



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CURSO Y UN LABORATORIO DE
SERVICIOS SOBRE ACCESO LTE Y PACKET CORE IMS**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA

JOHN RAÚL OLIVA CUEVAS

**PROFESOR GUÍA:
ALFONSO EHIJO BENBOW**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
JORGE SANDOVAL ARENAS
NICOLÁS BELTRÁN MATURANA**

**SANTIAGO DE CHILE
ABRIL 2012**

Resumen

El dinámico desarrollo de las Telecomunicaciones Móviles, la convergencia de las tecnologías y arquitecturas de Telecomunicaciones fija – móvil, la masificación de los terminales inteligentes, la creciente demanda de mayor ancho de banda hacia aplicaciones computacionales en la nube y la necesidad de interacción en línea con el menor retardo posible impulsan el ecosistema de las redes de próxima generación. Este ecosistema ya es realidad y plantea desafíos de estudio, actualización y capacitación a los profesionales que trabajan en los Operadores de Telecomunicaciones, Proveedores de Servicios de Valor Agregado y también a los futuros egresados de Ingeniería Civil Electricista de la Universidad de Chile.

El presente trabajo de título, tiene como motivación satisfacer la necesidad de capacitación existente enfocando el contenido del curso y del laboratorio a las tres tecnologías convergentes por excelencia: la primera; Acceso LTE (*Long Term Evolution*) que corresponde a la “Evolución a Largo Plazo” de las Redes Móviles en su camino a la cuarta generación, la segunda; Packet Core IMS (*IP Multimedia Subsystem*) que corresponde a la plataforma habilitadora de servicios basados en Paquetes IP y la tercera; ISP (*Internet Service Provider*) que corresponde a la red que brinda acceso a la red global de servicios IP que es Internet.

El objetivo general del trabajo de título es el desarrollo de material docente para realizar un curso teórico y un laboratorio con experiencias prácticas de LTE, IMS e ISP.

Para lograr el objetivo planteado, se utiliza la metodología docente empleada en el diseño y la construcción de cursos universitarios, que consiste en estructurar un plan de estudios, compuesto por unidades programáticas, las que a su vez están compuestas por módulos de instrucción. El conjunto de componentes de la metodología docente permite implementar un curso y someterlo a un proceso de mejora continua.

El resultado del trabajo es un curso teórico compuesto por cinco capítulos y un laboratorio compuesto por cinco experiencias prácticas. Cada unidad programática materializa sus contenidos teóricos en presentaciones y sus contenidos prácticos en guías de experiencias. Además se realiza una propuesta de tareas y evaluaciones acumulativas. Las unidades programáticas resultantes son tres: LTE, IMS e ISP y el curso termina con la aplicación de un examen final.

La experiencia práctica LTE fue validada en demostraciones y pruebas realizadas a los Operadores Nacionales VTR y Entel, en conjunto con la empresa ZTE. Dada la gran extensión y cobertura del curso teórico, este fue parcialmente validado en presentaciones al Operador VTR y además en presentaciones internas a los profesores guía y co-guía.

La memoria de título plantea una propuesta innovadora para un curso electivo del DIE de la Universidad de Chile, tiene valor agregado para los Operadores de Telecomunicaciones y proyecciones en el plano investigativo, pues la habilitación del laboratorio LTE constituye una excelente plataforma para nuevos trabajos y validaciones de modelos teóricos.

Agradecimientos

Las primeras palabras de agradecimiento son para mi familia, especialmente a mi Madre quien con su amor y sabiduría me acompaña, también a mi hijo Felipe Oliva quien es una de las principales fuentes de inspiración para cumplir con este importante paso dentro de mi vida profesional.

Especial agradecimiento a mi profesor guía, quien con su sorprendente capacidad logra entregar una guía de excelencia, enfocada a obtener resultados del mejor nivel académico acompañado de una profunda comprensión de la industria. Muchas gracias profesor, además de su experta guía, destaco su calidad humana y empatía.

Agradezco al profesor co-guía, por sus rigurosas revisiones, críticas constructivas y propuestas que enriquecieron el trabajo de título en todas sus componentes.

Agradezco a los profesores del ramo “Trabajo de Título”, (Sr. Néstor Becerra y Sr. Claudio Estévez) por la metodología propuesta para realizar el trabajo de título, pues cada una de las actividades y tareas solicitadas permiten al alumno avanzar con gran claridad y foco en todas las componentes del proyecto de título.

Agradezco al profesor Sr. José González, experto en comunicaciones móviles y docencia, cuyas observaciones técnicas y docentes representaron valiosos aportes al trabajo de título.

Agradezco a mis compañeros memoristas Sr. Cristián Segura y Sr. Sebastián Rivas, por el trabajo en equipo logrado en un ambiente Universitario de cooperación, calidad y respeto.

Finalmente agradezco al Departamento de Ingeniería Eléctrica y a su Director Sr. Nicolás Beltrán, a la empresa China ZTE y a sus profesionales, quienes en conjunto están desarrollando un proyecto de cooperación a largo plazo, permitiendo abordar investigaciones teóricas y desarrollos en ingeniería aplicada, como es el presente trabajo de título.

Índice de Contenidos

ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ACRÓNIMOS - SIGLAS.....	X
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 MOTIVACIÓN.....	1
1.2 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2.1 <i>Presentación del tema</i>	3
1.2.2 <i>Metas a alcanzar</i>	3
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.3.1 <i>Objetivos técnicos</i>	4
1.3.2 <i>Objetivos docentes</i>	4
1.3.3 <i>Objetivos profesionales</i>	4
1.4 HIPÓTESIS DE TRABAJO.....	5
1.5 METODOLOGÍA Y ESTRATEGIA.....	5
1.6 DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS.....	6
1.6.1 <i>Capítulo 1 – Introducción</i>	6
1.6.2 <i>Capítulo 2 – Antecedentes</i>	6
1.6.3 <i>Capítulo 3 - Metodología</i>	6
1.6.4 <i>Capítulo 4 – Resultados</i>	6
1.6.5 <i>Capítulo 5 – Discusión de resultados</i>	6
1.6.6 <i>Capítulo 6 – Conclusiones</i>	7
1.6.7 <i>Capítulo 7 – Referencias bibliográficas</i>	7
1.6.8 <i>Capítulo 8 – Anexos y tablas</i>	7
CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES.....	8
2.1 EVOLUCIÓN DE LAS REDES MÓVILES (1G A 4G).....	8
2.1.1 <i>Generación de redes móviles</i>	8
2.1.2 <i>Resumen de las generación de redes móviles</i>	14
2.1.3 <i>Resumen de LTE</i>	16
2.2 EVOLUCIÓN DE LAS REDES MÓVILES EN CHILE.....	18

2.2.1	<i>Distribución del espectro en Operadores en Chile</i>	19
2.3	UMTS – TECNOLOGÍA WCDMA	20
2.4	ELEMENTOS DE UNA RED WCDMA	20
2.5	LTE	21
2.5.1	<i>Arquitectura LTE</i>	21
2.5.2	<i>Eficiencia espectral LTE v/s HSDPA y HSUPA</i>	23
2.5.3	<i>SAE (System Architecture Evolution)</i>	24
2.5.4	<i>Red de acceso LTE (E-UTRAN)</i>	25
2.5.5	<i>LTE y otras tecnologías de banda ancha inalámbrica</i>	26
2.5.6	<i>LTE en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas</i>	28
2.6	IMS (IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM).....	31
2.6.1	<i>Arquitectura y componentes de IMS</i>	33
2.6.2	<i>Arquitectura funcional IMS</i>	35
2.7	SERVICIOS ISP (INTERNET SERVICE PROVIDER)	35
2.7.1	<i>Arquitectura de un ISP</i>	35
2.7.2	<i>Protocolos de un ISP</i>	36
2.7.3	<i>Crecimiento de los servicios (ISP y OTT) y sus efectos en los operadores</i>	37
2.8	CONVERGENCIA LTE + IMS + ISP	37
2.8.1	<i>Convergencia al ecosistema de las NGN</i>	39

CAPÍTULO 3 METODOLOGÍA40

3.1	METODOLOGÍAS DOCENTES	40
3.2	PROCESOS DEL SISTEMA CURSO	41
3.2.1	<i>P-1 (Recolección de la Información)</i>	42
3.2.2	<i>P-2 (Formulación del Objetivo Final y Sub-objetivos del Curso)</i>	43
3.2.3	<i>P-3 (Diseño del Programa de Estudios)</i>	43
3.2.4	<i>P-4 (Diseño del Programa de Módulos de Instrucción)</i>	44
3.2.5	<i>P-5 (Diseño del Programa de Evaluación)</i>	45
3.2.6	<i>P-6 (Implantación del Diagnóstico)</i>	45
3.2.7	<i>P-7 (Clase Directiva y Evaluación Formativa)</i>	45
3.2.8	<i>P-8 (Evaluación Acumulativa y Evaluación del Curso)</i>	46
3.2.9	<i>Resumen de Componentes del Curso</i>	46
3.3	PLANIFICACIÓN DE MÓDULOS TEÓRICOS Y EXPERIENCIAS PRÁCTICAS	47
3.3.1	<i>Planificación de los Módulos</i>	47
3.3.2	<i>Definición de los Módulos</i>	47
3.4	VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS	48

CAPÍTULO 4 RESULTADOS.....	49
4.1 PLANIFICACIÓN CURRICULAR Y PROGRAMA DE ESTUDIOS.....	49
4.1.1 Prerrequisitos del Curso	49
4.1.2 Potenciales Alumnos	50
4.1.3 Potenciales Profesores y/o Relatores	50
4.1.4 Período de Duración del Curso	50
4.1.5 Objetivo General del Curso	51
4.1.6 Sub-Objetivos Generales de Curso	51
4.1.7 Objetivos Específicos	51
4.2 CONTENIDOS, ESTRATEGIAS Y RECURSOS	56
4.2.1 Curso teórico y Laboratorio.....	56
4.3 RECURSOS DESARROLLADOS.....	60
4.3.1 Material Docente Teórico y Práctico.....	60
4.3.2 Evaluaciones al Curso (Teórico y Práctico).....	60
4.3.3 Curso Teórico - Presentaciones	61
4.3.4 Laboratorio - Experiencias Prácticas	62
4.3.5 Mapeo Conceptual entre las Experiencias Prácticas y los Capítulos Teóricos	63
4.3.6 Validación de las Experiencias	63
4.3.7 Trabajo y Colaboración en las Experiencias con otras Memorias	65
CAPÍTULO 5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	66
5.1 METODOLOGÍA DOCENTE UTILIZADA	66
5.2 VALIDACIÓN DE LAS EXPERIENCIAS PRÁCTICAS	67
5.3 ALCANCE E IMPACTO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	67
5.4 VALOR AGREGADO PARA LOS OPERADORES DE TELECOMUNICACIONES	68
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES.....	69
6.1 METAS Y LOGROS.....	69
6.2 TRABAJOS FUTUROS	70
6.3 PROYECCIONES EN LA INVESTIGACIÓN	70
CAPÍTULO 7 BIBLIOGRAFÍA.....	71
CAPÍTULO 8 ANEXOS	75
8.1 LTE ADVANCED.....	75
8.2 LTE E IMS – ANTECEDENTES DOCENTES.....	76
8.2.1 Red de Acceso Evolucionada (E-UTRAN).....	76
8.2.2 Protocolos	82

8.2.3	<i>Red Núcleo de Paquetes Evolucionado (EPC)</i>	90
8.2.4	<i>IMS (IP Multimedia Subsystem) y LTE</i>	100
8.2.5	<i>Equipos de Usuarios (UEs)</i>	106

Índice de Figuras

Figura 2-1 :	Evolución de Velocidades en HSPA y HSPA+ Según 3GPP	12
Figura 2-2 :	Evolución de las Redes Móviles.....	15
Figura 2-3 :	Despliegue de las Redes Móviles	16
Figura 2-4 :	Evolución de Operadores en Chile	18
Figura 2-5 :	Evolución a LTE y LTE-Advanced Según 3GPP	18
Figura 2-6 :	Distribución de Espectro en Operadores en Chile.....	19
Figura 2-7 :	Elementos de una red WCDMA.....	20
Figura 2-8 :	Evolved Packet System (EPS).....	21
Figura 2-9 :	EPC y E-UTRAN	22
Figura 2-10 :	Eficiencia Espectral LTE v/s HSDPA y HSUPA.....	23
Figura 2-11 :	System Architecture Evolution (SAE)	24
Figura 2-12 :	Elementos de red EPC	25
Figura 2-13 :	Arquitectura E-UTRAN.....	25
Figura 2-14 :	LTE en la FCFM.....	28
Figura 2-15 :	Diagrama de Red LTE en FCFM.....	29
Figura 2-16 :	Relación de IMS – NGN	31
Figura 2-17 :	Arquitectura IMS	33
Figura 2-18 :	Core de la arquitectura IMS, interfaces entre componentes	34
Figura 2-19 :	Arquitectura Funcional IMS	35
Figura 2-20 :	Arquitectura de un ISP.....	36
Figura 2-21 :	Protocolos Básicos de un ISP	36
Figura 2-22 :	Arquitectura LTE.....	37
Figura 2-23 :	Convergencia al Ecosistema de las NGN	39

Figura 3-1 : Procesos del Sistema Curso	42
Figura 3-2 : Componentes de una Unidad Programática.....	44
Figura 3-3 : Resumen de Componentes del Curso	46
Figura 4-1 : Ejemplo del Formato de las Evaluaciones.....	61
Figura 4-2 : Ejemplo del formato de las Presentaciones	62
Figura 4-3 : Ejemplo del Formato de las Guías de Experiencias Prácticas	64
Figura 8-1 : Red de Acceso E-UTRAN.....	77
Figura 8-2 : Mecanismos de Comunicación en la Interfaz de Aire	79
Figura 8-3 : Protocolos de la Interfaz de Aire	83
Figura 8-4 : Protocolos en las Interfaces S1 y X2	86
Figura 8-5 : Protocolos del Plano de Usuario en E-UTRAN	87
Figura 8-6 : Protocolos del Plano de Control en E-UTRAN.....	88
Figura 8-7 : Comparación de la arquitectura de red de E-UTRAN y UTRAN	89
Figura 8-8 : Arquitectura Básica de la red Núcleo EPC.....	91
Figura 8-9 : Interfaces basadas en Protocolo GTP-U	93
Figura 8-10 : Funcionamiento de un Túnel GTP-U	95
Figura 8-11 : Interfaces basadas en Protocolo GTP-C	96
Figura 8-12 : Interfaces basadas en Protocolo Diameter	97
Figura 8-13 : Componentes del Protocolo PMIPv6	98
Figura 8-14 : Interfaces basadas en Protocolo PMIPv6	99
Figura 8-15 : Protocolos NAS entre UE y MME	100
Figura 8-16 : Provisión de Servicios basado en IMS	101
Figura 8-17 : Arquitectura Simplificada del Subsistema IMS	103
Figura 8-18 : Equipo de Usuario (UE)	106

Índice de Tablas

Tabla 2-1 : Principales Atributos de Rendimiento en 4G.....	14
Tabla 2-2 : Resumen de las generaciones de tecnología inalámbrica móvil	14
Tabla 2-3 : Motivaciones de 3GPP en Release 8.....	17

Tabla 2-4 : Principales Características de IMT-Advanced.....	17
Tabla 2-5 : Resumen del desarrollo de los estándares WCDMA.....	20
Tabla 2-6 : Velocidades en LTE.....	22
Tabla 2-7 : Equipamiento Red LTE Instalado en la FCFM	30
Tabla 2-8 : Entorno de Pruebas de Laboratorio LTE instalado en FCFM	31
Tabla 2-9 : Componentes de la Arquitectura IMS.....	34
Tabla 3-1 : Procesos de Planificación y Desarrollo del Sistema Curso.....	41
Tabla 3-2 : Recolección de la Información	43
Tabla 3-3 : Formulación de los Objetivos	43
Tabla 3-4 : Programa de Módulos de Instrucción	44
Tabla 3-5 : Guía para Adaptar un Programa de Estudio.....	45
Tabla 3-6 : Elementos Básicos de los Módulos de Instrucción.....	47
Tabla 3-7 : Proceso de Validación de los Resultados:	48
Tabla 4-1 : Sub-Objetivos Generales del Curso	51
Tabla 4-2 : Resumen de Unidades Programáticas	56
Tabla 4-3 : Unidad Programática LTE	57
Tabla 4-4 : Unidad Programática IMS y LTE+IMS.....	58
Tabla 4-5 : Unidad Programática ISP y LTE+IMS+ISP	59
Tabla 4-6 : Estructura de las Experiencias	63
Tabla 4-7 : Mapeo Conceptual Teórico - Práctico	63
Tabla 8-1 : Categorías de los UE y Parámetros Físicos	108

Acrónimos - Siglas

Algunos acrónimos se definen en español dentro de la memoria y corresponden a las siguientes siglas en inglés:

1	1xEV-DO	One Carrier Evolved, Data Optimized
	1XRTT	One Carrier Radio Transmission Technology
2	2G	Second Generation
3	3G	Third Generation
	3GPP	Third Generation Partnership Project
	3GPP2	Third Generation Partnership Project 2
4	4G	Fourth Generation (meeting requirements set forth by the ITU IMT Advanced project)
A	AMC	Adaptive Modulation and Coding
	AMPS	Advanced Mobile Phone System
	ANSI	American National Standards Institute
	ARP	Address Resolution Protocol
	ARQ	Automatic Repeat Request
	ATM	Asynchronous Transfer Mode
B	bps	bits per second
	BSC	Base Station Controller
	BTS	Base Transceiving Station
C	CDMA	Code Division Multiple Access
	CP	Cyclic Prefix
	CS	Circuit Switched
	CSFB	Circuit Switched Fallback
	CSMA	Carrier Sense Multiple Access
D	dB	Decibel
	DC-HSPA	Dual Carrier HSPA
	DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
	DL	Downlink
	DNS	Domain Name Server
	DSL	Digital Subscriber Line
E	EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
	EGPRS	Enhanced General Packet Radio Service
	EMM	EPS Mobility Management
	eNodeB, eNB	Evolved Node B
	EPC	Evolved Packet Core
	EPS	Evolved Packet System
	ESM	EPS Session Management

	ETSI	European Telecommunications Standards Institute
	EUL	Enhanced Uplink
	E-UTRAN	Enhanced UMTS Terrestrial Radio Access Network
	EV-DO	One Carrier Evolved, Data Optimized
F	FDD	Frequency Division Duplex
	FEMTOCELL	small cellular base station (Fixed-mobile convergence)
	FMC	Fixed Mobile Convergence
	FTP	File Transfer Protocol
G	Gbps	Gigabits Per Second
	GERAN	GSM EDGE Radio Access Network
	GGSN	Gateway GPRS Support Node
	GHz	Gigahertz
	GPRS	General Packet Radio Service
	GSM	Global System for Mobile communications
	GRE	Generic Routing Encapsulation
	GSMA	GSM Association
	GTP-U	GPRS Tunneling Protocol - User Plane
H	HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
	HLR	Home Location Register
	HRPD	High Rate Packet Data
	HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
	HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
	HSPA	High Speed Packet Access (HSDPA with HSUPA)
	HSPA+	HSPA Evolution
	HSS	Home Subscriber Server
	HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
	Hz	Hertz
I	IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
	IETF	Internet Engineering Task Force
	IMS	IP Multimedia Subsystem
	IMT	International Mobile Telecommunications
	IP	Internet Protocol
	IPTV	Internet Protocol Television
	IS-95	American Interim 95
	ISI	Intersymbol Interference
	ISP	Internet Service Provider
	ITU	International Telecommunications Union
K	kbps	Kilobits Per Second
	kHz	Kilohertz
	km	Kilometer

L	LMA	Local Mobility Anchor	
	LTE	Long Term Evolution	
	LTE-A	LTE-Advanced	
M	MAC	Medium Access Control	
	MAG	Mobile Access Gateway	
	MBMS	Multimedia Broadcast/Multicast Service	
	Mbps	Megabits Per Second	
	MEGACO	(officially H.248) is a gateway control protocol	
	MHz	Megahertz	
	MIMO	Multiple Input Multiple Output	
	MME	Mobile Management Entity	
	MRxD	Mobile Receive Diversity	
	MSC	Mobile Switching Center	
	MU-MIMO	Multi User MIMO	
	msec	millisecond	
	N	NGN	Next Generation Network
		NOC	Network Operation Center
O	OCS	Online Charging System	
	OFCS	Offline Charging System	
	OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	
	OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access	
	OMA	Open Mobile Alliance	
	OTT	Over The Top	
P	PBCCH	Packet Broadcast Control Channel	
	PCC	Policy and Charging Control	
	PCRF	Policy and Charging Rules Function	
	PDCP	Packet Data Convergence Protocol	
	PDN	Packet Data Network	
	P-GW	Packet Data Network Gateway	
	PHY	Physical Layer	
	PS	Packet Switched	
	Q	QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS		Quality of Service	
QPSK		Quadrature Phase Shift Keying	
R	RAB	Radio Access Bearer	
	RAN	Radio Access Network	
	RF	Radio Frequency	
	RLC	Radio Link Control	
	RNC	Radio Network Controller	
	RRC	Radio Resource Control	

	RTP	Real Time Transport Protocol
	RTSP	Real Time Streaming Protocol
S	SAE	System Architecture Evolution
	SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
	SCTP	Stream Control Transmission Protocol
	SDMA	Space Division Multiple Access
	SDP	Session Description Protocol
	SGSN	Serving GPRS Support Node
	S-GW	Serving Gateway
	SIP	Session Initiation Protocol
	SMS	Short Message Service
	SNR	Signal to Noise Ratio
	SOC	Security Operation Center
	SON	Self-Organizing Networks
	SRB	Signalling Radio Bearer
	SU-MIMO	Single User MIMO
T	TDD	Time Division Duplex
	TDMA	Time Division Multiple Access
	TD-SCDMA	Time Division Synchronous Code Division Multiple Access
	TD-CDMA	Time Division Code Division Multiple Access
	TIA/EIA	Telecommunications Industry Association/Electronics Industry Association
	TISPAN	Telecoms and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networks
	TTI	Transmission Time Interval
U	UE	User Equipment
	UL	Uplink
	UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
	μs	Microseconds
	UTRA	Universal Terrestrial Radio Access
	UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
V	VoIP	Voice over Internet Protocol
	VOLTE	Voice over LTE
	VPN	Virtual Private Network
W	WCDMA	Wideband CDMA
	Wi-Fi	Wireless Fidelity
	WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
	WLAN	Wireless Local Area Network

Capítulo 1

Introducción

En este capítulo se presenta la introducción a la memoria detallando: la motivación, el objetivo general, los objetivos específicos, las hipótesis de trabajo, la metodología - estrategia y la descripción de cada uno de los capítulos del documento.

1.1 MOTIVACIÓN

La presente memoria, tiene por motivación dar respuesta a la necesidad de capacitación actualmente existente en los Operadores de Telecomunicaciones Nacionales e Internacionales, además de ser de gran utilidad para los estudiantes de pregrado de Ingeniería Civil Eléctrica.

La necesidad de capacitación nace debido a los siguientes seis principales factores:

1. Las tecnologías de LTE e IMS son nuevas en sus implementaciones comerciales:
 - a. El sitio <http://www.gsacom.com/> informa que al 5 de enero del 2012, existen solamente 49 implementaciones comerciales en el mundo y el compromiso de 226 despliegues de LTE en 76 países del mundo.
 - b. El sitio <http://ltemaps.org/> informa en línea el compromiso de despliegues LTE y los actuales despliegues comerciales.
 - c. Los sitios <http://www.imsforum.org/> y <http://www.3gpp.org/> registra la agenda global del vertiginoso desarrollo de las tecnologías IMS.
 - d. El sitio <http://whitelassiblog.wordpress.com/> informa a mayo del 2011, un listado de los despliegues de IMS en los principales Operadores Globales y el sitio <http://worldforum.imsvision.com/> anuncia el noveno foro mundial que se realizará en Barcelona España en Abril del 2012.
2. Los Operadores de Telecomunicaciones poseen profesionales entrenados en tecnologías de conmutación de circuitos en las redes de radio, sin embargo LTE es una tecnología de

radio avanzada y nativa “full-IP” que no es conocida a cabalidad por los profesionales que actualmente trabajan en las redes de radio.

3. Los Operadores que implementarán LTE, deberán soportar tráfico de voz y datos. Para el tráfico de voz sobre LTE (VoLTE) necesitan un PacketCore IMS o en forma intermedia emplear Circuit Switched Fallback (CSFB) como un paso previo a la migración de un PacketCore IMS.
4. La necesidad de utilizar un Core IMS es mandatorio en LTE, para el soporte de voz y además abre la posibilidad de nuevos servicios. Este hecho dificulta la comprensión al interior de los Operadores, quienes además se ven confundidos con los mensajes de “protección a la inversión” de los proveedores de equipamiento legado: GSM, EDGE, GPRS y UMTS.
5. Los actuales Core IP existentes en los operadores, son mayoritariamente servicios ISP. Los profesionales de ingeniería y operaciones del ISP hasta ahora mayoritariamente ven la red de radio, como una red de acceso más, siendo tarea de las áreas de radio y transporte velar por la correcta implementación y operación de ellas.
6. La convergencia de tecnologías, produce en los Operadores de Telecomunicaciones convergencia de sus equipos humanos de profesionales y técnicos, requiriendo una rápida adaptación y respuesta a los cambios.

En resumen, los Operadores de Telecomunicaciones necesitan capacitar a sus Profesionales y Técnicos en las nuevas tecnologías convergentes (LTE, PacketCore IMS e ISP) y la presente memoria es una respuesta a esta necesidad y resolverá la problemática vía entrenamientos teóricos y prácticos.

1.2 OBJETIVO GENERAL

1.2.1 *Presentación del tema*

En el título del tema de memoria “**Diseño e Implementación de un curso y laboratorio de servicios sobre Acceso LTE y Packet Core IMS**”, se identifican dos tecnologías convergentes de vertiginoso desarrollo y crecimiento: Acceso **LTE** (*Long Term Evolution*) que corresponde a la “Evolución a Largo Plazo” de las Redes Móviles en su camino a la cuarta generación y Packet Core **IMS** (*IP Multimedia Subsystem*) que corresponde a la Plataforma basada en Paquetes y es la habilitadora de Servicios IP. La tercera tecnología convergente son las redes ISP (*Internet Service Provider*) que proveen acceso y servicios a la red por excelencia IP que es Internet.

Estas tres tecnologías convergentes (LTE, IMS e ISP), plantean un desafío de actualización a los profesionales y futuros profesionales del área de las telecomunicaciones.

Dicho a lo anterior, el objetivo general del trabajo de título es el desarrollo de material docente para realizar un curso teórico y un laboratorio con experiencias prácticas de LTE, IMS e ISP.

1.2.2 *Metas a alcanzar*

El material docente debe seguir una metodología de construcción, observando: Un Programa de Estudios, compuesto por Unidades Programáticas, Módulos de Instrucción, Contenidos, Estrategias, Recursos y Evaluaciones.

El material docente a desarrollar debe ser un aporte a la comunidad interesada, siendo una guía clara de los contenidos a aprender y habilidades a realizar en las clases teóricas y experiencias prácticas.

Las clases teóricas serán materializadas en presentaciones en formato Microsoft PowerPoint y las experiencias prácticas serán materializadas por documentos guías que deberán ser completados por el alumno en el Laboratorio LTE del Departamento de Ingeniería Eléctrica.

Las evaluaciones deben cubrir los contenidos principales y ser una instancia de aprendizaje para el alumno, con el objetivo de completar el curso en forma satisfactoria.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.3.1 *Objetivos técnicos*

- Investigar y adquirir conocimientos técnicos en profundidad de las tecnologías LTE, IMS e ISP, sus relaciones y convergencias.
- Seleccionar los contenidos mandatorios y los de apoyo para los módulos de instrucción.
- Materializar los contenidos en presentaciones teóricas y en experiencias prácticas claras.
- Habilitar el Laboratorio LTE con experiencias claras y resultados repetibles, para el uso de la comunidad Universitaria y Operadores de Telecomunicaciones.

1.3.2 *Objetivos docentes*

- Desarrollar un Programa de Estudios:
 - El Programa de Estudios es un guía de análisis y síntesis, donde se realizan las relaciones entre el Objetivo Final y los Sub-objetivos. El Programa se divide en unidades programáticas o módulos que deben tener estar ligado a cada sub-objetivo.
- Desarrollar los Módulos de Instrucción:
 - Considera el Proceso que materializa el diseño del programa de estudios elaborando en detalle cada módulo del proceso de enseñanza.
- Desarrollar un Programa de Evaluaciones:
 - Considera el Proceso que realiza el diseño del control del cumplimiento de los objetivos, que se aplicará al inicio, durante y final de cada Módulo de Instrucción del curso.

1.3.3 *Objetivos profesionales*

- Desarrollar un aporte al Departamento de Ingeniería Eléctrica.
- Desarrollar un aporte metodológico para futuros desarrollos en el Laboratorio LTE.

1.4 HIPÓTESIS DE TRABAJO

Las principales hipótesis de trabajo, son las siguientes:

- Para el desarrollo del trabajo de título se cuenta con el Laboratorio de LTE instalado en el edificio de Electro-tecnologías del DIE. La disponibilidad de este laboratorio es una hipótesis de trabajo para las experiencias prácticas.
- Disponibilidad de realizar experiencias prácticas en conjunto con la empresa China ZTE y Operadores de Telecomunicaciones Nacionales.
- Factibilidad de Integración con otras memorias relativas a los temas LTE e IMS actualmente en desarrollo.
- Disponibilidad de las personas involucradas; Memorista, Profesor Guía, Profesor Co-Guía.
- Uso eficiente del tiempo, para cumplir con los hitos en plazo y forma.

1.5 METODOLOGÍA Y ESTRATEGIA

La metodología y estrategia utilizada, para el desarrollo del trabajo de título, consideró las siguientes actividades:

- 1.- Recopilación de información y estudio de las tecnologías convergentes LTE, IMS e ISP.
- 2.- Estudio del Diseño de Cursos Universitarios y Metodologías Docentes.
- 3.- Aplicación de las Metodologías Docentes, para la definición de las Unidades Programáticas, Módulos de Instrucción, Estrategias, Recursos y Evaluaciones.
- 4.- Desarrollo y Materialización del Curso Teórico y las Experiencias Prácticas con todas sus componentes.
- 5.- Trabajo en conjunto con la empresa ZTE, para la habilitación del laboratorio LTE y la materialización de experiencias prácticas.
- 6.- Validación de las experiencias prácticas.

7.- Desarrollo y Materialización del presente documento de memoria, con todos sus Capítulos.

1.6 DESCRIPCIÓN DE CONTENIDOS

Esta sección describe la estructura del presente documento, el cual tiene un total de ocho capítulos y aquí se presenta una descripción resumida del contenido de cada uno de ellos:

1.6.1 Capítulo 1 – Introducción

Contiene las motivaciones del trabajo de título, los objetivos generales y específicos, las hipótesis de trabajo, la metodología - estrategia empleada en el desarrollo del trabajo de título y una breve descripción de los contenidos del documento.

1.6.2 Capítulo 2 – Antecedentes

Contiene los principales antecedentes de las tecnologías LTE, IMS e ISP, con especial énfasis en su evolución, arquitecturas, protocolos, estándares, estado del arte de los Operadores Nacionales, el importante hito de LTE en la FCFM y finalmente una descripción de la convergencia de estas tecnologías (LTE+IMS+ISP).

1.6.3 Capítulo 3 - Metodología

Contiene la metodología docente empleada que facilita el logro de los objetivos generales y específicos del trabajo de título.

1.6.4 Capítulo 4 – Resultados

Contiene los resultados obtenidos en el desarrollo del trabajo de título, aplicada la metodología docente. Los resultados son ordenados en; Planificación Curricular, Unidades Programáticas, Desarrollo de Módulos de Instrucción Teóricos y Desarrollo de los Módulos de Experiencias Prácticas.

1.6.5 Capítulo 5 – Discusión de resultados

Contiene el análisis de la aplicación de la metodología docente, la validación de las experiencias prácticas, alcance e impacto de los resultados obtenidos y el valor agregado para los Operadores de Telecomunicaciones.

1.6.6 Capítulo 6 – Conclusiones

Contiene las metas y logros y una propuesta para trabajos futuros.

1.6.7 Capítulo 7 – Referencias bibliográficas

Contiene las referencias bibliográficas consultadas durante el desarrollo del trabajo de título.

1.6.8 Capítulo 8 – Anexos y tablas

Contiene el complemento a los antecedentes de las tecnologías LTE e IMS, tratados en mayor profundidad y en un lenguaje docente.

Capítulo 2

Antecedentes

En este capítulo se detallan los principales antecedentes de las tecnologías LTE, IMS e ISP, con especial énfasis en su evolución, arquitecturas, protocolos, estándares, estado del arte de los Operadores Nacionales, el importante hito de LTE en la FCFM y finalmente una descripción de la convergencia de estas tecnologías (LTE+IMS+ISP).

2.1 EVOLUCIÓN DE LAS REDES MÓVILES (1G a 4G)

La evolución de las comunicaciones móviles se describe como una secuencia de generaciones marcadas por hitos de grandes cambios en el modo de comunicarse, la primera generación de telefonía móvil fue analógica, la segunda generación fue digital, la tercera generación se había previsto para permitir la transmisión completa de datos multimedia, así como las comunicaciones de voz. En paralelo a esta evolución, ha aumentado la investigación sobre el acceso de radio, conocido como 4G (cuarta generación). Dicho acceso de radio se prevé que lleve el rendimiento de los sistemas inalámbricos un paso más allá, ofreciendo velocidades de hasta 100 Mbps en cobertura de área amplia y de hasta 1 Gbps en cobertura de área local (Ali-Yahiya, 2011).

Respecto a 4G es importante aclarar que LTE es aún 3.9G y LTE-Advanced será 4G, sin embargo, comercialmente se habla de LTE como 4G.

2.1.1 *Generación de redes móviles*

La ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) lanzó la IMT-2000 (Telecomunicaciones Móviles Internacionales) como una iniciativa para cubrir los temas relativos a: alta velocidad, banda ancha, sistemas móviles basados en IP (Protocolo Internet), interconexión de redes, transparencia en funciones y servicios integrados independientemente de la ubicación. IMT-2000 está diseñado para lograr alta calidad en las telecomunicaciones móviles

multimedia en un mercado masivo y mundial mediante el logro de los objetivos de aumentar la velocidad y la facilidad de las comunicaciones inalámbricas, en respuesta a los problemas enfrentados por la mayor demanda de tráfico de datos a través de las redes de telecomunicaciones, y proveer los servicios "en cualquier momento y lugar".

Dos organizaciones nacieron de la iniciativa de la UIT IMT-2000: El 3GPP (3rd Generation Partnership Project) (www.3gpp.org) y el 3GPP2 (www.3gpp2.org). El 3GPP y 3GPP2 se mantienen como los encargados de la actualización de los estándares 2G (segunda generación), 3G (tercera generación), e incluso más allá de los sistemas móviles 3G. (Ali-Yahiya, 2011)

La estandarización 3GPP abarca radio, redes de núcleo y arquitectura de servicio. El proyecto 3GPP se estableció en Diciembre del año 1998 y no se tiene que confundir con el Proyecto Asociación de Tercera Generación 2 (3GPP2), que tiene por objetivo la especificación de los estándares para otra tecnología 3G basada en el sistema IS95 (CDMA), y que es más conocido por el acrónimo CDMA2000. El equipo de apoyo 3GPP, también conocido como el Centro de Competencias Móviles se encuentra situado a las oficinas de la ETSI (Web_3GPP, 2012).

A continuación se resumen todas las generaciones móviles desarrolladas por estas dos organizaciones como un camino para la evolución del sistema LTE (evolución de largo plazo).

2.1.1.1 Primera generación móvil 1G

La primera generación de redes de telefonía móvil (1G) era tecnología analógica y solamente proveía servicios de voz, utilizando típicamente tecnología AMPS (Sistema Avanzado de Telefonía Móvil).

A finales de 1970 y principios de 1980, las redes 1G ofrecieron una calidad de voz razonablemente buena, pero una limitada eficiencia espectral, deficiencia que impulsó la evolución hacia 2G.

2.1.1.2 Segunda generación móvil 2G

La segunda generación (2G) basada en sistemas digitales, prometió una mayor capacidad y mejor calidad de voz que su antecesora análoga. Las dos redes móviles de segunda generación (2G) ampliamente desplegadas fueron; las redes celulares GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles) y redes CDMA (Acceso Múltiple por División de Código). Las redes CDMA, fueron originalmente conocidas como la norma americana “American interim 95” o “IS-95” (Ali-Yahiya, 2011).

Tanto GSM como CDMA formaron sus propios proyectos de evolución a 3G (3GPP, para GSM y 3GPP2 para CDMA). El desarrollo y cumplimiento de los estándares IMT-2000 están basados en la tecnología CDMA.

GSM difiere de 1G mediante el uso de la tecnología celular digital y TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) como método de transmisión de las comunicaciones de voz, con lentos saltos de frecuencia. En los Estados Unidos, la estandarización de 2G utilizó CDMA con cambio de fase, modulación y codificación.

En GSM hubo una evolución de la interfaz de aire relacionado con:

1. Mayores velocidades de datos de conmutación de circuitos a través de servicios de agregación de varios intervalos de tiempo por trama TDMA con HSCSD (Alta Velocidad de Conmutación de Circuitos de Datos).
2. GPRS (Servicio General de Paquetes vía Radio), que tiene un soporte eficiente de tráfico de datos en comunicaciones en no-tiempo real. GPRS alcanzado tasas de datos hasta 140 Kbps.
3. EDGE (Velocidades de Datos Mejoradas para la Evolución Global) aumentando las tasas de datos de hasta 384 Kbps con un alto nivel de modulación y codificación en el ancho de banda de soporte existentes de 200 kHz.

Es importante indicar que CDMA es más eficiente que GSM, sin embargo GSM prevalece debido a las economías de escala que se generan al ser adoptada globalmente.

Notar que TDMA también es 2G y en Chile existió un despliegue Nacional con dos importantes Operadores (Telefónica Móvil y Bellsouth), el primero tenía TDMA y GSM en ese momento (año 2004) y el segundo TDMA y CDMA (una red nueva con muy pocos usuarios). Luego de la fusión de ambas empresas, pasaron a ser el Operador Movistar y dejaron una red TDMA (teniendo que devolver espectro en 850 Mhz que luego compró el Operador Claro). Finalmente, se bajó la red TDMA y operaron solamente con GSM (que a esa fecha, ya tenía EDGE y estaba en camino a 3G).

2.1.1.3 Tercera generación 3G

La evolución posterior de los sistemas basados en GSM es guiada por 3GPP, para definir un mundo de tercera generación del UMTS (Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles). Los principales componentes de este sistema son el UTRAN (UMTS Red de Acceso Terrestre de Radio) basado en WCDMA (Acceso de Banda Ancha por División de Código Múltiple), esta tecnología de radio, utiliza ancho de banda de 5 MHz, GSM/EDGE red de acceso radioeléctrico abreviado en la sigla GERAN (GSM EDGE Red de Acceso de Radio), basado en sistemas GSM-Enhanced (GSM con velocidades de datos mejoradas) y el Core de la Red.

Por otro lado, 3GPP2 implementó CDMA2000 bajo 1,25 Mhz de ancho de banda que aumentaron los servicios de voz y datos soportando una multitud de aplicaciones de banda ancha, tales como acceso de banda ancha de Internet y las descargas multimedia. Con CDMA2000 y la llegada de 1xRTT (Una Portadora x Tecnología de Transmisión de Radio), los paquetes de datos estaban disponibles por primera vez.

Como una evolución de CDMA2000, el 3GPP2 introdujo el HRPD (Paquete de Datos de Alta Velocidad), que se conoce como el estándar CDMA2000 1xEV-DO (Una Portadora Evolucionada x Datos Optimizados). Esta norma habilita alta velocidad y las técnicas de PS (Conmutación de Paquetes) diseñados para transmisión de datos de alta velocidad, lo que permite velocidades de datos superiores a 2 Mbps. La norma 1xEV-DO expande los tipos de servicios y aplicaciones disponibles para usuarios finales, permitiendo a los Operadores transmitir contenidos ricos en medios.

El 3GPP siguió una dirección similar y presentó una mejora en el sistema WCDMA denominada HSDPA (Acceso de Alta Velocidad de Bajada de Paquetes) que llevó en el año 2001 a la eficiencia del espectro de datos de alta velocidad. Luego, en el año 2005, se introdujo HSUPA (Acceso de Alta Velocidad de Subida de Paquetes). La combinación de HSDPA y HSUPA se denomina HSPA (Acceso de Alta Velocidad de Paquetes).

Es importante mencionar que HSUPA fue creado por Nokia y el estándar de esta tecnología es EUL (Enlace Ascendente Mejorado). (Web_3GPP, 2012)

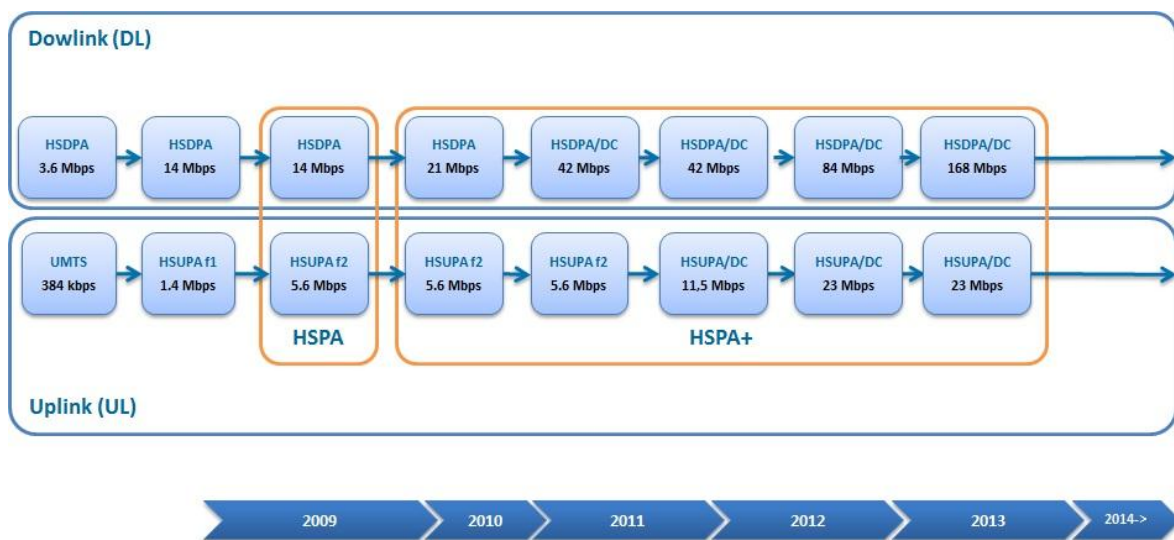


Figura 2-1 : Evolución de Velocidades en HSPA y HSPA+ Según 3GPP

La última evolución de HSPA es HSPA+, que resulta de la adición de MIMO (Múltiples Entradas, Múltiples Salidas) en la capacidad de la antena y de modulaciones 16QAM en UL (Enlace Ascendente) y 64QAM en DL (Enlace Descendente). Junto con las mejoras en la red de acceso de radio, para una conectividad continua de paquetes, HSPA+ (HSPA Evolucionado) permite velocidades de subida de 11 Mbps y velocidades de descarga de 42 Mbps. La Figura 2-1 muestra la evolución de velocidades según 3GPP:

Como sucesor de CDMA2000 1xEV-DO, la tecnología “CDMA2000 1xEV-DO Release 0” proporciona velocidades de hasta 2.4 Mbps, con un rendimiento para el usuario promedio de

entre 400 kbps y 700 kbps. El promedio de velocidad de datos de subida es de entre 60 kbps y 80 kbps. “Release 0” hace uso de protocolos de Internet existentes, lo que permite el soporte de IP basado en la conectividad y las aplicaciones de software, mejorando la experiencia del usuario móvil conectado a Internet de banda ancha y descargando; música, videos, juegos y televisión.

Una revisión de CDMA2000 1xEV-DO Release 0 es CDMA2000 Revisión A (Rev-A) que es una evolución de CDMA2000 1xEV-DO Rel-0 para aumentar la tasa máxima en los enlaces hacia atrás (reverse) y hacia adelante (forward) para apoyar una amplia variedad de aplicaciones que requieren simetría, sensibles al retardo, en tiempo real y comunicación simultánea de voz y de datos de banda ancha. También incorpora la tecnología OFDM (Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales) para habilitar la multidifusión (uno a muchos) para la entrega de contenido multimedia. Como sucesor de Rev-A, CDMA2000 1xEV-DO Revision B (Rev-B), introduce la asignación de ancho de banda dinámico para proporcionar un mayor rendimiento mediante la agregación de múltiples canales de 1,25 MHz (Dahlman, 2011).

2.1.1.4 El camino hacia la 4G

La tecnología 4G de banda ancha móvil permitirá a los Operadores inalámbricos aprovechar las mayores velocidades de descarga y subida, aumentar la cantidad y el tipo de contenido a través de dispositivos móviles. Las redes 4G son soluciones integrales de IP que entregan comunicaciones de voz, datos y contenidos multimedia, permitiendo los servicios a usuarios móviles en cualquier momento y en casi cualquier lugar. Ofrece mejoras considerables en las tasas de transferencia de datos en comparación a las generaciones anteriores de la tecnología inalámbrica. Conexiones de banda ancha inalámbrica más rápidas permiten a los Operadores inalámbricos proporcionar servicios con mayores niveles de datos, incluyendo las aplicaciones de negocios, tiempo real de audio y vídeo, mensajería de vídeo, telefonía de video, televisión móvil y juegos.

Como un paso hacia la 4G móvil de banda ancha inalámbrica, el organismo 3GPP inició el año 2004 la investigación inicial de LTE como una tecnología viable (LTE aún es 3.9G y LTE-Advanced será 4G). La tecnología LTE se espera que ofrezca una serie de ventajas sobre otras tecnologías inalámbricas. Estas ventajas incluyen el aumento de los atributos de rendimiento, tales como; altas tasas de datos, baja latencia y una mayor eficiencia en el uso del espectro inalámbrico (Ali-Yahiya, 2011). La Tabla 2-1, resume los principales atributos de rendimiento en 4G:

Tabla 2-1 : Principales Atributos de Rendimiento en 4G

#	Atributos
1	Alta eficiencia espectral
2	Muy baja latencia
3	Soporte de ancho de banda variable
4	Arquitectura de protocolo simple
5	Compatibilidad y la interoperabilidad con las versiones anteriores del 3GPP
6	Interacción con otros sistemas, por ejemplo, CDMA2000
7	FDD (División de Frecuencia Doble) y TDD (División de Tiempo Doble) en una tecnología de acceso de radio única.
8	Eficiente multicast y broadcast

2.1.2 Resumen de las generación de redes móviles

La Tabla 2-2, resume las generaciones de redes móviles:

Tabla 2-2 : Resumen de las generaciones de tecnología inalámbrica móvil

Generación	Requerimientos	Notas Importantes
1G	Tecnología analoga. Sin requerimientos oficiales.	Desarrollada en la década de 1980s.
2G	Tecnología digital. Sin requerimientos oficiales.	Desarrollada en la década de 1990s. Primer sistema digital. Nuevos servicios, tales como SMS y datos de baja velocidad. Tecnologías principales, incluyen IS.95 CDMA y GSM.

3G	Requerimiento de la ITU e IMT-2000: 144Kbps usuarios móviles, 384Kbps usuarios peatones y 2Mbps domiciliarios (indoors)	Principales tecnologías, incluyen CDMA2000, 1X/EV-DO y UMTS-HSPA. LTE es 3.9G.
4G	Requerimiento de la ITU e IMT-Advanced incluye la habilidad de operar sobre canales de radio superiores a los 40 Mhz y con muy alta eficiencia espectral.	Aún no existe tecnología que cumpla comercialmente con los requerimientos. LTE-Advanced comienza a cumplir los requerimientos en laboratorio.

La Figura 2-2, resume gráficamente la evolución de las redes móviles:

- Las Comunicaciones Móviles han evolucionado de 2G/3.xG/4G y desde la Voz a Altas Velocidades de Datos.
- El Ancho de Banda ha evolucionado desde banda estrecha a banda ancha.

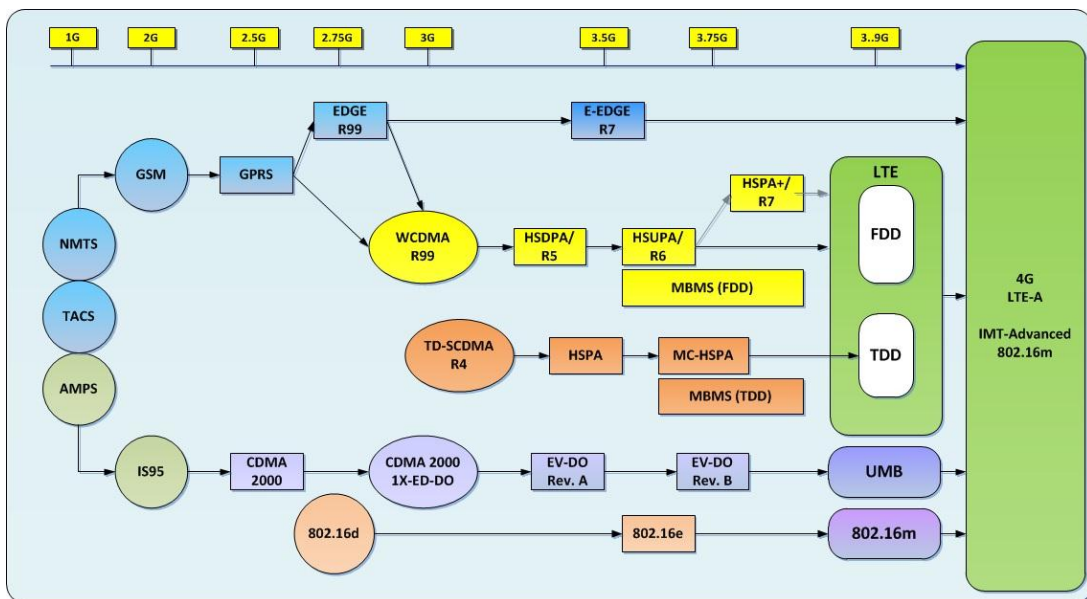


Figura 2-2 : Evolución de las Redes Móviles

La Figura 2-3, muestra la evolución del despliegue físico de las redes móviles en los Operadores. Los servicios de conmutación de circuitos (CS), conmutación de paquetes (PS) y la necesidad de incorporar un Packet Core IMS en el despliegue de LTE y en el futuro LTE-Advanced.

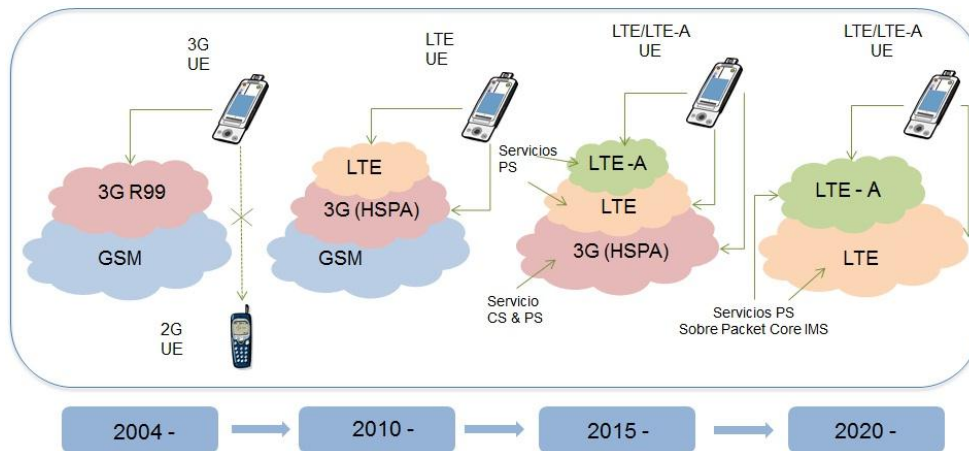


Figura 2-3 : Despliegue de las Redes Móviles

2.1.3 Resumen de LTE

Después de algunos años de la iniciación de LTE en 2004, el desarrollo aún está en curso para centrarse en mejorar el UTRA (Acceso Universal Radio Terrestre). Banda ancha móvil LTE es popularmente llamado 4G, desarrolladas por el 3GPP y adoptadas por el ETSI (Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones). En realidad, el objetivo del proyecto de LTE es tener rendimiento para el usuario promedio de tres a cuatro (3-4) veces la de la Versión 6 de niveles de HSDPA en el enlace descendente (100 Mbps) y dos a tres (2-3) veces los niveles de HSUPA en el enlace ascendente (50 Mbps) (Ali-Yahiya, 2011).

En 2007, LTE pasa de la tecnología de radio de tercera generación de acceso (E-UTRAN) a la etapa de estudio de factibilidad con el primer número de especificaciones técnicas aprobadas. A finales de 2008, las especificaciones son lo suficientemente estables para la primera generación de equipos LTE en la versión 8. Algunos beneficios adicionales y mejoras fueron incluidas en la versión 9, mediante un comunicado que fue congelado funcionalmente en diciembre de 2009. Las motivaciones para 3GPP “Release 8” se resumen en la Tabla 2-3:

Tabla 2-3 : Motivaciones de 3GPP en Release 8

#	Motivaciones
1	Necesidad de garantizar la continuidad de la competitividad del sistema 3G para el futuro.
2	El usuario demanda de mayores velocidades de datos y calidad de servicio.
3	El sistema de conmutación de paquetes optimizados.
4	La demanda continua de reducción de costos.
5	Baja complejidad.
6	Evitar la fragmentación innecesaria de las tecnologías en operación de bandas apareadas o no apareadas.

En septiembre de 2009 los socios del 3GPP realizaron una presentación formal ante la ITU proponiendo LTE “Release 10” y más allá (LTE-Advanced) candidato para la IMT-Advanced. La ITU ha acuñado el término de las IMT-Advanced, para identificar los sistemas móviles cuyas capacidades van más allá de las IMT-2000. A fin de cumplir este nuevo reto, los socios de la organización 3GPP se han puesto de acuerdo para ampliar el alcance del 3GPP para incluir el desarrollo de los sistemas posteriores a la 3G. Algunas de las características clave de las IMT-Advanced se muestran en la Tabla 2-4:

Tabla 2-4 : Principales Características de IMT-Advanced

#	Características
1	Funcionalidad y roaming a nivel mundial.
2	Compatibilidad de los servicios.
3	Interacción con otros sistemas de acceso radio.
4	Mejora de tasas de datos y soporte de servicios avanzados y aplicaciones (100Mbps y 1Gbps, para alta y baja movilidad respectivamente)

2.2 EVOLUCIÓN DE LAS REDES MÓVILES EN CHILE

La Figura 2-4, muestra la evolución de los principales Operadores en Chile:

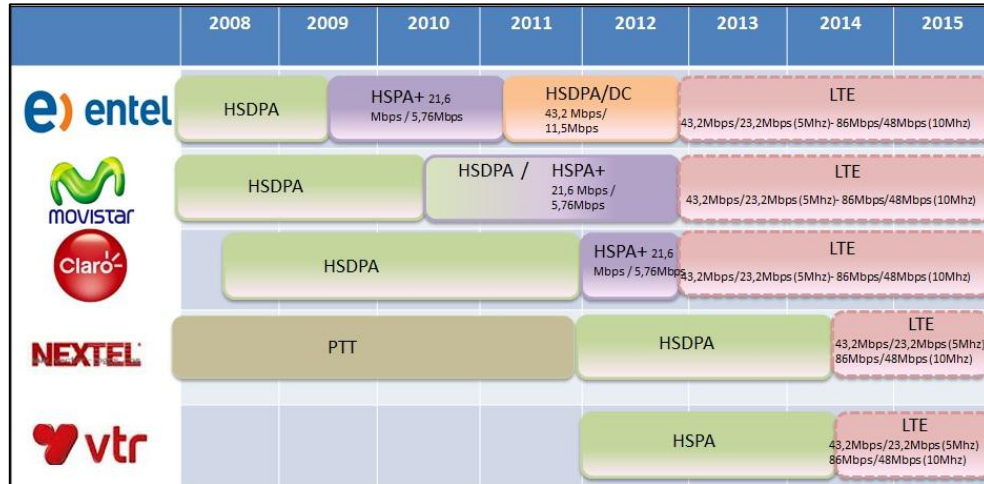


Figura 2-4 : Evolución de Operadores en Chile

La Figura 2-5, muestra la evolución de las redes móviles según 3GPP y la incorporación esperada de LTE y LTE-Advanced en Chile:

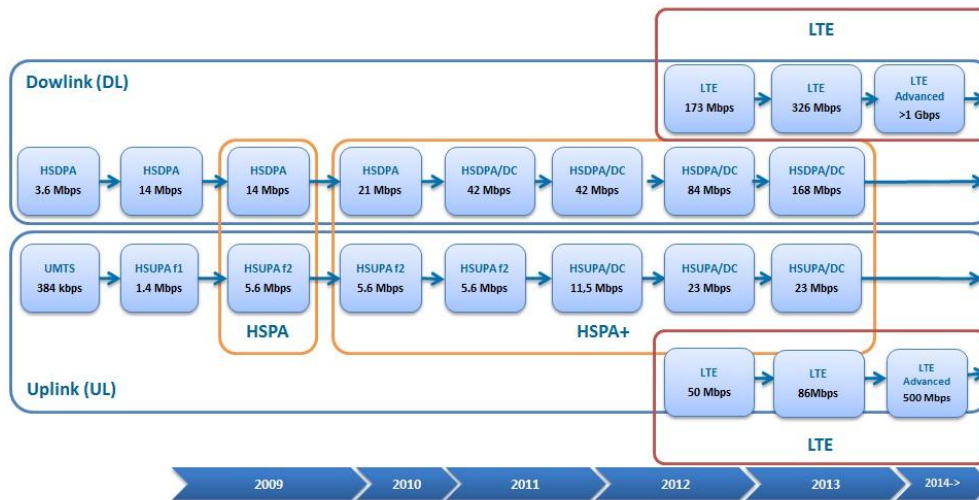


Figura 2-5 : Evolución a LTE y LTE-Advanced Según 3GPP

2.2.1 Distribución del espectro en Operadores en Chile

La Figura 2-6, muestra la distribución de espectro actualmente asignado a los operadores en Chile, situación que será ampliada por un nuevo concurso de frecuencia en la banda de los 2,6 GHz:

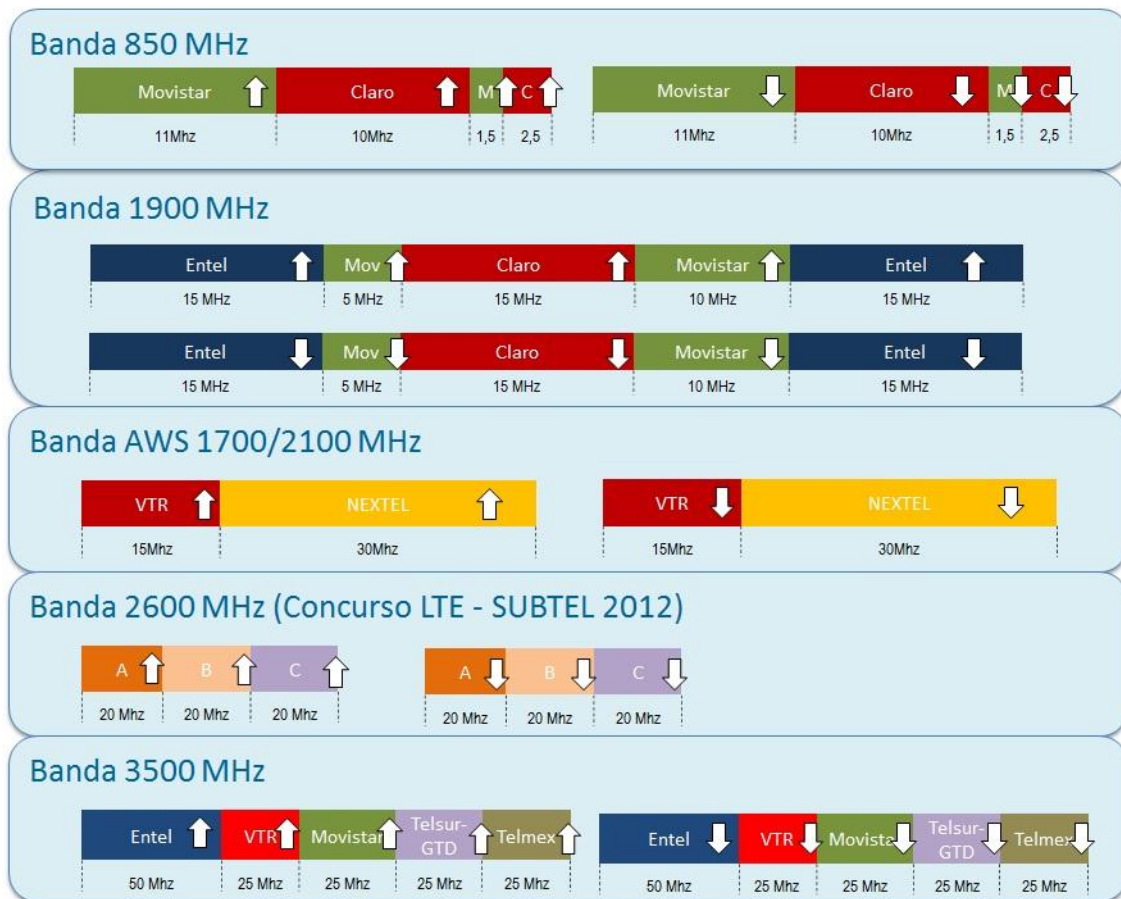


Figura 2-6 : Distribución de Espectro en Operadores en Chile

La utilización de la banda de 700 Mhz, está en definición por la Autoridad Reguladora en Chile (SUBTEL) y los Operadores esperan una definición que favorezca economías en el despliegue de LTE.

2.5 LTE

LTE es definido en el Release 8 de 3GPP para mejorar las prestaciones de las actuales redes 3G.

Esta evolución llamada EPS (Sistema de Paquetes Evolucionado) está implementada como una red de paquetes basada en IP, abandonando la conmutación de circuitos. La sección de núcleo (Core) se denomina EPC (Núcleo de Paquetes Evolucionado) y la versión mejorada del acceso es la E-UTRAN.

La Figura 2-8, muestra gráficamente estos conceptos:

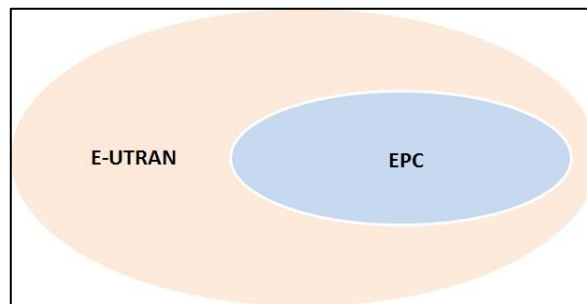


Figura 2-8 : Evolved Packet System (EPS)

2.5.1 Arquitectura LTE

La Figura 2-9, muestra el EPC y la E-UTRAN:

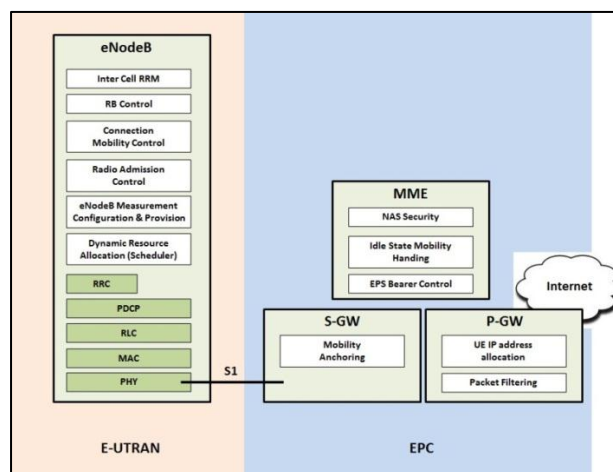


Figura 2-9 : EPC y E-UTRAN

La arquitectura LTE, se compone de un EPC y la red de acceso E-UTRAN. Mientras el EPC consiste de múltiples nodos lógicos, el acceso fue creado esencialmente con un solo nodo, el eNodeB o eNB (Nodo B Evolucionado) que conecta al UE (Equipo Usuario). Cada uno de estos elementos de red está inter-conectado en términos de interfaces, las que están estandarizadas para permitir interoperabilidad para varios proveedores.

La Tabla 2-6, detalla las velocidades teóricas en LTE, dado el espectro y las modulaciones utilizadas:

Tabla 2-6 : Velocidades en LTE

Modulación (Codificación)	Antena	1,4 MHz	3,0 MHz	5,0 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
QPSK (1/2)	Flujo Único	0,7	2,1	3,5	7,0	10,6	14,1
16QAM (1/2)	Flujo Único	1,4	4,1	7,0	14,1	21,2	28,3
16QAM (3/4)	Flujo Único	2,2	6,2	10,5	21,1	31,8	42,4
64QAM (3/4)	Flujo Único	3,3	9,3	15,7	31,7	47,7	63,6
64QAM (4/4)	Flujo Único	4,3	12,4	21,0	42,3	63,6	84,9
64QAM (3/4)	2x2 MIMO	6,6	18,9	31,9	64,3	96,7	129,1
64QAM (1/1)	2x2 MIMO	8,8	25,3	42,5	85,7	128,9	172,1
64QAM (1/1)	4x4 MIMO	16,6	47,7	80,3	161,9	243,5	325,1

- Velocidades de bajada de hasta 326 Mbps con el uso de múltiples antenas.
- Velocidades de subida de hasta 86 Mbps con el uso de múltiples antenas.
- RTT de menos de 10 ms para paquetes IP pequeños.
- Celdas entre 5 y 100 km de extensión en dependencia del nivel de prestaciones.
- Coexistente con otros estándares.
- Empleo de MIMO y OFDMA.

2.5.2 Eficiencia espectral LTE v/s HSDPA y HSUPA

La Figura 2-10, muestra la comparación de eficiencia espectral (bps/Hz/cell) de LTE Release 8 v/s HSDPA y HSUPA Release 6 en Downlink y Uplink. Resultados obtenidos por la contribución de diferentes compañías (Toskana, 2009):

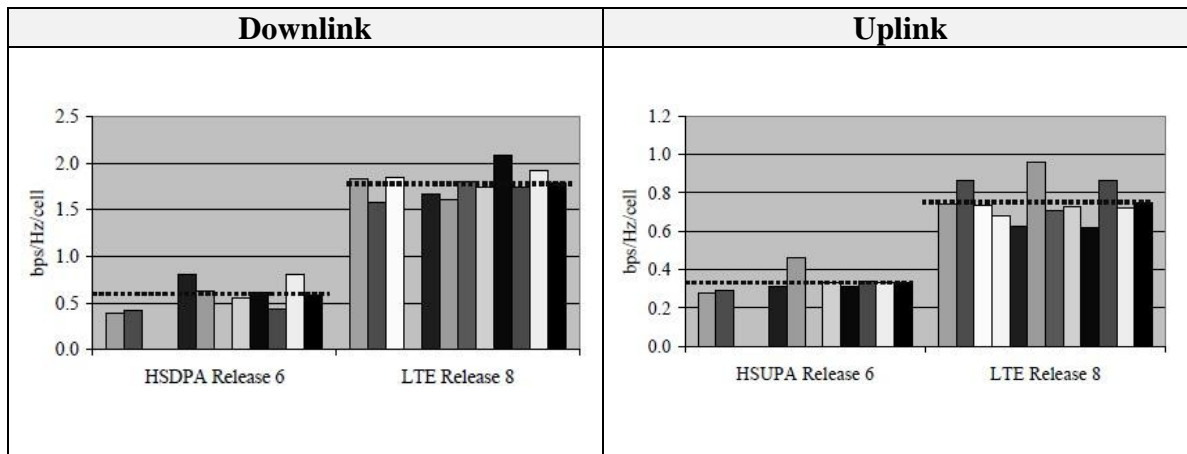


Figura 2-10 : Eficiencia Espectral LTE v/s HSDPA y HSUPA

- El objetivo de LTE Release 8 es ofrecer una eficiencia espectral de por lo menos tres (3) veces superior a HSDPA Release 6 en bajada y dos (2) veces mayor que HSUPA Release 6 en el enlace ascendente. La relación de eficiencia se ha estudiado mediante simulaciones del sistema 3GPP desde el año 2007. Los resultados de las contribuciones de diferentes compañías se muestran en la Figura 2-10, para el enlace descendente y para el enlace ascendente. Estos resultados son para el caso de celdas en zonas urbanas. La media de bajada aumenta la eficiencia de HSDPA 0,55 bps/Hz/cell a LTE 1,75 bps/Hz/cell, lo que corresponde a tres veces mayor eficiencia. Las eficiencias de enlace ascendente es de 0,33 y 0,75 para el HSUPA para LTE, lo que corresponde a más de dos veces más alto de eficiencia. La evaluación del desempeño mostró que LTE cumple con los objetivos definidos para el sistema en la primera fase (Toskana, 2009).
- Movilidad deberá ser garantizada en velocidades de hasta 500 km/h.

- Servicios de Broadcast y Multicast mejorados.
- QoS garantizada extremo-extremo.

2.5.3 SAE (System Architecture Evolution)

La SAE (System Architecture Evolution) está prevista como la evolución de la arquitectura 3G hacia 4G. Los elementos fundamentales que la componen son:

- **MME:** Mobility Management Entity, encargado del plano de control en la SAE.
- **S-GW:** Serving- Gateway, comunica el P-GW con la E-UTRAN. El S-GW siempre forma parte de la red donde se encuentra el terminal de usuario en ese momento.
- **P-GW:** PDN Gateway, encargado del control de handover sobre los móviles. Generalmente soporta MIP (Mobile IP).

La Figura 2-11, muestra en forma esquemática la SAE:

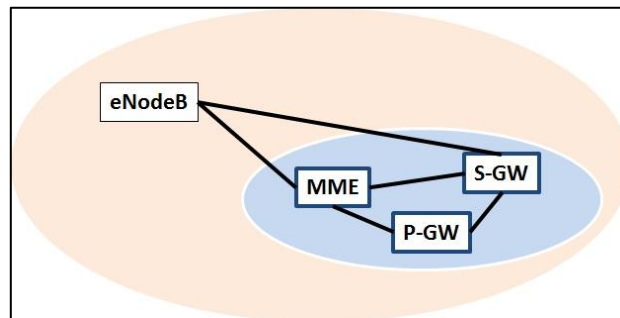


Figura 2-11 : System Architecture Evolution (SAE)

EPC también incluye otros nodos y funciones lógicas como el Home Subscriber Server (HSS) y el Policy Control and Charging Rules Function (PCRF). Como el EPC solo provee un portador de ruta con cierto nivel de QoS, el control multimedia, como por ejemplo VoIP, es provisto por el IP Multimedia Subsystem (IMS) el cual se considera externo al EPC.

La Figura 2-12, muestra los nodos lógicos de una red EPC: PCRF, HSS, P-GW, S-GW y MME:

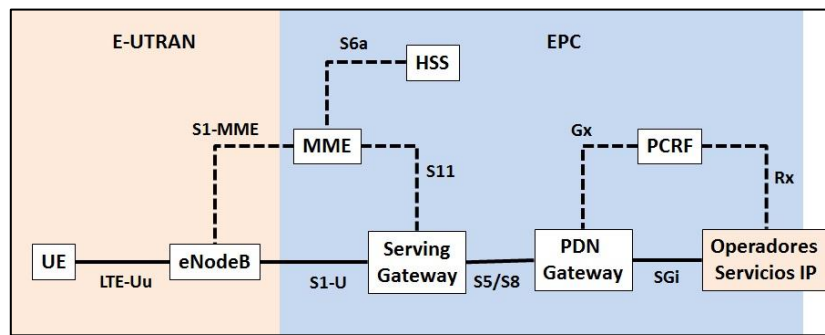


Figura 2-12 : Elementos de red EPC

2.5.4 Red de acceso LTE (E-UTRAN)

La red de acceso de LTE, E-UTRAN, consiste de una red de eNodeB's, como se muestra en la Figura 2-13. Para tráfico normal de usuario (en oposición a lo que ocurre con el broadcasting), no hay un controlador centralizado en E-UTRAN; por lo tanto, la arquitectura E-UTRAN se dice que es plana.

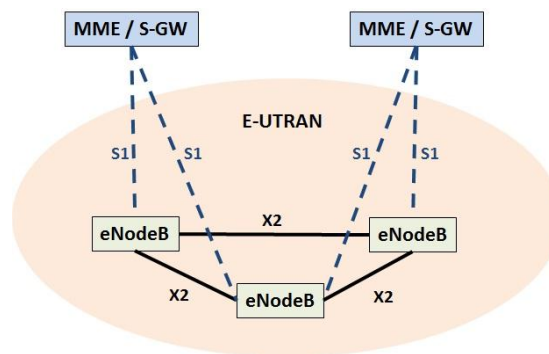


Figura 2-13 : Arquitectura E-UTRAN

Los eNodeB's están normalmente interconectados a los demás a través de la interfaz conocida como X2, y al EPC por medio de la interfaz S1; más específicamente, al MME por medio de la interfaz S1-MME y al S-GW a través de la interfaz S1-U.

Los protocolos que van entre los eNodeB's y el UE son conocidos como protocolos AccessStratum (AS). La E-UTRAN es responsable por todas las funciones relacionadas al

acceso por radio, principalmente: Gestión de los recursos de radio, Compresión de encabezados y proveer conectividad segura hacia el EPC.

En el Capítulo 8 de Anexos, se describen en mayor detalle los elementos de LTE.

2.5.5 LTE y otras tecnologías de banda ancha inalámbrica

LTE no es la única solución para la entrega de servicios de banda ancha móvil. Varias soluciones propietarias, particularmente para aplicaciones en redes fijas, ya están en el mercado. De hecho, existen soluciones basadas en estándares alternativos que coinciden parcialmente con LTE, en particular para las aplicaciones portátiles y móviles. En el corto plazo, la más desarrollada de estas alternativas y complementaria a LTE es la tercera generación de sistemas celulares, basadas en IEEE 802.11 (sistemas WiFi) (Ali-Yahiya, 2011).

2.5.5.1 WiMAX móvil

WiMAX se refiere a IEEE 802.16, estándar desarrollado por el IEEE, para el despliegue global de redes de banda ancha inalámbrica de área metropolitana. WiMAX está disponible en dos versiones; fijas y móviles. WiMAX fijo, se basa en el estándar IEEE 802.16-2004, es ideal para la entrega inalámbrica en el acceso de última milla, para los servicios de banda ancha fija. Es similar a DSL o servicio de cable módem. WiMAX móvil, que se basa en el estándar IEEE 802.16e, es compatible con las aplicaciones fijas y móviles, y ofrece a los usuarios un mejor rendimiento, capacidad y movilidad.

WiMAX móvil, ofrece mayores velocidades de datos con el apoyo de OFDMA e introduce varias características necesarias para la entrega de la movilidad a velocidades vehiculares con QoS comparable a las alternativas de acceso de banda ancha.

Varias características que se utilizan para mejorar el rendimiento en la transferencia de datos, son; AMC (Codificación y Modulación Adaptativa), HARQ (Solicitud Automática de Repetición Híbrida), programación rápida y handover eficiente en la entrega de ancho de banda.

WiMAX móvil es actualmente TDD que funcionan a 2,5 GHz. WiMAX móvil tiene una alta tolerancia a multi-trayecto y auto-interferencia y provee acceso ortogonal de acceso múltiple en enlace ascendente, frecuencia selectiva y la reutilización de frecuencia fraccional. (Ali-Yahiya, 2011)

2.5.5.2 WiFi

WiFi (Fidelidad Inalámbrica) proporciona banda ancha inalámbrica. Se basa en la familia de estándares IEEE 802.11 y es principalmente una red de área local (LAN) diseñada para ofrecer cobertura en interiores. Los sistemas actuales de Wi-Fi basadas en el estándar IEEE 802.11a/g soporta hasta 54 Mbps y suelen ofrecer cobertura en interiores y al aire libre de unos pocos miles de metros cuadrados, lo que permite adaptarse a las redes empresariales y públicas (Hotspots), como aeropuertos y hoteles .

De hecho, WiFi ofrece mayores velocidades de datos que los sistemas 3G, principalmente porque funciona en ancho de banda mayor de los 20 MHz. El CSMA (Acceso Múltiple por Detección de Portadora) es un protocolo ineficiente utilizado por WiFi, junto con las limitaciones de interferencia en la banda sin licencia, es probable que reduzca de manera significativa la capacidad de los sistemas al aire libre WiFi. Además, los sistemas WiFi no están diseñados para apoyar la movilidad de alta velocidad.

Una ventaja importante de WiFi sobre WiMAX y 3G es la amplia disponibilidad de dispositivos de terminal. Una gran mayoría de los computadores portátiles tienen una interfaz WiFi integrada. Interfaces WiFi también están disponibles en una gran variedad de equipos, incluidos los asistentes personales (PDA), teléfonos inalámbricos, teléfonos celulares, cámaras y reproductores de medios. Esto permite un fácil uso de los servicios de redes de banda ancha con WiFi. Al igual que con 3G, la capacidad de WiFi está siendo mejorada para soportar incluso mayores velocidades de datos y para proporcionar un mejor soporte QoS. En particular, el uso de múltiples antenas basadas en tecnología de multiplexado espacial, el nuevo estándar IEEE 802.11n apoya un rendimiento de al menos 100 Mbps. Se espera que la antena MIMO utilice

varias antenas para resolver coherentemente más información que utilizar una sola antena. (Ali-Yahiya, 2011)

2.5.6 LTE en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

La Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas en conjunto con la empresa China ZTE y bajo un acuerdo de cooperación, instalaron y habilitaron durante el año 2011 el primer laboratorio de tecnología LTE en Latinoamérica.

Los equipos de Core y los equipos de acceso “Indoor” del laboratorio LTE fueron desplegados en el segundo piso del edificio de Electro-tecnologías del Departamento de Ingeniería Eléctrica (DIE). Las estaciones base y antenas “Outdoor” (eNodeB completos) se instalaron en la terraza de DIE (Av. Tupper 2007) y en la terraza del Edificio de Computación (Av. Blanco Encalada 2120).

La Figura 2-14, muestra una vista satelital de la FCFM (utilizando Google Earth), la cobertura LTE, la identificación de las celdas y la ubicación de los nodos eNBs:



Figura 2-14 : LTE en la FCFM

2.5.6.1 Frecuencias Utilizadas en el Laboratorio LTE instalado en la FCFM

Las frecuencias utilizadas y las modalidades de uso son las siguientes:

- La SUBTEL asignó a la FCFM las bandas de frecuencias; (2530 Mhz -2550 Mhz) y (2640 Mhz -2660 Mhz), para uso del Laboratorio LTE en modalidad FDD.
- El Operador VTR facilitó, para efectos de prueba la Banda 38 de frecuencia (2580 Mhz - 2600 Mhz) centrada en 2590 Mhz, para uso del Laboratorio LTE en modalidad TDD.

2.5.6.2 Diagrama de Red del Laboratorio LTE instalado en la FCFM

El diagrama de red del Laboratorio se muestra en la Figura 2-15:

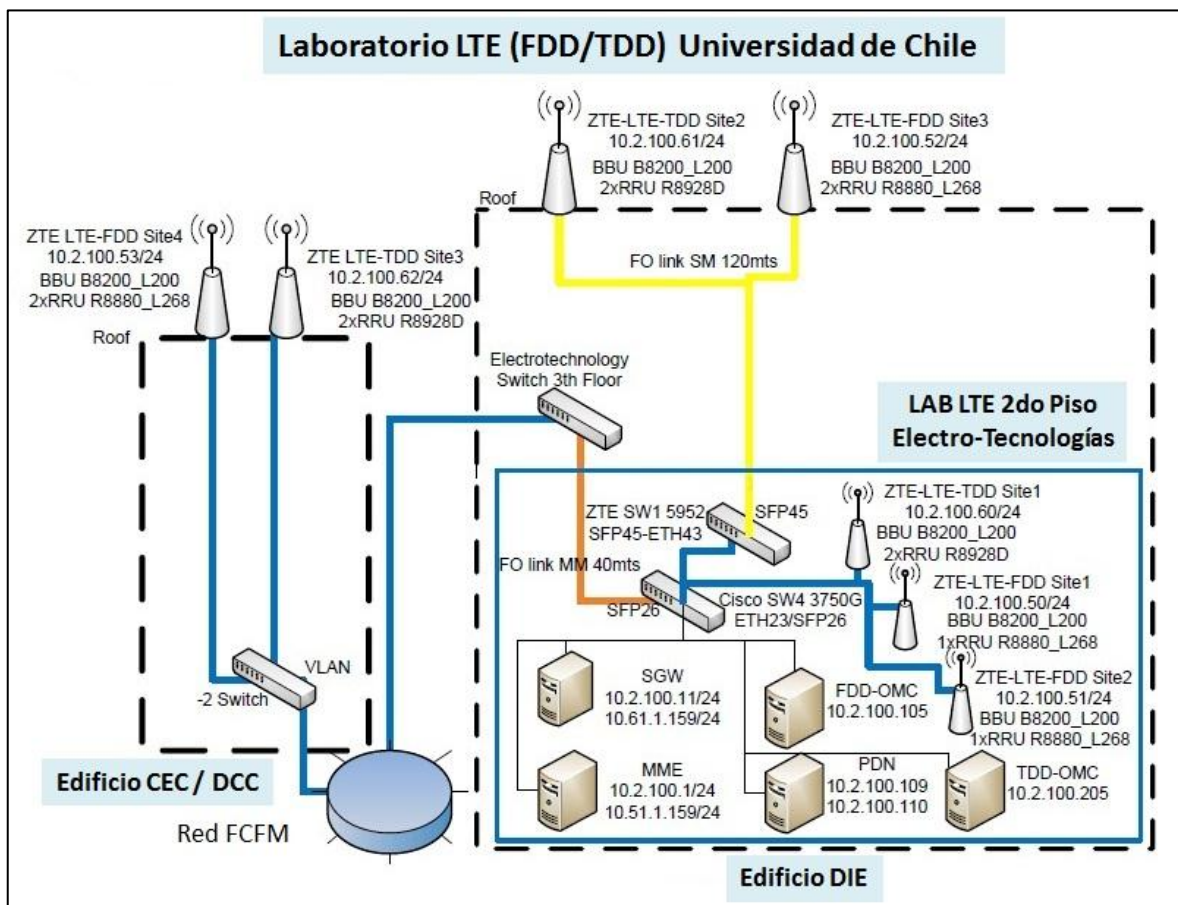
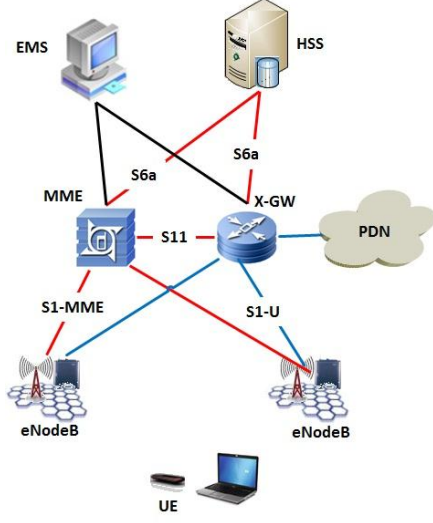


Figura 2-15 : Diagrama de Red LTE en FCFM

2.5.6.3 Equipamiento del Laboratorio LTE instalado en la FCFM

La Tabla 2-7, resume el equipamiento instalado en el Laboratorio y el diagrama del Núcleo EPC y Acceso E-UTRAN:

Tabla 2-7 : Equipamiento Red LTE Instalado en la FCFM

Equipamiento LTE - ZTE	Diagrama del Core EPC y Acceso E-UTRAN
<p>7 * eNodeB:</p> <ul style="list-style-type: none"> •FDD-LTE : 4 eNodeB <ul style="list-style-type: none"> 3X 1B8200&2R8880 1X 1B8200&1R8880 •TDD-LTE : 3 eNodeB <ul style="list-style-type: none"> 3X 1B8200&2R8928D <p>1* EPC:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1*MME (uMAC) 1*S-GW/P-GW (x-GW) 1*HSS <p>1*EMS:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1*NetNumen M31 <p>1 * Service System:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1*Application Server (PDN) <p>4 * UE:</p> <ul style="list-style-type: none"> 4* UE de Prueba 	 <p>El diagrama ilustra la arquitectura de red LTE. En la parte superior izquierda, un EMS (Equipo de Monitoreo y Gestión) se conecta a un MME (Módulo de Movilidad y Gestión de Entorno) y a un X-GW (Gateway de Usuario). En la parte superior derecha, un HSS (Sistema de Suscripción de Usuarios) se conecta al MME y al X-GW. El MME y el X-GW están conectados entre sí por la interfaz S11. El X-GW está conectado a un PDN (Red de Datos de Usuario). En la parte inferior, dos eNodeB (Estaciones Base) se conectan al MME y al X-GW. Las interfaces S1-MME y S1-U conectan los eNodeB con el MME y el X-GW, respectivamente. En la parte inferior central, se muestran cuatro UE (Equipos de Usuario) conectados a los eNodeB.</p>

2.5.6.1 Entorno de pruebas del Laboratorio LTE instalado en la FCFM

La Tabla 2-8, muestra el Entorno de Pruebas “Outdoor” e “Indoor” utilizado en el Laboratorio LTE instalado en la FCFM:

Tabla 2-8 : Entorno de Pruebas de Laboratorio LTE instalado en FCFM

Entorno de Pruebas	Ejemplo de Configuración
<p>The diagram illustrates the test environment. On the left, an 'App. Server' is connected to an 'EPC' (Evolved Packet Core). The EPC is connected to an 'eNodeB' (Baseband Unit, BBU) and a 'Radio Resource Unit' (RRU). The RRU is connected to two types of 'Test UE' (User Equipment): 'Outdoor' (represented by a van) and 'Indoor' (represented by a laptop and phone). The labels 'EPC', 'eNodeB', and 'Test UE' are placed at the bottom of the diagram.</p>	<p>Frecuencia: 2.6Ghz Bandwidth: 20Mhz Antena: 2x2 MIMO DL: HOM 64QAM UL: HOM 64QAM</p>

2.6 IMS (IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM)

IMS es una arquitectura que cumple con los requerimientos definidos por la ITU-T para una capa de control de una NGN (Red de Próxima Generación). Constituye una estandarización para el desarrollo de una plataforma con miras a la convergencia de redes. En consecuencia, posee características básicas como por ejemplo la posibilidad de uso de diferentes redes de acceso, el soporte de movilidad generalizada o el ser una red basada en la conmutación de paquetes IP (Russell, 2008).

La Figura 2-16, muestra gráficamente la relación IMS con NGN:

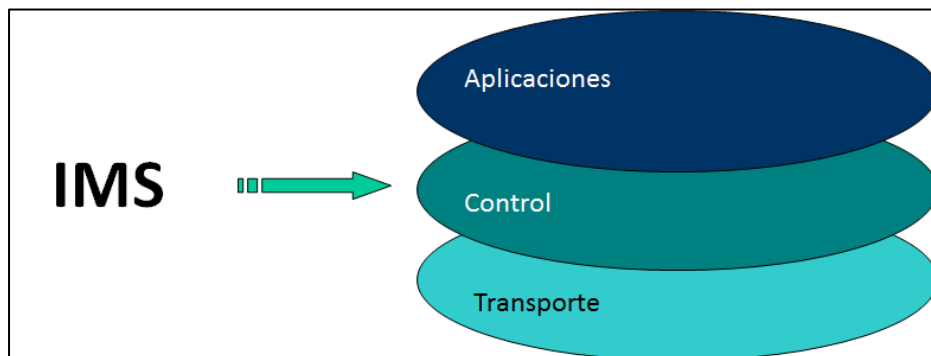


Figura 2-16 : Relación de IMS – NGN

La arquitectura IMS fue diseñada por la 3GPP como parte del trabajo de estandarización asociado a la Tercera Generación de Telefonía Celular (3G). En su primera versión (Release 5) se diseñó para la evolución de telefonía móvil 2G a 3G, soportando redes GSM y GPRS y siendo añadidos además el soporte de contenidos multimedia basados en SIP (Protocolo de Inicio de Sesión). Para el Release 6 se añadió el soporte para acceso vía redes inalámbricas WLAN (Redes LAN Inalámbricas), WiMAX (Interoperabilidad Mundial para Accesos por Microondas).

Finalmente, en el Release 7 se incluyó el soporte para redes fijas (xDSL, Cable Modem, Ethernet) en un trabajo en conjunto con la organización TISPAN (Telecomunicaciones e Internet de servicios convergentes y de los Protocolos de Redes Avanzadas). Además es importante destacar que al ser una red IP se hace uso de protocolos de Internet estandarizados por la IETF y de otros protocolos estandarizados por la ITU-T. Así mismo organizaciones como ANSI, ETSI y OMA también apoyan el desarrollo de IMS en este sentido.

Entre las principales características de la arquitectura IMS se debe mencionar:

- Soporte de sesiones en tiempo real (voz y video conferencia) y de no-tiempo real (PTT/ Push-To-Talk, PTS/Push-To-Show, presencia, mensajería) sobre redes IP.
- Interfaces y protocolos abiertos.
- Plataforma que permite desarrollo de sofisticados servicios de valor agregado como Streaming de audio y video online.
- Integración horizontal dado que existen funciones genéricas en estructura e implementación que pueden ser reutilizadas por todos los servicios de la red (descubrimiento, enrutamiento, cobro, presencia, administración de usuarios, etc.) con la consiguiente disminución de costos para el operador.
- Soporte de redes de acceso de distinto tipo que va de la mano con la movilidad generalizada.

2.6.1 Arquitectura y componentes de IMS

La Figura 2-17, muestra el esquema general de la arquitectura IMS con sus principales componentes (Peñaloza, 2008).

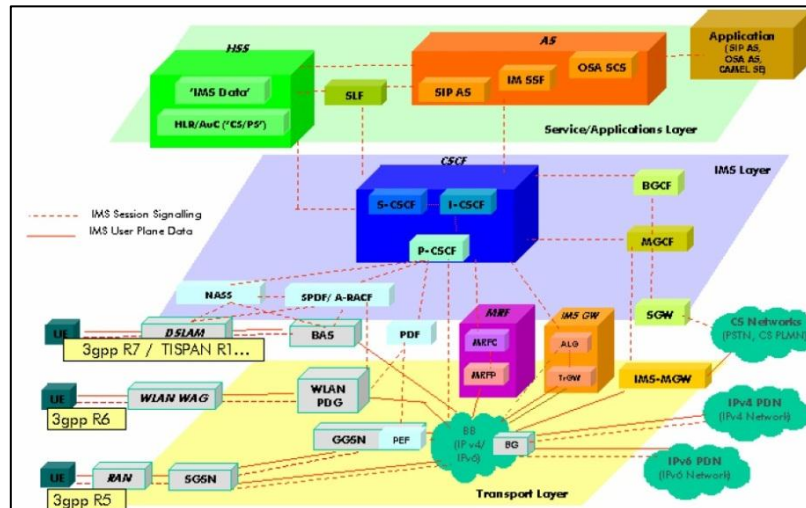


Figura 2-17 : Arquitectura IMS

Se presentan las distintas capas de la arquitectura. Destacan los niveles de Transporte, Capa IMS y Capa de Servicios/Aplicaciones. En términos generales la arquitectura presenta bloques lógicos encargados del acceso a la red IMS, del transporte de paquetes IP, del control de las sesiones multimedia y de la entrega de aplicaciones y servicios.

Dado que en la arquitectura IMS se interconectan diferentes componentes y por lo tanto existen diversas comunicaciones basadas en distintos protocolos, se definen “interfaces” entre dichas componentes para establecer la estandarización del sistema en general. Los principales elementos están asociados al Core de la red IMS. En la Figura 2-18, se observan las distintas conexiones y sus respectivas interfaces asumiendo que todas estas componentes lógicas se encuentran implementadas en forma separada:

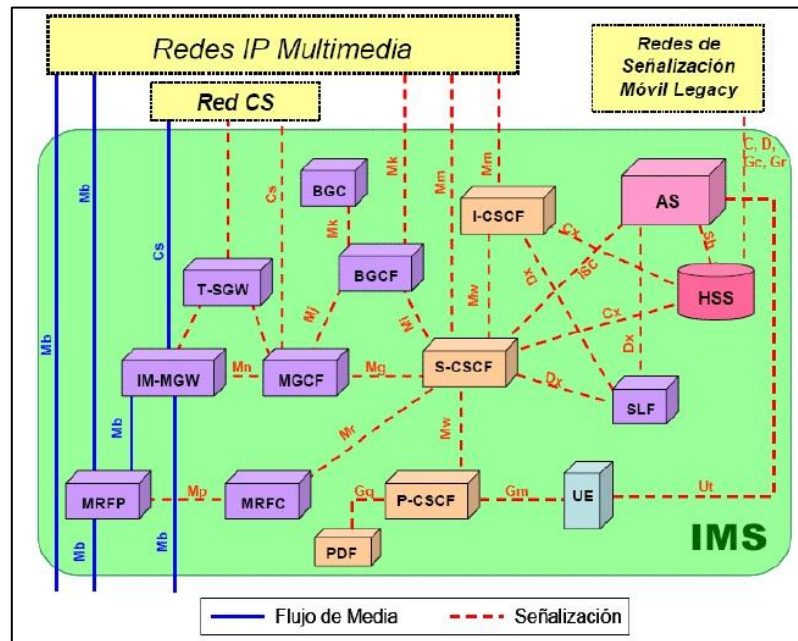


Figura 2-18 : Core de la arquitectura IMS, interfaces entre componentes

Las componentes básicas de la arquitectura IMS (Peñalosa, 2008) son las indicadas en la Tabla 2-9:

Tabla 2-9 : Componentes de la Arquitectura IMS

#	Componentes de la Arquitectura IMS
1	UE (User Equipment)
2	HSS (Home Subscriber Server)
3	CSCF (Call Session Control Function)
4	S-CSCF (Serving CSCF)
5	P-CSCF (Proxy CSCF)
6	I-CSCF (Interrogating CSCF)
7	SLF (Subscription Locator Function)
8	PDF (Policy Decision Function)
9	MRFC (Multimedia Resource Function Controller)
10	MRFP (Multimedia Resource Function Processor)
11	BGCF (Breakout Gateway Control Function)
12	AS (Application Server)
13	MGCF (Media Gateway Control Function)
14	IMS-MGW (IMS Media Gateway)
15	T-SGW (Trunking Signaling Gateway)

2.6.2 Arquitectura funcional IMS

La Figura 2-19, muestra la arquitectura funcional de IMS:

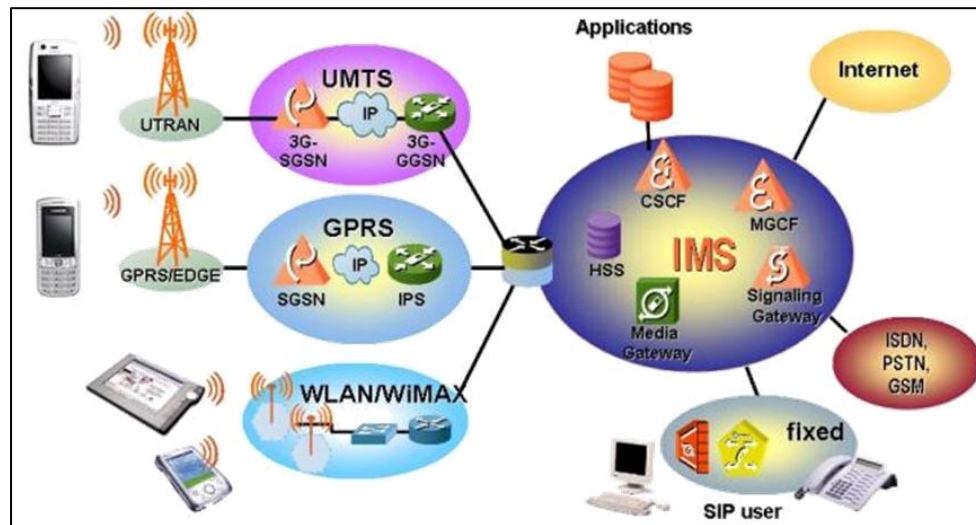


Figura 2-19 : Arquitectura Funcional IMS

- IMS permite la convergencia de las redes de acceso hacia los servicios IP en forma nativa.
- IMS permite la conectividad de señalización y control de las redes de acceso hacia los servicios y desde los servicios hacia los clientes.

2.7 SERVICIOS ISP (INTERNET SERVICE PROVIDER)

2.7.1 Arquitectura de un ISP

La Figura 2-20, muestra la arquitectura de un ISP, con sus componentes principales:

- Redes de Acceso, Distribución, Backbone y Gateways Internacionales.
- Redes de servicios locales.
- NOC (Network Operation Center)
- SOC (Security Operation Center)
- Servicios locales de los OTT (Proxys Google, Youtube y otros)

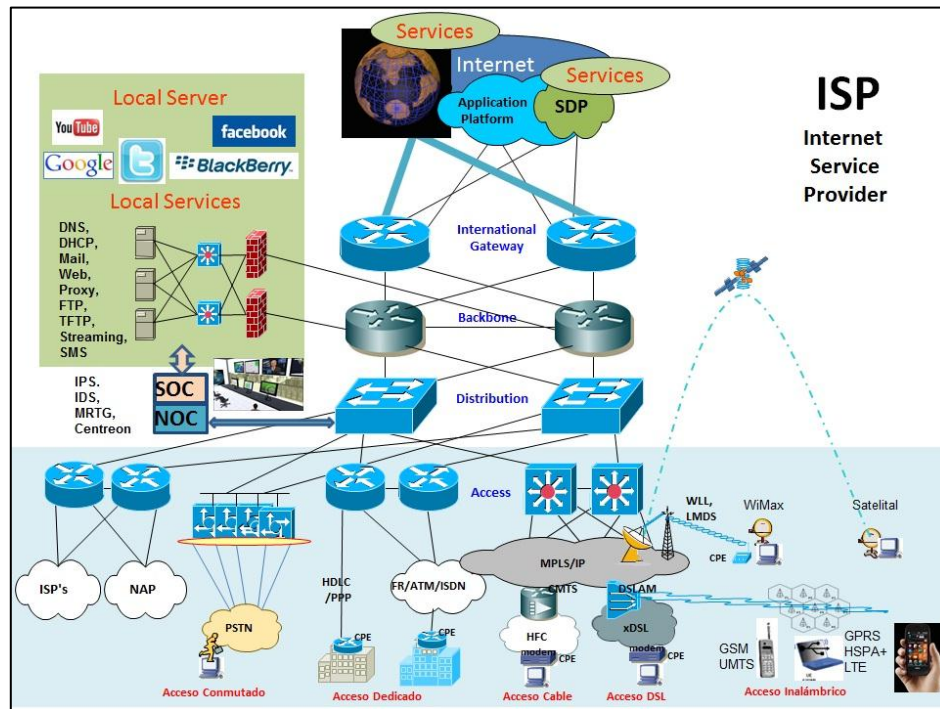


Figura 2-20 : Arquitectura de un ISP

2.7.2 Protocolos de un ISP

La Figura 2-21, muestra los protocolos básicos de un ISP:

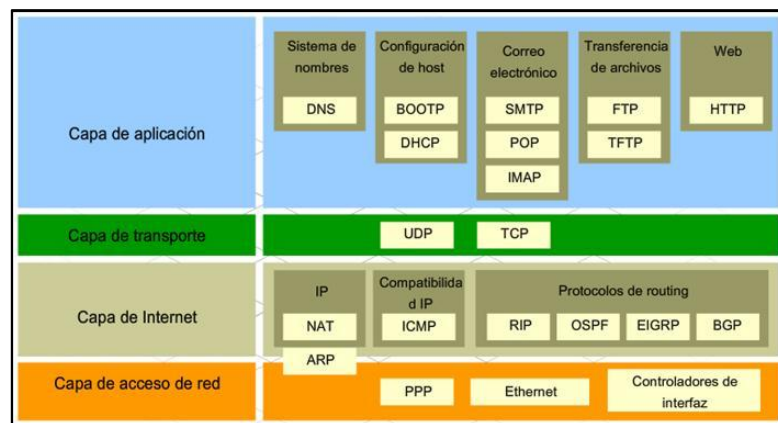


Figura 2-21 : Protocolos Básicos de un ISP

2.7.3 Crecimiento de los servicios (ISP y OTT) y sus efectos en los operadores

Las redes de telecomunicaciones están evolucionando hacia una convergencia fijo-móvil, posibilitando así la oferta de nuevos y variados servicios de valor agregado, reduciendo los costos debido al mejor aprovechamiento de los recursos.

Esta nueva carta de servicios al usuario representa nuevas oportunidades de negocio, pero también añade desafíos a los operadores de telecomunicaciones. Por ejemplo, el tráfico creciente del servicio Internet, impulsado por los famosos Over-The-Top (OTT); Facebook, YouTube, Google, que produce cada vez más tráfico de datos y su respectivos tráfico de señalización y control que impactan las plataformas del operador.

2.8 Convergencia LTE + IMS + ISP

Según 3GPP, en la Figura 2-22 se muestra la arquitectura general del sistema LTE, denominado como EPS (Evolved Packet System). Los principales componentes del sistema LTE son: la nueva red de acceso E-UTRAN, el nuevo núcleo de paquetes EPC y la evolución del Packet Core IMS.

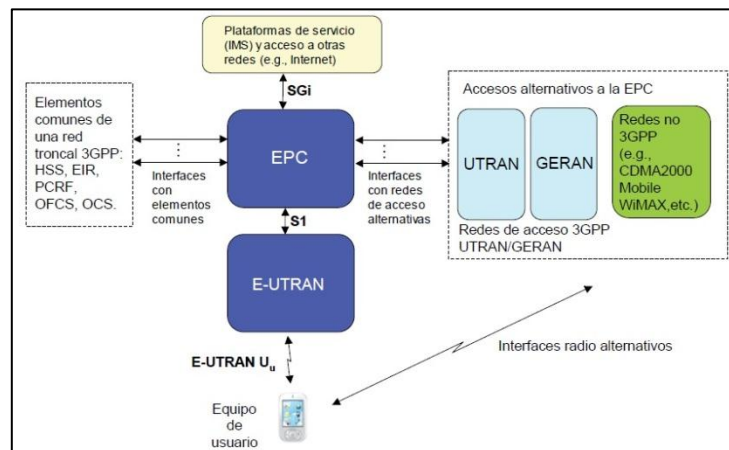


Figura 2-22 : Arquitectura LTE

Los componentes de LTE han sido diseñados para soportar servicios de comunicaciones basados en la conmutación de paquetes, sin restricciones de tiempo real, por lo tanto, ya no es necesaria la conmutación de circuitos, es decir, EPC constituye una versión evolucionada del sistema GPRS. (Agusti, y otros, 2010)

La red de acceso E-UTRAN y el núcleo EPC brindan servicios de paquetes IP entre los equipos de usuario (UE) y redes de paquetes externas tales como plataformas **IMS**, **ISP** y otras redes de comunicaciones. La calidad de servicio (bits/s, retardos, pérdidas) de un servicio de paquetes IP puede configurarse en base a las necesidades de los servicios finales que lo utilicen, cuyo control y señalización se lleva a cabo a través de plataformas de servicios externas (IMS, ISP) y de forma transparente a la red troncal EPC.

LTE contempla el acceso a sus servicios a través de UTRAN y GERAN así como mediante otras redes de acceso que no pertenecen a la familia 3GPP (CDMA2000, Mobile WiMAX, redes 802.11, etc.). La interconexión de las redes de acceso alternativas, tanto 3GPP como no 3GPP, se soporta a través de un conjunto de interfaces de la EPC que se detallan en el Capítulo 8 de Anexos.

Es importante mencionar que la infraestructura LTE, integra elementos de red propios de las redes IP: Routers, Servidores DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) para la configuración automática de las direcciones IP de los equipos de la red LTE y Servidores DNS (Domain Name Server) para asociar los nombres de los equipos con sus direcciones IP.

2.8.1 Convergencia al ecosistema de las NGN

La Figura 2-23, nos permite fijar los concepto de la convergencia de las tecnologías y las arquitecturas al ecosistema de las redes de próxima generación.

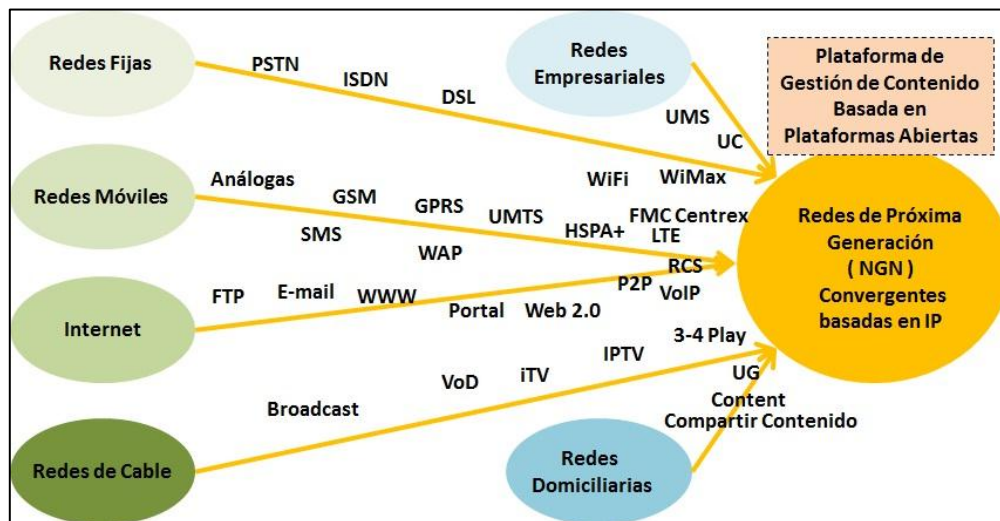


Figura 2-23 : Convergencia al Ecosistema de las NGN

Capítulo 3

Metodología

En este capítulo se describe la metodología utilizada en el trabajo de título, la cual se inició con la búsqueda y recopilación de información sobre las tecnologías LTE, IMS, ISP y Metodologías Docentes en Diseño de Cursos.

La Metodología Docente a utilizar ya ha sido empleada en otras memorias (Espinoza, 2007) (Lapin, 2007) (Rojas, 2009), basadas en el libro (Viola Soto, 1978) y ahora actualizado en la presente memoria en entrevistas a una experta en Educación; Sra. María Apolonia Riquelme (Magister en Educación).

Para lograr el objetivo general planteado, primero fue necesario definir el formato y los elementos docentes en que se desarrollará el curso (teórico y práctico) y segundo realizar el proceso de gestión de aseguramiento de la calidad y maduración docente.

3.1 Metodologías Docentes

Las metodologías docentes fueron aplicadas en los ámbitos de Currículum, Módulos de Instrucción, Módulos de Experiencias Prácticas, Validación de Resultados y Revisión del Proceso.

Currículum (Planificación Curricular) es un proceso que define el formato de un curso genérico; unidades componentes, objetivos de las unidades, recursos y estrategias docentes.

Módulos de Instrucción y Módulos de Experiencias Prácticas cubren las áreas temáticas; LTE, IMS e ISP.

Validación de Resultados consiste en un método de realimentación con expertos en Telecomunicaciones y expertos en Docencia.

Revisión del Proceso corresponde a las correcciones y mejoras a realizar en el Currículum, Módulos y Validaciones.

3.2 Procesos del Sistema Curso

El objetivo del Currículum o Plan Curricular es realizar un Programa de Estudios del Curso y está compuesto de:

- Objetivos generales y específicos
- Recursos (medios disponibles, estrategias)
- Contenidos (unidades programáticas y módulos de instrucción)

Esta metodología se aplica en los Módulos Teóricos y Experiencias Prácticas y consta de ocho procesos, agrupados en dos etapas (Planificación y Desarrollo), como muestra la Tabla 3-1:

Tabla 3-1 : Procesos de Planificación y Desarrollo del Sistema Curso

Etapa	ID Proceso	Descripción del Proceso
Planificación	P-1	Recolección de la Información
	P-2	Formulación del Objetivo Principal y Sub-Objetivos Generales del Curso
	P-3	Diseño del Programa de Estudios
	P-4	Diseño del Programa de Módulos de Instrucción
	P-5	Diseño del Programa de Evaluación
Desarrollo	P-6	Implantación del Diagnóstico
	P-7	Clase Directa y Evaluación Formativa
	P-8	Evaluación Acumulativa

Estos ocho procesos constituyen el “Sistema Curso”, que se relacionan entre sí mediante entradas y salidas, como se muestra en la Figura 3-1 (Espinoza, 2007):

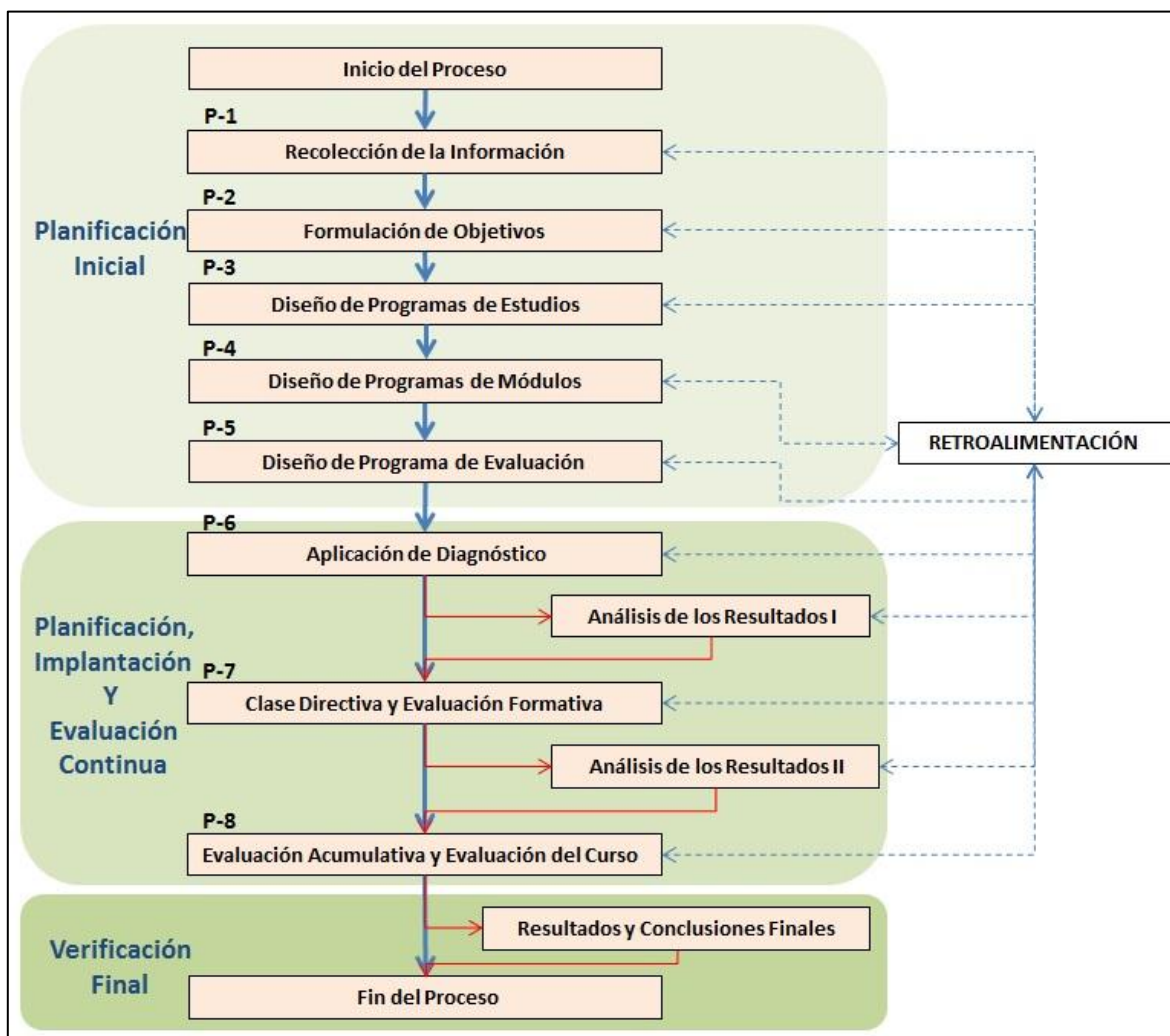


Figura 3-1 : Procesos del Sistema Curso

3.2.1 P-1 (Recolección de la Información)

En este Proceso, se realiza el relevamiento de toda la información de antecedentes técnicos de los temas: LTE, IMS e ISP. Los recursos necesarios (Laboratorio, Salas de Clases), los antecedentes docentes, los antecedentes de la futura audiencia con sus objetivos de capacitación. La Tabla 3-2 resume los principales aspectos:

Tabla 3-2 : Recolección de la Información

#	Recolección de la Información
1	Relevamiento e Investigación de los temas técnicos: LTE, IMS e ISP
2	Definir el Plan de Docencia para el Curso
3	Definir la Audiencia Objetivo el Curso
4	Definir la Duración Temporal para el Desarrollo y Ejecución del Curso
5	Determinar los Prerrequisitos de la Futura Audiencia de Alumnos
6	Determinar la Disponibilidad de Recursos (Laboratorio, Salas de Clases) y sus Capacidades

3.2.2 P-2 (Formulación del Objetivo Final y Sub-objetivos del Curso)

En este proceso se elabora un objetivo final (lo que finalmente el alumno debería saber, hacer y valorar del curso) y los sub-objetivos que permitirán al alumno alcanzar el objetivo final.

Las principales actividades y considerandos, para la formulación de los objetivos, son los indicados en la Tabla 3-3:

Tabla 3-3 : Formulación de los Objetivos

#	Formulación de los Objetivos
1	Definir la Habilidad Final Deseada y Evaluable.
2	Definir una Tabla de Habilidades v/s Contenidos del Curso.
3	Definir una Formulación Funcional.
4	Definir una Formulación Operacional para Los Objetivos Específicos.
5	Definir una Formulación Secuencial y Modular.
6	Validar la Definición de Los Objetivos con Las Autoridades Docentes de La Universidad.

3.2.3 P-3 (Diseño del Programa de Estudios)

El Programa de Estudios es un guía de análisis y síntesis, donde se realizan las relaciones entre el Objetivo Final y los Sub-objetivos. El Programa se divide en unidades programáticas o módulos que están ligados a cada sub-objetivo. La Figura 3-2, muestra gráficamente las componentes de una unidad programática:

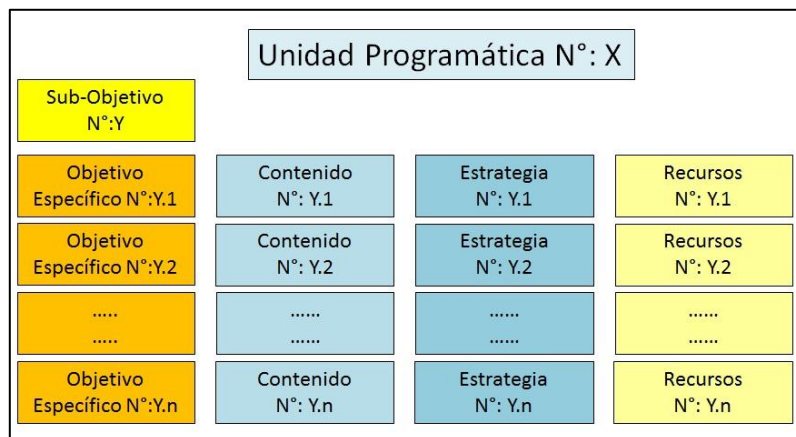


Figura 3-2 : Componentes de una Unidad Programática

3.2.4 P-4 (Diseño del Programa de Módulos de Instrucción)

En este Proceso se realiza el diseño del programa elaborando en detalle cada módulo del proceso de enseñanza. La Tabla 3-4, muestra el modelo general de un programa de módulos de instrucción:

Tabla 3-4 : Programa de Módulos de Instrucción

#	Programa de Módulos de Instrucción
1	Definir lo que se realizará, los conceptos principales y su relación con los módulos posteriores y/o siguientes.
2	Definir el Objetivo General del Módulo (Sub-Objetivo de cada Unidad Programática).
3	Definir los Objetivos Específicos (Relacionados a los Sub-Objetivos y al Objetivo Final del Curso).
4	Definir las Actividades de Expresión Creativa y Operacional de las Estrategias a Utilizar.
5	Definir la Síntesis Buscada en el Alumno.
6	Realizar el Material de Apoyo y Bibliografía.

3.2.5 P-5 (*Diseño del Programa de Evaluación*)

En este Proceso se realiza el diseño del control de cumplimiento de objetivos que se aplicará al inicio, durante y final de cada Módulo de Instrucción del curso.

Al inicio, la prueba de diagnóstico tiene por objetivo evaluar y medir el cumplimiento de los prerrequisitos supuestos en el programa de estudios. La medición está destinada a medir la distancia entre los prerrequisitos y el Objetivo Final del curso.

Durante el curso, se realizan pruebas de “Autoevaluación”, referidas a una unidad.

Al final de cada módulo, se realiza la prueba de medición específica.

3.2.6 P-6 (*Implantación del Diagnóstico*)

Este Proceso permite medir con exactitud los prerrequisitos de cada módulo y tomar acciones tempranas de acuerdo a los resultados, tales como; enfatizar, eliminar, agregar y modificar contenidos. La Tabla 3-5, resume las preguntas principales a responder, para adaptar un Programa de Estudio a las necesidades del curso y de la audiencia:

Tabla 3-5 : Guía para Adaptar un Programa de Estudio

#	Guía para Adaptar un Programa de Estudio
1	¿Es necesario reforzar algunos prerrequisitos?, ¿Cuáles?
2	¿Es necesario enfatizar, eliminar, agregar y/o modificar contenidos?, ¿Cuáles?
3	¿Es necesario cubrir algún(os) objetivo(s) iniciando una nivelación?, ¿Cuáles?

3.2.7 P-7 (*Clase Directiva y Evaluación Formativa*)

En este Proceso el profesor realiza las clases teóricas y prácticas, orientando el curso de acuerdo a la planificación de los módulos y los instrumentos de evaluación diseñados.

3.2.8 P-8 (Evaluación Acumulativa y Evaluación del Curso)

En este proceso se mide el cumplimiento de los objetivos de enseñanza y aprendizaje del curso, permitiendo evaluar la eficiencia del sistema y definir los remediales en futuras implementaciones.

Cada evaluación es una unidad operacional específica y desarrolla en un nivel de profundidad mayor el análisis de cada unidad programática.

Los módulos y sus evaluaciones se pueden considerar como sistemas formales independientes, que pueden ser organizados de acuerdo con las necesidades del curso o de la audiencia.

3.2.9 Resumen de Componentes del Curso

La Figura 3-3, muestra esquemáticamente las Componentes del Curso, su interacción y realimentación, constituyendo un sistema de mejora continua.

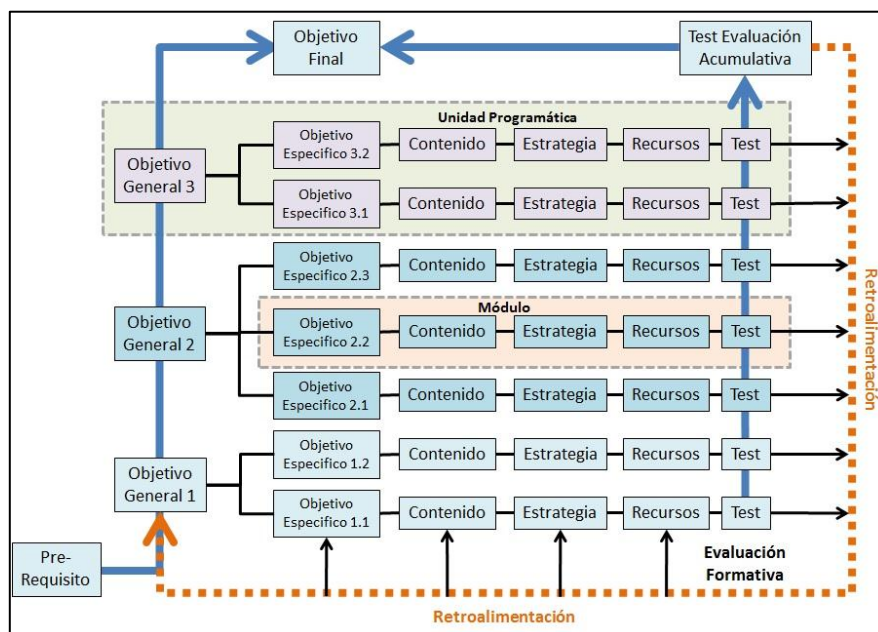


Figura 3-3 : Resumen de Componentes del Curso

3.3 Planificación de Módulos Teóricos y Experiencias Prácticas

A continuación se detallan y materializan los métodos ya estudiados, relativos a Planificación y Diseño de los Módulos:

3.3.1 Planificación de los Módulos

La planificación es la etapa previa a la construcción de los módulos teóricos y prácticos, tomando consideración de la Planificación Curricular y creando grupos de los contenidos a instruir. Los grupos teóricos y abstractos tendrán la modalidad de clases expositivas, los grupos de actividades prácticas serán el resultado del mapeo entre los temas teóricos y las experiencias prácticas posibles de realizar.

3.3.2 Definición de los Módulos

Los módulos de instrucción deben contener los siete elementos básicos que muestra la Tabla 3-6:

Tabla 3-6 : Elementos Básicos de los Módulos de Instrucción

#	Elementos Básicos de los Módulos de Instrucción	Notas Importantes
1	Título del Módulo de Instrucción	Breve y Asertivo
2	Índice General	Detallado y Numerado
3	Resumen	Principales Ideas
4	Objetivos	Describe lo esperado del alumno al final del módulo (conocimientos y destrezas)
5	Cuerpo del Módulo	Extensión según el tema
6	Elementos de Apoyo	Aplica según el tema y puede ser simplemente revisar contenidos ya vistos o adelantar otros en baja profundidad.
7	Bibliografía	Importante para el autoestudio e investigación del alumno.

3.4 Validación de los Resultados

La estrategia usual, para realizar la validación de los resultados es utilizar alumnos de prueba, que cumplan con los prerrequisitos del curso.

La Tabla 3-7, muestra el diagrama y la descripción del proceso iterativo:

Tabla 3-7 : Proceso de Validación de los Resultados:

Diagrama de Flujo	Descripción
<pre> graph TD Inicio[Inicio] --> Asignar[Asignar la Actividad] Asignar --> Ejecutar[Ejecutar un Paso de la Actividad] Ejecutar --> Verificar[Verificar los Resultados] Verificar --> OK{¿Resultado OK?} OK -- No --> Solucionar[Solucionar el Problema] Solucionar --> Verificar OK -- Si --> FinAct{¿Fin Actividad?} FinAct -- No --> Ejecutar FinAct -- Si --> Revisión[Revisión General] Revisión --> Calificar[Calificar a los Participantes] Calificar --> Fin[Fin] </pre>	<p>Asignar la Actividad: El Profesor explica el propósito y se entregan instrucciones detalladas.</p> <p>Ejecutar un Paso de la Actividad: El Alumno ejecuta.</p> <p>Verificar los Resultados: El Alumno verifica, si está correcto continúa el siguiente paso, si no está correcto el alumno intenta Solucionar el Problema.</p> <p>Revisión General: El Alumno revisa todo el proceso, tal de integrar los pasos ejecutados.</p> <p>Calificar a los Participantes: El Profesor califica a los Alumnos, basado en los resultados generales.</p>

El proceso es básicamente iterativo y entrega información de las modificaciones y ajustes a la Planificación Curricular, Planificación de Actividades y Medición de los Tiempos de Ejecución.

Capítulo 4

Resultados

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo del trabajo de título, aplicada la metodología descrita en el Capítulo 3. Los resultados son ordenados en; Planificación Curricular, Unidades Programáticas, Desarrollo de Módulos de Instrucción Teóricos y Desarrollo de los Módulos de Experiencias Prácticas.

Este capítulo mostrará el aporte que la presente memoria hace al Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile.

4.1 Planificación Curricular y Programa de Estudios

A continuación se detallan los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología docente, indicando: El Objetivo General de Curso, Los Sub-Objetivos Generales de cada Unidad Programática y Los Sub-Objetivos de los Módulos.

4.1.1 *Prerrequisitos del Curso*

Los prerrequisitos que deben tener los Potenciales Alumnos son los siguientes:

- Conceptos Básicos de Telecomunicaciones.
 - Arquitectura de redes
 - Teoría de capas (Modelo OSI, TCP/IP)
 - Conocimientos elementales de radio-propagación.
- Conceptos Básicos de Procesamiento de Señales.
- Conocimientos en Tecnologías de la Información.

4.1.2 Potenciales Alumnos

Los potenciales alumnos, pertenecen principalmente a los siguientes grupos humanos:

1. Alumnos de Pregrado del Departamento de Ingeniería Eléctrica, con interés en Telecomunicaciones, Internetworking y Tecnologías de la Información.
2. Profesionales y Técnicos de los Operadores de Telecomunicaciones interesados en actualizar sus conocimientos en las nuevas Tecnologías Convergentes.
3. Profesionales Independientes, Consultores en Tecnologías y de áreas afines con la nueva era de Convergencia.

4.1.3 Potenciales Profesores y/o Relatores

Los potenciales profesores y/o relatores idealmente deben ser Ingenieros Civiles Eléctricos con amplios conocimientos en; Telecomunicaciones, Internetworking, Tecnologías Convergentes y Servicios basados en IP.

Es importante que los profesores y/o relatores, posean experiencia en la Industria de las Telecomunicaciones y Proveedores de Servicios (Redes, Telefonía Fija-Móvil, Internet) asegurando así una entrega madura de los contenidos del curso.

4.1.4 Período de Duración del Curso

El período de duración del curso desarrollado corresponde a 96 horas pedagógicas (de 45 minutos cada una), distribuidas en 3 clases semanales de 2 horas pedagógicas cada una. En total, si consideramos un semestre académico compuesto por 16 semanas. Si en la práctica se dispone de menos horas por semestre, será necesario realizar ajustes de la extensión de algunos contenidos, según las características de la audiencia.

4.1.5 *Objetivo General del Curso*

El Objetivo General de Curso, se formaliza en: “Al término del curso (teoría y práctica) el alumno será capaz de comprender y describir las Tecnologías Convergentes: LTE, IMS e SIP”.

Este objetivo general, se logrará con el cumplimiento de los sub-objetivos generales.

4.1.6 *Sub-Objetivos Generales de Curso*

Los Sub-Objetivos Generales del Curso son transversales a los contenidos teóricos y prácticos tratados en el curso y persiguen que el alumno sea capaz de entender y describir los conceptos básicos de las comunicaciones digitales y su relación con las tecnologías LTE, IMS e ISP, estudiadas.

Los principales conceptos básicos de las comunicaciones digitales, que el alumno deberá manejar al finalizar el curso son los dieciocho indicados en la Tabla 4-1:

Tabla 4-1 : Sub-Objetivos Generales del Curso

Conceptos Básicos de las Comunicaciones Digitales	
01.- Modulación	10.- Confiabilidad
02.- Codificación	11.- Conexión uno a uno, uno a varios y uno a muchos.
03.- Multiplexión	12.- Formato de la Información
04.- Control de Errores de Transmisión	13.- Seguridad
05.- Control de Flujo	14.- Escalabilidad
06.- Conectividad y Direccionamiento	15.- Administración de los recursos
07.- Capacidad de Transporte y Control de Congestión	16.- Modelos de Referencia (OSI-TCP/IP)
08.- Fragmentación y Re-ensamble	17.- Modelo Jerárquico de Redes
09.- Determinación de rutas y conmutación	18.- Arquitecturas, Funcionalidades y Servicios

4.1.7 *Objetivos Específicos*

Los objetivos específicos del curso, son detallados en cada uno de los módulos resultantes de las Unidades Programáticas, a saber:

4.1.7.1 Unidad Programática LTE

1.- Módulo: Principios Básicos Comunicaciones Inalámbricas

El objetivo específico del módulo de instrucción es nivelar los conocimientos de teoría de comunicaciones en los alumnos, relativos a los temas de: Propagación de radio, Tecnología de Expansión de espectro, Codificación, Tecnologías de Entrelazado, Modulación y Ruido.

2.- Módulo: Principios Básicos de WCDMA

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno adquiera los conocimientos de WCDMA relativos a los temas de: Procedimiento de transmisión de datos, Codificación de Canal, Tecnología de Expansión y Modulación.

3.- Módulo: Tecnología HSDPA

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno adquiera los conocimientos de HSDPA relativos a los temas de: Principios y Tecnologías Claves; AMC, HARQ y Programación.

4.- Módulo: El Camino hacia la 4G – Tecnologías

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno adquiera los conocimientos de las tecnologías habilitadoras en el camino a la cuarta generación de redes móviles (4G): OFDM, SDR, Modulaciones Adaptativas, Antenas Inteligentes y MIMO.

5.- Módulo: Claves de la Tecnología LTE

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno adquiera los conocimientos de las tecnologías claves de LTE: Arquitectura LTE/SAE, OFDMA, MIMO, Procesos LTE, Femtoceldas y SON.

6.- Módulo: Principios de OFDM

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno adquiera los conocimientos de OFDM relativos a los temas de: Elementos Básicos, Tecnologías Claves, Aplicación en el DL y en el UL.

7.- Módulo: Principios de MIMO

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno adquiera los conocimientos de MIMO relativos a los temas de: Modo de Tránsito, Rendimiento y Aplicaciones.

8.- Módulo: Experiencia LTE

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno pueda experimentar y medir en Laboratorio el Acceso LTE relativo a: Pruebas de Rendimiento UL y DL, con Servicios UDP y TCP, con MIMO 2x2 Adaptivo y Diversidad de Transmisión 2x2. Además realizar pruebas funcionales de Handover S1 y X2 y Servicios de Video Streaming.

En este módulo también se propone una experiencia (opcional) para realizar en el Campus de la FCFM y en sus inmediaciones. Esta experiencia fue realizada para prueba y demostración con los Operadores VTR y Entel, sin embargo requiere más recursos de tiempo y traslado de las personas, por estos motivos se plantea como una experiencia opcional.

4.1.7.2 Unidad Programática IMS y LTE+IMS

1.- Módulo: Telefonía

El objetivo específico del módulo de instrucción es nivelar los conocimientos de teoría de comunicaciones en los alumnos, relativos a los temas de: Telefonía Tradicional, Telefonía IP y Transporte de Voz en la Telefonía IP.

2.- Módulo: Señalización en Telefonía IP

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno adquiera los conocimientos de Telefonía IP relativos a los temas de: H.323, SIP, MEGACO, Transporte de Señalización de la PSTN en IP y Ejemplos de Implementaciones de Telefonía IP.

3.- Módulo: Calidad de Servicio

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno adquiera los conocimientos de Calidad de Servicio relativos a los temas de: Conceptos, MOS, Parámetros que inciden en el QoS, Modelos de QoS y Arquitecturas de QoS.

4.- Módulo: Claves de la Tecnología IMS

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno adquiera los conocimientos de IMS relativos a los temas de: Arquitectura, Protocolos, Servidores de Aplicación, Escalabilidad y Seguridad.

5.- Módulo: IMS – Servicios Multimedios Convergentes

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno adquiera los conocimientos de Servicios IMS relativos a los temas de: Estandarización, Capa de Servicios y SOA.

6.- Módulo: Experiencia IMS

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno pueda experimentar el núcleo IMS y sus entidades relativo a: Funcionalidades de Inicio, Registro, Llamadas, Fallas de sus entidades, Operación entre dos núcleos IMS, Roaming de los Usuarios y pruebas de servicios IPTV.

7.- Módulo: LTE el Futuro de IMS

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno adquiera los conocimientos de LTE como tecnología habilitadora de Servicios IMS relativos a los temas de: VoLTE e IMTC, Desafíos del Desarrollo de IMS y Ejemplos Aplicados de IMS.

8.- Módulo: Experiencia LTE+IMS

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno pueda experimentar el núcleo IMS utilizando la red de Acceso LTE, en este sentido la experiencia LTE+IMS es básicamente similar a la experiencia IMS, pero esta vez los usuarios acceden al núcleo IMS vía la red LTE.

4.1.7.3 Unidad Programática ISP y LTE+IMS+ISP

1.- Módulo: Fundamentos de TCP/IP

El objetivo específico del módulo de instrucción es nivelar los conocimientos de la suite de protocolos TCP/IP en los alumnos, relativos a los temas de: Arquitectura, Direccionamiento, ARP, ICMP, Capa de Transporte, Protocolos, Servicios y Aplicaciones.

2.- Módulo: Fundamentos de Ruteo

El objetivo específico del módulo de instrucción es nivelar los conocimientos de los Principios de Ruteo en los alumnos, relativos a los temas de: Fundamentos, Clasificación de los Protocolos, Ruteo estático y Ruteo por defecto.

3.- Módulo: Protocolos de Ruteo

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno adquiera los conocimientos de Protocolos de Ruteo relativos a los temas de: RIP, IGRP, EIGRP, OSPF y BGP.

4.- Módulo: MPLS

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno adquiera los conocimientos de MPLS relativos a los temas de: Motivación, Conceptos básicos, Etiquetas MPLS, Aplicaciones, VPN y AToM.

5.- Módulo: Servicios ISP

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno adquiera los conocimientos de Servicios ISP relativos a los temas de: TCP o UDP, DNS, DHCP, HTTP y HTTPS, Proxy, FTP y FTPS, TFTP y E-mail.

6.- Módulo: Ambientes Abiertos

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno conozca los Ambientes Abiertos y Estrategias en que desarrolla la Industria ISP relativos a los temas de: Software Open Source, Mejores Prácticas e Internet Overbooking.

7.- Módulo: Experiencia ISP

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno pueda experimentar y registrar los servicios claves de un ISP, relativos a: Servicio DHCP y Servicio DNS.

8.- Módulo: Operadores Convergentes

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno conozca el Despliegue de los Operadores Convergentes de Telecomunicaciones relativos a los temas de: Arquitecturas Convergentes y Redes Backhaul.

9.- Módulo: Experiencia LTE+IMS+ISP

Los objetivos específicos del módulo de instrucción son que el alumno pueda experimentar y registrar los servicios claves de un ISP, relativos a: Servicio DHCP y Servicio DNS, Accediendo vía la red de Acceso LTE y Registrados en un núcleo IMS.

4.2 Contenidos, Estrategias y Recursos

El desarrollo del curso consideró la elaboración de un curso teórico constituido por cinco capítulos y un laboratorio constituido por cinco experiencias prácticas, detallados a continuación:

4.2.1 Curso teórico y Laboratorio

La estrategia del curso teórico (cinco capítulos) y del laboratorio (cinco experiencias prácticas) relativas a los módulos y contenidos cubiertos, se organizaron en tres Unidades Programáticas, referenciados en la Tabla 4-2:

Tabla 4-2 : Resumen de Unidades Programáticas

Unidad	T: Teórico P: Práctico	Descripción	Unidad Programática	Horas Estimadas
1	T1	Capítulo teórico LTE	LTE	31
	P1	Experiencia LTE		
2	T2	Capítulo teórico IMS	IMS y LTE+IMS	26
	P2	Experiencia IMS		
	T3	Capítulo teórico LTE+IMS		
	P3	Experiencia LTE+IMS (Experiencia de Telefonía IP – ToIP)		
3	T4	Capítulo teórico ISP	ISP y LTE+IMS+ISP	39
	P4	Experiencia ISP		
	T5	Capítulo teórico LTE+IMS+ISP		
	P5	Experiencia LTE+IMS+ISP		

En las Tablas: Tabla 4-3, Tabla 4-4 y Tabla 4-5 se detallan los Módulos de Instrucción, los Contenidos, la Estrategia y los Recursos desarrollados:

Tabla 4-3 : Unidad Programática LTE

Módulos de Instrucción	Contenidos	Estrategia	Recursos
Principios Básicos Comunicaciones Inalámbricas	Características de la propagación de radio. Tecnología de expansión (Spreading). Codificación de Canal. Tecnología de Entrelazado (Interleave). Modulación. Ruido.	Clase Expositiva	Presentación LTE-01
Principios Básicos de WCDMA	Procedimiento de transmisión de datos en WCDMA. Codificación de Canal en WCDMA. Tecnología de Expansión en WCDMA. Modulación en WCDMA.	Clase Expositiva	Presentación LTE-02
Tecnología HSDPA	Introducción a HSDPA Principios de HSDPA Tecnología Clave - AMC Tecnología Clave – HARQ Tecnología Clave – Rápida Programación Resumen HSDPA	Clase Expositiva	Presentación LTE-03
El Camino hacia la 4G – Tecnologías	OFDM. SDR. Modulaciones Adaptativas. Antenas Inteligentes. MIMO.	Clase Expositiva	Presentación LTE-04
Claves de la Tecnología LTE	Evolución de las Comunicaciones Móviles Arquitectura LTE/SAE OFDM Principios y Canales de Radio Tecnología Clave – MIMO/ICIC Procesos LTE Femtoceldas LTE SON	Clase Expositiva	Presentación LTE-05
Principios de OFDM	Elementos Básicos Ventajas y Desventajas Tecnologías Claves Aplicación en el DL Aplicación en el UL	Clase Expositiva	Presentación LTE-06
Principios de MIMO	Introducción a LTE MIMO Modo de Tránsito – Introducción Teórica Rendimiento MIMO Aplicaciones MIMO	Clase Expositiva	Presentación LTE-07
Experiencia LTE	Pruebas de Laboratorio LTE Pruebas de Campo LTE (opcional)	Experiencia Guiada	Experiencia LTE

Tabla 4-4 : Unidad Programática IMS y LTE+IMS

Módulo de Instrucción	Contenidos	Estrategia	Recursos
Telefonía	Introducción Telefonía Tradicional Telefonía IP Transporte de Voz en la Telefonía IP	Clase Expositiva	Presentación IMS-01
Señalización en Telefonía IP	H.323 SIP – El Enfoque Internet MEGACO – Protocolo de Control de Gateways Transporte de Señalización de la PSTN en IP Implementaciones de Telefonía IP - Ejemplos	Clase Expositiva	Presentación IMS-02
Calidad de Servicio	Introducción MOS Parámetros que Inciden en el QoS Modelos de QoS Arquitecturas de QoS	Clase Expositiva	Presentación IMS-03
Claves de la Tecnología IMS	Introducción Arquitectura Protocolos Servidores de Aplicación Escalabilidad y Seguridad	Clase Expositiva	Presentación IMS-04
IMS – Servicios Multimedios Convergentes	Introducción Estatus de la Estandarización Vista desde la Capa de Servicios IMS y SOA Resumen	Clase Expositiva	Presentación IMS-05
Experiencia IMS	Análisis de IMS en máquina Virtual Registro , análisis de tráfico Conexión - Desconexión	Experiencia Guiada	Experiencia IMS
LTE el Futuro de IMS	Introducción a LTE VoLTE e IMTC Introducción a IMS Desafíos del Desarrollo de IMS Ejemplos de Desarrollo Aplicados de IMS	Clase Expositiva	Presentación IMS-06 (LTE+IMS)
Experiencia LTE+IMS	Pruebas en Laboratorio LTE+IMS	Experiencia Guiada	Experiencia LTE+IMS

Tabla 4-5 : Unidad Programática ISP y LTE+IMS+ISP

Módulo de Instrucción	Contenidos	Estrategia	Recursos
Fundamentos de TCP/IP	Arquitectura TCP/IP Direccionamiento IP ARP (Address Resolution Protocol) ICMP (Internet Control Message Protocol) Capa de Transporte Protocolos, Servicios y Aplicaciones sobre TCP/IP	Clase Expositiva	Presentación ISP-01
Fundamentos de Ruteo	Fundamentos de Ruteo Clasificación de los Protocolos de Ruteo Ruteo estático y Ruteo por defecto	Clase Expositiva	Presentación ISP-02
Protocolos de Ruteo	Protocolo RIP Protocolo IGRP Protocolo EIGRP Protocolo OSPF Protocolo BGP	Clase Expositiva	Presentación ISP-03
MPLS	Introducción Falencias del Ruteo basado en IP Conceptos básicos de MPLS Etiquetas MPLS y Stack de Etiquetas Aplicaciones sobre MPLS MPLS VPN AToM	Clase Expositiva	Presentación ISP-04
Servicios ISP	Servicios vía TCP o UDP Servicios DNS Servicios DHCP Servicios HTTP y HTTPS Servicios Proxy Servicios FTP y FTPS Servicios TFTP Servicios de E-mail	Clase Expositiva	Presentación ISP-05
Ambientes Abiertos	Software Open Source Mejores Prácticas Internet Overbooking	Clase Expositiva	Presentación ISP-06
Experiencia ISP	Habilitación de DHCP Habilitación de DNS	Experiencia Guiada	Experiencia ISP
Operadores Convergentes	Arquitecturas Convergentes Redes Backhaul	Clase Expositiva	Presentación ISP-07 (LTE+IMS+ISP)
Experiencia LTE+IMS+ISP	Pruebas de Laboratorio LTE+IMS+ISP	Experiencia Guiada	Experiencia LTE+IMS+ISP

4.3 Recursos Desarrollados

En esta sección se presentan los recursos que serán utilizados, entre los que se encuentran el material docente, las presentaciones, las guías prácticas, los controles, el examen y el entorno de las experiencias de laboratorio.

4.3.1 *Material Docente Teórico y Práctico*

El material docente teórico desarrollado es fruto de la revisión bibliográfica que fue seleccionado y materializado en Presentaciones. El material docente práctico desarrollado es fruto de las experiencias realizadas en el Laboratorio LTE en conjunto con la empresa ZTE y materializado en guías prácticas.

El material docente (teórico y práctico) desarrollado, se anexa en el DVD titulado “Curso y Laboratorio LTE de Servicios sobre Acceso LTE y Packet Core IMS”. Además en el DVD se anexan las evaluaciones (tareas, controles y examen) propuestas para el curso.

El material docente puede ser implementado en el apoyo a una cátedra del DIE, con una duración estimada de noventa y seis (96) horas pedagógicas.

4.3.2 *Evaluaciones al Curso (Teórico y Práctico)*

Se elaboró un documento de evaluación que contiene preguntas cuyas respuestas están cubiertas en el curso. Estas preguntas fueron ordenadas en grupos que permiten definir tres (3) controles parciales a lo largo del curso (C1, C2 y C3), la nota de control (NC), se calculará como el promedio aritmético de las notas obtenidas en los dos controles parciales y el examen (E), según la Ecuación 4-1:

$$NC = (C1 + C2 + C3 + E) / 4$$

Ecuación 4-1 : Nota Control

Además de las guías de las experiencias Prácticas, se desarrolló un documento con Tareas Propuestas, para complementar el auto-estudio del Alumno.

Todas las actividades complementarias serán evaluadas con tareas (NT) y experiencias prácticas de laboratorio (NLab).

La aprobación del curso requiere que NC sea igual o superior a 4.0 y que el promedio de cada actividad complementaria sea también superior a 4.0.

La nota final (NF) del curso se calculará según la Ecuación 4-2:

$$NF = (55*NC + 30*NLab + 15*NT) / 100 \quad \text{Ecuación 4-2 : Nota Final}$$

La Figura 4-1, muestra un ejemplo del formato de las evaluaciones, las cuales contienen preguntas de desarrollo, alternativas múltiples, verdadero y falso.

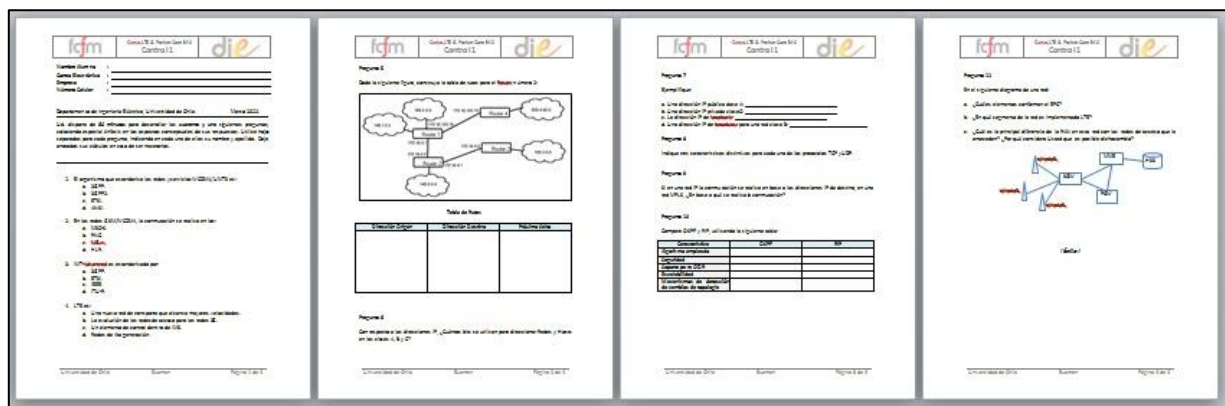


Figura 4-1 : Ejemplo del Formato de las Evaluaciones

4.3.3 Curso Teórico - Presentaciones

Las presentaciones desarrolladas representan un aporte importante a la ejecución del curso, permitiéndole al profesor y/o relator abarcar gráficamente los contenidos. Las presentaciones contienen la materia que se cubre en las clases de manera estructurada y gráfica.

Para las presentaciones se utilizó un patrón de fondos común y simple con el objetivo de no distraer al alumno.

La Figura 4-2, muestra un ejemplo del formato de las presentaciones:

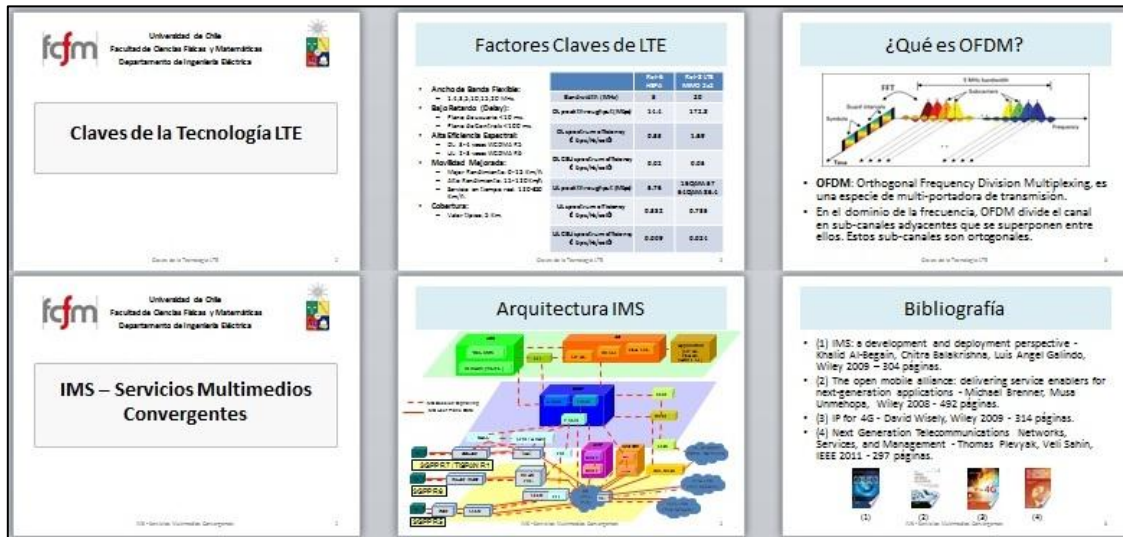


Figura 4-2 : Ejemplo del formato de las Presentaciones

En resumen, el Curso Teórico desarrollado quedó compuesto por un total de 1.209 páginas PowerPoint, con la siguiente distribución:

- Curso Teórico LTE: 303 páginas
- Curso Teórico IMS y LTE+IMS: 375 páginas
- Curso Teórico ISP y LTE+IMS+ISP: 531 páginas

4.3.4 Laboratorio - Experiencias Prácticas

Como parte de este trabajo de título, se diseñaron e implementaron experiencias docentes para los alumnos, complementando otros laboratorios docentes existentes en la actualidad en el DIE. La Tabla 4-6, muestra la estructura utilizada:

Tabla 4-6 : Estructura de las Experiencias

Título de la Experiencia			
1	Introducción	5	Materiales
2	Resumen	6	Requisitos
3	Objetivos	7	Bibliografía
4	Esquema General de Conexiones	8	Desarrollo de la Actividad

4.3.5 Mapeo Conceptual entre las Experiencias Prácticas y los Capítulos Teóricos

La memoria pone énfasis en las experiencias prácticas, como una instancia de reforzamiento de contenidos teóricos y aprendizaje de técnicas. La Tabla 4-7, muestra gráficamente el concepto:

Tabla 4-7 : Mapeo Conceptual Teórico - Práctico

Mapeo Conceptual	Curso Teórico				
	Capítulo LTE	Capítulo IMS	Capítulo LTE+IMS	Capítulo ISP	Capítulo LTE+IMS+ISP
Experiencia LTE	√				
Experiencia IMS		√			
Experiencia LTE+IMS	√	√	√		
Experiencia ISP				√	
Experiencia LTE+IMS+ISP	√	√	√	√	√

4.3.6 Validación de las Experiencias

Durante el desarrollo de la memoria, el memorista también asistió a las clases del Magister en Ingeniería de Redes de Comunicaciones (MIRC) del DIE de la Universidad de Chile, aprovechando esta instancia, para realizar el enunciado teórico de las experiencias y chequearlo con los profesores. Es decir, los enunciados teóricos de las experiencias fueron validados con distintos académicos del MIRC.

Durante la implementación de las experiencias en el Laboratorio de LTE, en conjunto con la empresa ZTE, se realizó una selección de las experiencias las cuales fueron mostradas en formato demostración a los Operadores Nacionales (Entel y VTR) teniendo una buena acogida.

Finalmente, la instancia de validación detallada de las experiencias fue el trabajo de Laboratorio en conjunto con otros memoristas que desarrollan temas relacionados a LTE y sus servicios.

La Figura 4-3, muestra un ejemplo del formato de las guías de las experiencias prácticas de laboratorio.

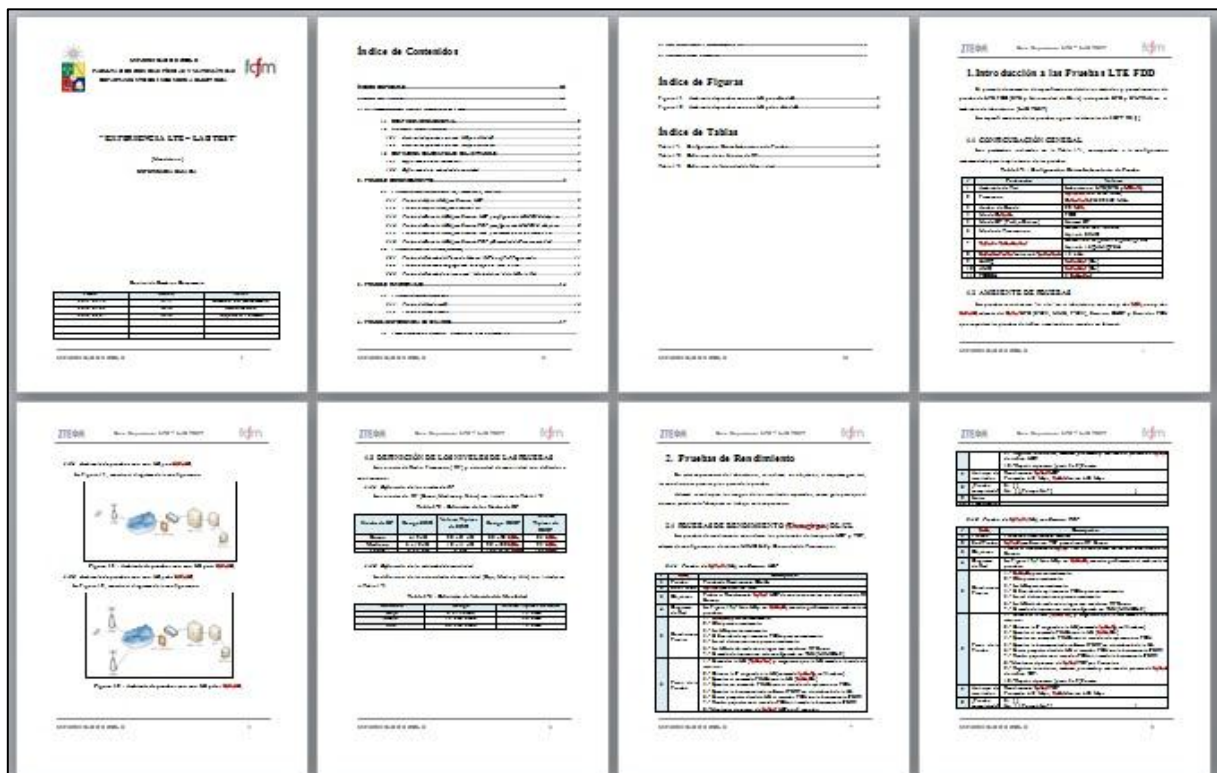


Figura 4-3 : Ejemplo del Formato de las Guías de Experiencias Prácticas

En resumen, Las Experiencias Prácticas desarrolladas son las siguientes:

- Experiencia LTE
 - En Laboratorio (Mandatorio)

- En el Campus de FCFM (Opcional)
- Experiencia IMS
- Experiencia LTE+IMS
- Experiencia ISP
- Experiencia LTE+IMS+ISP

4.3.7 Trabajo y Colaboración en las Experiencias con otras Memorias

Las experiencias de laboratorio, se desarrollaron, implementaron y probaron en conjunto con expertos de la empresa China ZTE y los memoristas, Sr. Cristián Segura y Sr. Sebastián Rivas que desarrollan los siguientes temas relacionados:

Tema1: “Diseño e Implementación de una metodología para la medición de QoS/QoE en servicios OTT sobre una plataforma IMS/LTE”.

Memorista: Sr. Cristián Segura

Descripción general: Esta memoria tiene por objetivo diseñar una metodología para la medición tanto de QoS como QoE en servicios de IPTV, ToIP y algunos servicios OTT en una red móvil LTE, cuyo Evolve Packet Core (EPC) se interconectará a un IP Multimedia Subsystem (IMS) Open Source.

Tema2: “Desarrollo de Servicio de Next Generation TV para Operador con Core IMS/EPC montado sobre LTE”.

Memorista: Sr. Sebastián Rivas

Descripción general: El trabajo de memoria consiste en la investigación de herramientas y luego la implementación e integración de estas para lograr el desarrollo de un servicio de televisión de próxima generación a ser montado en redes convergentes NGN aprovechando las virtudes que estas ofrecen. Se pretende lograr un enriquecimiento de los servicios de televisión tradicionales en un ambiente de laboratorio, logrando así una prueba de concepto de las prestaciones que se pueden implementar.

Capítulo 5

Discusión de Resultados

En este capítulo se analiza la aplicación de la metodología docente, la validación de las experiencias prácticas, alcance e impacto de los resultados obtenidos y el valor agregado para los Operadores de Telecomunicaciones.

5.1 Metodología Docente Utilizada

El trabajo de memoria aplicó íntegramente la metodología docente propuesta relativo a los procesos de Planificación: Recolección de la Información (P-1), Formulación del Objetivo Principal y Sub-Objetivos Generales del Curso (P-2), Diseño del Programa de Estudios (P-3), Diseño del Programa de Módulos de Instrucción (P-4), Diseño del Programa de Evaluación (P-5).

Respecto a los procesos de Desarrollo: Implantación del Diagnóstico (P-6), Clase Directa y Evaluación Formativa (P-7) y Evaluación Acumulativa (P-8) se realizaron las siguientes consideraciones debido a que estos procesos serán aplicados íntegramente cuando sea impartido el curso y laboratorio:

Implantación de Diagnóstico (P-6): El trabajo incorporó módulos de instrucción de nivelación de conocimiento en las tres unidades programáticas (LTE, IMS e ISP) tal de cubrir los contenidos básicos y así asegurar la comprensión del alumno en los temas centrales de cada unidad.

Clase Directa y Evaluación Formativa (P-7): El trabajo consideró test en los módulos, tal de apoyar la formación y las Clase Directiva será realizada cuando sea impartido el curso.

Evaluación Acumulativa (P-8): El trabajo formalizó una propuesta de tres controles (C1, C2 y C3) acumulativos, el examen (E) y Tareas (T) en el Curso Teórico desarrollado y cinco experiencias (Lab) evaluables en el Laboratorio desarrollado. La aplicación de estas evaluaciones, será realizada cuando el curso sea impartido.

5.2 Validación de las Experiencias Prácticas

Como ya se formalizó en el Capítulo de Resultados, el trabajo de memoria pudo realizar la validación de las experiencias en conjunto con expertos de la empresa ZTE, Operadores de Telecomunicaciones Nacionales (Entel y VTR) y memoristas que desarrollan temas relacionados.

5.3 Alcance e Impacto de los Resultados Obtenidos

La memoria de título plantea una propuesta innovadora para un curso electivo del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile (curso que puede ser impartido en un semestre académico) en tecnologías convergentes y de vertiginoso desarrollo. Las materias presentadas en este curso son estudiadas en otros cursos del DIE, de manera más teórica, por lo tanto, el curso y laboratorio desarrollado es un complemento y apoyo, entregando un nuevo enfoque práctico y orientado a la industria.

Por otro lado, el curso desarrollado cuenta con un material docente de apoyo a las clases expositivas y a las experiencias prácticas. Este material cubre las tecnologías convergentes LTE, IMS e ISP.

La habilitación del Laboratorio LTE de ZTE a la comunidad Universitaria con experiencias claras y repetibles, se extiende más allá del DIE, pues sitúa a la Universidad de Chile en el ambiente Internacional de “Trial Test LTE”.

Es importante mencionar que el trabajo de título tiene amplias proyecciones en el plano investigativo (Magíster), pues la habilitación del laboratorio LTE constituye una excelente plataforma para nuevos trabajos de magíster, por ejemplo: validación de modelos teóricos simulados con herramientas como MATLAB, medición de calidad de servicio, integración de IPTV y otros servicios IP.

En conjunto con los profesores del MIRC (Magíster en Ingeniería de Redes de Comunicaciones) del DIE se planifica incorporar los contenidos y experiencias en las futuras versiones del Magíster.

En resumen, el trabajo de título es un aporte importante a los alumnos y futuros ingenieros eléctricos que deseen profundizar en las tecnologías convergentes (LTE, IMS e ISP) y los servicios soportados por ellas.

5.4 Valor Agregado para los Operadores de Telecomunicaciones

Como se planteó en los objetivos, el curso y laboratorio desarrollado puede ser impartido a los profesionales y técnicos de los Operadores de telecomunicaciones nacionales.

A continuación, se enumeran las características de valor agregado que significa para estas empresas, capacitar a sus Profesionales y Técnicos en el DIE de la Universidad de Chile:

1. Laboratorios LTE con equipamiento comercial habilitado.
2. Laboratorio de Switching & Routing habilitado.
4. Complemento de los cursos con ejemplos de casos reales y actuales, en el contexto y conocimiento del mercado Chileno.
5. El curso y laboratorio desarrollados son flexibles y pueden ser adecuados a las necesidades de capacitación específicas de cada Operador, por ejemplo: se puede realizar una prueba de diagnóstico inicial, para potenciar los temas a estudiar en función de las falencias detectadas.
7. Ejecución de un Examen final independiente, con el cual se opta a una certificado de la FCFM de la Universidad de Chile.
8. Oportunidad de intercambio de experiencias prácticas, para integrar los contenidos del curso con el análisis de problemas reales, la lección aprendida y la aplicación de buenas prácticas tanto en la Ingeniería como en la Operación.

Finalmente, es importante destacar que el curso es impartido en idioma español, en Santiago de Chile y en un horario a coordinar con cada empresa.

Debido a lo anterior, se considera que el Curso y Laboratorio entrega un valor agregado importante a las empresas Operadoras, con un contenido de excelente calidad, disminución de costos (al no considerar viajes al extranjero) y amplía la cobertura en cantidad de Profesionales y Técnicos a capacitar.

Capítulo 6

Conclusiones

En este capítulo se describen las metas y logros y una propuesta para trabajos futuros.

6.1 Metas y Logros

El trabajo realizado presentó resultados satisfactorios desde el punto de vista de los objetivos propuestos en un principio, así como los que se desarrollaron a medida que este trabajo avanzó.

El material docente desarrollado y las guías prácticas son un reflejo del cumplimiento del objetivo de establecer una base de nociones y conocimientos tecnológicos avanzados sobre tecnologías LTE, IMS e ISP. El análisis de la arquitectura consideró factores como: la flexibilidad, escalabilidad, seguridad, confiabilidad y calidad que presentan las tecnologías estudiadas. En este sentido se puede decir que se logró el primer objetivo, ya que se seleccionaron los temas más relevantes en el entendimiento de los servicios soportados por estas tecnologías.

En cuanto a la metodología docente empleada en este proyecto, se puede concluir que fue utilizada de manera adecuada y con resultados satisfactorios. El programa de estudios construido permite entregar un curso avanzado teórico de tecnologías LTE, IMS e ISP. En cuanto a las experiencias prácticas, se generaron las guías de las experiencias que complementan los conocimientos impartidos en la parte teórica.

Un logro importante que se obtuvo en el desarrollo de este trabajo de memoria fue el material y las experiencias prácticas guiadas. Los contenidos vistos en este material son mayoritariamente auto-explicativos ayudando a la comprensión del alumno.

6.2 Trabajos Futuros

En esta sesión se comentan los trabajos futuros que se deriven del realizado, de manera de dejar propuestas formas de complementar el trabajo desarrollado.

El trabajo puede ser complementado, desde los puntos de vista teórico y práctico utilizando simulaciones con herramientas como MATLAB, validando modelos con los datos empíricos obtenidos en el laboratorio LTE.

Actualmente el laboratorio no está conectado a Internet, pero en el futuro sí lo estará, dando la opción del estudio e interacción “en línea” con servicios OTT en ambientes de código abierto.

También, en el futuro cercano con la incorporación de más “Modems o Dungles LTE” (actualmente el laboratorio cuenta con 4 UE aún experimentales y no comerciales) se podrá dotar a los Académicos y Alumnos de la FCFM de acceso al laboratorio desde cualquier punto de la facultad, posibilitando la creación de nuevas experiencias, investigaciones y desarrollos, teniendo como referencia y guía los contenidos de la presente memoria.

En este sentido, la validación de los resultados de este proyecto debe considerarse como un proceso constante, para tener acceso a un curso actualizado y que cumpla con el objetivo de preparar a los alumnos frente a los requerimientos de la industria. La estructura desarrollada para este curso cumple con lo anterior, ya que fuera de ser flexible, entrega la posibilidad de ingresar nueva información que provenga de nuevos servicios soportados por las tecnologías LTE, IMS e ISP.

6.3 Proyecciones en la Investigación

Como ya se indicó en el Capítulo 5, el trabajo de título tiene amplias proyecciones en el plano investigativo (Magister) disponiendo de una plataforma de laboratorio LTE habilitada. Además se planifica incorporar los contenidos y experiencias desarrolladas en las nuevas versiones del Magíster en Ingeniería de Redes de Comunicaciones (MIRC) del DIE.

Con satisfacción, podemos concluir que el trabajo de memoria tiene continuidad.

Capítulo 7 Bibliografía

Agusti Ramón [y otros] LTE Nuevas Tendencias en Comunicaciones Móviles [Libro]. - [s.l.] : Fundación Vodafone España., 2010.

Ali-Yahiya Tara Understanding LTE and its Performance [Book]. - [s.l.] : Springer, 2011. - 978-1-4419-6456-4.

Asif Saad Zaman Next Generation Mobile Communications Ecosystem: Technology Management for Mobile [Book]. - [s.l.] : Wiley, 2011.

Conlan Patrick J. Cisco Network Professional's Advanced Internetworking Guide [Book]. - [s.l.] : Wiley, 2009.

Dahlman Erik 4G LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband [Book]. - ELSEVIER : 978-0-12-385489-6, 2011.

Espinoza Mauricio Alexis Cerda Diseño e Implementación de un curso para la Gestión/Tipificación de Proyectos en Telecomunicaciones - Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista [Informe]. - 2007.

García-Martín Camarillo y The 3G IP Multimedia Subsystem (IMS): Merging the Internet and the Cellular worlds [Book]. - [s.l.] : Wiley, 2006.

Iniewski Krzysztof Convergence of Mobile and Stationary Next-Generation Networks [Book]. - [s.l.] : Wiley, 2010.

Koch Stefan Multi-Disciplinary Advancement in Open Source Software and Processes [Book]. - [s.l.] : IGI, 2011.

Lapin Nicolai Tchernitchin Diseño e Implementación de una IP-Contact Center distribuida económica y con fines docentes [Libro]. - Santiago : Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2007.

Lucidarme Lescuyer Evolved Packet System (EPS: The LTE and SAE evolution of 3G UMTS [Book]. - [s.l.] : Wiley, 2008.

Meggelen Smith y Madsen Asterisk: Future of Telephony [Book]. - [s.l.] : O'Reilly, 2007.

Miikka Poikselka Georg Mayer The IMS IP Multimedia Concepts and Services [Book]. - [s.l.] : Wiley, 2009. - 978-0-470-72196-4.

Miller Philip TCP/IP - The Ultimate Protocol Guide [Book]. - [s.l.] : Universal Publishers, 2009.

Minei Ina and Lucek Julian MPLS-Enabled Applications: Emerging Developments and New Technologies [Book]. - [s.l.] : Wiley, 2011.

Miranda Javier Construcción de laboratorios Docentes para arquitectura IMS - Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista [Informe]. - 2008.

Negus Christopher Linux Bible 2011 Edition: Boot Up to Ubuntu, Fedora, KNOPPIX, Debian, OpenSUSE [Book]. - [s.l.] : John Wiley & Sons, 2011.

Noldus Rogier, Olsson Ulf and Mulligan Catherine IMS Application Developer's Handbook: Creating and Deploying Innovative IMS Applications [Book]. - [s.l.] : AP Press, 2011.

Odom Wendell CCENT/CCNA ICND1 640-822 Official Cert Guide [Book]. - [s.l.] : Cisco Press, 2011.

Peña Paulina Estudio de Arquitecturas para la Convergencia de Telefonía Fija Móvil - Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista [Informe]. - 2007.

Peñaloza Sebastián Diseño e Implementación de un Proveedor de Servicios Genérico con Arquitectura IMS - Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista [Informe]. - 2008.

Penttinen Jyrki The LTE / SAE Deployment Handbook [Book]. - [s.l.] : Wiley, 2011.

Poikselkä Miikka, Holma Harri and Hongisto Jukka Voice Over LTE (VoLTE) [Book]. - [s.l.] : John Wiley & Sons, 2012.

Prasad Anand, Buford John and Gurbani Vijay Advances in Next Generation Services and Service Architectures [Book]. - [s.l.] : River Publishers, 2011.

Rojas Patricio Antonio Wolff Diseño e Implementación de un Curso de Servicios Sobre Redes HFC de Nueva Generación - Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista [Informe]. - 2009.

Rooney Timothy IP Address Management Principles and Practice [Book]. - [s.l.] : IEEE 2011, 2011.

Rottman Kurt Diseño e Implementación de un Laboratorio de IPTV, Medición y Gestión - Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista [Informe]. - Santiago : Universidad de Chile, 2010.

Rumney Moray LTE and the Evolution to 4G Wireless: Design and Measurement Challenges [Book]. - [s.l.] : Agilent Technologies, 2009.

Rupp Markus, Caban Sebastián and Mehlführer Christian Evaluation of HSDPA and LTE: From Testbed Measurements to System Level Performance [Book]. - [s.l.] : Wiley, 2011.

Russell Travis THE IP MULTIMEDIA SUBSYSTEM (IMS) Session Control and Other Network Operations [Book]. - [s.l.] : McGraw-Hill, 2008.

Sauter Martin BEYONF 3G: Bringing Networks, Terminals and the Web together. LTE, WiMAX, IMS, 4G Devices and the Mobile Web 2.0 [Book]. - [s.l.] : Wiley, 2009.

Stefania Sesia Issam Toufik and Matthew Baker LTE, the UMTS Long Term Evolution, from theory to practice [Book]. - [s.l.] : Wiley, 2009. - 978-0-470-69716-0.

Toskana Harri Holma and Antti LTE for UMTS - OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access [Book]. - [s.l.] : Wiley, 2009.

Viola Soto Claudio Riquelme Diseño de Cursos Universitarios [Libro]. - Santiago : [s.n.], 1978.

Web_3GPP <http://www.3gpp.org/> [Online]. - 2012. - 1 10, 2012.

Web_4GAMERICAS <http://www.4gamericas.org/> [Online]. - 10 10, 2011. - http://www.4gamericas.org/UserFiles/file/White%20Papers/3G_Americas_RysavyResearch_HS_PA-LTE_Advanced_FINALv1x.pdf.

Web_GSACOM <http://www.gsacom.com/> [Online]. - 1 20, 2012. - <http://www.gsacom.com/>.

Web_IMSFORUM <http://www.imsforum.org/> [Online]. - 2 21, 2012. - <http://www.imsforum.org/>.

Web_LTEMAPS <http://ltemaps.org/> [Online]. - 1 21, 2012. - <http://ltemaps.org/>.

Web_OPENIMSCORE <http://www.openimscore.org/> [Online]. - 10 11, 2011.

Wuthnow Mark, Shih Jerry and Stafford Matthew IMS: A New Model for Blending Applications [Book]. - [s.l.] : Taylor and Francis, 2009.

Capítulo 8

Anexos

8.1 LTE Advanced

La ITU-R es el encargado de estandarizar LTE-Advanced. El marco general, los aspectos técnicos, operativos y los objetivos están definidos en la Recomendación ITU-R M.1645 que contempla consideraciones más allá de IMT-2000 referidos como 4G.

3GPP inició en marzo del año 2008 el “Study Item LTE-Advanced”. El calendario del 3GPP está alineado con el calendario de la ITU, sin embargo, la visión dentro del 3GPP es que LTE-Advanced no debe limitarse a cumplir los requerimientos de IMT-Advanced, sino que debe perseguir unos objetivos mucho más ambiciosos.

LTE se concibe como el punto de inicio para una transición suave hacia el acceso radio 4G, es decir, LTE-Advanced es la evolución de LTE. En este sentido, LTE-Advanced debe asegurar toda una serie de requisitos en relación a la compatibilidad hacia atrás con LTE Release 8. En cuanto a compatibilidad espectral, LTE-Advanced debería poderse desplegar en bandas ocupadas por LTE. Así mismo, el equipamiento LTE debería poder incorporar las funcionalidades LTE-Advanced con una complejidad y coste razonablemente bajos.

Los requerimientos de LTE-Advanced establecidos en 3GPP (TR 36.913) distinguen diferentes categorías: generales, capacidades (velocidad de transmisión máxima, latencias), prestaciones del sistema (eficiencia espectral, throughput en el extremo de la célula, movilidad, cobertura, etc.), despliegue (espectro, coexistencia e interoperación con equipamiento de radio existente, etc.), arquitectura E-UTRAN y migración, complejidad, costos, etc.

Para poder satisfacer los requerimientos establecidos (por ejemplo, soporte de velocidades máxima de hasta 1 Gbit/s en Downlink y 500 Mbit/s en Uplink), son necesarias una serie de

mejoras técnicas con respecto a LTE (Release 8). Algunas de las principales componentes técnicas de LTE-Advanced son las siguientes:

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

8.2 LTE e IMS – Antecedentes Docentes

8.2.1 Red de Acceso Evolucionada (E-UTRAN)

8.2.1.1 Arquitectura de E-UTRAN

La arquitectura de la red de acceso la compone el elemento de red eNodeB (eNB) que constituye la estación base de E-UTRAN e integra toda la funcionalidad de la red de acceso, a diferencia de las redes de acceso de GSM y UMTS compuestas por estaciones base (BTS, NodoB) y equipos controladores (BSC y RNC).

En la Figura 8-1, se muestra la red de acceso E-UTRAN formada por eNBs que proporcionan la conectividad entre los equipos de usuario (UE) y el núcleo EPC. Un eNB se comunica con el resto de elementos del sistema mediante tres interfaces: E-UTRAN Uu, S1 y X2. (Agusti, y otros, 2010)

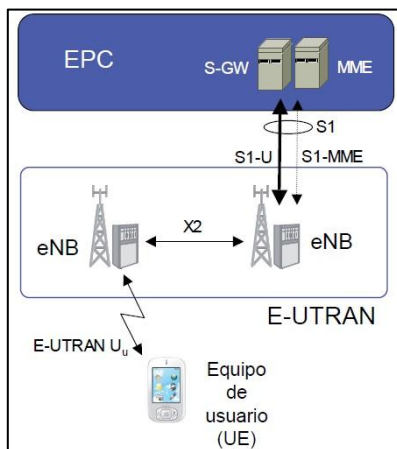


Figura 8-1 : Red de Acceso E-UTRAN

La interfaz E-UTRAN **Uu**, corresponde a la Interfaz de Radio de LTE (también llamada Interfaz de Aire) y permite la comunicación por el canal radio entre el eNB y los UEs.

El eNB se conecta a la red troncal EPC a través de la interfaz **S1**. La Interfaz S1 está compuesta por dos interfaces: S1-MME para el plano de control y S1-U para el plano de usuario. Mediante la interfaz S1-MME, el eNB se comunica con el MME para el soporte de las funciones relacionadas con el plano de control y mediante la interfaz S1-U, el eNB se comunica con el S-GW para el soporte de las funciones del plano de usuario. Esta separación entre entidades de red es una característica importante de LTE que permite dimensionar de forma independiente los recursos de transmisión necesarios para el soporte de la señalización del sistema y para el envío del tráfico de los usuarios.

Los eNBs pueden conectarse entre si mediante la interfaz X2. A través de esta interfaz, los eNB se intercambian mensajes de señalización con el objetivo de una gestión más eficiente del uso de los recursos radio (información para reducir interferencias entre eNBs y otras) así como tráfico de los usuarios del sistema cuando estos se desplazan de un eNB a otro durante un proceso de handover.

8.2.1.2 Elementos de red LTE e Interfaces

En este punto se describe en más detalle las funciones asociadas al eNodeB y las características principales de las tres interfaces: Uu, S1 y X2.

NodoB Evolucionado (eNodeB o eNB)

El eNB integra todas las funciones de la red de acceso, por lo tanto, en el eNB terminan todos los protocolos específicos de la interfaz de radio. El servicio de transferencia de paquetes IP entre un eNB y una UE se denomina servicio portador radio (Radio Access Bearer, RAB). El eNB mantiene el contexto de cada uno de los equipos de usuario que tiene conectados. En el contexto se almacena la información necesaria para mantener los servicios de E-UTRAN activos (información sobre el estado del UE, servicios portadores activos, información de seguridad, capacidades del terminal, etc.).

La funcionalidad clave del eNB consiste en la gestión de los recursos de radio: Control de admisión de los servicios **RAB**, Control de movilidad (decisión de realizar un handover), Asignación dinámica de los recursos radio en el enlace ascendente como descendente (denominadas funciones de *scheduling*), Control de interferencias entre estaciones base, Control de la realización y del envío de medidas útiles desde los UEs para la gestión de recursos.

Además de las funcionalidades listadas, está la funcionalidad del eNB de realizar la selección dinámica del MME del núcleo EPC cuando una UE se registra en la red LTE. Esta función otorga flexibilidad operativa de la red. En E-UTRAN un eNB puede estar conectado simultáneamente a múltiples MMEs del núcleo EPC. El conjunto de MMEs a los que tiene acceso un eNB se denomina su *pool area*. Esta funcionalidad brinda robustez al sistema, eliminando puntos únicos de falla y además permite balancear la carga de señalización entre diferentes MMEs.

Interfaz de Aire (Interfaz de Radio)

La interfaz de aire soporta tres tipos de mecanismos de comunicación en el canal de radio: Difusión (broadcast) de señalización de control, Envío de paquetes IP y Transferencia de

señalización de control dedicada entre un equipo de usuario y el eNB. La Figura 8-2, muestra los tres mecanismos:

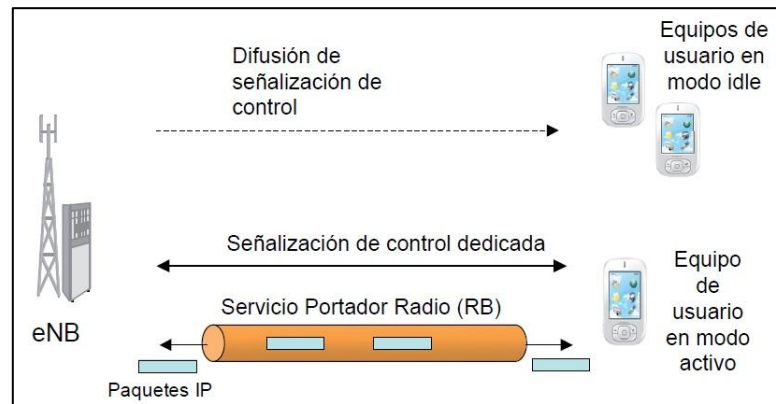


Figura 8-2 : Mecanismos de Comunicación en la Interfaz de Aire

- **Difusión (broadcast) de señalización de control en la zona de cobertura de la celda.** La información enviada permite a los UEs detectar la presencia del eNB y conocer sus parámetros básicos de operación (potencia máxima que pueden utilizar los UEs en la celda entre otros) así como la identidad de los operadores de red a los que puede accederse a través del eNB. La información difundida corresponde tanto a información específica de la red de acceso denominada información del AS (Access Stratum) como de la red EPC denominada información del NAS (Non Access Stratum). La difusión de señalización de control también sirve para forzar que un equipo de usuario que no tenga una conexión de control establecida con el eNB, inicie un acceso a la red (función de aviso o *paging*).
- **Transferencia de paquetes IP de los usuarios a través del canal de radio.** Los servicios de transferencia entre un eNB y un UE se denominan servicios portadores radio (Radio Bearers, RB) que han sido diseñados y optimizados para soportar tráfico IP y no permiten la transferencia de otros protocolos (paquetes X.25, tramas Ethernet, etc.) en la E-UTRAN.

- **Transferencia de señalización de control dedicada entre el eNB y un equipo de usuario.** La comunicación de control dedicada permite gestionar el uso de los servicios RB y de señalización con el EPC (registro del UE en la red y otros). La comunicación de control se soporta mediante el protocolo RRC (Radio Resource Control). Los terminales que mantienen una comunicación de control con E-UTRAN se dice que se encuentran en modo conectado o *active* y en modo *idle* si el terminal no tiene una conexión RRC, pero está monitoreando la información de control difundida por la red.

Interfaz S1

El plano de usuario de la interfaz S1, denominado S1-U, proporciona un servicio de transferencia de datos de usuario entre eNB y S-GW sin garantías de entrega (se basa en UDP) que no soporta mecanismos de control de errores y de control de flujo. Mecanismo de transferencia denominado *S1 bearer*.

El plano de control de la interfaz S1, denominado S1-MME (también S1-C), se utiliza para soportar un conjunto de funciones y procedimientos de control entre eNBs y la entidad MME de la red EPC. Los procedimientos más importantes son:

- Procedimientos para establecimiento, modificación y liberación de recursos de los servicios portadores tanto en la interfaz radio (RB) como en la interfaz S1 (S1 bearer). El mapeo y unión de un servicio portador radio y un servicio portador S1 constituye el servicio portador completo que ofrece la red de acceso E-UTRAN y que se denomina E-RAB (E-UTRAN Radio Access Bearer). Es importante tener en cuenta que en LTE, el establecimiento de estos servicios portadores que constituyen el plano de usuario para la transferencia del tráfico IP se controla desde la red EPC en particular desde la entidad de red MME. Por tanto, en LTE no se permite que un eNB o el UE puedan iniciar por su cuenta el establecimiento de un servicio portador radio.
- Procedimientos de handover entre eNBs. Si la red E-UTRAN decide que un terminal debe cambiar de eNB en el transcurso de una conexión, y **no existe una interfaz X2** entre los

dos eNBs involucrados, la interfaz S1-MME se utiliza para articular el procedimiento de handover. De esta forma, a través de la interfaz S1-MME, la entidad MME puede establecer un nuevo contexto en el eNB destino asociado al terminal que va a realizar el cambio con toda la información relativa a la configuración de los servicios portadores que tiene establecidos el usuario así como las claves de seguridad. De esta forma, el re-establecimiento del servicio a través del nuevo eNB puede hacerse mucho más rápido ya que se evita el tener que ejecutar nuevamente los mecanismos para el establecimiento de los servicios portadores en la interfaz de radio así como los mecanismos de seguridad.

- Procedimiento de aviso (Paging). Una de las funciones básicas de la entidad MME es la gestión de la localización de los UEs en la red. La gestión de localización permite conocer en qué eNB o conjunto de eNBs (denominados áreas de seguimiento, Tracking areas) puede ser localizado un usuario que se encuentre en modo idle, es decir, que no tenga establecida una conexión de control RRC con ningún eNB. Por ello, cuando el MME quiere forzar que un usuario en modo idle pase a modo activo, a través de la interfaz S1-MME se ordena la ejecución del mecanismo de aviso en todos los posibles eNBs en los que espera encontrar al terminal.
- Procedimiento de envío de forma transparente entre MME y eNB de los mensajes de señalización de control que fluyen entre el MME y el UE. Dichos mensajes corresponden a los protocolos denominados como protocolos NAS (Non Access Stratum).

Interfaz X2

El plano de usuario de la interfaz X2 proporciona un servicio de transferencia de datos de usuario entre eNBs basado en UDP, es decir, sin garantías de entrega, sin soporte de mecanismos de control de errores y de control de flujo al igual que S1-U. La transferencia de datos de usuario entre eNBs se realiza vía la interfaz X2 únicamente durante los procedimientos de handover en los que los paquetes de usuario almacenados en el eNB antiguo se transfieren al eNB nuevo. De esta forma, el cambio de eNB asociado a un procedimiento de handover puede resultar más transparente al usuario ya que se reduce la posible pérdida de paquetes durante el proceso. Nótese

que, sobre todo en servicios de datos, el eNB antiguo podría tener acumulados en su buffer de transmisión paquetes IP del usuario en el momento del cambio. Dichos paquetes, cuando el usuario deja de estar accesible a través del eNB antiguo, podrían simplemente descartarse, con la consiguiente penalización en retardo y posible reducción en la tasa de transferencia del servicio asociado ya que la recuperación de dicha información recaería en la operación de las capas superiores (por ejemplo; protocolo TCP en la capa de transporte). En cambio, si la propia red es capaz de transferir los paquetes IP del eNB antiguo al eNB nuevo, el impacto en el servicio puede reducirse notablemente.

El plano de control de la interfaz X2, soporta funciones y procedimientos, a saber:

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

8.2.2 Protocolos

Las pilas de protocolos en las tres interfaces de E-UTRAN (Uu, S1 y X2) se estructuran en torno a un plano de usuario y un plano de control. El plano de usuario utiliza los protocolos para el envío del tráfico (paquetes IP) correspondiente a los servicios que utilizan los terminales a través de la red. El plano de control utiliza los protocolos para soportar las funciones y procedimientos en las diferentes interfaces.

8.2.2.1 Protocolos en la Interfaz de Aire

El envío de paquetes IP entre el eNB y un UE a través de la interfaz aire se apoya en una pila (stack) de protocolos formada por una capa de enlace (nivel 2) y una capa física. La capa de enlace se divide en tres subcapas: PDCP (Packet Data Convergence Protocol), RLC (Radio Link Control) y MAC (Medium Access Control). Cada capa y subcapa de la pila de protocolos se ocupa de un conjunto de funciones y define el formato de los paquetes de datos (cabeceras, colas, etc.) que se intercambian entre entidades remotas. La Figura 8-3, muestra la pila de protocolos utilizada:

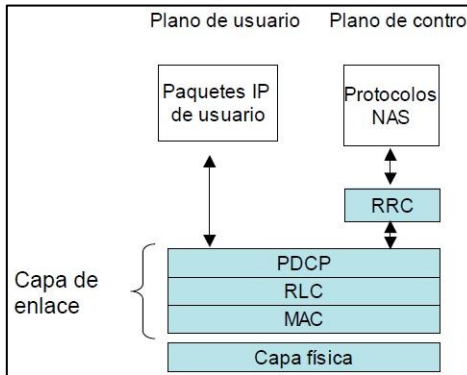


Figura 8-3 : Protocolos de la Interfaz de Aire

Las principales características de las capas y subcapas son las siguientes:

- **PDCP (Packet Data Convergence Protocol):** Capa superior de la pila de protocolos encargada de proporcionar el punto de acceso al servicio portador radio (RB). Es decir, los paquetes IP del tráfico de usuario se entregan y se reciben a través del servicio de transferencia proporcionado por la capa PDCP. Las funciones principales de esta capa son la compresión de cabeceras de los paquetes IP y el cifrado de la información para garantizar su confidencialidad e integridad. La cabecera añadida por la capa PDCP básicamente contiene un número de secuencia que identifica al paquete IP enviado y

permite realizar una entrega ordenada de los paquetes IP en el extremo receptor así como detectar posibles duplicados de los paquetes IP (ocasionados por ejemplo en un proceso de handover). Cada servicio portador radio tiene una entidad PDCP asociada.

- **RLC (Radio Link Control):** Esta capa permite enviar de forma confiable los paquetes PDCP entre el eNB y el UE. Para ello, la capa RLC soporta funciones de corrección de errores mediante mecanismos ARQ (Automatic Repeat ReQuest) concatenación, segmentación y re-ensamblado, entrega ordenada de paquetes PDCP a capas superiores (excepto durante el mecanismo de handover), detección de duplicados y detección/recuperación de errores en el protocolo. Cada servicio portador radio (RB) tiene una entidad RLC asociada.
- **MAC (Medium Access Control):** Capa encargada de controlar el acceso al canal radio. Para ello, la capa MAC soporta funciones de *scheduling* dinámico entre equipos de usuario atendiendo a prioridades, multiplexa los paquetes RLC de diferentes servicios portadores radio en los canales de transporte ofrecidos por la capa física (un canal de transporte puede ser compartido por varios servicios portadores de uno o varios equipos de usuario) y realiza un control de errores mediante Hybrid ARQ (HARQ). Los servicios de transferencia que la capa MAC ofrece a la capa RLC se denominan canales lógicos. Existe una única entidad MAC por celda.
- **Capa Física (Physical Layer):** Capa encargada de realizar la transmisión a través del canal de radio. Ejecuta funciones de codificación de canal, modulación, procesado asociado a las técnicas de múltiples antenas de transmisión-recepción y mapeo de la señal a los recursos físicos de frecuencia-tiempo. En el enlace ascendente (UL), la capa física se basa en un esquema SC-FDMA. En el enlace descendente (DL), el esquema de transmisión es OFDMA. Los servicios de transferencia que la capa física ofrece a la capa MAC se denominan canales de transporte. Existe una única entidad de capa física por celda.

En la Figura 8-3, muestra que el plano de control utiliza obviamente la capa física y la capa de enlace, para sus protocolos específicos, a saber:

- **RRC (Radio Resource Control):** Capa que permite establecer una conexión de control entre el eNB y un UE a través de la cual se llevan a cabo importantes funciones relacionadas con la gestión de la interfaz de aire, tales como: Mecanismos de gestión de los servicios RB (señalización para el establecimiento, liberación y modificación de los portadores radio), Soporte de funciones de movilidad (señalización de handover), Difusión (broadcast) de parámetros de sistema y Aviso de los terminales que no disponen de una conexión RRC establecida (envío de avisos a través del canal de paging). El servicio de transferencia que ofrece la capa PDCP para el envío de los mensajes de señalización del protocolo RRC se denomina servicio portador de señalización SRB (Signalling Radio Bearer).
- **Señalización de los protocolos NAS:** Los protocolos NAS se extienden entre la entidad de red MME en la red EPC y el UE. Los mensajes de estos protocolos se transportan de forma transparente en la interfaz aire encapsulados dentro de la parte de datos de los mensajes RRC. Las principales funciones de los protocolos NAS son: Autenticación, Autorización, Gestión de movilidad de los terminales que no tienen una conexión RRC establecida y Gestión de los servicios portadores de la red EPS.

8.2.2.2 Protocolos en las Interfaces S1 y X2

La estructura de protocolos utilizada en E-UTRAN para soportar las interfaces S1 y X2 establece una separación entre la capa de red radio RNL (Radio Network Layer) y la capa de red de transporte TNL (Transport Network Layer), tal como ya introdujo la red UMTS. Esta descomposición tiene como objetivo aislar las funciones que son específicas del sistema de comunicaciones móviles (UMTS o LTE), de aquellas otras que dependen de la tecnología de transporte utilizada (IP, ATM). De esta forma, los protocolos específicos de la red de acceso radio constituyen la capa RNL mientras que la capa TNL contiene los protocolos utilizados para el transporte de la información de la capa RNL entre las entidades de la red. La Figura 8-4, muestra la arquitectura de protocolos de las interfaces S1 y X2:

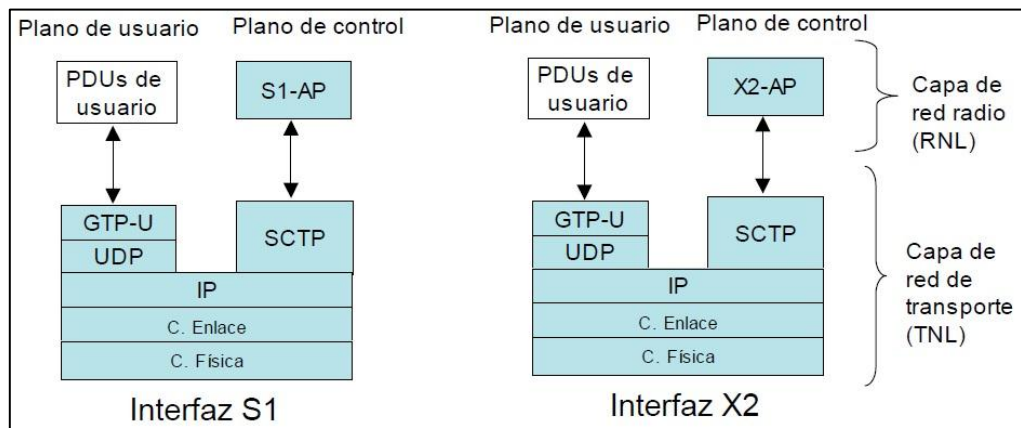


Figura 8-4 : Protocolos en las Interfaces S1 y X2

Tanto el plano de usuario de la interfaz S1 (S1-U) como el de la interfaz X2 utilizan el protocolo de encapsulado GTP-U (GPRS Tunneling Protocol – User Plane) para el envío de paquetes IP de usuario. El protocolo GTP-U es un protocolo heredado de GPRS que en las redes GSM y UMTS se utiliza dentro del dominio de paquetes de la red troncal (en la interfaz entre SGSN y GGSN) así como en el plano de usuario de la interfaz Iu-PS de la red de acceso UTRAN. En las interfaces S1-U y X2, el protocolo GTP-U se transporta sobre UDP/IP y fundamentalmente se utiliza para multiplexar los paquetes IP de múltiples usuarios (los paquetes IP de un determinado servicio portador se encapsulan con una determinada etiqueta–identificador de túnel).

Respecto al plano de control de la interfaz S1 (S1-MME o S1-C), la capa de red radio consiste en el protocolo S1-AP (S1-Application Part). Este protocolo es el que sustenta los procedimientos soportados en la interfaz S1. La transferencia de los mensajes de señalización del protocolo S1-AP entre eNBs y MMEs se realiza mediante el servicio de transferencia confiable que ofrece el protocolo de transporte SCTP (Stream Control Transmission Protocol).

8.2.2.3 Plano de Usuario entre UE y EPC

La Figura 8-5, muestra el plano de usuario completo de la E-UTRAN para el envío de paquetes IP entre el equipo de usuario (UE) y la red troncal (S-GW). Los paquetes IP contienen

la información correspondiente al servicio que el usuario está utilizando (voz, video, datos) así como la señalización a nivel de aplicación (protocolos SIP, RTCP, etc.).

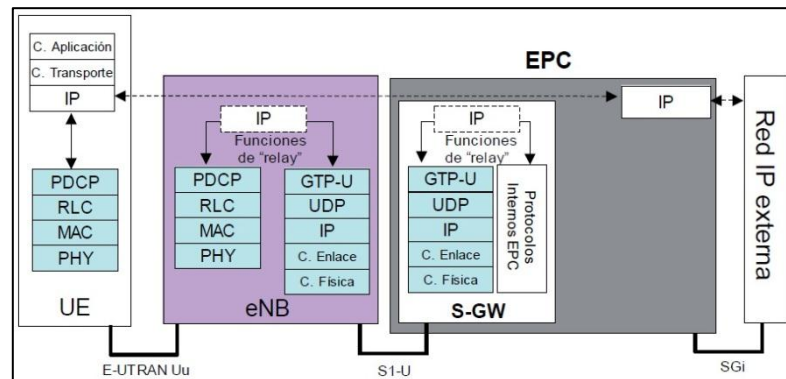


Figura 8-5 : Protocolos del Plano de Usuario en E-UTRAN

El eNB realiza funciones de “relay” entre la pila de protocolos PDCP-RLC-MAC-PHY de la interfaz radio y la pila de protocolos de la interfaz S1-U. Es importante indicar que el eNB no realiza ruteo (encaminamiento) a partir de la información contenida en las cabeceras IP de los paquetes de usuario sino que simplemente se ocupa de su transferencia entre las dos interfaces atendiendo a los servicios portadores establecidos.

8.2.2.4 Plano de Control entre UE y EPC

La Figura 8-6, muestra la pila de protocolos del plano de control para el envío de señalización NAS entre el equipo de usuario y la red troncal. Los protocolos NAS se transportan encapsulados (de forma transparente) dentro de mensajes RRC en la interfaz radio y en mensajes S1-AP en la interfaz S1-MME. El eNB realiza las funciones de “relay” necesarias entre ambas pilas de protocolos.

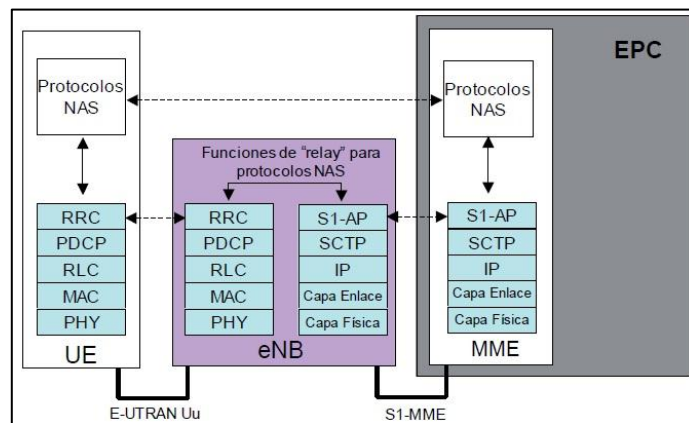


Figura 8-6 : Protocolos del Plano de Control en E-UTRAN

8.2.2.5 Comparación entre E-UTRAN y UTRAN

La arquitectura E-UTRAN presenta importantes diferencias con respecto a las redes de acceso UTRAN y GERAN. En la Figura 8-7, se muestra un despliegue simple de una red E-UTRAN y de una red UTRAN, como ejemplo típico tanto de redes de acceso 3G como 2G. Las redes de acceso anteriores a E-UTRAN se basan en una arquitectura jerárquica donde las funciones de la red de acceso se distribuyen en dos tipos de nodos: estaciones base (denominados Nodos B en UTRAN) y equipos controladores de estas estaciones base (denominados RNC en UTRAN). E-UTRAN sigue una arquitectura “plana”, sin ningún nivel de jerarquización. Los protocolos de radio se ejecutan íntegramente en los eNBs (no es necesario ningún equipo adicional como el RNC de UTRAN).

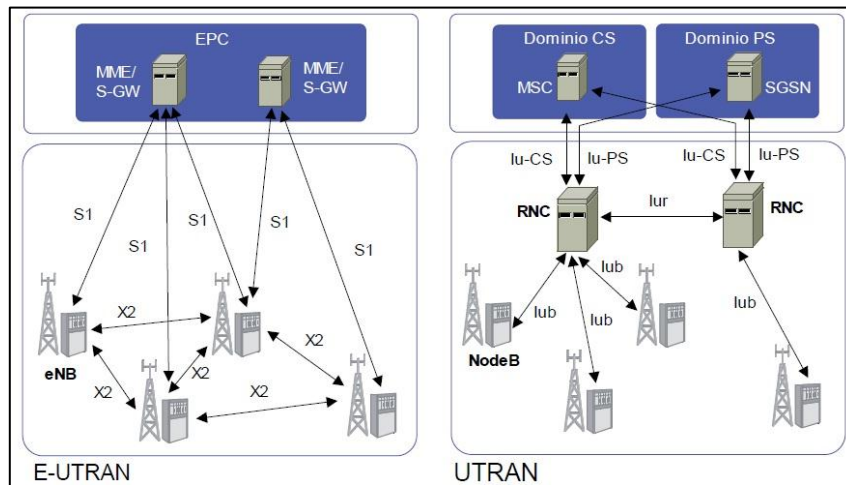


Figura 8-7 : Comparación de la arquitectura de red de E-UTRAN y UTRAN

La arquitectura de UTRAN es jerarquizada, los equipos controladores contienen el plano de control de la interfaz aire (señalización de control del enlace radio) así como múltiples funciones del plano de usuario (algunas funciones de la capa de acceso al medio, control de enlace, compresión de cabeceras, etc.). Por otro lado, las estaciones base se ocupan principalmente de las funciones de transmisión radio (procesado de capa física) y su operación se gestiona de forma remota desde los equipos controladores. La interconexión entre estaciones base y controladores se realiza mediante una interfaz denominada **Iub** de forma que la topología de red resultante a nivel lógico es una topología en forma de estrella. Los equipos controladores también pueden conectarse entre si mediante interfaces específicas como la interfaz **Iur** que, en el caso de UTRAN, permite la explotación del mecanismo de macro-diversidad entre dos Nodos B que se encuentren conectados a RNCs diferentes. La interconexión de la red de acceso a la troncal se realiza a través de los equipos controladores mediante las interfaces **Iu-PS**, entre RNCs y los nodos SGSNs del dominio de paquetes, y **Iu-CS**, entre RNCs y las centrales de conmutación MSC del dominio de circuitos.

Comparando la arquitectura de UTRAN con E-UTRAN, puede observarse en la Figura 8-7, que E-UTRAN sigue una arquitectura “plana”, sin ningún nivel de jerarquización. Tal como se ha indicado en la lista de funciones asociadas a un eNB, los protocolos radio se ejecutan

íntegramente en los eNBs (no es necesario ningún equipo adicional como el RNC de UTRAN). Es importante destacar que la integración de los protocolos radio de capa física y de enlace en la estación base es una característica adoptada también en otras interfaces radio como IEEE 802.11 para redes de área local y IEEE 802.16 utilizada en WiMAX. La interconexión de E-UTRAN con la red troncal se realiza en cada uno de las estaciones base (eNBs) mediante la interfaz S1. Tal como se ha comentado anteriormente, la interfaz S1 soporta configuraciones donde un eNB puede estar conectado simultáneamente con múltiples elementos de la EPC (varios MME y/o varios S-GW). Esto hace que el dimensionamiento de la red de acceso (eNBs) y de los equipos de la red troncal (MME y S-GW) pueda hacerse de forma más flexible, permitiendo, por ejemplo, que el tráfico cursado a través de los eNBs se derive hacia el nodo de la red troncal más adecuado atendiendo a criterios de balanceo de cargas. Por el contrario, en una estructura jerárquica en árbol como la utilizada en UTRAN, la capacidad sobrante en nodos ubicados en ramas diferentes no puede ser aprovechada. Asimismo, aunque de forma opcional, las estaciones base de E-UTRAN pueden conectarse directamente entre si formando una topología semi-enmallada (un eNB puede conectarse a un subconjunto de eNBs mediante la interfaz X2) que permite tanto la transferencia de información de control como de tráfico de usuario entre ellas. Esta opción no está contemplada en UTRAN (los Nodos B no se interconectan entre ellos).

8.2.3 Red Núcleo de Paquetes Evolucionado (EPC)

8.2.3.1 Arquitectura de EPC

La red núcleo EPC se diseñó principalmente para proporcionar un servicio de conectividad IP (evolución de GPRS) mediante una arquitectura de red optimizada que permite explotar las nuevas capacidades que ofrece la red de acceso E-UTRAN. Otro factor clave considerado en el diseño ha sido la posibilidad de acceder a sus servicios a través de otras redes de acceso tanto 3GPP (UTRAN y GERAN) como no 3GPP (cdma2000, WiMAX, 802.11).

La Figura 8-8, muestra la arquitectura básica de EPC y comprende las entidades de red que forman el núcleo EPC para la provisión de servicios de conectividad IP a través de una red de

acceso E-UTRAN, junto con las entidades de red e interfaces que soportan las funciones relacionadas con el control del servicio de conectividad (control de QoS y otros) y de los mecanismos de tarificación.

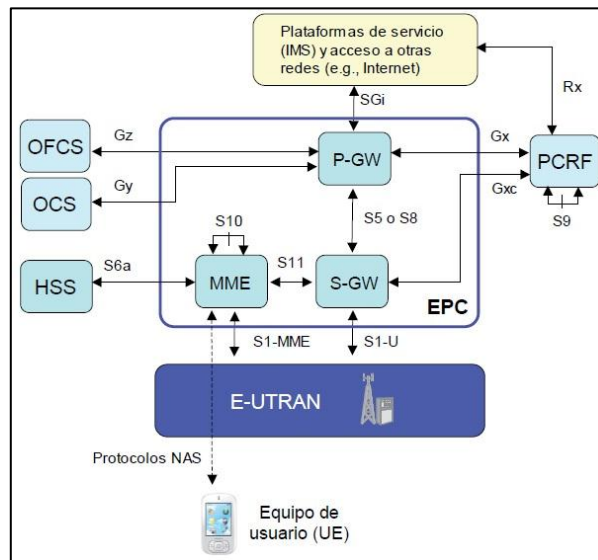


Figura 8-8 : Arquitectura Básica de la red Núcleo EPC

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

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

La entidad MME termina el plano de control de los UEs conectados a la red LTE mediante los protocolos NAS y controla las funciones de transferencia del plano de usuario de

red LTE a través de la interfaz **S114** con el Gateway S-GW. La entidad MME se conecta a la entidad HSS a través de la interfaz **S6a** para acceder a la información asociada a los usuarios de la red que estén autorizados a establecer conexiones a través de E-UTRAN. Las entidades MME también pueden comunicarse entre ellas mediante la interfaz **S10**.

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

La entidad de red **PCRF** (Policy and Charging Rules Function) constituye un elemento clave del sistema LTE. La entidad PCRF forma parte del marco funcional denominado PCC (Policy and Charging Control) que se utiliza para controlar los servicios portadores que ofrece la red LTE (activación y determinación de los parámetros de QoS asociados a cada servicio portador) así como realizar el control de los mecanismos de tarificación (tarificación on-line, offline, medición del volumen de datos transferido, tiempo transcurrido, etc.). Así pues, mediante la interfaz **Gx**, el PCRF gestiona los servicios portadores EPS de la red LTE mediante el envío de unas reglas de uso (reglas PCC) que sirven para configurar la operación de unas funciones específicas del plano de usuario del Gateway P-GW (funciones que limitan la tasa de transferencia en bits/s de los servicios portadores). La entidad PCRF es accesible desde las plataformas de servicios externas como IMS mediante la interfaz **Rx**.

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

8.2.3.2 Protocolos

A continuación se describen las pilas de protocolos utilizadas en las interfaces ya descritas. Dado que muchas de las interfaces están basadas en una misma pila de protocolos, la descripción se realiza en base a los diferentes protocolos utilizados.

En la red núcleo EPC todas las interfaces se soportan sobre una pila de protocolos que utiliza IP como capa de red, a diferencia de las familias anteriores de sistemas 3GPP donde algunas interfaces estaban soportadas sobre los protocolos ATM o SS7.

Interfaces basadas en el Protocolo GTP-U

Todas las interfaces para el transporte de información del plano de usuario entre los diferentes elementos de la red troncal EPC se soportan a través del protocolo GTP-U. La Figura 8-9, muestra la pila de protocolos utilizada en las interfaces basadas en GTP-U y el listado de dichas interfaces se proporciona. Nótese que en la tabla ilustrada en la figura se indica el uso de GTP-U también sobre las interfaces S4 y S12 que forman parte de la solución de Internetworking entre EPC y el resto de redes 3GPP. Además, el protocolo GTP-U también se utiliza en el plano de usuario de las interfaces internas de E-UTRAN, S1-U y X2-U.

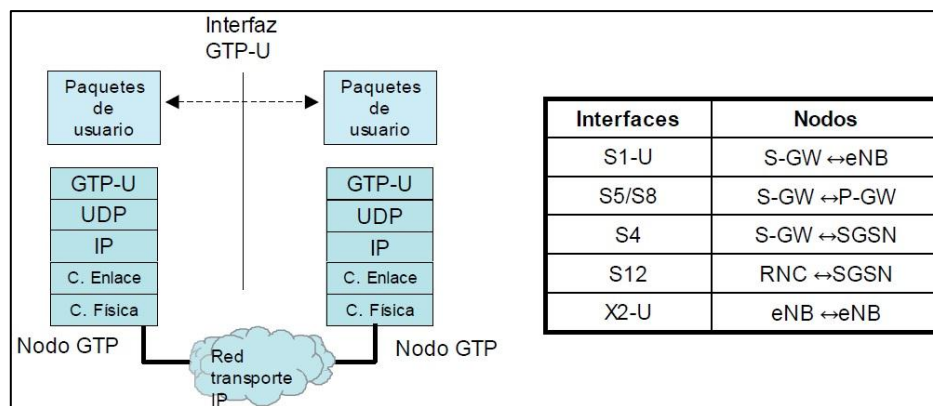


Figura 8-9 : Interfaces basadas en Protocolo GTP-U

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

GTP-U proporciona un mecanismo de encapsulado para el envío de paquetes de usuario entre nodos de una red IP. Los paquetes que corresponden a un mismo servicio portador EPS se transportan con un identificador de túnel único denominado **TEID** (Tunnel Endpoint Identifier). En la Figura 8-10, se muestra la implementación de un túnel entre S-GW y P-GW (interfaz S5/S8) mediante GTP-U. Tal como se observa en la Figura 8-10, los paquetes IP del usuario llegan al S-GW provenientes desde el UE a través de los servicios portadores radio y S1. Las direcciones IP origen y destino de los paquetes de usuario recibidos en el S-GW contienen, respectivamente, la dirección asignada al terminal móvil y la dirección del equipo de la red externa al que vaya dirigido el paquete. Nótese que estas direcciones no pertenecen al espacio de direcciones IP utilizado en la red de transporte que une S-GW y P-SW, de ahí la necesidad de establecer el túnel. Así, para proceder al envío de estos paquetes IP de usuario hacia P-GW, el nodo S-GW los encapsula mediante el protocolo GTP-U. La cabecera del protocolo GTP-U ocupa un mínimo de 6 bytes y contiene el identificador de túnel TEID, junto con otros parámetros tales como identificadores de secuencia y longitud del paquete. El paquete GTP resultante tiene como dirección IP origen la dirección de S-GW y como dirección destino la dirección IP de P-GW. De esta forma, el paquete GTP puede ser encaminado en la red de transporte IP que une a ambos Gateways. Una vez el paquete GTP llega a P-GW, este extrae el paquete IP del usuario y lo inyecta en la red externa.

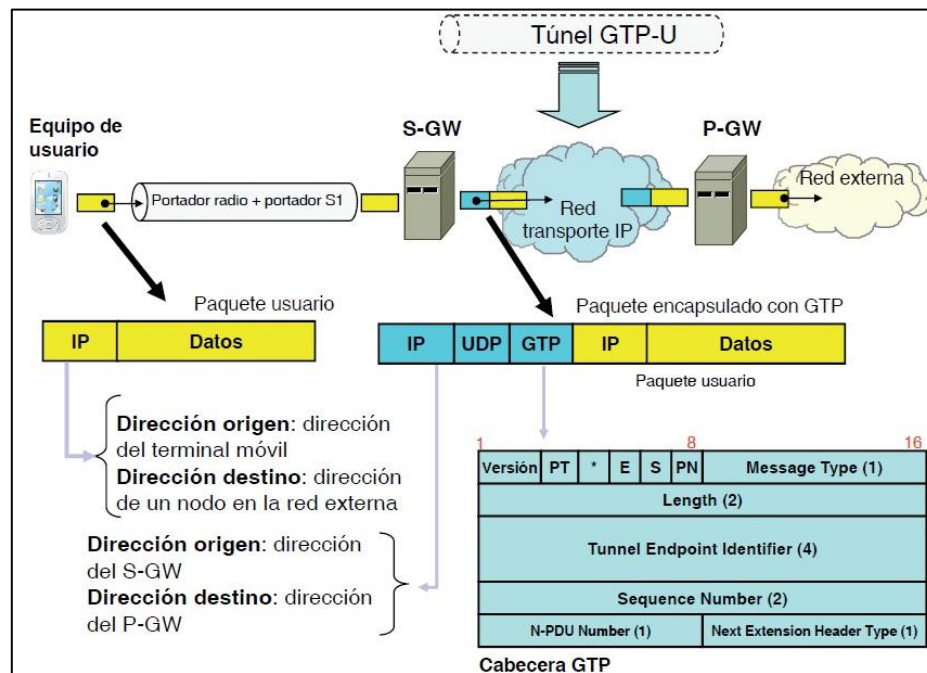


Figura 8-10 : Funcionamiento de un Túnel GTP-U

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

Interfaces basadas en el Protocolo GTP-C

El protocolo GTP-C soporta un conjunto de funciones que pueden clasificarse como:

- **Gestión de sesiones:** A través de los mensajes y procedimientos de señalización especificados para GTP-C, la red gestiona la creación de túneles GTP-U entre las entidades de la red por donde transcurre el plano de usuario. Dichos túneles forman parte de la propia gestión de sesiones en la red, mediante el establecimiento, mantenimiento/actualización y liberación de conexiones PDN y servicios portadores EPS.

- Gestión de movilidad:** Mediante el protocolo GTP-C se llevan a cabo algunos de los procedimientos asociados con la gestión de movilidad tales como la transferencia de los contextos de información de los usuarios entre las entidades de red en casos de reubicación de las mismas.

La Figura 8-11, muestra la pila de protocolos de las interfaces basadas en GTP-C y la relación de las interfaces. El protocolo GTP-C se utiliza en las interfaces S3, S4, S5/S8, S10, S11 y S16.

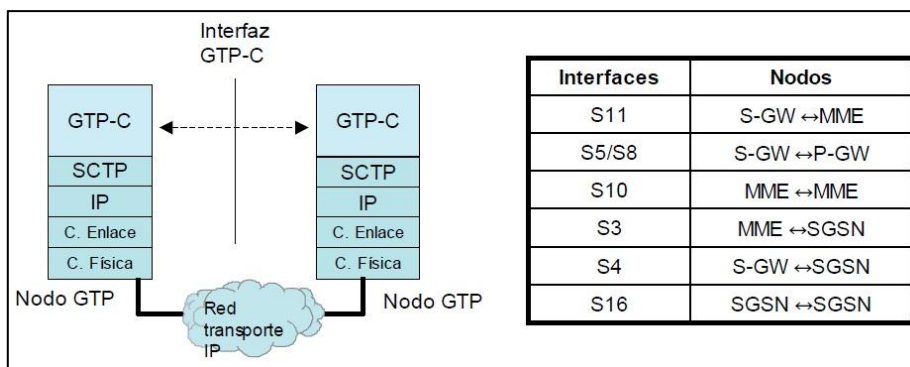


Figura 8-11 : Interfaces basadas en Protocolo GTP-C

Interfaces basadas en el Protocolo Diameter

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

El protocolo Diameter se utiliza en un elevado número de interfaces del nuevo sistema LTE. La Figura 8-12, se muestra la pila de protocolos sobre la que se sustenta Diameter junto con una tabla donde se indican todas las interfaces del sistema LTE basadas en dicho protocolo. La

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

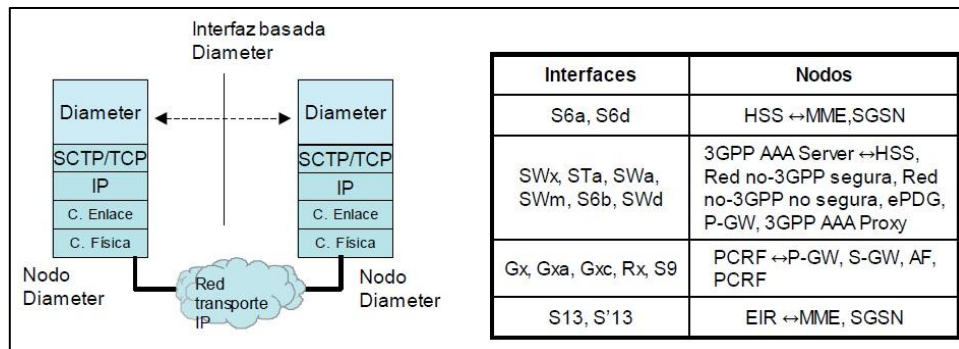


Figura 8-12 : Interfaces basadas en Protocolo Diameter

El protocolo Diameter se estructura en torno a una protocolo de base (Diameter base standard definido en el RFC3588) y un número de extensiones denominadas aplicaciones. El protocolo de base aporta las funcionalidades comunes del protocolo: formatos de los mensajes y elementos de información genéricos, mecanismos de transferencia de mensajes, descubrimiento de capacidades de las entidades Diameter, aspectos de seguridad, etc.

Interfaces basadas en el Protocolo PMIPv6

El protocolo PMIPv6 (Proxy MIPv6) es un protocolo especificado por IETF en la RFC5213, para gestionar la movilidad a nivel de capa de red IP. El protocolo PMIPv6 ha sido adoptado por 3GPP para su posible utilización en la interfaz S5/S8 entre S-GW y P-GW, como alternativa al uso del protocolo GTP especificado por 3GPP. Al igual que la alternativa basada en GTP, PMIPv6 resuelve la movilidad de forma transparente al equipo de usuario, es decir, sin necesidad de que éste participe en la señalización pertinente. Este modelo de gestión de movilidad se conoce como gestión de movilidad “network-based”, en contraposición al modelo “host-based” establecido por el protocolo MIP donde los nodos extremos (equipos de usuarios) participan en la gestión de movilidad. La Figura 8-13, muestra el ámbito de utilización del

protocolo de movilidad PMIPv6 junto con sus componentes funcionales. El protocolo define una entidad **LMA** (Local Mobility Anchor) que realiza funciones similares a un Home Agent (HA) en MIP. Fundamentalmente el LMA mantiene una asociación entre la dirección IP que tiene asignada el terminal (y que no pertenece al espacio de direcciones IP de la red de transporte IP que conecta el LMA y los MAGs) y la dirección IP hacia la que debe enviar los paquetes del usuario mediante un mecanismo de encapsulado. La dirección IP de envío de los paquetes es la dirección del router que contiene la funcionalidad de **MAG** (Mobile Access Gateway). De esta forma, en el caso de la interfaz S5/S8, todos los paquetes IP que llegan a P-GW (LMA) desde la red externa y que contienen como dirección destino la dirección IP asignada a un terminal, son encapsulados y enviados mediante un túnel PMIPv6 a S-GW correspondiente (MAG), y viceversa. Nótese que la transferencia de los paquetes IP entre los S-GW y los UEs ya no compete a la operativa del protocolo y se aborda mediante los mecanismos soportados a tal efecto en las interfaces S1 y radio (servicios portadores radio y S1).

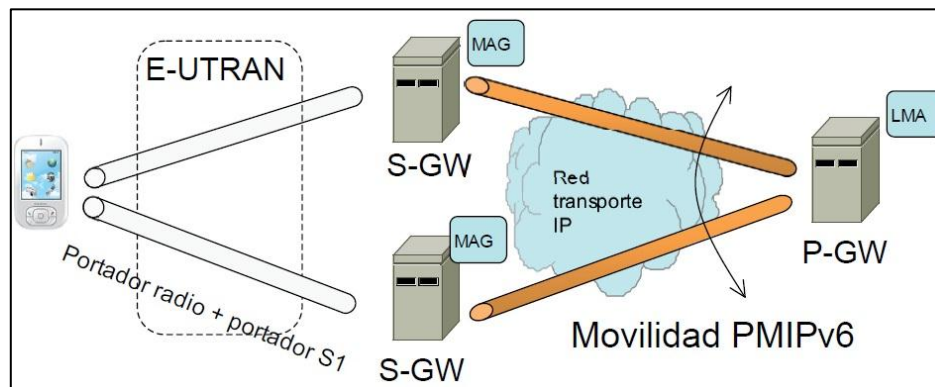


Figura 8-13 : Componentes del Protocolo PMIPv6

La Figura 8-14, muestra los planos de control y de usuario del protocolo PMIPv6, junto con las interfaces donde puede utilizarse el protocolo. El plano de control consiste en los mensajes de señalización especificados en el protocolo que se envían en la parte de datos de los paquetes IP intercambiados entre MAGs y LMA. A través de dichos mensajes de señalización se controlan las asociaciones de direcciones y los túneles necesarios.

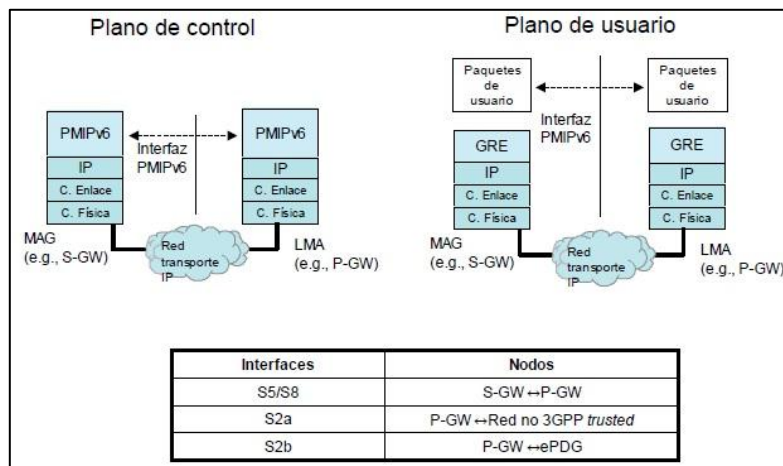


Figura 8-14 : Interfaces basadas en Protocolo PMIPv6

El plano de usuario del protocolo se basa en el establecimiento de un túnel que permite enviar de forma transparente los paquetes IP de los usuarios (con direcciones origen y destino pertenecientes al espacio de direcciones de la red externa) entre MAGs y LMA (que pueden utilizar un espacio de direcciones diferente a las de la red externa). Para ello, los paquetes IP de usuario se encapsulan dentro de la carga útil de paquetes IP mediante el protocolo **GRE** (Generic Routing Encapsulation, RFC 2784). El protocolo GRE añade unas cabeceras al paquete IP de usuario que permiten asociar cada paquete con la conexión PDN a la que pertenece. En cambio, a diferencia de GTP, los túneles GRE utilizados por PMIPv6 no distinguen entre el tráfico que pertenece a diferentes servicios portadores EPS establecidos en el contexto de una misma conexión PDN.

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

Protocolos NAS

Los protocolos NAS son desarrollados por el 3GPP para llevar a cabo la gestión de movilidad de los equipos de usuario, denominado **EMM** (EPS Mobility Management) y la

gestión de las sesiones para el establecimiento de la conectividad entre el equipo de usuario y el Gateway P-GW, denominado **ESM** (EPS Session Management). Los protocolos NAS se soportan entre el equipo de usuario y un nodo MME y se han desarrollado específicamente para E-UTRAN. La Figura 8-15, muestra el alcance de los protocolos NAS en la red LTE.

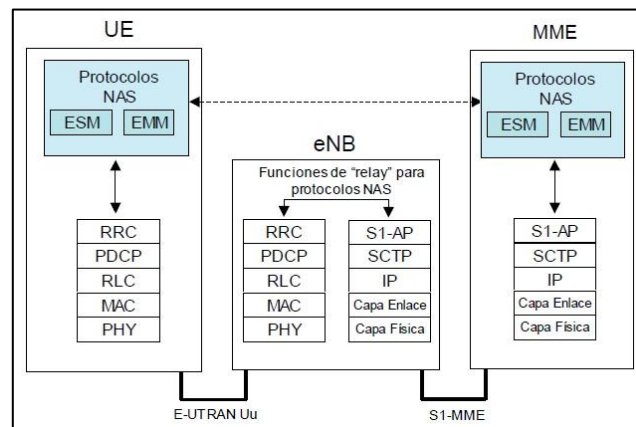


Figura 8-15 : Protocolos NAS entre UE y MME

8.2.4 IMS (IP Multimedia Subsystem) y LTE

IMS proporciona los mecanismos de control necesarios para la provisión de servicios de comunicación multimedia basados en la utilización del protocolo IP a los usuarios de la red LTE. Así, el subsistema IMS se materializa mediante el despliegue de infraestructura constituida por una serie de elementos (servidores, bases de datos, gateways) que se comunican entre sí mediante diversos protocolos, fundamentalmente estándares del IETF, y que permiten gestionar la provisión de servicios tales como voz y video sobre IP, presencia y mensajería instantánea, servicios de llamadas en grupo, etc. El acceso de los terminales a dicha infraestructura se realiza a través de los servicios de conectividad IP que proporciona la red LTE. La provisión de servicios en redes de comunicaciones móviles a través de IMS pretende sustituir a mediano-largo plazo los servicios equivalentes ofrecidos actualmente en modo circuito, perspectiva avalada por el hecho

de que la nueva red de acceso E-UTRAN ya ha sido diseñada de forma que no proporciona acceso al dominio de circuitos.

La adopción de protocolos desarrollados en IETF para la provisión de servicios multimedia en sistemas de comunicaciones móviles permite reducir considerablemente el ciclo de desarrollo de terminales y equipos, dada la relativa madurez tecnológica con que ya cuentan muchos de estos protocolos en otros contextos (Internet, redes de área local, etc.). Además, su adopción facilita en gran medida la interconexión de diferentes redes de telecomunicación ya sean móviles o fijas, públicas o privadas, que también se basan en dichos protocolos. Este enfoque ha ido cobrando fuerza en organizaciones como 3GPP, a diferencia del planteamiento adoptado en el desarrollo normativo de los primeros sistemas como GSM en ETSI, donde los protocolos utilizados se diseñaron específicamente para GSM. En particular, 3GPP escogió el protocolo **SIP** (Session Initiation Protocol) definido en la recomendación RFC3261 de IETF como protocolo de base para soportar la señalización asociada al subsistema IMS.

El subsistema IMS tiene sus orígenes en el conjunto de especificaciones correspondientes al Release 5 del sistema UMTS. Posteriormente, el ámbito de aplicación del IMS se ha extendido a otras tecnologías de red, tanto móviles (LTE, redes 3GPP2, Mobile WiMAX, etc.), como fijas (ADSL, cable, etc.). El modelo de provisión de servicios en base al subsistema IMS se estructura en tres capas: transporte, control y aplicación, tal como se muestra en la Figura 8-16.

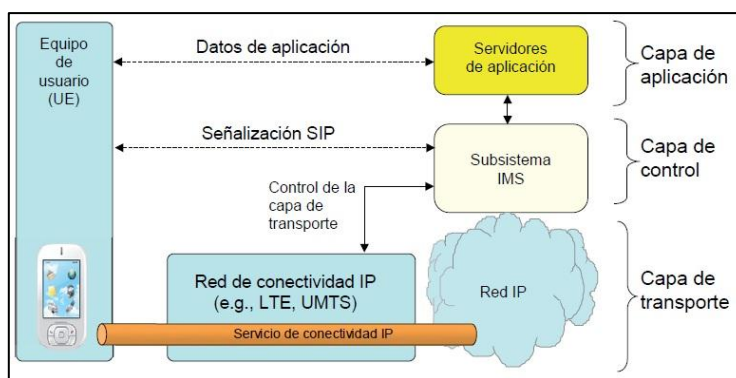


Figura 8-16 : Provisión de Servicios basado en IMS

La capa de transporte representa la infraestructura de red IP, dependiente de la tecnología de acceso, que proporciona el encaminamiento de los flujos IP entre terminales y demás elementos de la red. Por tanto, el servicio de conectividad IP que ofrece la red LTE constituye claramente una realización válida de la capa de transporte en este modelo de provisión de servicios. En la capa de control se ubican los elementos especializados en la gestión de sesiones tales como los servidores de señalización SIP, así como otros elementos específicos para la interacción con redes telefónicas convencionales (Gateways VoIP, controladores, etc.). Esta capa de control es la que se materializa mediante el subsistema IMS. Tal como se ilustra en la Figura 8-16, es importante destacar que los servicios de conectividad IP proporcionados por la capa de transporte pueden ser controlados desde la capa de control. Por último, en la capa de aplicación residen los servidores de aplicación que albergan la lógica y datos asociados a los diferentes servicios proporcionados a través de IMS (servicio de mensajería instantánea, presencia, etc.). En la capa de aplicación también se pueden encontrar elementos ligados a otras plataformas de servicios como redes inteligentes y Gateways Parlay/OSA. A través de estas plataformas se posibilita la provisión de servicios desde proveedores de aplicaciones externos, denominados como ASPs (Application Service Providers).

El establecimiento y liberación de sesiones a través del IMS se basa en el protocolo de señalización SIP complementado con una serie de extensiones definidas por el 3GPP. Nótese que, tal como se ilustra en la Figura 8-16, un terminal conectado a través de, por ejemplo, LTE, utiliza SIP para su interacción con IMS. SIP es un protocolo que se concibió en un principio para controlar el establecimiento y liberación de sesiones multimedia (telefonía, videoconferencia, etc.) sobre redes IP entre dos o más participantes. Gracias a su flexibilidad, actualmente el ámbito de aplicación de SIP abarca una gama de aplicaciones mucho más extensa: mensajería instantánea, presencia, juegos distribuidos, control remoto de dispositivos, etc.

La Figura 8-17, muestra la arquitectura simplificada de los principales componentes funcionales que integran el subsistema IMS.

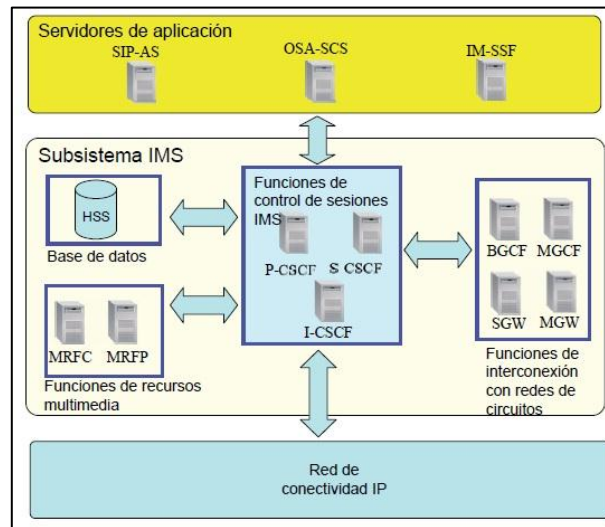


Figura 8-17 : Arquitectura Simplificada del Subsistema IMS

El núcleo del subsistema IMS lo forman las entidades denominadas CSCF (Call Session Control Function). Básicamente, se trata de servidores SIP que proporcionan las siguientes funciones:

- **S-CSCF (Serving CSCF):** Actúa como el nodo central de la señalización en sesiones IMS. El S-CSCF actúa como servidor de registro SIP (SIP Registrar) de forma que, cualquier mensaje de señalización SIP dirigido al usuario mediante la dirección SIP correspondiente, siempre termina pasando por el S-CSCF donde el usuario se encuentra registrado. S-CSCF puede proporcionar por sí solo algunos servicios al usuario (servicio de re-direccionamiento de llamadas, listas de marcado, etc.) o bien encaminar la señalización SIP hacia los servidores de aplicación correspondientes (por ejemplo, servidores que implementan un servicio de mensajería instantánea).
- **P-CSCF (Proxy CSCF):** Es un servidor SIP que actúa como la puerta de entrada al subsistema IMS desde la red de conectividad IP; toda la señalización SIP de los terminales LTE/UMTS transcurre a través de este servidor. Entre otras funciones, el P-CSCF es el elemento que interacciona con las funciones de PCC (Policy and Charging Control) de la red de conectividad (a través de la entidad PCRF). Por tanto, a través del P-

CSCF, el subsistema IMS puede controlar la operativa de la capa de transporte (servicios portadores EPS en el caso del sistema LTE).

- **I-CSCF (Interrogating CSCF):** Es un servidor SIP que actúa como puerta de entrada de la señalización SIP proveniente de redes externas. En este sentido, la dirección IP del servidor I-CSCF es la que está incluida en los servidores de nombres de las redes externas (ejemplo, servidores DNS de Internet) de forma que la resolución de nombres de dominio (usuario@operadorLTE.com) conduce al envío de los mensajes SIP a la dirección IP del servidor I-CSCF quien, posteriormente, re-dirige los mensajes a los servidores S-CSCF correspondientes.

Los servidores CSCF tienen acceso a la base de datos HSS. En dicha base de datos, junto con la información necesaria para acceder a las redes 3GPP también se almacena información necesaria para soportar sesiones multimedia sobre IMS (ejemplo, servidor S-CSCF asignado a cada usuario).

El subsistema IMS contempla también mecanismos que permiten la interoperabilidad de los servicios IMS con servicios equivalentes ofrecidos a través de redes de conmutación de circuitos como la red telefónica convencional. De esta forma, un usuario de la red LTE puede establecer una llamada de voz a través del subsistema IMS con un usuario de la red telefónica conmutada. En una llamada de estas características, la transmisión de voz del usuario LTE se soporta mediante una solución de voz sobre IP a través del servicio de conectividad proporcionado por la red LTE, y el subsistema IMS se encargaría de realizar la conversión de códecs necesaria (e.g., terminal con un códec Adaptive Media Rate, AMR, y circuitos con G.711) y el establecimiento del circuito telefónico. Las funciones de interconexión con redes de circuitos se realizan a través de los denominados gateways de medios (Media Gateway, MGW) que proporcionan la conectividad entre el plano de transporte de la red de paquetes (conexiones voz sobre IP) y los circuitos (ejemplo canalizaciones de 64kbps). Los Gateways de medios se controlan desde un nodo de control MGCF (Media Gateway Controller Function) a través del protocolo H.248. El controlador del Gateway de medios es donde se realiza la conversión de la

señalización SIP a la señalización utilizada en la red telefónica (ejemplo, ISDN, Signalling User Part, ISUP).

El subsistema IMS integra también un conjunto de funciones de recursos multimedia. A modo de ejemplo, estas funciones permiten, bajo control de los servidores SIP, poner grabaciones y/o tonos a usuarios de los servicios IMS. También permiten realizar la agregación de tráfico en sesiones SIP con más de dos interlocutores así como conversiones de códecs. Estas funciones se soportan en las entidades de red denominadas como MRFCs (Media Resource Function Controllers) y MRFPs (Media Resource Function Processor). El MRFC actúa como un agente de usuario SIP y controla los recursos del MRFP vía una interfaz H.248 (MEGACO).

La lógica y datos de los servicios proporcionados mediante el subsistema IMS se ubica en los servidores de aplicación, como se muestra en la Figura 8-17. Básicamente, un servidor de aplicación denominado como AS (Application Server), es el servidor que contiene la lógica y ejecuta los servicios SIP. El sistema IMS identifica tres tipos diferentes de servidores de aplicación: SIP AS (SIP Application Server), OSA-SCS (Open Service Access-Service Capability Server) y IM-SSF (IP Multimedia Service Switching Function). El servidor de aplicaciones SIP (SIP AS) representa un servidor SIP genérico encargado de la provisión de un determinado servicio final. Es importante destacar que la especificación de servicios finales basados en SIP queda fuera del ámbito de 3GPP. En cualquier caso, con el objetivo de garantizar la interoperabilidad de diferentes servicios entre plataformas IMS, la organización Open Mobile Alliance (OMA) se ocupa de establecer el marco funcional apropiado que facilite el desarrollo de servicios IMS. El objetivo de OMA es especificar habilitadores de servicio (“Service Enablers”) con la finalidad de fomentar la adopción global de servicios de datos en redes móviles y garantizar la interoperabilidad de servicios de datos en redes móviles entre dispositivos, ubicaciones, proveedores de servicio, operadores móviles y redes. A modo de ejemplo, OMA especifica la arquitectura funcional de servicios tales como Mensajería Instantánea y Presencia, Push to Talk Over Cellular (PoC), y servicios Push sobre IMS. Mediante el servidor de aplicaciones OSA-SCS, el subsistema IMS también ofrece la posibilidad de interactuar con el entorno de provisión de servicios OSA/Parlay. Asimismo, a través del servidor IM-SSF el

subsistema IMS también permite que los servicios IMS puedan interactuar con los mecanismos de red inteligente que soportan las redes 3GPP tal como los servicios CAMEL (Customised Applications for Mobile network Enhanced Logic).

8.2.5 Equipos de Usuarios (UEs)

El equipo de usuario es el equipo que permite a los usuarios del sistema LTE acceder a los servicios de la red LTE a través de la interfaz radio. La arquitectura funcional de un equipo de usuario en el sistema LTE es la misma que en su momento se definió para los sistemas GSM y que se adaptó posteriormente para UMTS. La arquitectura funcional de un equipo de usuario GSM/UMTS/LTE se muestra en la Figura 8-18.

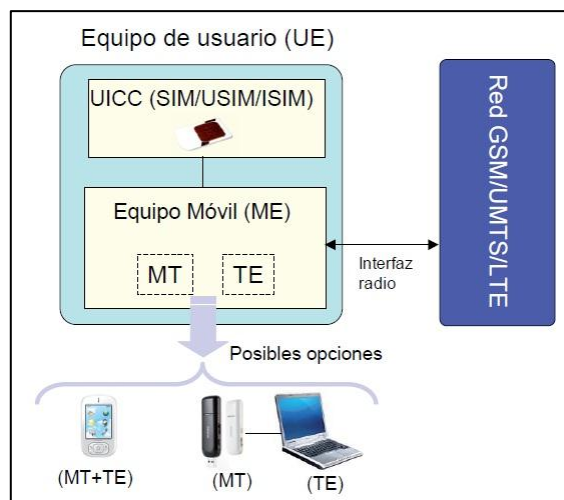


Figura 8-18 : Equipo de Usuario (UE)

El equipo de usuario UE (User Equipment) contiene dos elementos básicos: un módulo de suscripción del usuario (SIM/USIM) y el equipo móvil ME (Mobile Equipment). Adicionalmente, las funciones del equipo móvil se agrupan en dos entidades funcionales: la

terminación móvil MT (Mobile Terminal) y el equipo terminal TE (Terminal Equipment). A continuación se describen cada uno de ellos.

El módulo de suscripción de usuario se materializa mediante el uso de una tarjeta inteligente (UICC) que contiene la aplicación que gestiona los datos de suscripción de los usuarios a las redes 3GPP. La aplicación utilizada para acceder a redes GSM se denomina SIM (Subscriber Identity Module), mientras que para el acceso a redes UMTS se conoce como USIM (UMTS SIM). Además de las aplicaciones SIM y USIM, la tarjeta UICC puede contener también una aplicación denominada ISIM (IP Multimedia Services Identity Module) para almacenar los datos necesarios para la operación de los servicios IMS (ejemplo, direcciones SIP del usuario). La SIM/USIM está asociada a un usuario y por tanto es quien le identifica en el sistema independientemente del equipo móvil utilizado. La separación entre USIM y ME facilita que un usuario pueda cambiar de terminal manteniendo su identidad. Muchas veces los términos tarjeta inteligente, SIM y USIM se utilizan de forma equivalente. Estrictamente, la tarjeta inteligente únicamente se refiere al circuito integrado y sus capacidades de comunicación y procesamiento (elementos hardware/software). El diseño de estas aplicaciones se realiza de forma que se garantice compatibilidad con los sistemas previos. Así, una tarjeta con una aplicación USIM, o tarjeta USIM, puede ser utilizada para acceder a una red GSM. En el caso del sistema LTE, se ha mantenido la misma compatibilidad, y además, la aplicación correspondiente sigue denominándose USIM. No obstante, la USIM utilizada para acceder a un sistema LTE, extiende la aplicación USIM de UMTS mediante la inclusión de los parámetros adicionales necesarios para gestionar el acceso a través de LTE (ejemplo, las nuevas claves de seguridad soportadas en LTE).

El equipo móvil (ME) integra las funciones propias de comunicación con la red celular así como las funciones adicionales que permiten la interacción del usuario con los servicios de la red (nótese que un usuario puede ser una persona o bien otro dispositivo electrónico). En este sentido, de cara a introducir un cierto grado de flexibilidad en el diseño del equipo móvil, se ha definido una interfaz que permite que exista una separación física entre el equipo que alberga las funciones propias de la comunicación (MT) y el equipo que se ocupa de la interacción con el

usuario (TE), y que puede contener multitud de aplicaciones adicionales no directamente relacionadas con el sistema de comunicaciones móviles. Dicha interfaz consiste en la especificación del conjunto de comandos AT que permiten acceder a los servicios de la red (ejemplo, establecimiento de una conexión en la red LTE) soportados en el MT desde el TE. En cualquier caso, la separación entre TE y MT es opcional y simplemente pretende flexibilizar el desarrollo de equipos de usuario más complejos. Tal como se muestra en la Figura 8-18, un ejemplo claro de equipo de usuario que explota la interfaz basada en comandos AT es la utilización de un computador portátil (TE) y un módem GSM/UMTS/LTE (MT).

La complejidad y prestaciones que puede presentar un equipo de usuario LTE se clasifica en un conjunto de categorías definidas por 3GPP. Las categorías, denominadas formalmente como “ue-Category” en las especificaciones del 3GPP, se establecen en función de la capacidad de transmisión del terminal. Así, las categorías tienen en cuenta el grado de soporte de los terminales LTE de mecanismos de multiplexación espacial con múltiples antenas, el uso de determinadas modulaciones, el tamaño en bytes de las colas de transmisión, etc. En particular, en la primera versión del sistema LTE (Release 8) se han definido 5 categorías de terminal cuyas características indican en la Tabla 8-1:

Tabla 8-1 : Categorías de los UE y Parámetros Físicos

Categoría de UE	Enlace Descendente (DL)				Enlace Ascendente (UL)	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	10.296	10.296	1	10	5.160	5
2	51.024	51.024	2	51	25.456	25
3	102.048	75.376	2	102	51.024	51
4	150.752	75.376	2	150	51.024	51
5	299.552	149.776	4	300	75.376	75

Donde:

- (1) Número máximo de bits recibidos por TTI (Transmission Time Interval).
- (2) Número máximo de bits transportados por un DL-SCH (Downlink Shared Channel) en un TTI.

- **(3)** Máximo número de antenas transmisoras en el caso de un multiplexado espacial.
- **(4)** Velocidad máxima (Mb/s) en DL (valor aproximado).
- **(5)** Número máximo de bits recibidos por TTI.
- **(6)** Velocidad máxima (Mb/s) en UL (valor aproximado).

Además de la categoría del terminal en términos de capacidad de transmisión, un equipo de usuario también admite diferentes implementaciones en base a las bandas de frecuencias soportadas y a la integración en el propio terminal de otras tecnologías de acceso radio (ejemplo, terminales multimodo 3GPP/802.11).