Básica EPS

La arquitectura EPS tiene una distribución funcional similar a la arquitectura de red del núcleo HSPA Direct Tunnel PS. Esto permite una integración muy fácil de redes HSPA al EPS, como se muestra en la Figura 36. El punto de referencia S12 entre UTRAN y el Serving GW es para la tunelización del plano de usuario cuando se establece Direct Tunnel. Se basa en el punto de referencia Iu-u/Gn-u utilizando el protocolo GTP-U como se define entre SGSN (del inglés Serving GPRS Support Node) y UTRAN (del inglés UMTS Terrestrial Radio Access Network) o respectivamente entre SGSN y GGSN (del inglés Gateway GPRS Support Node). El punto de referencia S4 provee soporte relacionado con control y movilidad entre el núcleo GPRS y el la función ancla de 3GPP de Serving GW. Adicionalmente, si el Direct Tunnel no se establece, también provee la tunelización del plano de usuario.

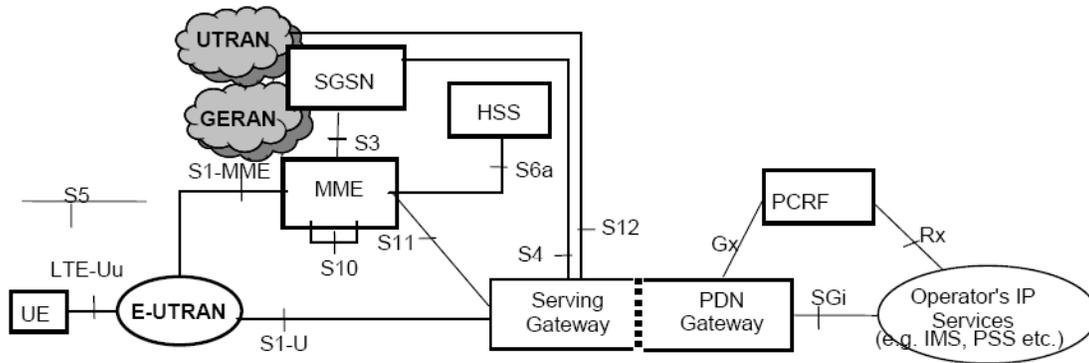


Figura 36 Configuración de ejemplo para soportar EPS de acceso 3GPP incluyendo UTRAN-HSPA [8]

El ejemplo mostrado en la figura anterior requiere que el SGSN implemente el nuevo punto de referencia S3 y S4 como se define el Release8. En esta implementación particular, S5 es una interface interna entre el Service GW y el PDN GW. En algunos escenarios de puesta en marcha, puede preferirse que no todo el SGSN necesite actualizarse al SGSN del Release 8 que soporta S3 y S4. Además 3GPP también especifica interoperabilidad entre el EPS y los SGSN de las redes 2G y/o 3G que proveen solo interfaces Gn y Gp pero no los puntos de referencia S3 o S4. La figura 37 muestra un ejemplo de la arquitectura para la interoperabilidad con los SGSNs Gn/Gp.

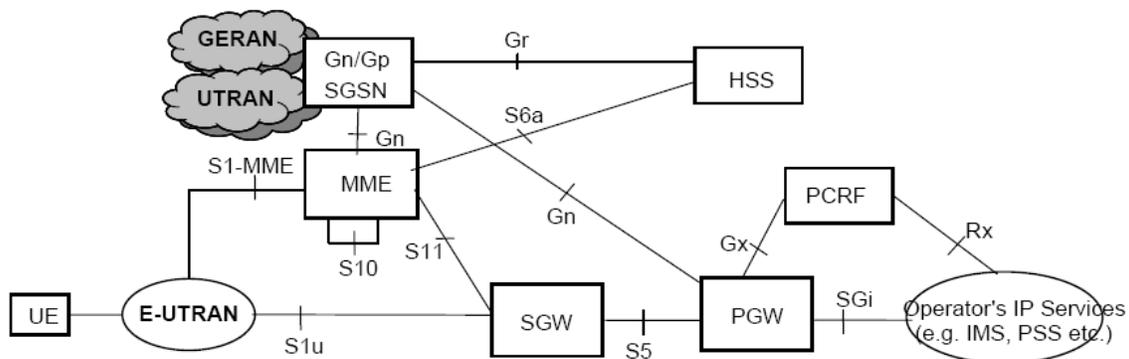


Figura 37 Ejemplo de arquitectura para interoperación con Gn/Gp SGSN [8]

Es importante recalcar que si el SGSN del Release 7 aplica Direct Tunnel, existe una conexión del plano de usuario entre PGW y UTRAN.

De mayor importancia es el hecho que el EPS es capaz de integrar redes de acceso no-3GPP. La figura 38 muestra más detalles de la arquitectura básica del EPS en un escenario de roaming que soporta el acceso de redes no-3GPP. En esta vista algunos elementos de red que pueden estar físicamente distribuidos o ubicados juntos, de acuerdo al desarrollo del producto y escenarios de puesta en marcha, se muestran de manera separada. Por ejemplo el Serving GW puede o no ubicarse junto con el MME y el Serving GW y el PDN GW puede o no estar ubicado en el mismo nodo.

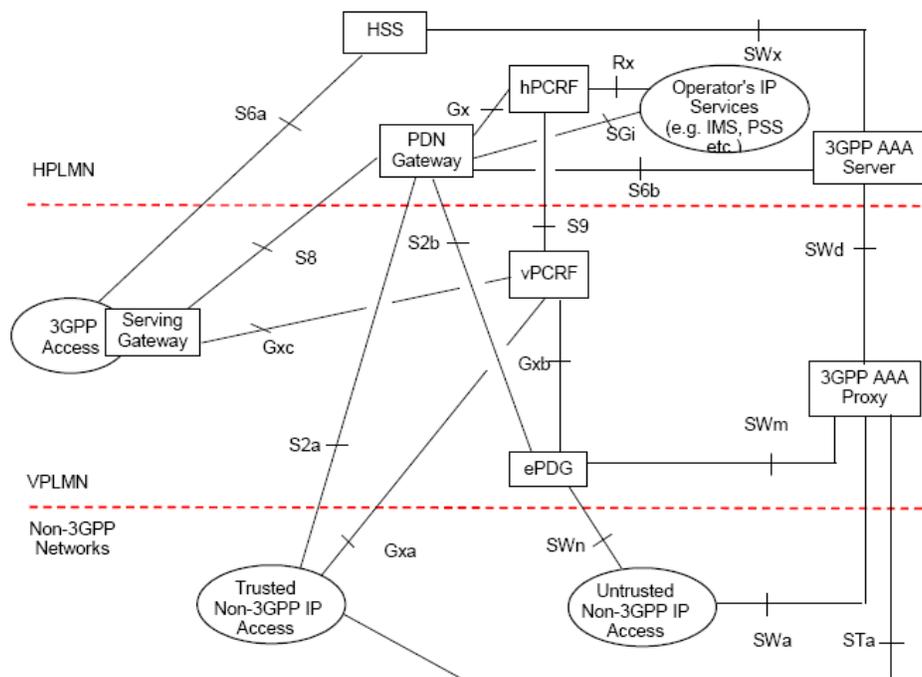


Figura 38 Vista de la Arquitectura EPS detallada [8]

La arquitectura básica de EPS contiene los siguientes elementos de red principales con funciones específicas:

eNodeB:

- Funciones para Administración de Recursos de Radio.
- Compresión del header IP y encriptación del flujo de datos.

- Selección de un MME al conectarse un equipo de usuario cuando no puede determinarse el enrutamiento a un MME de la información provista por el equipo de usuario.
- Enrutamiento de datos del Plano de Usuario hacia el Serving GW.
- Scheduling y transmisión de mensajes de paging (originados por el MME).
- Scheduling y transmisión de información de broadcast (originado del MME o desde la oficina de operaciones y mantenimiento).
- Configuración de medición y reportes de medición para movilidad y scheduling.

Mobility Management Entity (MME): El MME administra la movilidad, identidades de los equipos de usuarios y parámetros de seguridad. Las funciones MME incluyen:

- Señalización NAS y relacionadas con seguridad.
- Inter señalización de nodo de control de red para movilidad entre las redes de acceso 3GPP (al otro extremo de S3).
- Alcance y búsqueda de equipo de usuario en modo ralenti (incluyendo control y ejecución de la retransmisión paging).
- Administración de lista de Tracking Area.
- Roaming (terminación S6a hacia HSS)
- Selección de GW(Serving GW y selección del PDN GW)
- Selección MME para entregas con cambios en MME.
- Selección SGSN para entregas a redes de acceso 2G o 3G.

- Nodo de acceso HRPD (terminación del punto de referencia S101) selección de entregas para y desde HRPD.
- Autenticación
- Funciones de administración de Bearers incluyendo el establecimiento de bearers dedicados.
- Intercepción legal de tráfico de señalización.
- Soporte para SRVCC y CS Fallback para 2G/3G y 1xRTT CDMA.

Serving GW: El Serving GW es el nodo que termina la interface hacia el E-UTRAN. Por cada equipo de usuario asociado con el EPS, en un momento de tiempo dado, existe un single Serving GW. Las funciones Serving GW incluyen:

- Punto de movilidad de ancla local para entrega entre eNodosB.
- Anclaje para movilidad entre 3GPP (terminación de S4 y relevo de tráfico entre el sistema 2G/3G y el PDN GW).
- Bufferización de paquetes de downlink en modo ralentí en el E-UTRAN e iniciación de procedimientos de requisitos de servicios de red.
- Marcaje de paquetes a nivel de transporte en el uplink y downlink por ejemplo estableciendo el DiffServ Code Point, basado en el QCI del bearer EPS asociado.
- Contabilidad de la granularidad del usuario y QCI para cobrarse entre operadores.
- Intecerpcion lícita.
- Reenvío y enrutamiento de paquetes.
- Soporte al cobro.

PDN GW: El PDN GW es el nodo de terminación de la interface SGi hacia la PDN. Si un equipo de usuario se encuentra accedendo multiples PDNs, puede haber más de un PDN GW para ese equipo de usuario. Las funciones PDN GW incluyen funciones de:

- Política de aplicación.
- Filtrado de paquetes basado en usuario (por ejemplo inspección de paquetes profundo.
- Soporte de cobro.
- Marcaje de paquetes a nivel de transporte en el uplink y downlink por ejemplo el DiffServ Code Point, basado en el QCI del bearer EPS asociado.
- Intercepción lícita.
- Asignación de la dirección IP del equipo de usuario.
- Funciones DHCP

Evolved UTRAN (eNodoB): El eNodoB soporta la interface de aire LTE e incluye funciones para control de recursos de radio, cifrado del plano de usuarios y el protocolo PDCP(del inglés Packet Data Convergence Protocol).

- Marcaje de paquetes a nivel de transporte en el uplink y downlink por ejemplo estableciendo el DiffServ Code Point, basado en el QCI del bearer EPS asociado.
- Intercepción lícita.
- Asignación de direcciones IP a equipos de usuarios.
- Funciones DHCP.

Soporte para acceso de redes no-3GPP

Para una arquitectura roaming y no roaming para EPS, existen tres posibles tipos de interfaces en EPS para soportar acceso no-3GPP. La primera de estas es S2A que provee al plano de usuario con soporte de control y movilidad entre acceso IP confiable no-3GPP y el GW. El segundo es el S2b que provee al plano de usuario con relacionado y soporte de movilidad entre ePDG y el GW.[8]

Finalmente el S2c provee al plano de usuario con soporte de movilidad y control relacionado equipos de usuario y el GW. Este punto de referencia es implementado sobre accesos no 3GPP de confianza y no confianza, y también entre, o solamente accesos 3GPP.[8]

En un escenario donde no va a haber roaming es decisión del HPLMN (del inglés Home Public Land Mobile Network) del operador si una red de acceso no-3GPP es utilizada como una red de acceso no-3GPP de confianza o no confianza. En un escenario de roaming, el servidor HSS/3GPP AAA en el HPLMN hace la decisión final si un acceso de red 3GPP es Acceso de Red de Confianza o inconfiable. El servidor HSS/3GPP AAA puede tomar en consideración la política del VPLMN (del inglés Visiting Public Land Mobile Network) y capacidad de retorno del Proxy AAA 3GPP o el acuerdo de roaming en consideración.

Para soportar múltiples PDN (del inglés Public Data Networks) las mismas relaciones de confianza deben de aplicarse para todos los PDN al que el equipo de usuario se conecte desde una red de acceso no-3GPP, es decir, no debería de ser posible acceder un PDN usando la red no-3GPP como de confianza, mientras que el acceso a otro PDN utilizando el mismo acceso de red no-3GPP es no confiable.[8] Para accesos al EPS desde redes no-3GPP no confiables se utiliza un ePDG (del inglés external Packet Data Gateway). La funcionalidad de ePDG incluye lo siguiente:

- Asignación de una dirección IP remota como una dirección IP local al ePDG que es utilizado como CoA cuando S2C es utilizado.

- Funcionalidad para transporte de una dirección IP remota como una dirección IP específica a un PDN cuando S2b es utilizado.
- Enrutamiento de paquetes desde y hacia el PDN GW (también desde y hacia el Serving GW si se utiliza como un ancla local en el VPLMN) hacia y desde el equipo de usuario.
- Desencapsulación y encapsulación de paquetes para tuneles IPsec y PMIP (este último sólo si la movilidad basada en red (S2b) es utilizada).
- MAG (del inglés Mobile Access Gateway) si la movilidad basada en red es utilizada.
- Autorización de túnel y autenticación (terminación de la señalización IKEv2 y relevo vía mensajes AAA).
- Ancla de movilidad local para acceso de redes de no confianza de tipo no-3GPP utilizando MOBIKE (del inglés Mobil and Multi-homing Protocol for Internet Key Exchange) si es necesario.
- Marcaje de paquetes a nivel de transporte en el uplink.
- Ejecución de políticas de QoS basadas en información recibida vía la infraestructura AAA.
- Intercepción lícita.
- Asignación de la clave GRE (del inglés Generic Routing Encapsulation) que es utilizada para encapsular tráfico de downlink al ePDG en la interface S2b basada en PMIP.
- Un equipo de usuario conectado a uno o múltiples PDN GW utiliza un simple ePDG. En caso de entrega entre ePDGs, el equipo de usuario puede estar temporalmente conectados a dos ePDG.

Para soportar la nueva interface de aire de al igual que roaming y movilidad entre LTE y UTRAN/GERAN la arquitectura EPS tiene las siguientes interfaces que se muestran en la Figura 54.

Tabla 17 Interfaces y protocolos para tecnologías 3GPP [8]

Interface	Función
X2	Conecta eNodoB vecinos para contexto de reenvío y paquetes de datos en la entrega entre eNodoB.
S1-MME	Punto de referencia para el protocolo de control entre el E-UTRAN y el MME.
S1-U	Punto de referencia entre el E-UTRAN y el Serving GW para la tunelización del plano de usuario por bearer y la conmutación de trayectoria durante la entrega.
S3	Habilita el intercambio de información de bearer y usuario para el acceso de red inter 3GPP. Se basa en el punto de referencia Gn como está definido entre SGSN.
S4	Provee control relacionado y soporte de movilidad entre el núcleo GPRS y la función de ancla 3GPP del Serving GW y está basado en el punto de referencia Gn como está definido entre el SGSN y el GGSN. Si Direct Tunnel no se encuentra establecido provee la tunelización del plano de usuario.
S5	Provee tunelización del plano de usuario y administración de túnel entre el Serving GW y el PDN GW. Es utilizado para la reubicación del Serving GW debido a la movilidad del equipo de usuario y si el Serving GW necesita conectarse a un PDN-GW no colocado para la conectividad PDN requerida.
S6a	Habilita la transferencia de datos de suscripción y autenticación para el acceso de usuario de autenticación/autorización al sistema evolucionado (interface AAA) entre MME y HSS.
S6d	Habilita la transferencia de datos de suscripción y autenticación para el acceso de usuario de autenticación/autorización al sistema evolucionado (interface AAA) entre S4-SGSN y HSS.
Gx	Provee transferencia de políticas de QoS y reglas de cobro de PCRF a PCEF en el PDN GW
S8	Punto de referencia inter-PLMN proveyendo plano de control y usuario entre el Serving GW en el VPLMN y el PDN GW en el HPLMN. Se basa en el punto de referencia Gp definido entre SGSN y GGSN. S8 es la variante inter PLMN de S5.
S9	Provee transferencia de la política QoS e información de control de cobro entre el PCRF local y PCRF visitado con tal de soportar la función de salida.
S10	Sirve como punto de referencia entre MME para reubicación de MME y transferencia de información de MME a MME.
S11	Sirve como punto de referencia entre el MME y el Serving GW
S12	Sirve como punto de referencia entre el UTRAN y el Serving GW para tunelización del plano de usuario cuando se establece Direct Tunnel. Se basa en el punto de referencia Iu-u/Gn-u utilizando el protocolo GTP-U como se define entre SGSN y UTRAN or respectivamente SGSN y GGSN. El uso de S12 es una opción de la configuración del operador.
S13	Habilita el procedimiento de revisión de la identidad del equipo de usuario entre el MME y el EIR.
SGi	Punto de referencia entre el PDN GW y la red de paquetes de datos. La red de paquetes puede ser una red externa de operador ya sea pública o privada o una red entre operadores (por ejemplo para proveer servicios IMS). Este punto de referencia corresponde al Gi para accesos 3GPP.

Para las tecnologías no-3GPP existen las siguientes interfaces y protocolos a utilizar mostrados en la Tabla 18.

Tabla 18 Interfaces y protocolos para tecnologías no-3GPP [8]

Interface	Función
S2a	Provee al plano de usuario con soporte de movilidad y control relacionado entre accesos IP de redes no-3GPP de no confianza y el PDN GW. S2A está basado en el Proxy Mobile IPv6 (PMIP) y para soportar accesos que no soportan PMIP también IPv4 Móvil.
S2b	Provee la plano de usuario soporte de movilidad y control relacionado entre el equipo de usuario y el PDN GW. S2b está basado en el Proxy Mobile IPv6 (PMIP).
S2c	Provee al plano de usuario con soporte de control y movilidad entre equipos de usuario y el PDN GW. Es implementado sobre accesos de red no-3GPP de confianza y no confianza y se basa en el protocolo DS-MIP v6.
S6b	Punto de referencia entre el PDN GW y el servidor/proxy 3GPP AAA para autenticación de movilidad relacionada si fuese necesario.
Gxa	Provee la transferencia de la política de información QoS del PCRF al acceso de red no-3GPP de confianza.
Gxc	Provee transferencia de políticas de información (QoS) del PCRF al Serving GW.
PMIP (S8)	S8 es la interface roaming en el caso de roaming con tráfico enrutado en casa. Provee al plano de usuario con control relacionado entre los GW en VPLMN y el HPLMN.
SWa	La interface SWa conecta accesos IP no-3GPP con el servidor/proxy AAA para el transporte de autenticación de acceso, autorización e información relacionada con cobro.
STa	Es el equivalente de SWa para accesos IP de confianza.
SWd	Conecta el 3GPP AAA Proxy al Servidor 3GPP AAA.
SWm	Utilizada para señalización AAA (transporte de parámetros de movilidad, autenticación de túnel y autorización de datos).
SWn	Punto de referencia entre accesos IP de no confianza y el ePDG, que tiene la misma funcionalidad que Wn.
SWu	Interface SWu maneja el soporte para túneles IPsec entre el equipo de usuario y el ePDG.
SWx	La interface SWx es utilizada para el transporte de datos de autenticación entre el servidor 3GPP AAA y el HSS.
S101	La interface S101 habilita interacciones entre MME de EPS y el eAN/PCF de accesos CDMA para permitir preregistro y señalización de ejecución de entrega entre el EPS y CDMA para una entrega optimizada.
S102	Interface especial para entrega de llamadas entre el EPS y la red 1xRTT. El punto de referencia S102 es un interface especial utilizada para entrega de mensajes de señalización entre 3GPP2 1x CS y entre el MME y el 3GPP2 1x CS IWS.
S103	S103 es la interface del plano de usuario entre el SGW de EPS y el HSGW de CDMA es utilizado para conexiones de datos bearer para minimizar la pérdida de paquetes en la movilidad del EPS al HRPD en una entrega optimizada.

Consideraciones del Espectro

La iniciativa Digital Dividend Spectrum, limpieza de espectro y reacomodo combinado con avances en la eficiencia espectral de la tecnología celular, ofrece a los operadores inalámbricos capacidad incrementada (ya que soporta más suscriptores) y mejora la experiencia al tener nuevos tipos de servicios disponibles. [42]

El espectro es realmente codiciado y una mercancía valiosa entre la comunidad de operadores de red. Además la disponibilidad y adquisición del espectro bajo licencia también presenta una barrera para operadores potenciales. Como resultado, hay competencia fuerte para asegurar espectro adicional cuando este se encuentra disponible. La tasa incrementada de adopción y el incremento de tráfico sobre tecnologías inalámbricas puede significar que el espectro disponible se vuelva sobre requerido por los usuarios en un período de tiempo relativamente corto.

Esta situación lo más probablemente va a incrementar la urgencia de ubicar nuevo espectro para LTE y un reacomodo de utilización de los espectros existentes. La reubicación del espectro es difícil de lograr debido a que se encuentra en uso por un gran número de suscriptores.

Eventualmente se podría dar el caso que en mercados donde LTE ha madurado lo suficiente puede decidir salirse de GSM y reutilizar este espectro para LTE. LTE presenta una única oportunidad para migración en banda lo cual se logra por su ancho de banda escalable. Con la reutilización de 1.4MHz (siete ventanas de tiempo) de GSM, un sistema base LTE puede ser instalado. Mientras que dicho sistema obviamente no podría entregar los beneficios completos de LTE instalados en un canal de 10MHz o 20Mhz, si presenta un camino para la migración creíble.

Una consideración importante para los operadores instalando sistemas de telefonía es el aumento en el número de bandas y el correspondiente soporte de vendedores de infraestructura y dispositivos. El diseño fundamental del sistema y protocolos de red permanecen igual para cada banda. Solo los elementos de la banda base de radio de los radios va a tener que cambiar. Es posible que la banda base pueda soportar múltiples

tecnologías y esto significaría capacidades de procesamiento más poderosas con implicaciones para el costo. Una multibanda de radio sería una solución ideal.

Debido a la importancia económica y naturaleza global de la industria celular, la decisiones hechas respecto a la ubicación de espectro va a tener consecuencias muy profundas en la sociedad, razón por la cual los reguladores deberían asegurarse que nuevo espectro sea armonizado y coordinado en una base regional o global mientras se asegura que la tecnología pueda utilizarse de manera eficiente sin causarle interferencia a otros usuarios del espectro.

Compartir Antenas y Reutilización del Equipo de Acceso

Siempre es preferible instalar antenas separadas y caminos alimentados de radio frecuencia separada cuando se instalan nuevos servicios. Esta recomendación maximiza el desempeño del sistema, al mismo tiempo que minimiza el impacto en los sistemas existentes, eliminando la interacción durante la optimización de la red, minimizando la interferencia y simplificando operaciones, manejo y administración (OA&M).

Los operadores de 2G-3G inalámbricos deben instalar diferentes antenas para cada BTS (Base Transceiver Station, Estación Transceptora Base). Debido a que los sitios de estas antenas a veces son prestados y cercanas a las zonas locales requieren varianzas y permisos para instalar las torres de antenas, la adquisición de zonas hace que el gasto legal sea significativo. Además los préstamos algunas veces deben ser negociados nuevamente y nuevas varianzas aprobadas antes de las nuevas antenas pueden ser sumadas a los sistemas existentes de antena.

Como con todos los cambios tecnológicos el análisis mecánico, estructural y cargas de viento deben ser conducidas antes de que nuevas líneas de alimentación RF y nuevas antenas puedan ser agregadas a las existentes torres. El análisis puede indicar que el mástil de la estructura de la antena debe ser reforzada antes de que nuevas antenas puedan ser agregadas.

El Compartir Antenas BTS puede ahorrar el costo y tiempo gastado en estos esfuerzos. Las técnicas de compartir antenas representa una desventaja de los costos y

limitaciones de agregar nuevos alimentadores y antenas, contra costos de combinar equipo, rendimiento RF e impactos OA&M.

Técnicas para Compartir Antenas

Las técnicas de compartir antenas puede ser dividido en dos categorías primarias: Multi-banda y Co-banda. Los operadores de 2G-3G inalámbricos pueden estar usando una combinación de técnicas de compartir para combinar GSM y UMTS. Esto podría complicar las propuestas para la adición de LTE.

Multi-Banda

Las técnicas Multi-Banda combinan las señales de transmisión y recepción de BTS separados operando en diferentes bandas de frecuencias. Las técnicas multibanda usan combinadores de filtros y antenas multibandas para combinar señales del BTS operando en diferentes bandas de frecuencia (Celular 850 y PCS 1900). Esta técnica puede involucrar el reemplazo de las antenas de banda simple existente con antenas de banda dual o múltiple al igual que los combinadores de cableado y montaje como por ejemplo: diplexores de banda dual. [43]

Co-Banda

Las técnicas de co-banda combinan señales de transmisión y recepción de BTS separados operando en la misma banda de frecuencia. Las técnicas de co-banda pueden ser subdivididas en dos categorías. La primera es la de la ruta de recepción solo para compartir, y ruta de transmisión y recepción.

La técnica de camino de ruta solo para compartir, requieren que cada BTS tenga acceso a una antena separada para procesar las señales de transmisión. Las señales recibidas de cada una de estas antenas se comparten entre los BTS. Esta técnica es bastante sencilla de implementar ya que involucra solo el compartir señales recibidas de bajo nivel. [43]

En co-banda la ruta de compartir en recepción y transmisión involucra la combinación de señales de transmisión de BTS separadas operando en la misma banda de frecuencia, al igual que compartir señales de la ruta de recepción. Estos combinadores

usualmente están montados en un frame separado, y puede ser bastante caro por lo que puede requerir bandas guardadas de frecuencia que no pueden ser utilizadas para servicios inalámbricos. [43]

Consideraciones del Rendimiento de Compartir Antenas

Las técnicas de compartir antenas reducen el tiempo, costo y complejidad de agregar más antenas a la estructura mástil, sin embargo, estos beneficios deben ser balanceados con consideraciones de rendimiento. La figura de Ruido de la ruta de recepción para el caso de los sistemas que comparten rutas de recepción entre múltiples BTS van a incurrir en un aumento en la figura ruido de la ruta de recepción al igual que en la degradación de la ruta de recepción del IIP3 (Input 3rd Order Intercept Point). Típicamente IIP3 es intercambiado de tal forma que la NF no sea degradada por más de 1dB. Además las técnicas de compartir antenas que combinan múltiples señales de transmisión deben considerar Intermodulación Pasiva de 3er Orden (PIM) generados en la antena y el alimentador RF. Los PIM que caigan dentro de la banda de recepción de un BTS compartido pueden causar interferencia reduciendo la calidad del servicio.

Algunas combinaciones de banda de frecuencia son susceptibles a generar productos PIM de tercer orden dentro de una banda receptora. Sin planeamientos de frecuencia cuidadosos, estos productos PIM pueden caer en correspondientes bandas de recepción y significativamente degradar la sensibilidad del receptor del sistema compartido. En estas instancias va a ser necesario restringir las frecuencias utilizadas por sistemas compartidos para prevenir la insensibilización del receptor.

Núcleo de Red y Reutilización de la Oficina de Respaldo

Usualmente es deseable para los operadores introducir LTE a sus redes GSM-UMTS para reutilizar al máximo su red núcleo existente, oficina de respaldo, y existente FCAPS (Fault, Configuration, Accounting, Performance and Security; Falla, Configuración, Contabilidad, Rendimiento y Seguridad) en la medida de lo posible. Los mecanismos de reutilización vienen en diferentes formas y son altamente dependientes en el vendedor. [44]

Los que proponen reutilización de equipo pueden señalar a la naturaleza de distribución alta de IMS y la complejidad que viene al introducir múltiples nodos e interfaces. La alta naturaleza distribuida de IMS crea poderosas habilidades incluyendo control del hogar, soporte a múltiples vendedores y nuevas características poderosas. Esto poder vienen con el costo de complejidad en los nodos y las interfaces. Esto debe de manejarse para tener un sistema entregable funcional. Además, los proveedores de IMS proveen gran poder con interfaces abiertas. Esto también viene con un costo en la complejidad de instalación e incremento en el número de nodos. Combinaciones de los nodos IMS pueden ser empleados para reducir el número de interfaces y la complejidad. [44]

La consolidación de nodos IMS y/o la reutilización de sistemas de respaldo (back office) proveen un bajo costo, solución VoLTE de bajo riesgo con los siguientes beneficios.

- Reduce la complejidad de operaciones al combinar nodos.
- Provee una alternativa de bajo riesgo al simplificar el aprovisionamiento de red, ingeniería y administración.
- Maximiza el rendimiento de la red al reducir el número de interfaces externas.
- Minimiza cualquier riesgo asociado con una conversión completa de la oficina de respaldo. (Back office).
- Acelera la instalación de LTE mientras que los estándares de 3GPP IMS están madurando y las redes IMS están siendo construidas. Esto también puede ser visto como un contra tiempo hasta que sea instalado por completo IMS en la red.

Interoperabilidad en el Núcleo de Red

Existen tres mecanismos que pueden ser utilizados en el núcleo de red de paquetes para alcanzar interoperación casi transparente de servicios de paquetes entre LTE y las redes 3GPP 2G y 3G que incluye:

1. Utilizar el S-GW como un ancla de movilidad para todas las tecnologías de radio 3GPP como se describe en el release 8.
2. Hacer que el MME aparece a la red de legado 2G-3G como otra SGSN.
3. Usando una técnica para el registro simultáneo de Routing Area (RA) y Tracking Area (TA) conocido como “Idle-mode Signalling Reduction” o ISR.

En el Release 8 se ha definido un procedimiento general para entrega Inter-RAT basado en la noción de utilizar S-GW como un ancla de movilidad para todas las tecnologías 3GPP. Para soportar este concepto, los SGSNs deben actualizarse para soportar nuevas interfaces S3 y S4. La especificación usa la nomenclatura “S4 SGSN” para distinguir los SGSN del Release 8 al anterior a esto que soportan las interfaces Gn y Gp.

La nueva interface S4 puede utilizarse para “direct forwarding” “adelanto directo” de datos para que los paquetes de downlink en tránsito mientras se realiza una entrega pueda ser enviada a la respectiva tecnología de radio como para minimizar la pérdida de datos en tránsito. Esta característica junto con ISR (Idle-Mode Signalling Reduction) van a ser las dos ventajas del método del Release 8. Esto se puede observar en la Figura 51. En el Release 8 el método de interoperación I-RAT requiere que los SGSNs en la red sean actualizados o reemplazados con el SGSN del Release 4. La premisa básica del método Gn/Gp es que MME aparece para la red de legado 2G-3G como otra SGSN; y la nueva P-GW se comporta como un GGSN.

Señalización del modo Ralentí

La temprana entrega de una superposición de LTE puede proveer cobertura por zonas cubriendo un área de servicio debido a que algunos sitios de celdas van a ser actualizados a LTE mientras que otros no lo van a ser (se asume que eNodo B de LTE van a ser entregados en las mismas torres de celdas como la 2G o 3G. En este caso, cuando un equipo de usuario se mueve de una tecnología de 2G o 3G a la de LTE, el equipo de usuario va a tener que realizar un procedimiento TAU que si es exitoso, cancela su presencia de la red 2G-3G y la registra con la tecnología LTE preferida en el HSS. Cuando

el equipo de usuario se moviliza de una zona de cobertura de LTE a una de 2G-3G entonces va a realizar un RAU y cancelar su registro de la red LTE.

Esto va a llevar a efectos “ping-pong” con frecuentes RAU/TAU y eventos de nuevos registros asociados a equipos que se encuentran en modo de ralentí por ejemplo, sin generar ninguna ganancia pero generando tráfico de señales aumentado. En la Figura 39 se muestra la ruta que un equipo de usuario que entra en una región donde toda la cobertura LTE tiene parches y por ende tiene que realizar TAU seguido de RAU de forma sucesiva.

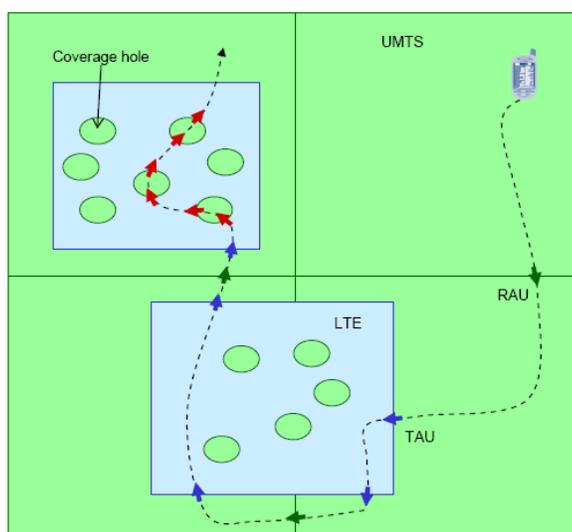


Figura 39 Movimiento de un Equipo de Usuario en Diferentes Zonas de Cobertura

La Figura 39 sirve para resaltar un hecho fundamental que es el efecto “ping-pong” de I-RAT que ocurre cuando hay equipos de usuario móviles multimodales en la red. En el caso de los datacards se espera que no generen tanto efecto ping-pong porque aunque tiene multimodales tienden a no ser móviles.

En el caso de 3GPP propone una técnica para registrarse simultáneamente RA y TA. Esta técnica conocida como ISR (Idle-Mode Signalling Reduction) que no resulta en un incremento de señalización de los equipos usuario atravesando límites de tecnología de radio. Un equipo en modo ISR va a estar simultáneamente registrado en ambas tecnologías

y va a re seleccionar celdas en ambas tecnologías. Un RAU o TAU es disparado si ha habido un cambio y el equipo de usuario se ha movido fuera de listas específicas TA o RA. Este beneficio de ISR viene con un costo, y es que hay un incremento la búsqueda ya que ahora el equipo de usuario debe ser buscado en ambas tecnologías. Debido a la necesidad de hacer la búsqueda simultánea, la arquitectura que soporta ISR debe soportar un plano de usuario común para ambas tecnologías de radio.

En el Release 8 en 3GPP, esta ancla común es provista por el S-GW. Además cuando un paquete arriba en el S-GW para un equipo de usuario en modo ralenti, los puntos de referencia S4 y S11 pueden ser usados para solicitar la iniciación de búsqueda en tanto el MME y SGSN. Es importante que en el anexo D del 23.401 el método de interoperación I-RAT no puede utilizarse para soportar ISR debido al ancla común que en ese caso es una P-GW y la búsqueda no puede inicializarse de él.

ISR se basa en que la red es compatible para soportar interoperación I-RAT de acuerdo al Release 8 23.401 para que el S-GW se vuelva el ancla de movilidad para tecnologías 3GPP. Como mínimo el legado SGSN tienen que actualizarse para soportar interfaces S3 y S4 al igual que una interface nueva S6d en HSS como se ve en la Figura 50.

Conclusiones del Servicio de Datos Transparente

Los proveedores de servicios pueden considerar instalar dos métodos de interoperación I-RAT. A como el número de equipos de usuario capaces de multimodo LTE crece a ser de un 10 a un 20 por ciento de la población total, la ventaja del método del Release 8 tiene la ventaja de eliminar señalización en modo ralenti a través de registros RAT pero requiere actualización de existentes SGSN a interfaces S3/S4. El método descrito en el Anexo D 23.401 es más práctico debido a que no requiere existentes SGSNs ser actualizados. Sin embargo se debería de buscar una estrategia de instalación para radio LTE que:

- Proponga MMEs de alta capacidad y altamente escalables ya que pueden absorber la componente I-RAT de señalización incrementada.

- Complete la cobertura LTE en áreas compactas, particularmente en corredores de tránsito.
- Incluye planeamiento para capacidad de extra señalización en SGSNs legados.

Hay que notar que las dificultades ping-pong van a convertirse significativas cuando hay un conteo de equipos de usuario con capacidades multi-RAT tales como smart phones. En el caso de los datos no va a necesitar especial consideración de problemas de ping-pong de I-RAT. La razón es que los datacards no van a ser altamente móviles ya que tienden a ser utilizados como puntos de acceso y no van a realizar ping-pong excepto por condiciones fluctuantes de RF.

Lo importante resaltar es que cualquier dispositivo utilizando LTE va a tener que utilizar el P-GW como un ancla. Excepto para regiones sin cobertura LTE, un equipo de usuario multimodo también soportando LTE va a pegarse a la red y usar P-GW/GGSN como el ancla de macro movilidad.

La Solución CS-Fallback para Datos LTE con voz 2G-3G

Durante Mayo del 2009 en la Cumbre Mundial de LTE, algunos operadores expresaron preocupación por la falta de soporte para la voz de legado y servicios SMS en LTE. También expresaron su preocupación con respecto a la falta de madurez en instalación de IMS y estándares 3GPP para lidiar con las necesidades complejas de voz LTE en medio móvil.

Para hacerle frente a estas preocupaciones, 3GPP ha desarrollado un mecanismo llamado CS-Fallback que se basa en la red 2G-3G para proveer servicios de voz. CS-Fallback permite a los suscriptores realizar la transición 2G-3G red de circuitos a recibir servicios de voz. Aunque CS-Fallback implique una introducción de retardo en los tiempos de establecimiento de llamadas, inherentemente aborda muchas preocupaciones del suscriptor tales como la necesidad para cobertura SMS y voz transparente, transparencia de servicio y paridad de servicio.

Para implementar CS-Fallback, los operadores deben ofrecer dispositivos capaces de CS-Fallback y actualizar su MSC's para soportar la interface SG. La interface SG provee una conexión lógica entre la MSC 2G-3G y la MME de LTE. Se basa en las interfaces G, que es implementado entre el dominio MSC CS 2G-3G y el dominio de paquetes SGSN de 2G-3G.

Los procedimientos CS-Fallback pueden agruparse en tres categorías:

1. Manejo de movilidad.
2. Origen y terminación de llamada.
3. Otros servicios.

CS-Fallback es la solución por defecto para voz. Todos los servicios de voz continúan corriendo en el dominio CS.

Soluciones Basadas en IMS para voz sobre LTE

Para la red núcleo, 3GPP ha escogido IMS como su arquitectura de servicios de siguiente generación. Por eso, con la potencial excepción de instalaciones limitadas de VOLGA, se espera que la mayoría de los operarios vayan a utilizar soluciones basadas en IMS para proveer servicios sobre LTE. IMS tiene tres principios fundamentales:

1. Servicios multimedia usan SIP como su protocolo de control de sesión.
2. La lógica de servicio de multimedia corre en la red núcleo de la casa del usuario.
3. La red núcleo IMS fue destinada de ser agnóstico de acceso. Sin embargo, la interacción con tecnologías existentes requiere funcionalidad específica de acceso sea añadida a la red IMS.

IMS contiene diferentes conceptos atractivos. Pero como con muchas visiones atractivas, el reto es hacer la transición. Esto ya ha sido discutido en términos de escenarios de puesta en marcha de LTE incluyendo el uso de capacidades transicionales tales como CS-Fallback, los retos creados por los requerimientos regulatorios, y la necesidad para

mejoras de rendimiento. Por eso se va a analizar la transición a IMS desde un punto de vista más amplio.

Entrega SRVCC para Continuidad

La entrega SRVCC es una capacidad transicional para redes que implementan servicios de voz utilizando IMS pero que falta cobertura LTE completa. La entrega SRVCC permite la red de circuito 2G-3G proveer una ruta bearer de llamada cuando un usuario se mueve fuera del área de cobertura de LTE. Como se planteó antes, SRVCC no necesita para entrega de voz o roaming entre LTE y 3G PS, ya que esto se alcanza por medio de PS HO.

El principal requerimiento para Handover SRVCC es proveer continuidad de servicio, o al menos continuidad de sesión. La continuidad de servicio significa que después de una sesión en marcha se ha movido a la red 2G-3G de circuito, todos los servicios continúan funcionando de tal forma que sea transparente para el usuario. La continuidad de sesión significa que todas las sesiones son preservadas durante la entrega, aunque alguno de los servicios esté comprometido.

Mientras que el Handover SRVCC usualmente satisface requerimientos de continuidad, hay escenarios donde en el Release 8 donde termina la sesión (falta de continuidad de sesión) o reduce las capacidades de servicio (falta de continuidad de servicio).

Servicios de Voz – Interacciones, Equivalencia, Transparencia, Paridad e Interoperabilidad

SRVCC habilita una función de mayor valor agregado, referida como ICS (IMS Centralized Services) que es un estándar 3GPP. Con 3GPP ICS, todos los servicios de voz son centralizados en IMS aun cuando el suscriptor es servido por una red de conmutación de circuito 2G o 3G. 3GPP ICS es una capacidad opcional.

Cuando se planean servicios centralizados y continuidad de continuidad de servicios entre LTE y redes existentes 2G-3G, es crítico considerar el rango completo de servicios actualmente siendo ofrecidos y el trabajo necesitado para replicar las capacidades de redes

núcleo existentes. Un MSC, por ejemplo, implementa muchos servicios para los cuales la suscripción no es requerida. Estos incluyen servicios tales como LI, E911, llamadas sin costo, LNP (Local Number Portability), y servicios de prioridad inalámbricos (WPS). Tonos y anuncios son ampliamente utilizados para proveer información de progreso durante servicios tales como adelanto de llamadas, llamadas en espera. Hay muchos servicios específicos de operador, tales como planes de números privados, servicios basados en ubicación, desmontaje de llamada de larga distancia, control de fraude de llamadas adelantadas, color ringback tone (tono de timbre de llamadas entrantes de color, algunas de las cuales son implementadas usando CAMEL(Customized Applications for Mobile Enhanced Logic, Aplicaciones Personalizada para Logica Mejorada Móvil).

Adicionalmente, sin tener en cuenta que tan barato se vuelva el ancho de banda de red, esto nunca parece darse, dando como resultado servicios tales como OR(Optimal Routing), RLT (Release Link Trunking) y Operación Transcoder Libre (TrFO).

Cuando IMS vuelve a difundir un servicio que ya existe en 2G-3G, debe proveer transparencia de servicio, o por lo menos paridad de servicio. Transparencia de servicio significa que la nueva versión de un servicio provee la misma experiencia de usuario aunque su implementación difiera. La paridad de servicio significa que la nueva versión de un servicio provee un set comparable de capacidades, pero la experiencia de usuario es diferente y algunas capacidades pueden estar faltando. Los servicios IMS usualmente proveen transparencia de servicio o si fallan en esto, la paridad de servicio cuando el modo Gm está disponible. Sin embargo, la transparencia de servicio, paridad y la continuidad son degradados en el modo CS solamente.

IMS, SIP y VoIP representan un cambio significativo a la red de voz. IMS abre y por ende especifica un gran número de interfaces. Aunque IMS tiene un gran número de interfaces SIP por abrir provee una gran flexibilidad de redes para múltiples vendedores, también introduce un nuevo nivel de complejidad en la red núcleo. Adicionalmente, como IMS es SIP concéntrico, funciones de interoperabilidad están separadas de nodos fundacionales (tales como CSCF) con interfaces estandarizadas. Si cada una de las funciones IMS lógicas es instalada como un nodo de red separado, la complejidad de integración puede volverse formidable. Portadores muy probablemente van a instalar en

grupos dichas funciones para reducir la complejidad y reducir las pruebas entre vendedores. Las ventajas de instalar IMS como agrupamientos de funciones incluyen:

- Mejorar el capital, mantenimiento y eficiencia operacional
- Simplificar aprovisionamiento e ingeniería de red.
- Mejorar la latencia de mensajes.
- Reducir huella.

Las tecnologías de conmutación de circuito y VoIP previas van a existir por un buen tiempo. Soluciones basadas en IMS deben proveer interoperación con sistemas existentes. Los proveedores de solución IMS pueden intentar remedar los principios de los MSCs de hoy en día, que implementan servicios y soportan numerosos protocolos en una plataforma consolidada. Hasta con reducciones propuestas en complejidad, la evolución de IMS es significativa; los proveedores tienen la opción de instalar LTE primero e IMS luego.

Capítulo 9: Conclusiones y recomendaciones para el país

Recomendaciones para el país

En este capítulo se va a mencionar cuales son las recomendaciones para el país y algunos aspectos a tomar en cuenta que se pueden considerar a la hora de implementar tecnología LTE en Costa Rica. Además se mencionan algunas de los servicios que pueden ser ofrecidos en el país al implementarse LTE.

En la semana del 24 de Abril del 2010 la SUTEL (Superintendencia de Telecomunicaciones) que es la entidad creada por parte del gobierno a partir de la apertura del área de las telecomunicaciones debido al Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos, anunció que va a licitar frecuencias del espectro radioeléctrico cuyo fin es la apertura del servicio de telefonía móvil.

Específicamente las frecuencias que se van a subastar se encuentran en los siguientes rangos:

- 84.7MHz a 84.9MHz
- 1730MHz a 1785MHz
- 1940MHz a 1980MHz
- 888.7 MHz a 902MHz
- 1825 MHz a 1880 MHz
- 2130MHz a 2170MHz

Como se mencionó anteriormente al ancho de banda del uplink se encuentra en el rango frecuencias de 1710MHz a 1770MHz el cual se ha igualado con el downlink de 2110MHz a 2170 MHz lo que va a permitir armonización global adicional de la banda 1.7GHz con la de 2.1GHz.

En el caso de querer implementar en el país LTE o LTE-Advanced esto implica que muchos canales ya se van haber licitado por lo que va a elevar los costos de entregar dichos

espectros los cuales son bastante amplios lo cual podría causar una lucha reñida por dicho espectro. Como solución a este problema que se avecina lo que se puede realizar es una reutilización del espectro utilizado para tecnologías de legado como es la red TDMA por ejemplo la cual causa una interferencia con las redes de 3G que se encuentra instalando Huawei. Esto podría contribuir a tener mayor espectro que se pueda implementar para tecnologías LTE o LTE-Advanced en el futuro.

El espectro que comprende la banda de 1825MHz a 1880MHz que se encuentra subastando la SUTEL es muy probable que a futuro vaya a ser implementado en la tecnología LTE debido a que en otras partes del mundo es considerado óptimo para dicha tecnología. Esto debido a que permitiría la funcionalidad de roaming. Esto le permite al proveedor de servicios también cobrar una tarifa los otros proveedores de LTE por personas que ingresan al país y utilizan las plataformas de LTE con lo que incrementa a la vez su mercado. Estas cuotas se negocian entre los operadores y es un servicio transparente para el usuario. Eso sin dejar de lado las regulaciones jurídicas que pueda tener el país.

El hecho de que Huawei esté implementado en el país la tecnología 3G es de gran importancia para la migración a futuro hacia las redes LTE. Esto debido a que actualmente se encuentra instalada la red con tecnología WCDMA la cual es compatible con los sistemas LTE debido a que forman parte del consorcio 3GPP por lo que es completamente factible. Como hecho importante a resaltar es que las radio bases utilizadas por Huawei son del Release 7 que pueden utilizarse para la implementación de LTE debido a que es Release 8 y compatible hacia atrás.

Una operadora de servicios que venga al país a ofrecer sus servicios se va a encontrar con un mercado que tiene una cobertura del casi 100% en lo que tecnología 3G respecta. Esto implica que el área en el que puede encontrar un nicho del mercado es ofreciendo servicios de datos inicialmente en empresas que ocupen de alguna forma algún tipo de redundancia. Esto es factible en un país que se encuentra creciendo a un ritmo acelerado en las áreas de servicios. También se encuentran áreas del país con focos de crecimiento urbanístico con personas de un gran poder adquisitivo. Esta clase de personas si pueden pagar por una conexión de datos de alta velocidad. Va a depender de los servicios

que pueda ofrecerle la operadora para ganar más clientela y ser una oferta más atractiva que realizar simples llamadas o utilizar mensajes de texto.

Es un hecho que la tecnología LTE va a cambiar muchos estilos de vida de las personas permitiéndoles llegar a ser más competitivos en el mercado y permitiendo a la vez formar mercados los cuales anteriormente no se hubiese imaginado que se pudiesen desarrollar con un equipo de usuario.

En un país como Costa Rica donde la geografía es bastante montañosa se ha escogido utilizar la tecnología W-CDMA para tener una mayor cobertura debido a que dicho sistema también se implementa en Japón la cual tiene una geografía muy similar. En Japón la operadora DoCoMo ha decidido implementar una transición gradual hacia LTE con base a implementar mejoras primero en los sistemas 3G que tiene actualmente y después hacer una transición hacia 4G. Esto debido a que el sistema W-CDMA puede mantenerse competitivo con respecto a otros sistemas por años. Pero el tráfico ubicuo se espera que crezca de manera muy rápida. Por lo que las mejoras que se deben realizar deben fundamentarse en una base a largo plazo para entrar en armonía con LTE. Este sistema se llama Super 3G. Entonces estos cambios no solamente van a ser para realizar la transición a LTE sino que mantener competitiva la tecnología W-CDMA existente para gradualmente realizar el paso a LTE.

La transición a LTE desde W-CDMA es posible y económicamente factible por medio de unidades de equipo de radio remoto (RRE) que pueden proveer tanto LTE como W-CDMA. Esto permite la expansión gradual de LTE en las bases W-CDMA existentes por lo que se puede paulatinamente expandir el mercado de altas tasas de datos en zonas que tienen buena cobertura gracias a la tecnología W-CDMA posibilitando además habilitar servicios de fallback inicialmente utilizando la red LTE como un servicio de datos de alta velocidad inicialmente. Estas nuevas radio bases permiten una fácil y eficiente instalación de radio bases LTE a las existentes de W-CDMA. Además en comparación con el equipo existente los costos operacionales se reducen debido a diferentes factores. Los más significativos son una reducción en el peso, tamaño y consumo de energía de los equipos.

Las estaciones base equipadas con RRE implican una unidad maestra para el procesamiento de las señales y con funciones de mantenimiento y propiamente el RRE para la modulación y demodulación de W-CDMA y señales LTE transmitidas y recibidas por la antena. Ambas están enlazadas por medio de fibra óptica. [47] En la Figura 40 se muestra la implementación de dicho sistema.

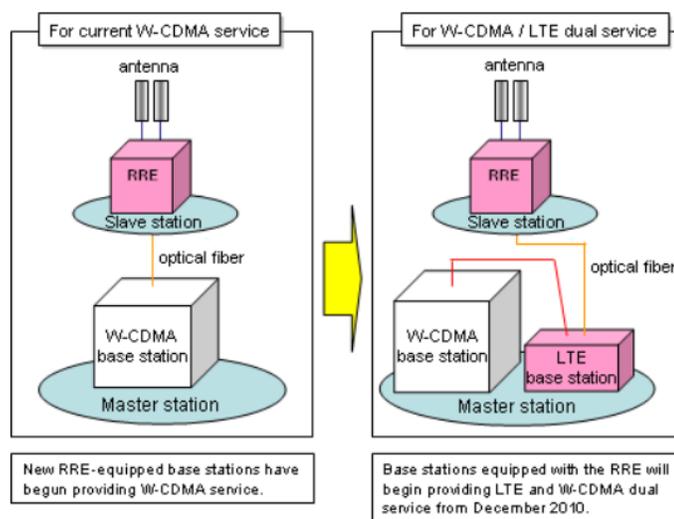


Figura 40 Estaciones base que utilizan RRE

Al ser Costa Rica un país con amplia cobertura de la tecnología W-CDMA de la red 3G que instaló Huawei es de importancia para una operadora de servicios que quiera venir a competir en el país implementar LTE como servicio para mantener competitividad con respecto a los demás operadores. Esto debido a que LTE tiene un menor costo por bit, mayor capacidad y flexibilidad con respecto a las tecnologías anteriores. Además en el caso de ser el Instituto Costarricense de Electricidad el interesado de ofrecer dichos servicios puede re-utilizar mucha de la tecnología implementada actualmente en redes como 2G y 3G. De esta manera con LTE se puede alcanzar una ventaja competitiva sostenible respecto a los competidores que estén interesados en ofrecer servicios en el país.

Como LTE ofrece mayores tasas de datos los servicios que se pueden ofrecer son de mayor interés tanto para empresas como para usuarios con un alto poder adquisitivo. Debido a que hay zonas urbanas con residencias pertenecientes a personas con alto valor

adquisitivo como ocurre tanto en el este como el oeste de San José se puede pensar en implementar LTE en un principio en dichas zonas que pueden costear pagar un servicio que inicialmente va a tener un costo relativamente alto por los costos iniciales de implementación pero que tienen un sector de la población que está dispuesto a pagar por ello. Además de estas zonas también zonas empresariales tales como zonas francas y parques industriales que existen en las cuatro provincias pertenecientes al valle central pueden ser un mercado importante para la tecnología LTE debido a que en muchas de estas se ofrecen servicios tales como call-center al igual que asistencia a consumidores de otros países en materia de medicina, informática, hardware y otros.

Para las empresas que vayan a ofrecer LTE pueden también realizar alianzas con bancos e instituciones hospitalarias para ofrecer servicios de valor agregado como es el caso de la nueva formas de pago por medio de aplicaciones de red que demandan una base muy segura y estable sin la necesidad de tarjetas de crédito. Esto permite al usuario una mayor flexibilidad para realizar sus compras además de promover el consumo en un país y también impulsar el desarrollo de aplicaciones y plataformas de pago alternativas a las actuales. Todo esto también gracias al QoS que permite LTE. En el caso de los servicios hospitalarios por medio de LTE se pueden tener dispositivos que pueden conectarse al equipo de usuario y estar monitoreando diferentes parámetros a pacientes de tienen que estar bajo observación médica pero no estar presencialmente adentro de un hospital. También en el caso de universidades se pueden utilizar recursos de otras universidades que prestan sus equipos de alta precisión y pueden ser utilizados por países en desarrollo para investigación. Dichos sistemas necesitan tener una plataforma muy estable y confiable que además permitan tener una redundancia debido a los crítico de muchos parámetros.

Además de esto, el concepto de cloud computing permite ejecutar a los usuarios aplicaciones muy robustas que requieran altos niveles de procesamiento y que pueden ejecutarse en servidores fuera del alcance de la persona que requiera de dicho servicio. Como se mencionó también anteriormente tales como IPTV y el streaming de video y música permiten tener una mejor QoE de este tipo de redes. En la parte comercial se puede ver que puede existir una disminución en los viajes realizados por empresarios ya que las

video conferencias con diferentes partes del mundo es mucho más accesible que antes gracias a las altas tasas de transmisión de datos.

Conclusiones

- 1) El estado del arte de las tecnologías 2G y 3G precisamente es LTE ya que cada una de estas tecnologías ha sido una continua evolución hacia servicios de datos más rápidos lo cual se concreta en la tecnología definida en el Release 8 que es precisamente LTE.
- 2) El estado del arte de la tecnología 4G en estos momentos está siendo definida en el Release 9 y 10 que aun no se han terminado, pero que lleva el nombre de LTE Advanced, aunque ya se establecieron las capacidades, servicios, protocolos, tendencias, aporte y nivel de desarrollo al que se ha llegado en el Release 8 que si está completamente terminado y vigente.
- 3) La factibilidad de comunicación entre las redes 2G, 3G y 4G es factible en lo que infraestructura respecta por medio de las diferentes interfaces para que puedan interactuar dichas tecnologías utilizando además un núcleo de red basado en conmutación de paquetes .
- 4) La factibilidad de comunicación entre las redes 2G, 3G y 4G es concretable utilizando protocolos para la interacción de LTE con las tecnologías 2G y 3G dependiendo de la interface de radio que se implementara en cada caso y así utilizar los diferentes servicios de las tecnologías y de forma tal que se lo más transparente del usuario permitiendo una alta calidad de experiencia.
- 5) La comunicación es completamente factible entre las redes 2G, 3G y 4G en lo que servicios respecta además de que permite el desarrollo de la tecnología LTE al implementarla inicialmente como un servicio para datos de alta velocidad y utilizar las redes 2G y 3G para los servicios de voz.
- 6) Las redes 2G, 3G y 4G pueden interactuar de forma integral y es en realidad una necesidad esta interoperabilidad para poder poner en marcha la tecnología LTE de forma exitosa y transparente para los usuarios que es lo realmente tiene importancia para los consumidores.

Bibliografía

- [1] Rysavy Research. *HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*. Publicaciones 3G Americas. Septiembre 2009 Pág 15.
- [2] Rysavy Research. *HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*. Publicaciones 3G Americas. Septiembre 2009 Pág 17.
- [3] 3GPP Team. *The 3rd Generation Partnership Project (3GPP)*. [En línea] Consultado el 12 marzo 2010. URL: <<http://www.3gpp.org/About-3GPP>>.
- [4] Rysavy Research. *HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*. Publicaciones 3G Americas. Septiembre 2009 Pág 15.
- [5] SearchTelecom. *IPTV*. [En línea] Consultado el 26 de Mayo 2010. URL: <http://searchtelecom.techtarget.com/sDefinition/0,,sid103_gci1112181,00.html>
- [6] Rysavy Research. *HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*. Publicaciones 3G Americas. Septiembre 2009 Pág 14.
- [7] Rysavy Research. *HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*. Publicaciones 3G Americas. Septiembre 2009 Pág 15.
- [8] Release 9, Release 10 and Beyond: HSPA+, LTE/SAE and LTE Advanced. February 2010. 3G AMERICAS
- [9] Rysavy Research. *HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*. Publicaciones 3G Americas. Septiembre 2009 Pág 20.
- [10] Rysavy Research. *HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*. Publicaciones 3G Americas. Septiembre 2009 Pág 21.
- [11] Rysavy Research. *HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*. Publicaciones 3G Americas. Septiembre 2009 Pág 22.
- [12] Rysavy Research. *HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*. Publicaciones 3G Americas. Septiembre 2009 Pág 94.
- [13] Rysavy Research. *HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*. Publicaciones 3G Americas. Septiembre 2009 Pág 95.

- [14] Rysavy Research. *HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*. Publicaciones 3G Americas. Septiembre 2009 Pág 96.
- [15] Rysavy Research. *HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*. Publicaciones 3G Americas. Septiembre 2009 Pág 97.
- [16] Rysavy Research. *HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*. Publicaciones 3G Americas. Septiembre 2009 Pág 98.
- [17] Rysavy Research. *HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*. Publicaciones 3G Americas. Septiembre 2009 Pág 99.
- [18] Rysavy Research. *HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*. Publicaciones 3G Americas. Septiembre 2009 Pág 99.
- [19] Rysavy Research. *HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*. Publicaciones 3G Americas. Septiembre 2009 Pág 100.
- [20] Rysavy Research. *HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*. Publicaciones 3G Americas. Septiembre 2009 Pág 100.
- [21] Rysavy Research. *HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*. Publicaciones 3G Americas. Septiembre 2009 Pág 101.
- [22] Rysavy Research. *HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G)*. Publicaciones 3G Americas. Septiembre 2009 Pág 102.
- [23] 3G Americas. *SAE/EPC: System Architecture Evolution/ Evolved Packet Core*. [En línea] Consultado el 13 de Abril 2010. URL: <://www.3gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=251>.
- [24] Knowledgerush. *Roaming* [En línea] Consultado el 2 de Mayo 2010. URL: <http://www.knowledgerush.com/kr/encyclopedia/Roaming/>
- [25] LteWorld. *Understanding CS Fallback in LTE* [En línea] Consultado el 29 de Febrero 2009. URL: <http://lteworld.org/blog/understanding-cs-fallback-lte>
- [26] UMA. *CS Fallback*. [En línea] Consultado el 18 de Mayo 2010. URL: <http://umatoday.blogspot.com/2009/05/cs-fallback.html>
- [27] LteWorld. *Understanding CS Fallback in LTE* [En línea] Consultado el 29 de Febrero 2009. URL: <http://lteworld.org/blog/understanding-cs-fallback-lte>
- [28] 3G Americas *GSM-UMTS Network Migration to LTE. LTE and 2G-3G Interworking Functions*. Publicaciones 3G Americas. February 2010 Pg. 17

- [29] Chris Cox Communication Limited 2009. *System Architecture* [En línea] Consultado el 16 de Marzo 2010. URL: <www.chriscoxcommunications.co.uk>.
- [30] LTE The UMTS Long Term Evolution from Theory to Practice
- [31] 3G Americas *GSM-UMTS Network Migration to LTE. LTE and 2G-3G Interworking Functions*. Publicaciones 3G Americas. February 2010 Pg. 24
- [32] 3G Americas *GSM-UMTS Network Migration to LTE. LTE and 2G-3G Interworking Functions*. Publicaciones 3G Americas. February 2010 Pg. 25
- [33] HSPA to LTE-Advanced: 3GPP Broadband Evolution to IMT-Advanced (4G) Septiembre 2009 Pg 104
- [34] 3G Americas *GSM-UMTS Network Migration to LTE. LTE and 2G-3G Interworking Functions*. Publicaciones 3G Americas. February 2010 Pg. 18
- [35] 3G Americas *GSM-UMTS Network Migration to LTE. LTE and 2G-3G Interworking Functions*. Publicaciones 3G Americas. February 2010 Pg. 19
- [36] 3G Americas *GSM-UMTS Network Migration to LTE. LTE and 2G-3G Interworking Functions*. Publicaciones 3G Americas. February 2010 Pg. 23
- [37] 3G Americas *GSM-UMTS Network Migration to LTE. LTE and 2G-3G Interworking Functions*. Publicaciones 3G Americas. February 2010 Pg. 9
- [38] 3G Americas *GSM-UMTS Network Migration to LTE. LTE and 2G-3G Interworking Functions*. Publicaciones 3G Americas. February 2010 Pg. 10
- [39] 3G Americas *GSM-UMTS Network Migration to LTE. LTE and 2G-3G Interworking Functions*. Publicaciones 3G Americas. February 2010 Pg. 12
- [40] 3G Americas *GSM-UMTS Network Migration to LTE. LTE and 2G-3G Interworking Functions*. Publicaciones 3G Americas. February 2010 Pg. 13
- [41] 3G Americas *GSM-UMTS Network Migration to LTE. LTE and 2G-3G Interworking Functions*. Publicaciones 3G Americas. February 2010 Pg. 25
- [42] 3G Americas *GSM-UMTS Network Migration to LTE. LTE and 2G-3G Interworking Functions*. Publicaciones 3G Americas. February 2010 Pg. 26
- [43] 3G Americas *GSM-UMTS Network Migration to LTE. LTE and 2G-3G Interworking Functions*. Publicaciones 3G Americas. February 2010 Pg. 27
- [44] 3G Americas *GSM-UMTS Network Migration to LTE. LTE and 2G-3G Interworking Functions*. Publicaciones 3G Americas. February 2010 Pg. 28

- [45] Sesia, Stefania, Toufik, Issam and Baker, Matthew. *LTE – The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice*. 2009 John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-69716-0
- [46] Into Mobile. *Japan opening up new spectrum for LTE by the end of this year, DoCoMo to start building network in 2010*. [En línea]. Consultado el 18 de Mayo 2010. URL: <<http://www.intomobile.com/2009/06/12/japan-opening-up-new-spectrum-for-lte-by-the-end-of-this-year-docomo-to-start-building-network-in-2010.html>>
- [47] NTT DOCOMO. *DOCOMO Introducing Remote Radio Equipment for LTE Base Stations*. [En línea] Consultado el 1 de Junio 2010 URL: <<http://www.nttdocomo.com/pr/2009/001465.html>>.
- [48] Holma, Harri, Toskala, AntTi. *WCDMA for UMTS. Radio Access for Third Generation Mobile Communications*.
- [49] 3G Americas *MIMO and Smart Antennas for 3G and 4G Wireless Systems. LTE and 2G-3G Interworking Functions*. Publicaciones 3G Americas. Mayo 2010

Apéndice 1: Acrónimos

DTCH (Dedicated Traffic Channel)

EPC (Evolved Packet Core, Nucleo de Paquetes Evolucionado)

E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network)

IMS (IP Multimedia Subsystems)

IIP3 (Input 3rd Order Intercept Point)

ISR (Idle-Mode Signalling Reduction)

LTE (Long Term Evolution)

LI (Lawful Intercept)

MIMO (Multiple Input, Múltiple Output)

MME (Mobility Management Entity)

MSC (Mobile Switching Center)

NAT (Network Address Translation)

Peak to Average Ratio (PAR)

PCRF (Policy Charging and Rules Function)

PS HO (Packet Switching Handover)

SCC AS (Service Centralization Continuity Application Server)

SGSN (Serving GPRS Support Node)

SIP (Session Initiation Protocol)

SMS (Short Message Service)

SRVCC (Single Radio Voice Call Continuity)

SRVCC HO (Single Radio Voice Call Continuity Handover)

VoLGA(Voice over LTE via Generic Access)

VANC(VoLGA Access Network Controller)

VPN (Virtual Private Networks)

UICC(Universal Identity Cryptographic Computer)