

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA  
Y TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERÍA**

**“ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA *LONG TERM  
EVOLUTION* (LTE) PARA SU POSIBLE  
IMPLEMENTACIÓN EN EL ECUADOR”**

**KARINA ALEJANDRA MUÑOZ VERA**

**SANGOLQUÍ - ECUADOR  
2011**



## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente proyecto de grado titulado “ANÁLISIS DE LA TECNOLOGÍA *LONG TERM EVOLUTION* (LTE) PARA SU POSIBLE IMPLEMENTACIÓN EN EL ECUADOR” fue desarrollado por la Señorita MUÑOZ VERA KARINA ALEJANDRA, bajo nuestra supervisión.

---

Ing. Román Lara.

DIRECTOR DEL PROYECTO

---

Ing. Rubén León.

CODIRECTOR DEL PROYECTO

## **RESUMEN**

La evolución tecnológica, la globalización, la integración de la sociedad y las tecnologías de información y comunicación, entre otros factores, obliga a que las telecomunicaciones en el Ecuador estén a la par con su evolución, mejorando la calidad de vida de los habitantes y así garantizar un desarrollo de la sociedad.

La aplicación de nuevas tecnologías ayudaría a optimizar el uso de la infraestructura, orientándola hacia la convergencia de servicios, a la implementación de nuevas redes y hacia la inversión en sectores menos atendidos.

En el presente documento, se realiza un análisis sistemático de la tecnología *Long Term Evolution* como el siguiente paso hacia las redes de Cuarta Generación. Se presenta en detalle su arquitectura, características, protocolos y otros aspectos fundamentales, con el fin de dar al lector un entendimiento más amplio sobre esta tecnología. Además se analiza diferentes aspectos a tomar en cuenta para su posible implementación en el país, aspectos económicos, sociales, tecnológicos y regulatorios.

## **DEDICATORIA**

*A mi mejor maestro de fortaleza y valentía. Por enseñarme que con fuerza, voluntad y fe se logra triunfar en la vida y que con sencillez, bondad y amor el camino hacia el éxito se vuelve más simple. A ti padre te dedico con mucho amor mi trabajo, por ser inigualable e incomparable, fuiste eres y serás mi ejemplo a seguir.*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por ser mi guía durante toda mi carrera universitaria, quien con su infinito amor me ayudó a vencer cualquier obstáculo que se me presentó.

A mi padre que con su amor, comprensión, apoyo incondicional y sabios consejos hizo posible que culminara esta etapa de mi vida.

A mi madre y hermanas por su constante preocupación y apoyo en todo momento. Gracias por ser parte de mis tristezas y alegrías, porque con su cariño ha sido mucho más fácil salir adelante.

A mis abuelitos y tíos que siempre están pendientes de mí y han compartido conmigo los momentos más importantes de mi vida.

A los ingenieros Román Lara y Rubén León por su ayuda en la elaboración del presente proyecto.

A mis compañeros y amigos, que me brindaron la oportunidad de conocer la amistad verdadera y compartir valiosas experiencias. Por estar siempre conmigo dándome ánimo y fuerza cuando más la necesitaba.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

## CAPITULO 1 PRESENTACIÓN

1.1.	INTRODUCCIÓN.	1
1.2.	ALCANCE.	3
1.3.	OBJETIVOS.	3
1.3.1.	General.	3
1.3.2.	Específicos.	3
1.4.	ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.	4
1.4.1.	Primer Capítulo.	4
1.4.2.	Segundo Capítulo.	4
1.4.3.	Tercer Capítulo.	4
1.4.4.	Cuarto Capítulo.	5
1.4.5.	Quinto Capítulo.	5

## CAPITULO 2 FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1.	INTRODUCCIÓN A LA CONVERGENCIA.	6
2.1.1.	Desarrollo de las Telecomunicaciones.	6
2.1.2.	Convergencia de las Telecomunicaciones.	8
2.2.	BANDA ANCHA MÓVIL.	13
2.2.1.	Familia <i>Third Generation Partnership Project</i> (3GPP).	15
2.2.2.	Familia <i>Third Generation Partnership Project 2</i> (3GPP2)	20
2.2.4.	WIMAX Móvil y 4G.	25

## CAPITULO 3 LA TECNOLOGÍA *LONG TERM EVOLUTION*

3.1.	INTRODUCCIÓN.	27
3.2.	ARQUITECTURA LTE Y PROTOCOLOS.	31

3.2.1.	EPS: <i>Evolved Packet System</i> .	33
3.2.2.	E-UTRAN: <i>Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network</i> .	41
3.2.3.	UE: <i>User equipment</i> .	44
3.2.4.	Interfaces utilizadas en LTE.	45
3.2.5.	Aspectos Del Sistema.	54
3.2.6.	Protocolos de las Capas superiores de LTE.	64
3.2.7.	Capa MAC de LTE.	72
3.2.8.	Capa Física de LTE.	74
3.3.	LTE FRENTE A OTRAS TECNOLOGÍAS.	81
3.4.	APLICACIONES SOPORTADAS POR LTE.	83
3.5.	TERMINALES.	85

## **CAPÍTULO 4**

### **CONSIDERACIONES PARA IMPLEMENTAR LTE EN EL ECUADOR**

4.1.	INTRODUCCIÓN.	87
4.2.	MARCO REGULATORIO DE LOS SERVICIOS MÓVILES EN EL ECUADOR.	87
4.2.1.	Organismos de Regulación.	89
4.2.2.	Contratos de Concesión.	92
4.2.3.	Espectro Radioeléctrico	94
4.3.	OPERADORAS DE TELEFONÍA CELULAR.	97
4.3.1.	Tecnología.	97
4.3.2.	Abonados.	99
4.3.3.	Tarifas.	101
4.4.	LTE EN EL MUNDO.	103
4.5.	MERCADO DE SERVICIOS DE BANDA ANCHA EN ECUADOR.	104
4.5.1.	Penetración de Banda Ancha.	105
4.5.2.	Empresas que proveen Banda Ancha.	106
4.6.	CONSIDERACIONES SOBRE LAS TARIFAS DE LOS SERVICIOS DE BANDA ANCHA EN EL ECUADOR.	107
4.6.1.	Tarifas Locales.	107
4.6.2.	Tarifas LTE.	110

4.7.	PLAN DE MIGRACIÓN.	112
------	--------------------	-----

## **CAPITULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1.	CONCLUSIONES	122
5.2.	RECOMENDACIONES	124

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

# ÍNDICE DE TABLAS

## CAPITULO 3

### LA TECNOLOGÍA LONG TERM EVOLUTION

Tabla 3.1 Número de bloques de recursos para diferentes anchos de banda	77
Tabla 3.2 Características técnicas de LTE, UMB y WiMAX 2	82

## CAPITULO 4

### CONSIDERACIONES PARA IMPLEMENTAR LTE EN EL ECUADOR

Tabla 4.1 Concesionarios de Telefonía Móvil. FUENTE: Elaborado por la DGGST-SENATEL, mayo 2009	94
Tabla 4.2 Bandas de frecuencia LTE	96
Tabla 4.3 Techos tarifarios móviles. Fuente: SENATEL-DGP, Publicación Mayo 2011	102
Tabla 4.4 Planes Tarifarios del servicio de Telefonía Móvil. Fuente: SENATEL-DGP, Publicación Mayo 2011	102
Tabla 4.5 Usuarios de Banda Ancha en el Ecuador. Fuente: SENATEL, Septiembre 2010	105
Tabla 4.6 Penetración de Banda Ancha en América Latina	105
Tabla 4.7 Participación de mercado en Ecuador de los principales proveedores servicio de Internet. Fuente SUPERTEL, 2009	107
Tabla 4.8 Tarifas de internet banda ancha que ofrece la empresa CNT S.A.	108
Tabla 4.9 Tarifas de internet banda ancha que ofrece la empresa SURATEL S.A.	108
Tabla 4.10 Tarifas de internet banda ancha que ofrece la empresa ECUADORTELECOM S.A.	109
Tabla 4.11 Tarifas de internet banda ancha que ofrece la empresa CONECEL S.A.	109
Tabla 4.12 Tarifas de internet banda ancha para LTE	111
Tabla 4.13. Número de equipos celulares que han tenido los encuestados	113
Tabla 4.14 Número de equipos celulares que disponen actualmente los encuestados	113
Tabla 4.15 Costo del equipo o equipos celulares que disponen al momento los encuestados	114

Tabla 4.16 Tipo de plan contratado por los encuestados	114
Tabla 4.17 Distribución por operador móvil de usuarios encuestados	115
Tabla 4.18 Percepción de la calidad de servicio del operador móvil Movistar de los usuarios encuestados	115
Tabla 4.19 Percepción de la calidad de servicio del operador móvil Claro de los usuarios encuestados	115
Tabla 4.20 Tiempo de cambio de equipo celular de los usuarios encuestados	116
Tabla 4.21 Razón por la cual los usuarios encuestados comprarían un teléfono celular	116
Tabla 4.22 Factor principal de los usuarios encuestados al momento de elegir un teléfono celular	117
Tabla 4.23 Valor máximo que los usuarios encuestados pagarían por un teléfono celular	117

# ÍNDICE DE FIGURAS

## CAPITULO 2

### FUNDAMENTO TEÓRICO

Figura 2.1 Modelo de referencia de las NGNs	10
Figura 2.2 Modelo de negocios de proveedores de servicios	13
Figura 2.3 Fases del proceso de normalización	15
Figura 2.4 <i>Releases</i> del 3GPP	18
Figura 2.5 Calendario de trabajo de 3GPP para el estudio de LTE – Advanced, en relación con el calendario de la ITU para el estudio de IMT – Advanced	19
Figura 2.6 Evolución de la tecnología WiMAX	24
Figura 2.7 Evolución de la tecnología celular	26

## CAPITULO 3

### LA TECNOLOGÍA LONG TERM EVOLUTION

Figura 3.1 Arquitectura de Red 2G	30
Figura 3.2 Evolución de la arquitectura de red	31
Figura 3.3 Evolución de la Arquitectura 3GPP	32
Figura 3.4 Arquitectura simplificada LTE	33
Figura 3.5 Interfaces definidas en LTE	34
Figura 3.6 Interfaces definidas para la MME	35
Figura 3.7 Interfaces definidas para la S-GW	36
Figura 3.8 Interfaces definidas para la P-GW y PCRF	39
Figura 3.9 Interfaces definidas para el Servidor AAA 3GPP	41
Figura 3.10 Arquitectura simplificada E-UTRAN	42
Figura 3.11 Protocolos del plano de usuario y del plano de usuario	44
Figura 3.12 Punto de referencia LTE-Uu	45
Figura 3.13 Punto de referencia X2	46
Figura 3.14 Punto de referencia S1-MME	47
Figura 3.15 Punto de referencia S1-U	47
Figura 3.16 Punto de referencia S3	48

Figura 3.17 Punto de referencia S4	48
Figura 3.18 Punto de referencia S5/S8	49
Figura 3.19 Punto de referencia S6a	49
Figura 3.20 Punto de referencia Gx	50
Figura 3.21 Punto de referencia S10	50
Figura 3.22 Punto de referencia S11	51
Figura 3.23 Arquitectura Simplificada LTE	53
Figura 3.24 Arquitectura de los Servicios de Portadora EPS	54
Figura 3.25 Información General de la Arquitectura de Seguridad	57
Figura 3.26 Jerarquía de claves	59
Figura 3.27 Arquitectura CS Fall-Back	61
Figura 3.28 Arquitectura SRVCC con dominio de circuitos 3GPP	64
Figura 3.29 Arquitectura general de los protocolos de la interfaz de radio de LTE	65
Figura 3.30 Estructura de Trama LTE Tipo 1	75
Figura 3.31 Estructura de Trama LTE Tipo 2	76
Figura 3.32 Bloque de recursos <i>downlink</i>	77
Figura 3.33 Multiplexación tiempo – frecuencia OFDMA	78
Figura 3.34 Técnicas de múltiples antenas	80
Figura 3.35 MU-MIMO para <i>Uplink</i>	81
Figura 3.36 Dispositivos que soportan LTE	86

## **CAPITULO 4**

### **CONSIDERACIONES PARA IMPLEMENTAR LTE EN EL ECUADOR**

Figura 4.1 Estructura del Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información	88
Figura 4.2 Asignación de bandas en 800-900 MHz	95
Figura 4.3 Asignación de bandas en 1900 MHz	95
Figura 3.4 Usuarios de Telefonía Móvil. Fuente: SENATEL, Abril 2011	99
Figura 4.5 Mercado de telefonía móvil. Fuente: SENATEL	100
Figura 4.6 Distribución de Abonados por tecnología. Fuente: SENATEL, Abril 2011	101
Figura 4.7 Proveedores del servicio de internet. Fuente: SENATEL, Julio 2010	106
Figura 4.8 Arquitectura LTE con equipos Cisco	118
Figura 4.9 Routers Cisco CRS-1	119

Figura 4.10 Router Cisco ASR 5000	120
Figura 4.11 Router Cisco 7600	120
Figura 4.12 Router MWR 2941	121

## GLOSARIO

<b>1G</b>	Primera Generación
<b>2G</b>	Segunda Generación
<b>3G</b>	Tercera Generación
<b>3GPP</b>	<i>Third Generation Partnership Project</i>
<b>3GPP2</b>	<i>Third Generation Partnership Project 2</i>
<b>4G</b>	<i>Cuarta Generación</i>
<b>AAA</b>	<i>Authentication, Authorization and Accounting</i>
<b>ACK</b>	<i>Acknowledgments</i>
<b>AM</b>	<i>Acknowledged Mode</i>
<b>AMBR</b>	<i>Aggregate Maximum Bit Rate</i>
<b>AMPS</b>	<i>Advanced Mobile Phone System</i>
<b>ARIB</b>	<i>Association of Radio Industries and Businesses</i>
<b>ARP</b>	<i>Allocation and Retention Priority</i>
<b>ARQ</b>	<i>Automatic Repeat Request</i>
<b>ASME</b>	<i>Additional Access Security Management Entity</i>
<b>ATIS</b>	<i>Alliance for Telecommunications Industry Solutions</i>
<b>AuC</b>	<i>Authentication Center</i>
<b>BCCH</b>	<i>Broadcast Control Channel</i>
<b>BCH</b>	<i>Broadcast Channel</i>
<b>BWA</b>	<i>Broadband Wireless Access</i>
<b>CCCH</b>	<i>Common Control Channel</i>
<b>CCSA</b>	<i>China Communications Standards Association</i>
<b>CS</b>	<i>Circuit Switching</i>
<b>CSFB</b>	<i>Circuit Switched Fall-Back</i>
<b>DCCH</b>	<i>Dedicated Control Channel</i>
<b>DL-SCH</b>	<i>Downlink Shared Channel</i>
<b>DOCSIS</b>	<i>Data Over Cable Service Interface Specification</i>
<b>DTCH</b>	<i>Dedicated Traffic Channel</i>
<b>DwPTS</b>	<i>Downlink Pilot Time Slot</i>
<b>EDGE</b>	<i>Enhanced Data rates for GSM of Evolution</i>

<b>EMM</b>	<i>EPS Mobility Management</i>
<b>eNB</b>	<i>Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network Base Stations</i>
<b>EPC</b>	<i>Evolved Packet Core</i>
<b>ePDG</b>	<i>evolved Packet Data Gateway</i>
<b>EPS</b>	<i>Evolved Packet System</i>
<b>ESM</b>	<i>EPS Session Management</i>
<b>ETSI</b>	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
<b>E-UTRA</b>	<i>Evolved Universal Terrestrial Radio Access</i>
<b>E-UTRAN</b>	<i>Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network</i>
<b>EV-DO</b>	<i>Evolution Data Optimized</i>
<b>FDD</b>	<i>Frequency Division Duplexing</i>
<b>FD-LTE</b>	<i>Frecuency-Division LTE</i>
<b>FEC</b>	<i>Forward Error Correction</i>
<b>GBR</b>	<i>Guaranteed Bit Rate</i>
<b>GGSN</b>	<i>Gateway GPRS Support Node</i>
<b>GMSC</b>	<i>Gateway Mobile Switching Center</i>
<b>GP</b>	<i>Guard Period</i>
<b>GPRS</b>	<i>General Packet Radio Service</i>
<b>GSA</b>	<i>Global mobile Suppliers Association</i>
<b>GSM</b>	<i>Global System for Mobile Communications</i>
<b>GTP</b>	<i>GPRS Tunnelling Protocol</i>
<b>GTP-U</b>	<i>GTP - User Plane</i>
<b>GTPv2-C</b>	<i>GTP version 2 - Control plane</i>
<b>HARQ</b>	<i>Hybrid ARQ</i>
<b>HD</b>	<i>High Definition</i>
<b>HLR</b>	<i>Home Location Register</i>
<b>HRPD</b>	<i>High Rate Packet Data</i>
<b>HSDPA</b>	<i>High Speed Downlink Packet Access</i>
<b>HSPA</b>	<i>High Speed Packet Access</i>
<b>HSPA+</b>	<i>HSPA Evolution</i>
<b>HSS</b>	<i>Home Subscriber Server</i>
<b>HSUPA</b>	<i>High Speed Uplink Packet Access</i>
<b>IEEE</b>	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>

<b>IETF</b>	<i>Internet Engineering Task Force</i>
<b>IMS</b>	<i>IP Multimedia Subsystem</i>
<b>IMT-2000</b>	<i>International Mobile Telecommunications - 2000</i>
<b>IMT-Advanced</b>	<i>International Mobile Telecommunications - Advanced</i>
<b>IP</b>	<i>Internet Protocol</i>
<b>IR</b>	<i>Incremental Redundancy</i>
<b>IS-95</b>	<i>Interim Standard-95</i>
<b>ITU</b>	<i>International Telecommunication Union</i>
<b>LMDS</b>	<i>Local Multipoint Distribution Systems</i>
<b>LOS</b>	<i>Line of sight</i>
<b>LTE</b>	<i>Long Term Evolution</i>
<b>LTE-Advanced</b>	<i>Long Term Evolution - Advanced</i>
<b>MAC</b>	<i>Medium Access Control</i>
<b>MBMS</b>	<i>Multimedia Broadcast Multicast Service</i>
<b>MB-SFN</b>	<i>Multicast Broadcast - Single Frequency Network</i>
<b>MCCH</b>	<i>Multicast Control Channel</i>
<b>MCH</b>	<i>Multicast Channel</i>
<b>MIMO</b>	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
<b>MMDS</b>	<i>Multichannel Multipoint Distribution Service</i>
<b>MME</b>	<i>Mobile Management Entity</i>
<b>MMTel</b>	<i>Multimedia Telephony</i>
<b>MSC</b>	<i>Mobile Switching Center</i>
<b>MTCH</b>	<i>Multicast Traffic Channel</i>
<b>MU-MIMO</b>	<i>Multi user MIMO</i>
<b>NACK</b>	<i>Negative acknowledgments</i>
<b>NAS</b>	<i>Nonaccess Stratum</i>
<b>NGN</b>	<i>Next Generation Networks</i>
<b>NLOS</b>	<i>Non Line of sight</i>
<b>OFDMA</b>	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
<b>PBCH</b>	<i>Physical Broadcast Channel</i>
<b>PCC</b>	<i>Policy and Charging Control</i>
<b>PCCH</b>	<i>Paging Control Channel</i>
<b>PCFICH</b>	<i>Physical Control Format Indicator Channel</i>

<b>PCH</b>	<i>Paging Channel</i>
<b>PCRF</b>	<i>Policy and Charging Rules Function</i>
<b>PDCCH</b>	<i>Physical Downlink Control Channel</i>
<b>PDCP</b>	<i>Packet Data Convergence Protocol</i>
<b>PDG</b>	<i>Packet Data Gateway</i>
<b>PDN</b>	<i>Packet Data Network</i>
<b>PDSCH</b>	<i>Physical Downlink Shared Channel</i>
<b>PDU</b>	<i>Payload Data Unit</i>
<b>P-GW</b>	<i>Packet Data Network Gateway</i>
<b>PHICH</b>	<i>Physical Hybrid ARQ Indicator Channel</i>
<b>PHY</b>	<i>Physical</i>
<b>PLMN</b>	<i>Public Land Mobile Network</i>
<b>PMCH</b>	<i>Physical Multicast Channel</i>
<b>PRACH</b>	<i>Physical Random Access Channel</i>
<b>PS</b>	<i>Packet Switch</i>
<b>PSTN</b>	<i>Public Switched Telephone Network</i>
<b>PUCCH</b>	<i>Physical Uplink Control Channel</i>
<b>PUSCH</b>	<i>Physical Uplink Shared Channel</i>
<b>QCI</b>	<i>QoS Class Identifier</i>
<b>QoS</b>	<i>Quality of Service</i>
<b>RACH</b>	<i>Random Access Channel</i>
<b>RLC</b>	<i>Radio Link Control</i>
<b>RNC</b>	<i>Radio Network Controller</i>
<b>RRC</b>	<i>Radio Resource Control</i>
<b>SAE</b>	<i>System Architecture Evolution</i>
<b>SC-FDMA</b>	<i>Single Carrier Frequency Division Multiple Access</i>
<b>SCTP</b>	<i>Stream Control Transmission Protocol</i>
<b>SFBC</b>	<i>Space Frequency Block Coding</i>
<b>SGSN</b>	<i>Serving GPRS Support Node</i>
<b>S-GW</b>	<i>System Architecture Evolution Gateway</i>
<b>SIP</b>	<i>Session Initiation Protocol</i>
<b>SMA</b>	<i>Servicio Móvil Avanzado</i>
<b>SNR</b>	<i>Signal to noise ratio</i>

<b>SRVCC</b>	<i>Single-radio voice call continuity</i>
<b>STMC</b>	<i>Servicio de Telefonía Móvil Celular</i>
<b>SU-MIMO</b>	<i>Single user MIMO</i>
<b>TDD</b>	<i>Time Division Duplex</i>
<b>TD-LTE</b>	<i>Time-Division LTE</i>
<b>TIA</b>	<i>Telecommunications Industry Association</i>
<b>TP</b>	<i>Transparent Mode</i>
<b>TTA</b>	<i>Telecommunications Technology Association</i>
<b>TTC</b>	<i>Telecommunication Technology Committee</i>
<b>UDP</b>	<i>User Datagram Protocol</i>
<b>UE</b>	<i>User Equipment</i>
<b>UICC</b>	<i>Universal Integrated Circuit Card</i>
<b>UL-SCH</b>	<i>Uplink Shared Channel</i>
<b>UM</b>	<i>Unacknowledged Mode</i>
<b>UMB</b>	<i>Ultra Mobile Broadband</i>
<b>UMTS</b>	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
<b>UpPTS</b>	<i>Uplink Pilot Time Slot</i>
<b>USIM</b>	<i>Universal Subscriber Identity Module</i>
<b>UTRAN</b>	<i>Universal Terrestrial Radio Access Network</i>
<b>VLR</b>	<i>Visitor Location Register</i>
<b>VoIMS</b>	<i>VoIP Multimedia Subsystem</i>
<b>VoIP</b>	<i>Voice over IP</i>
<b>WCDMA</b>	<i>Wide Code Division Multiple Access</i>
<b>WiMAX</b>	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
<b>WMAN</b>	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i>

## CAPITULO 1

### PRESENTACIÓN

#### 1.1. INTRODUCCIÓN.

Las redes móviles han permitido avances dramáticos y cambios en las telecomunicaciones en las últimas dos décadas, los operadores móviles han llegado a dominar la industria, ofreciendo a sus subscriptores un servicio conjunto tan rico como sus competidores cableados, principalmente el servicio de voz móvil. Sin embargo, con el éxito en el mercado de la banda ancha cableada, el panorama competitivo está cambiando.

Aunque las tecnologías de tercera generación (3G) ofrecen velocidades significativamente más altas que las tecnologías de segunda generación (2G) y contribuyen al crecimiento de los ingresos medios por usuario (ARPU) gracias a los servicios de datos móviles, todavía hay más oportunidades para que los operadores inalámbricos capturen mayor mercado frente a la creciente demanda de banda ancha inalámbrica, ofreciendo un mejor rendimiento que el que se consigue con las tecnologías DSL.

El siguiente paso en la evolución hacia las Redes de Cuarta Generación o 4G se conoce como *Long Term Evolution* (LTE), promovido por el *3rd Generation Partnership Project* (3GPP).

---

LTE es una tecnología inalámbrica basada en IP que mejorará las capacidades de las actuales tecnologías de red celular para satisfacer las necesidades de un cliente altamente exigente acostumbrado a los servicios fijos de banda ancha tales como Voz sobre IP (VoIP), vídeo *streaming*, descarga de música, televisión y muchos otros. Todos estos servicios tendrán un rendimiento significativamente mayor para facilitar la adecuada calidad de servicio. Para clientes empresariales, significará alta velocidad de transferencia de archivos grandes, videoconferencias de alta calidad y el acceso seguro a redes corporativas. LTE ofrece las características de la Web de hoy en el espacio móvil por primera vez. Sin embargo, las tecnologías de la competencia están preparadas para enfrentar la creciente demanda de la banda ancha inalámbrica. No obstante, los operadores móviles, gracias a su posición tradicional, tienen una oportunidad única para desarrollar sus infraestructuras de redes inalámbricas de nueva generación y aprovechar esta gran oportunidad de seguir creciendo en el mercado.

Por otro lado, la aplicación de nuevas tecnologías ayudaría a optimizar el uso de la infraestructura, orientándola hacia la convergencia de servicios, a la implementación de nuevas redes y hacia la inversión en sectores menos atendidos. De igual manera la aplicación de nuevas tecnologías contribuirá a mejorar la calidad de los servicios de telecomunicaciones, mejorará la interacción entre usuarios y servicios de telecomunicaciones.

Un análisis sistemático de la tecnología LTE permitirá disponer y proveer de la información oportuna para facilitar su implementación en un futuro en nuestro país, y resulta de vital importancia, ya que no se han realizado estudios investigativos de ésta tecnología en la Escuela Politécnica del Ejército y son pocos los estudios y publicaciones realizadas en el país. De igual manera, es necesario que el Ecuador esté a la par con las nuevas tendencias tecnológicas que en otros países ya se están adoptando, siendo LTE una de las tecnologías inalámbricas del futuro.

## 1.2. ALCANCE.

En este proyecto se realizará un análisis sistemático de la evolución de la tecnología *Long Term Evolution*, sus características, arquitectura y protocolos, comparándola con otras similares con el fin de obtener una comprensión más profunda de la tecnología y **sus capacidades, y considerando los requerimientos para su posible implementación en el Ecuador. Las condiciones a tomar en cuenta para que la tecnología LTE sea implementada en el Ecuador son condiciones de mercado, tecnológicas y regulatorias**, para lo cual se hará uso de la información que la Superintendencia de Telecomunicaciones pone a disposición en su página web y de la información que los operadores de telefonía móvil y proveedores de servicios de Banda Ancha nos pueden facilitar.

## 1.3. OBJETIVOS.

Con la finalidad de cumplir el presente alcance, se han planteado los siguientes objetivos.

### 1.3.1. General.

Analizar la Tecnología *Long Term Evolution* (LTE) para su posible implementación en el Ecuador.

### 1.3.2. Específicos.

- Analizar el desarrollo que las redes de datos han asumido y la convergencia que se está alcanzando desde diferentes puntos de vista.
- Analizar la tecnología LTE frente a otras nuevas tecnologías de Banda Ancha Móvil.

- Definir las características, arquitectura y protocolos de la tecnología LTE.
- Establecer los requerimientos necesarios para la posible implementación de la tecnología LTE en el Ecuador.

## **1.4. ORGANIZACIÓN DEL DOCUMENTO.**

### **1.4.1. Primer Capítulo.**

Esta sección tiene como finalidad presentar una breve explicación del proyecto, además del alcance y objetivos del mismo.

### **1.4.2. Segundo Capítulo.**

En este capítulo se analiza los cambios que han impulsado la convergencia de las telecomunicaciones, determinando el desarrollo que las redes de datos han asumido y la convergencia que se está alcanzando desde diferentes puntos de vista. Además se determinará la función de los grupos 3GPP y 3GPP2, una descripción de LTE y sus especificaciones y se analizará las nuevas tecnologías de Banda Ancha Móvil.

### **1.4.3. Tercer Capítulo.**

Se detalla la arquitectura, protocolos y otros aspectos fundamentales de la tecnología *Long Term Evolution*, además de un análisis frente a otras nuevas tecnologías.

**1.4.4. Cuarto Capítulo.**

Se analiza los principales aspectos a tomar en cuenta para la posible implementación en el Ecuador, entre los aspectos a detallar están el mercado de consumo, el marco regulatorio y la situación de las operadoras de telefonía móvil. Además se determina la situación del mercado de banda ancha en el país y las consideraciones que se deben tener sobre las tarifas al planificar la oferta de banda ancha mediante LTE.

**1.4.5. Quinto Capítulo.**

Se determinan las conclusiones obtenidas al final de éste proyecto, tomando en cuenta los principales aspectos; además de realizar las respectivas recomendaciones de los inconvenientes que se presentaron en el transcurso del desarrollo del mismo.

## CAPITULO 2

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### 2.1. INTRODUCCIÓN A LA CONVERGENCIA.

Desde la antigüedad, el ser humano ha buscado la forma de transmitir información, valiéndose de diversas maneras, que con el transcurso del tiempo se convirtieron en grandes avances tecnológicos para las telecomunicaciones. Es por esta razón, que es necesario detallar la evolución histórica de las telecomunicaciones, como esta se ha ido desarrollando hasta el punto de dar origen a la convergencia.

##### 2.1.1. Desarrollo de las Telecomunicaciones.

Los primeros pasos de las Telecomunicaciones se dieron en los años 3500 AC, donde la comunicación ya se la realizaba mediante signos abstractos dibujados en papel hecho de hojas de árboles. Con el paso del tiempo y al ver el hombre la necesidad de comunicarse, buscó otros métodos de hacerlo, desarrollando diversas técnicas; una de las primeras fue el telégrafo de tambor, donde el concepto era transmitir información a través de sonidos que emanaban de un tambor, luego se crearon los telégrafos de agua, que almacenaban información detallada en una serie de barriles llenos de agua y luego se transmitía por señales de humo o fuego.

Siendo los estudios de la electricidad la base de las innovaciones tecnológicas más importantes, en 1752 Benjamín Franklin con su famoso experimento de la cometa demostró la naturaleza eléctrica de los rayos y estableció la ley de conservación de la carga, posteriormente grandes inventos fueron surgiendo bajo este concepto.

En 1837 Samuel Morse inventa el telégrafo, un circuito electromagnético que servía para transmitir información, y completó el sistema diseñando el conocido “código Morse”. El telégrafo fue la primera aplicación práctica y comercial que utilizaba la electricidad y el primer sistema digital de comunicaciones.

Pocos años luego del invento del telégrafo, Alexander Bain, había diseñado un sistema capaz de transmitir imágenes a través de líneas telegráficas, inventó el primer “fax”. A pesar del gran avance que significó el telégrafo y el fax, se buscó un método más eficaz de transmisión, es por eso que en 1876 Alexander Graham Bell, patentó el teléfono y se logró la primera transmisión de una señal de voz a través de un cable eléctrico.

La telefonía sobre cables telegráficos crecía, pero los intentos de realizar comunicaciones inalámbricas comenzaban. Guglielmo Marconi realizó la primer transmisión telegráfica inalámbrica utilizando ondas de radio y es en 1901 que establece el primer enlace inalámbrico a través del Océano Atlántico.

Durante el siglo XX, los avances tecnológicos parecen darse de una manera mucho más apresurada. En 1904 John Ambrose Fleming, inventa el diodo, marcando el nacimiento de la electrónica. Pero una de las etapas más determinantes de este siglo fue el comienzo de la Segunda Guerra Mundial, que dio un empuje considerable al desarrollo de las comunicaciones, una de las invenciones más significativas fue la construcción de la primera computadora programable utilizada con fines militares en primera instancia.

Mientras las posibilidades de comunicación se extendían con el tendido de cables sobre el océano, también lo estaban haciendo a través del espacio. En 1958, Rusia logró colocar en órbita el primer satélite artificial, el Sputnik 1 y diez años después aproximadamente, se realiza la primera transmisión televisiva desde la Luna. En el mismo año, entraba en funcionamiento la primera red de computadoras, la ARPANET que constituiría el nacimiento y auge del Internet. La “*World Wide Web*” (www) fue creada en 1989 por Tim Barners Lee en el Instituto Europeo de Investigación de Física de Partículas (CERN) en Ginebra (Suiza).

Martin Cooper se le considera como "el padre de la telefonía celular", en 1973 introduce el primer radioteléfono, en Estados Unidos. Las comunicaciones móviles no aparecen a nivel comercial sino hasta finales del siglo XX, cuando la primera generación de redes móviles fue lanzada, desde entonces el crecimiento comercial que han experimentado los operadores de comunicaciones móviles, ha sido exponencial, debido a la gran aceptación de los usuarios. De esta manera, se inició el desarrollo de una gran variedad de redes alámbricas e inalámbricas.

Las necesidades de telecomunicaciones siguen creciendo, este proceso de evolución ha tenido un rápido progreso en el tiempo en cuanto a la generación de nuevas tecnologías y servicios, afectando también a las estrategias empresariales, lo que exige para los empresarios la búsqueda de nuevos servicios más integrales que satisfagan al cliente, cada vez más exigente. A consecuencia de esto, el desarrollo de la convergencia no escapa a este escenario.

### **2.1.2. Convergencia de las Telecomunicaciones.**

Al ser la convergencia un término tan amplio, quienes lo analizan optan por eludir su definición y simplemente evalúan sus consecuencias en campos como lo es el social, económico, empresarial y regulatorio.

Existen diferentes perspectivas de la convergencia, algunos lo relacionan al ámbito tecnológico, otros lo definen como un fenómeno de integración y por último está la definición del diccionario que puntualiza a la convergencia como la concurrencia de dos o más elementos hacia “un mismo fin”.<sup>1</sup>

Dentro del sector de las telecomunicaciones se ha abordado el tema de la convergencia atendiendo las necesidades y demandas del cliente, permitiéndole un acceso inmediato a los servicios, en cualquier momento e independiente del lugar en el que se encuentre, sea en movimiento o en un lugar concreto.

Por otra parte, la convergencia tecnológica conlleva a la integración de determinadas tecnologías en un mismo dispositivo multimedia, capaz de identificar y procesar señales asociadas a diferentes servicios; esto es posible gracias a la “digitalización”.<sup>2</sup>

A continuación, se explicará con más detalle la convergencia desde diferentes puntos de vista.

- **Convergencia de Redes.**

Convergencia de redes es una evolución tecnológica de las redes existentes. Está relacionada directamente con la convergencia de servicios, su objetivo consiste en que distintas redes digitales superpongan su servicio de manera transparente para el usuario, de tal manera que éste perciba una única red capaz de proveer una variedad de servicios a través de múltiples accesos.

---

<sup>1</sup> Real Academia Española, Diccionario de la lengua española, 22a edición, España, Madrid, 2001.

<sup>2</sup> Digitalización: Conversión de un contenido analógico en otro representado digitalmente.

Estas nuevas redes también son conocidas como NGN (*Next Generation Networks*) Redes de Próxima Generación, son redes totalmente basadas en paquetes, que usarán como base de su arquitectura y funcionamiento el protocolo IP, capaces de proveer servicios de telecomunicaciones y de utilizar múltiples tecnologías de transporte de banda ancha y QoS<sup>3</sup>, con la finalidad de optimizar el funcionamiento de redes y la expansión del tráfico digital.

El modelo de referencia de las NGN separa las funciones de transporte y de servicios en dos bloques independientes, cada uno de ellos dispone de un plano de usuarios, de control y de gestión, cada plano a su vez tendrá sus propios servicios, aplicaciones y funcionalidades como se detalla en la Figura 2.1, esto permite una evolución independiente de cada uno de estos dos bloques.

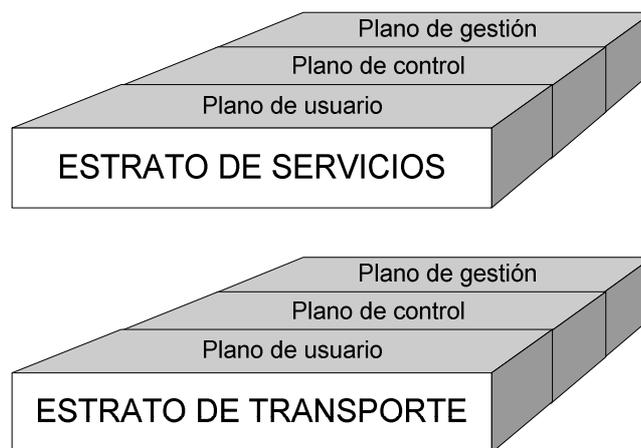


Figura 2.1 Modelo de referencia de las NGNs

- **Convergencia de Servicios.**

La evolución de las redes tradicionales hacia redes de NGN se fundamenta principalmente en la convergencia de servicios, permitiendo transportar múltiples servicios

---

<sup>3</sup> QoS: *Quality of Service*, tecnología que garantiza la transmisión de cierta cantidad de información en un tiempo dado.

por una única red. Estos servicios evolucionaron como respuesta a la demanda de las necesidades tecnológicas integradas.

Actualmente los proveedores de servicios ofrecen alternativas como el triple *play*, que es la integración de los servicios de: voz (telefonía), video (televisión) y datos (internet) sobre una misma infraestructura, pero se pretende avanzar a *cuádruple-play* (voz, video, datos y movilidad), esperando que los proveedores de servicios móviles y de servicios de telefonía fija ofrezcan una integración fijo – móvil dando lugar a la convergencia fijo – móvil. La idea es que en un futuro se llegue a ofrecer *n-play*, permitiendo acceder a cualquier servicio, en cualquier dispositivo y sin importar el lugar en el que el usuario se encuentre.

Dado lo anterior, se entiende como convergencia de servicios, al ofrecimiento de una gran variedad de servicios a través de una sola infraestructura y por un solo proveedor de telecomunicaciones.

Un término que es importante puntualizar, es la sustitución fijo – móvil (FMS), que no es lo mismo que la convergencia de servicios fijo – móvil (FMC), dos de las nuevas estrategias de convergencia de los operadores de servicios de telecomunicaciones. La FMS consiste en la sustitución del terminal fijo por el terminal móvil, de tal forma que el usuario disponga únicamente de un teléfono móvil, simulando tener un equipo fijo cuando se encuentre dentro de su casa u oficina y con tarifas reducidas. Los operadores móviles son los que mayor interés tienen en fomentar esta alternativa.

- **Convergencia de Terminales.**

Actualmente, el usuario ha optado por adquirir dispositivos multifuncionales que permitan el acceso a diferentes servicios desde un solo dispositivo, es por esta razón que los fabricantes de terminales se han visto obligados a expandir sus modelos de negocios a

servicios ajenos a los que principalmente estaban dedicados, con el fin de atender las necesidades de los usuarios y dando lugar a la convergencia de terminales.

Por lo tanto, la convergencia de terminales pretende brindar acceso a distintas redes y múltiples servicios de telecomunicaciones mediante un mismo terminal.

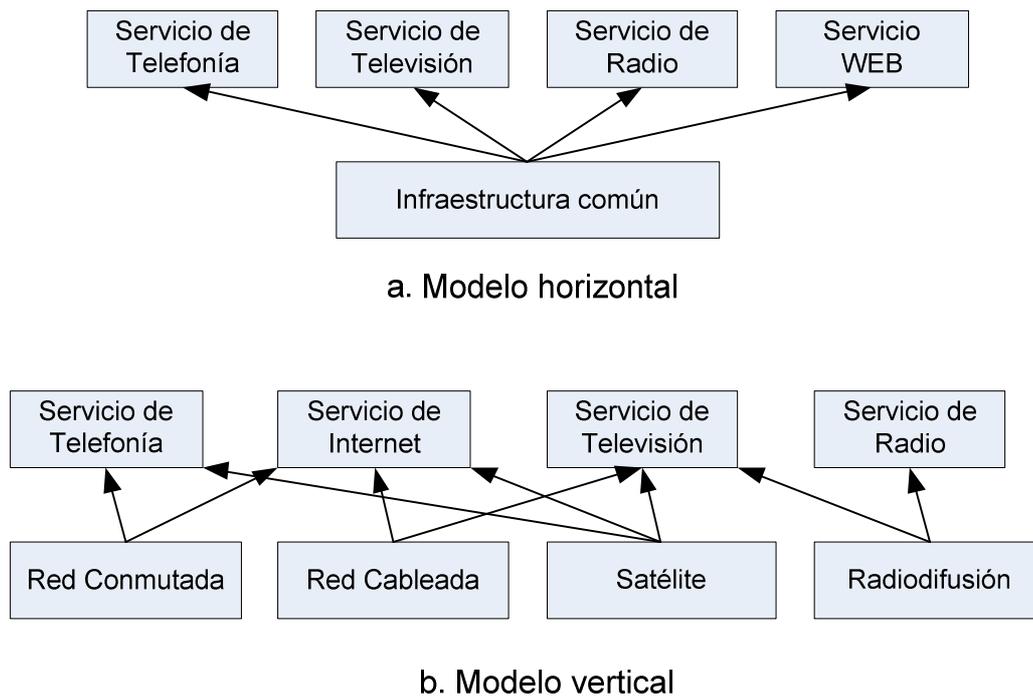
- **Convergencia de Industrias.**

Las nuevas posibilidades de la tecnología, la ampliación y mejora de redes, la demanda de servicios integrados, entre otros factores, exigen a las empresas del sector de las telecomunicaciones la búsqueda de nuevas estrategias de mercado, en la cual la tecnología se pone al servicio de las demandas del cliente, expresadas en términos de funcionalidad, portabilidad, manejabilidad y costo.

La convergencia de Industrias es evidenciada por las alianzas estratégicas y fusiones entre empresas comunes y de diversos sectores, cuyo objetivo es explotar mercados existentes y nuevos.

Este proceso provoca cambios en el modelo de negocios de muchos proveedores de servicios, pasando de un modelo vertical, en el cual la red y los servicios aparecen ligados, a un modelo horizontal, en el que se propone una red común a todos los servicios, como se muestra en la Figura 2.2.

El proceso de convergencia, las alianzas y fusiones entre empresas, propician la estructuración de nuevas normas regulatorias determinando en gran parte las condiciones de competencia de los mercados de los servicios de telecomunicaciones.



**Figura 2.2 Modelo de negocios de proveedores de servicios**

## 2.2. BANDA ANCHA MÓVIL.

En la actualidad, las tecnologías de acceso inalámbrico han tomado gran importancia y posicionamiento en el mercado de las telecomunicaciones, su acelerada evolución, la comodidad y versatilidad que ofrecen, las hace atractivas al usuario.

La Banda Ancha Móvil tiene dos dimensiones: movilidad y banda ancha, la movilidad apareció con las comunicaciones de voz mediante sistemas celulares, y la banda ancha empezó con la no movilidad.

Banda Ancha se refiere a la conexión a Internet que permite soportar voz, datos y video a altas velocidades, típicamente dadas por conexiones a tierra como DSL o servicios

cableados. Se considera Banda Ancha Móvil porque múltiples servicios pueden viajar a través de la banda ancha mediante el uso de dispositivos móviles.

Las tecnologías de acceso inalámbrico han seguido diferentes caminos evolutivos con un solo objetivo: rendimiento y eficiencia en un ambiente de movilidad. La primera generación (1G) ha cumplido con la transmisión de voz móvil, mientras que la segunda generación (2G) ha introducido capacidad y cobertura. Esta es seguida por la tercera generación (3G) que permite la transferencia de datos a altas velocidades y que tiene como finalidad llegar a la cuarta generación (4G), ofreciendo un servicio de Banda Ancha Móvil.

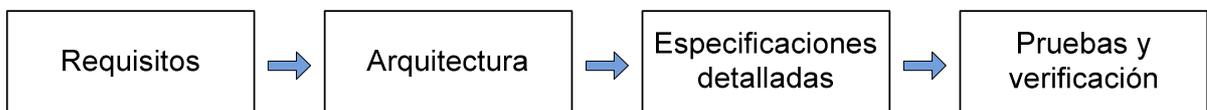
La tecnología de Banda Ancha móvil se está convirtiendo en algo muy común para el usuario, la arquitectura de red está convergiendo a una arquitectura de red basada en solo IP con *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA). Aunque la evolución de la red aun no ha llegado a un punto de convergencia total, las redes de acceso inalámbrico han tenido varios estados de evolución, y están siendo diseñadas para soportar entregas ubicuas, es decir en cualquier momento y en cualquier lugar, de servicios multimedia a través de la *internetworking*.

Algunas de las principales tecnologías a nivel mundial basadas en IP-OFDMA son: WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), *Long Term Evolution* (LTE) y *Ultra Mobile Broadband* (UMB), estos estándares son desarrollados por organizaciones como *Internet Engineering Task Force* (IETF), *Third Generation Partnership Project* (3GPP), *Third Generation Partnership Project 2* (3GPP2), *WiMAX Forum* y el *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE).

El establecimiento de un estándar para comunicaciones móviles, es un proceso continuo. Los foros de normalización están en constante evolución tratando de satisfacer las demandas de servicios. El proceso de normalización es diferente en los distintos foros, pero típicamente incluye cuatro fases.

- Requisitos, se decide lo que se quiere lograr en el estándar.
- Arquitectura, se determinan los bloques e interfaces principales para ser estandarizados.
- Especificaciones detalladas, se especifica en detalle cada interfaz.
- Pruebas y verificación, las especificaciones de interface son demostradas en equipos reales.

En la Figura 2.3 se muestra el proceso de normalización con sus cuatro fases.



**Figura 2.3 Fases del proceso de normalización**

### 2.2.1. Familia *Third Generation Partnership Project* (3GPP).

*Third Generation Partnership Project* (3GPP) es una colaboración entre grupos de asociaciones de telecomunicaciones, encargados de las especificaciones técnicas de los sistemas móviles de 3G dentro del proyecto *International Mobile Telecommunications – 2000* (IMT-2000) de la *International Telecommunication Union* (ITU). Los organismos que conforman este grupo son:

- *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI),
- *Association of Radio Industries and Businesses* (ARIB),
- *Telecommunication Technology Committee* (TTC),
- *Telecommunications Technology Association* (TTA),
- *China Communications Standards Association* (CCSA), y
- *Alliance for Telecommunications Industry Solutions* (ATIS).

En Diciembre de 1998 fue formado el 3GPP y su alcance inicial fue producir especificaciones globales para sistemas móviles 3G basados en el núcleo de red GSM, incluyendo el acceso de radio basado en WCDMA.<sup>4</sup>

El 3GPP no debe ser confundido con *Third Generation Partnership Project 2* (3GPP2), el cual especifica estándares para otra tecnología 3G basada en *Interim Standard 95* (IS-95) o CDMA2000. IS-95 es el primer estándar de telefonía móvil celular basado en tecnología CDMA.

El 3GPP publica cada cierto tiempo un conjunto de documentos con continuas revisiones y evoluciones conocido como “*Release*”, esto proporciona a los desarrolladores, contar con una plataforma estable para la implementación.

*Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS), el cual es basado en la tecnología WCDMA, ha sido estudiado en el Release-1999 (Rel-99) del 3GPP y publicado en el año 2000. UMTS fue el siguiente paso después de GSM, GPRS y EDGE para ofrecer mejoramiento de voz y servicio de datos con un ancho de banda de 5MHz.

*Release 4* (Rel-4) es introducido en Marzo de 2001, proporciona soporte a mensajería multimedia, interconexión eficiente de la infraestructura del núcleo de red sobre el *backbone* de la red IP.

*Release 5* (Rel-5) provee *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) que proporciona una eficiencia espectral para servicios de datos a alta velocidad. Además introduce *IP Multimedia Subsystem* (IMS) e *IP UMTS Terrestrial Radio Access Network* (UTRAN) ofreciendo flexibilidad a los operadores en la entrega de servicios.

---

<sup>4</sup> WCDMA: *Wide Code Division Multiple Access*, es una tecnología de múltiple acceso que proporciona mayor tasa de transmisión de datos. El estándar que usa esta tecnología es *Universal Mobile Telecommunications Systems* (UMTS).

IMS, es un nuevo subsistema que utiliza la conmutación de paquetes y el *Session Initiation Protocol* (SIP) para conseguir la transmisión eficiente de contenidos multimedia sobre IP en las redes móviles. Actualmente forma parte de la arquitectura de las redes de próxima generación, con el fin de integrar todos los servicios IP disponibles, y permitir la interacción de diversas redes heterogéneas y no heterogéneas.

*Release 6* (Rel-6) presentado en Marzo de 2005, introduce *High Speed Uplink Packet Access* (HSUPA), *Multimedia Broadcast Multicast Service* (MBMS<sup>5</sup>), y los receptores avanzados. La combinación de HSDPA y HSUPA es llamada *High Speed Packet Access* HSPA.

*Release 7* (Rel-7) se centra en la tecnología *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) y estaciones base fundamentadas en IP. Presenta nuevas mejoras en cuanto a *HSPA Evolution*, comúnmente llamada HSPA+, reduce la latencia y presenta una arquitectura más simple.

*Release 8* (Rel-8) proporcionan mejoras a la tecnología HSPA+. Ofrece mayores velocidades de datos y baja latencia para el usuario, mediante OFDMA. Además de una red totalmente IP para el mejoramiento de la eficiencia espectral, y se define una nueva tecnología llamada LTE.

*Release 9* (Rel-9) añade mejoras en la funcionalidad de características y rendimiento de HSPA y LTE. Para HSPA, son introducidas las opciones de multicarrier y MIMO. Para LTE, se mejora los servicios de localización y de radiodifusión. Además se centra en la evolución de la arquitectura de IMS. El siguiente paso para la evolución de LTE, es *LTE – Advanced* como una tecnología de 4G y que actualmente está siendo estandarizado en el Rel-10. En la Figura 2.4 se presenta los *Releases* del 3GPP.

---

<sup>5</sup> MBMS: *Multimedia Broadcast Multicast Service*, es un servicio de radiodifusión.

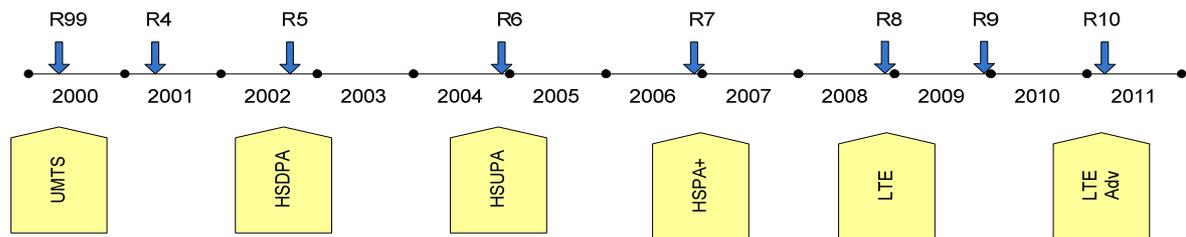


Figura 2.4 Releases del 3GPP

- Estandarización *Long Term Evolution* (LTE).

*Long Term Evolution* (LTE) fue introducido por el 3GPP en el Rel-8 como el siguiente paso de UMTS. Su eficiencia espectral ha tenido una gran mejora, llegando a cuatro veces HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) en *downlink*, y tres veces en *uplink*. Además tiene una baja latencia.

LTE es conocido como una tecnología de 4G ya que utiliza un nuevo método de acceso, OFDMA. Tener un cambio en la tecnología de acceso, implica un cambio en la generación de tecnología móvil<sup>6</sup>. Pero LTE (definida en el 3GPP *Release 8*) no es propiamente una tecnología de 4G, a pesar de cumplir con algunas de las características requeridas para serlo.

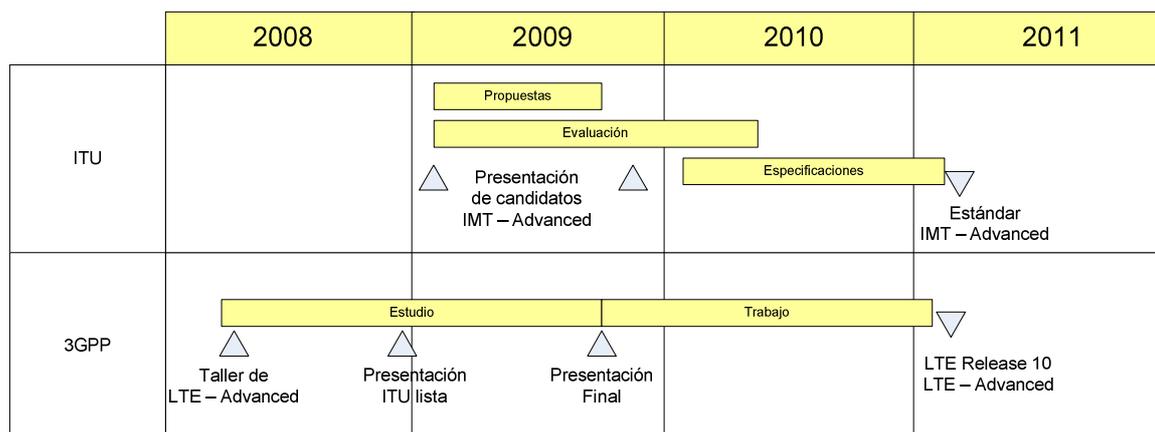
En el año 2008, la ITU estableció el término *International Mobile Telecommunications – Advanced* (IMT – *Advanced*) para identificar a aquellas tecnologías con capacidad superior a las de IMT-2000. LTE es una de las tecnologías de IMT-2000, tecnología de 3G. Pero puede ser vista como los primeros pasos hacia una 4G.

<sup>6</sup> 2G usa *Time Division Multiple Access* (TDMA) / *Frequency Division Multiple Access* (FDMA) y 3G usa *Code Division Multiple Access* (CDMA).

En *Release 10* del 3GPP se presenta una mejora de LTE, que se conoce como *LTE – Advanced*. Esta tecnología se prevee ser el candidato 3GPP para el acceso de radio de *IMT – Advanced*. Un requisito necesario para *LTE – Advanced* es el cumplimiento de todas las exigencias de *IMT – Advanced* definidas por la ITU. Además es necesario cumplir con una serie de requisitos de compatibilidad con las anteriores tecnologías.

El calendario de trabajo de 3GPP para el estudio de *LTE – Advanced*, en relación con el calendario de la ITU para el estudio de *IMT – Advanced*, se resume en la Figura 2.5.

En abril de 2008 se realizó un taller de estudio de *LTE – Advanced*, donde se discutieron diferentes requisitos y componentes básicos de la tecnología. De acuerdo con el calendario, este estudio se siguió hasta mediados de 2009. A partir de aquí, se espera que un grupo de trabajo inicie con la definición detallada de *LTE – Advanced* y finalice a principios del 2011, permitiendo que esta tecnología esté lista para su despliegue comercial. El calendario está bien alineado con la finalización prevista de la recomendación de *IMT – Advanced* en la ITU.



**Figura 2.5** Calendario de trabajo de 3GPP para el estudio de *LTE – Advanced*, en relación con el calendario de la ITU para el estudio de *IMT – Advanced*

### 2.2.2. Familia *Third Generation Partnership Project 2 (3GPP2)*

El grupo *Third Generation Partnership Project 2 (3GPP2)* es otro consorcio que al igual que 3GPP, se encarga de la estandarización de los sistemas móviles de 3G dentro del proyecto IMT-2000 de la ITU. 3GPP2 promueve el sistema CDMA2000, el cual está basado también en la tecnología WCDMA.

Los miembros de 3GPP2 incluyen a ARIB, CCSA, *Telecommunications Industry Association (TIA)*, TTA y TTC. A pesar de que existen algunas características comunes en los sistemas 3GPP y 3GPP2 y forman parte de la familia de estándares de IMT-2000, técnicamente son incompatibles.

El 3GPP2 ha evolucionado de la tecnología IS-95, a sistemas basados en *Evolution Data Optimized (EV-DO)*, que pertenecen a la familia CDMA2000 y que ha sido adoptado por algunos proveedores a nivel mundial, sobre todo en América del norte.

El primer estándar de la familia CDMA2000, denominado CDMA2000 1xEV-DO, introduce una red de banda ancha para datos, ofreciendo velocidades mayores a 2 Mbps en un entorno móvil. En el 2001, fue aprobado como un estándar IMT-2000, llamándolo en un inicio CDMA2000 *High Rate Packet Data (HRPD)*, y se le fue asignado la denominación numérica IS-856.

El 3GPP2 al igual que el 3GPP publica cada cierto tiempo un conjunto de documentos. CDMA2000 1xEV-DO *Revision 0 (Rev-0)* ofrece altas velocidades de acceso y fue la primera tecnología de banda ancha móvil desarrollada a nivel mundial.

Rev-0 provee picos de tasa de datos de 2.4 Mbps en *downlink* (canal de bajada) y 153 Kbps en *uplink* (canal de subida) con una única portadora *Frequency Division*

*Duplexing* (FDD) de 1.25 MHz. Comercialmente Rev-0 ofrece un rendimiento promedio de 300 a 700 Kbps en *downlink* y de 70 a 90 Kbps en *uplink*. Rel-0 soporta aplicaciones y conectividad de redes basadas en IP.

CDMA 1xEV-DO *Revision A* (Rev-A) es una evolución de CDMA2000 1xEV-DO Rel-0, permite incrementar los picos de tasa de datos en *downlink* y *uplink* ofreciendo la posibilidad de un ancho de banda simétrico ideal para aplicaciones de banda ancha. Incorpora la tecnología OFDM permitiendo *multicasting* para la entrega de contenido multimedia, su arquitectura está basada en IP soportando aplicaciones tales como VoIP. Los picos de tasa de datos en *downlink* son de 3.1 Mbps y en *uplink* son de 1.8 Mbps con una portadora FDD de 1.25MHz. Sin embargo, comercialmente, Rev-A alcanza un rendimiento promedio de 450 a 800 Kbps en *downlink* y de 300 a 400 Kbps *uplink*.

Como un sucesor de Rev-A, se encuentra CDMA2000 1xEV-DO *Revision B* (Rev-B), introduce una asignación dinámica de ancho de banda para proporcionar un mayor rendimiento mediante la agregación de múltiples canales de 1.25MHz. Se incrementa la velocidad de datos pico y es proporcional al número de canales. Cuando 15 canales son combinados en un ancho de banda de 20MHz, Rev-B ofrece hasta 46.6 Mbps en *downlink* y 27 Mbps en *uplink*. Además soporta *multicasting* basado en OFDM e introduce baja latencia.

Un paso más allá de la evolución de CDMA2000 es la *Revision C* (Rev-C) del estándar 1xEV-DO, también llamado *Ultra Mobile Broadband* (UMB). Esto incluye OFDMA, y trabaja sobre antenas inteligentes.

- **Estandarización *Ultra Mobile Broadband* (UMB).**

El estándar *Ultra Mobile Broadband* (UMB) es la evolución de las tecnologías CDMA2000 (EV-DO Rev-0, A, B) en el 3GPP2. La estandarización de UMB inició en

Julio de 2006 y la primera publicación se la realizó en Abril de 2007. Introduce mayores tasas de datos pico, una mayor eficiencia espectral, baja latencia y mejora la capacidad para el uso de aplicaciones sensibles al retardo. Es muy similar a LTE en términos tecnológicos y características, con una diferencia principal que UMB utiliza OFDMA en el *uplink* y también soporta CDMA, mientras que LTE utiliza una modulación de una única portadora. Las velocidades pico teóricas para 20 MHz en *downlink* es de 288 Mbps y para el *uplink* es de 75 Mbps.

UMB utiliza una red completamente IP, que cumple con la visión de la ITU para servicios de redes de nueva generación, con el fin de permitir la convergencia de voz basada en IP, datos de banda ancha, multimedia, tecnología de información y entretenimiento. UMB está designada a ofrecer soporte económico para una gran variedad de servicios de banda ancha móvil avanzados.

### **2.2.3. Acceso Inalámbrico de Banda Ancha.**

La tecnología inalámbrica es quizá una de las opciones más viables para usuarios en donde la banda ancha esta fuera de su alcance y que buscan acceso a alta velocidad o simplemente acceso. El Acceso Inalámbrico de Banda Ancha (BWA, por sus siglas en inglés) ha comenzado con un acceso fijo con el fin de competir con DSL y cable módem. Gracias a la gran demanda y al rápido crecimiento de la Banda Ancha, han surgido nuevas tecnologías inalámbricas que permiten la reducción de costos de operación.

Los Sistemas de Distribución Multipunto Local o *Local Multipoint Distribution Systems* (LMDS) es la primera tecnología de BWA que mostró un rápido éxito de corta duración a finales de 1990 como una alternativa inalámbrica a la fibra y cable coaxial. LMDS es un sistema de transmisión directa que necesita línea de vista (LOS<sup>7</sup>) y trabaja en

---

<sup>7</sup> LOS (Line of sight): Línea de vista.

frecuencias de microondas, es una alternativa a la instalación de la fibra óptica, como tecnología de última milla.

El Servicio de Distribución Multicanal Multipunto o *Mutichannel Multipoint Distribution Service* (MMDS) es una tecnología inalámbrica originalmente considerada para la distribución de vídeo en aquellas zonas en las que no es factible realizar un cableado convencional, y que llegó a ser muy popular en zonas escasamente pobladas.

LMDS y MMDS han adoptado la versión modificada de *Data Over Cable Service Interface Specification* (DOCSIS<sup>8</sup>) para banda ancha inalámbrica conocida como DOCSIS+. MMDS proporciona un mayor alcance que LMDS, pero sigue siendo necesario línea de vista para operar.

El reto de la línea de vista de la Banda Ancha Inalámbrica se ha abordado con OFDM y las actividades de normalización empezaron en 1988 por la IEEE en el grupo de trabajo 802.16. Este grupo se ha dirigido a estandarizar la tecnología *Wireless Metropolitan Area Network* (WMAN), el cual ha desarrollado y emitido diferentes versiones.

En el año 2001, el primer estándar es aprobado como *Wireless MAN-SC*, el cual especifica una tecnología de una sola portadora, trabaja en frecuencias de 10 a 66 GHz y la transmisión aún requiere LOS. Posteriormente en el año 2002 aparece una nueva versión, la 802.16c, para enlaces fijos con línea de vista directa y con cobertura para última milla. El estándar 802.16a, completado en el 2003 introduce tres esquemas de acceso: única portadora, OFDM y OFDMA para un acceso fijo sin línea de vista (NLOS<sup>9</sup>). Este estándar trabaja en frecuencias de 2 a 11 GHz para bandas licenciadas y no licenciadas y es una extensión del estándar IEE 802.16.

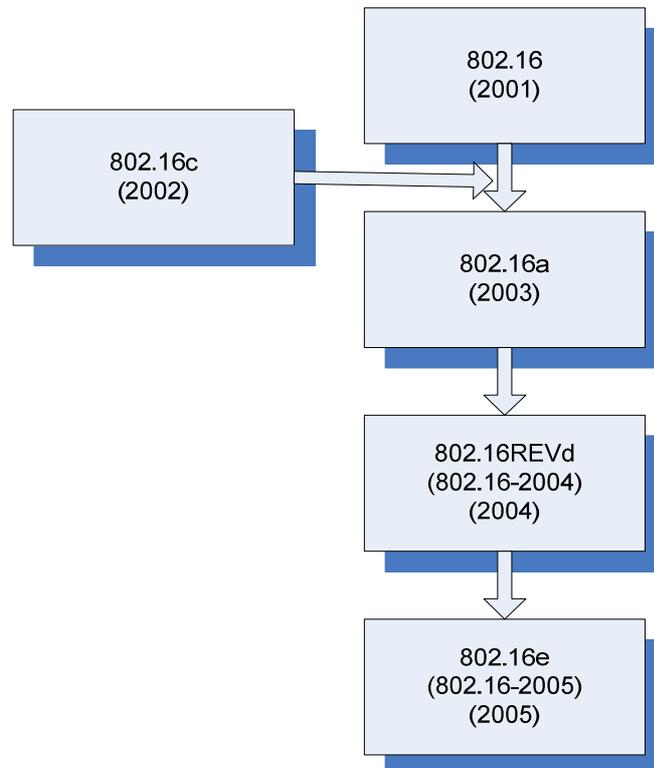
---

<sup>8</sup> DOCSIS: Data Over Cable Service Interface Specification, estándar no comercial que define los requisitos de la interfaz de comunicaciones y operaciones para los datos sobre sistemas de cable.

<sup>9</sup> NLOS (*Non Line of sight*): Sin línea de vista.

El estándar IEEE 802.16-2004, antes conocido como 802.16d y ratificado en el 2004, sustituyó a los estándares IEEE 802.16, 802.16a, y 802.16c y constituye la base de WiMAX<sup>10</sup> fijo. Este estándar mejoró el rendimiento de LMDS/MMDS y disminuyó las exigencias de visibilidad entre estaciones base y antenas cliente. En el 2005, se presenta el estándar IEEE 802.16e-2005, introduce mejoras para movilidad de alta velocidad convirtiéndose en la base de WiMAX móvil. En la Figura 2.6 se muestra la evolución de la tecnología WiMAX.

El despliegue masivo del estándar 802.16 impulsó la creación del consorcio WiMAX *Forum*, siendo ésta una corporación sin fines de lucro que se formó en abril de 2001 por los proveedores de equipos y componentes para ayudar a promover y certificar la compatibilidad e interoperabilidad de equipos de acceso inalámbrico de banda ancha basados en el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) y el *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI).



**Figura 2.6 Evolución de la tecnología WiMAX**

<sup>10</sup> WiMAX: *Worldwide Interoperability for Microwave Access*.

Se cree que WiMAX *Forum* es un estándar común para BWA, el cual ayuda a bajar los costos de los equipos, además los operadores de BWA no estarían destinados a tener un solo proveedor, ya que las estaciones base operarían con equipos de distintos vendedores.

#### 2.2.4. WIMAX Móvil y 4G.

WiMAX móvil ha evolucionado del acceso inalámbrico fijo, hereda sus características y optimiza los servicios de datos de banda ancha. Mientras WiMAX móvil enfrenta el reto de apoyar la movilidad, los sistemas 3G se enfrentan al reto de soportar mayores velocidades de datos. WiMAX móvil ofrece mayores velocidades de datos gracias a OFDMA e introduce varias características necesarias para la entrega de la movilidad con calidad de servicio, comparable a las alternativas de acceso banda ancha. Varias características de EV-DO y HSPA se utilizan para mejorar el *throughput*.

Existen otros contendientes de banda ancha móvil además de WiMAX, *Long Term Evolution* (LTE) (*Release 8*) del 3GPP y *Ultra Mobile Broadband* (UMB) (anteriormente CDMA2000 1xEV-DO Rev-C) del 3GPP2, los cuales están diseñados con la misma interfaz aire (OFDMA) como WiMAX. Además de la tecnología OFDMA, los tres se basan en servicios IP.

El principal objetivo de WiMAX móvil se dirige a lo que generalmente se llama 4G. El estándar IEEE 802.16m al igual que la tecnología LTE no son consideradas tecnologías de 4G pero pueden ser vistas como los primeros pasos hacia una 4G.

En la Figura 2.7 se muestra la evolución de la tecnología celular comparada con tecnologías de diferentes estándares.

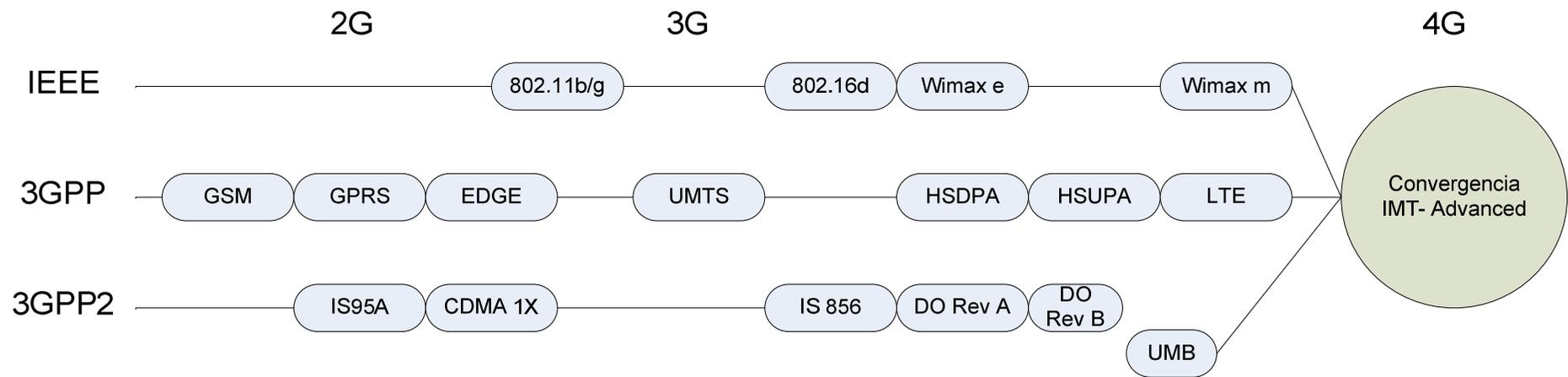


Figura 2.7 Evolución de la tecnología celular

## CAPITULO 3

### LA TECNOLOGÍA *LONG TERM EVOLUTION*

#### 3.1. INTRODUCCIÓN.

Esta tecnología recibe también el nombre de *Evolved Universal Terrestrial Radio Access* (E-UTRA) y forma parte del *Release 8* de la especificación de 3GPP.

El objetivo principal de LTE es proporcionar una alta tasa de datos, baja latencia y optimización de paquetes, con una tecnología de acceso de radio con un ancho de banda flexible, permitiendo a los operadores migrar sus redes de HSPA a LTE, para lo cual se dispone de una nueva arquitectura de red, que permite soportar en movimiento un tráfico de conmutación de paquetes, con garantía de calidad de servicio a una mínima latencia.

De igual manera que los sistemas 3G coexisten con los sistemas 2G en redes integradas, LTE coexistirá con sistemas 3G y 2G. Dispositivos multimodo funcionarán a través de las redes LTE/3G o incluso a través de LTE/3G/2G, dependiendo de las circunstancias del mercado.

LTE no está basado en WCDMA al igual que UMTS, en el *downlink* el método de acceso escogido es OFDMA y en el *uplink* el método de acceso usado es *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA), proporcionando ortogonalidad entre

usuarios, reduciendo la interferencia y mejorando la capacidad de la red. Además se incorpora el uso de múltiples antenas.

El sistema puede operar en dos modos *Frequency Division Duplex* (FDD) y *Time Division Duplex* (TDD). LTE permite flexibilidad en el espectro, donde el ancho de banda puede ser escogido entre 1.4MHz y 20MHz dependiendo de la disponibilidad del espectro. El ancho de banda de 20MHz puede proporcionar una tasa de datos de hasta 300Mbps en *downlink* y una tasa de datos de 75 Mbps en *uplink* [20]. Se reduce la latencia a 10ms para la transmisión de un paquete desde la red al dispositivo del usuario.

Es necesario detallar las principales etapas evolutivas de las redes de comunicaciones móviles con el fin de tener una mejor comprensión de la tecnología LTE.

La arquitectura inicial de las redes celulares GSM (2G) es relativamente simple, fue diseñada para soportar servicios de voz y de conmutación de circuitos y consta de dos partes principales:

- La red de acceso, diseñada para la optimización de la transmisión de voz y de datos a través de la conmutación de circuitos.
- El núcleo de red o *Circuit Switching* (CS), soporta exclusivamente a los servicios de conmutación de circuitos, incluyendo el establecimiento de llamadas, autenticación, facturación y la interoperabilidad con la *Public Switched Telephone Network* (PSTN).

Con la aparición de los servicios Web, la tecnología GSM fue mejorada para soportar de una manera eficiente la transmisión de paquetes de datos.

- La red de acceso, fue rediseñada para soportar la transmisión de paquetes y asignación de recursos compartidos.

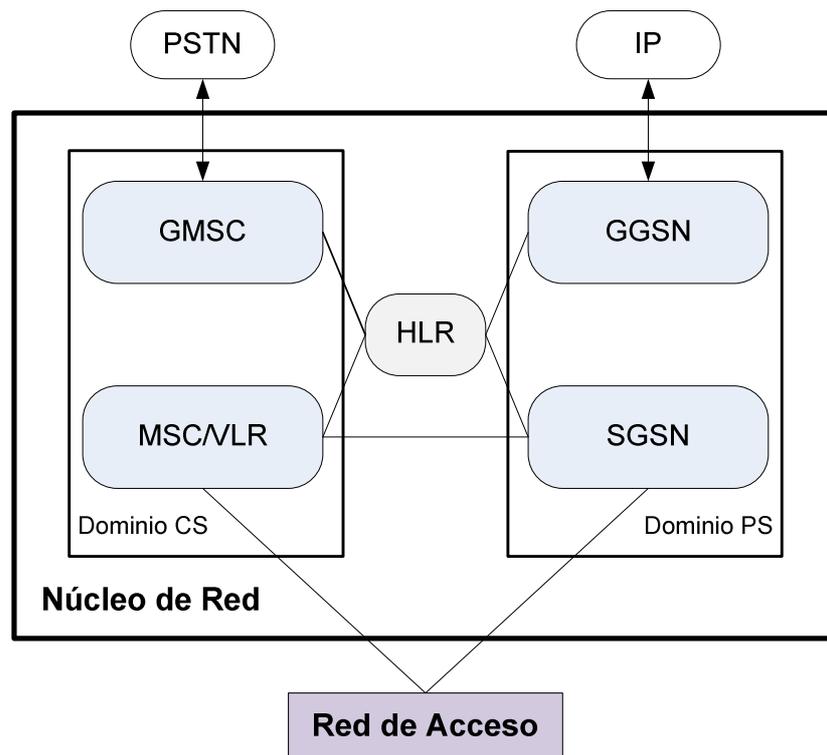
- En el núcleo de red, se añadió un dominio que soporta exclusivamente servicios de conmutación de paquetes (*Packet Switch, PS*). Este nuevo dominio tiene la misma función que el dominio CS, lo que significa el apoyo a la transmisión de paquetes (incluyendo la autenticación y facturación), así como la interoperabilidad con redes de Internet públicas o privadas.

El dominio CS está conformado de un *Mobile Switching Center / Visitor Location Register (MSC/VLR)* responsable del establecimiento de llamadas de extremo a extremo y de mantener la información de la localización del usuario. El *Gateway MSC (GMSC)* es el responsable de la interoperabilidad con la PSTN.

El PS está compuesto por el *Serving GPRS Support Node (SGSN)* que básicamente desempeña el papel de un MSC/VLR para el dominio de paquetes, y el *Gateway GPRS Support Node (GGSN)*, que es equivalente al GMSC para la interoperabilidad con redes de paquetes externas.

Además de estas dos entidades CS y PS, el núcleo de red contiene el *Home Location Register (HLR)* como se muestra en la Figura 3.1, el cual puede ser accedido por ambos elementos. El HLR es una parte clave en la arquitectura de red, ya que contiene toda la información relacionada con la suscripción del usuario.

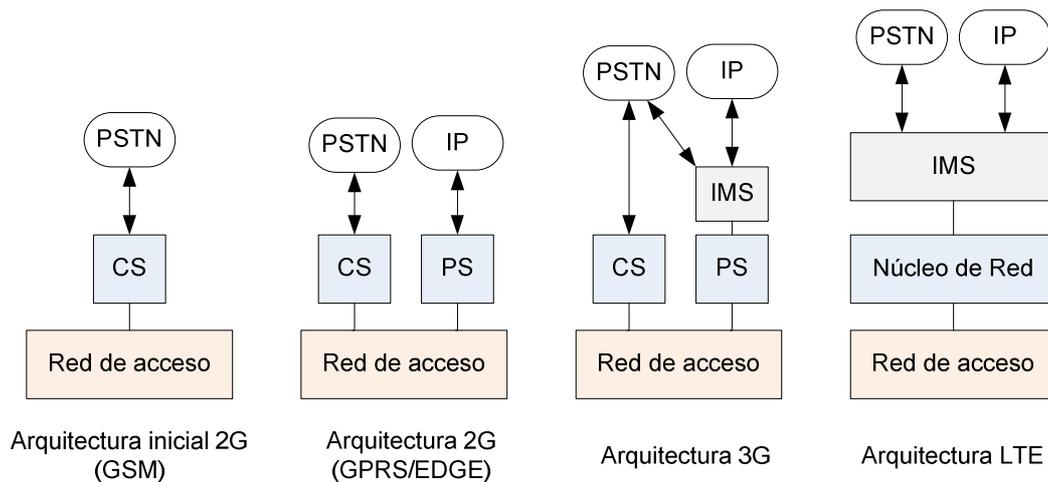
La adición de una nueva entidad en el núcleo de red (PS) implica nuevos nodos de red y por lo tanto un incremento de costos para la gestión de red. El funcionamiento de la red se vuelve más complejo, ya que la ubicación del terminal de usuario debe ser conocido por ambos elementos, es decir; una duplicación de los procesos e información.



**Figura 3.1** Arquitectura de Red 2G

La arquitectura inicial de UMTS (3G) al igual que la arquitectura de 2G incluye las entidades PS y CS en el núcleo de red, y es añadido una nueva entidad, llamada *IP Multimedia Subsystem (IMS)*, la cual consiste de una arquitectura genérica que soporta servicios de comunicación sobre equipos que utilizan SIP para la señalización y la administración de sesiones, ofrece voz sobre IP (VoIP) y provee interoperabilidad con la PSTN. Este sistema IMS se encuentra posicionado sobre el dominio de los paquetes conmutados.

Por último, la arquitectura LTE integra todas las aplicaciones a través de una arquitectura simplificada. Siendo principales componentes: una red de acceso optimizada y un núcleo de red simplificado, esto puede ser apreciado en la Figura 3.2.

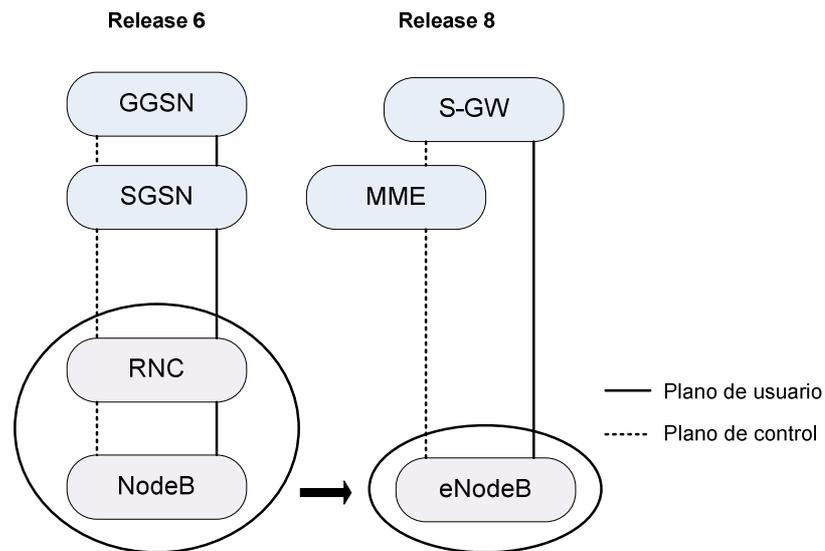


**Figura 3.2 Evolución de la arquitectura de red**

### 3.2. ARQUITECTURA LTE Y PROTOCOLOS.

La arquitectura LTE está diseñada con el objetivo de soportar tráfico de conmutación de paquetes; con movilidad sin fisuras, calidad de servicio y mínima latencia. Presenta una arquitectura más plana y simplificada, con sólo dos tipos de nodos, la cual está en contraste con los nodos de red en la arquitectura actual de los sistemas 3G. Un cambio importante es el *Radio Network Controller* (RNC), elemento de la arquitectura de red definida en el *Release 6* del 3GPP. Todos los algoritmos que están localizados en el RNC se han incorporado en las estaciones base, conocidas como eNodeB, como se indica en la Figura 3.3. Además de los protocolos de radio, gestión de la movilidad, compresión de cabecera y todas las retransmisiones de paquetes. La idea de esta estructura funcional, es mantener un núcleo de red sin conocimiento de la tecnología de acceso de radio y de su distribución.

La nueva interfaz de aire basada en OFDMA es utilizada según *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN) y soportada con un nuevo núcleo IP más plano. Esta arquitectura completa es denominada como 3GPP *Evolved Packet System* (EPS), anteriormente la arquitectura de red era llamada *System Architecture Evolution* (SAE).



**Figura 3.3 Evolución de la Arquitectura 3GPP**

Las principales componentes de EPS son el núcleo de red llamado *Evolved Packet Cores* (EPCs) y la red de acceso LTE conocida como E-UTRAN.

La arquitectura EPC se guía por el principio de separación lógica de la señalización y las redes de transporte de datos, está formada principalmente por las siguientes entidades:

- *Mobile Management Entity* (MME),
- *System Architecture Evolution Gateway* (S-GW),
- *Packet Data Network Gateway* (P-GW o PDN-GW).

El núcleo de red está separado por un plano de usuario y el plano de control. El MME es el elemento del plano de control, mientras que el S-GW es el elemento del plano de usuario que une directamente la red de acceso con el núcleo de la red.

E-UTRAN únicamente contiene un *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network Base Stations* (también conocido como eNodeB o eNB) donde el *User Equipment* (UE) se comunica con el eNB y los eNBs se comunican entre sí y con el EPC como se muestra en la Figura 3.4.

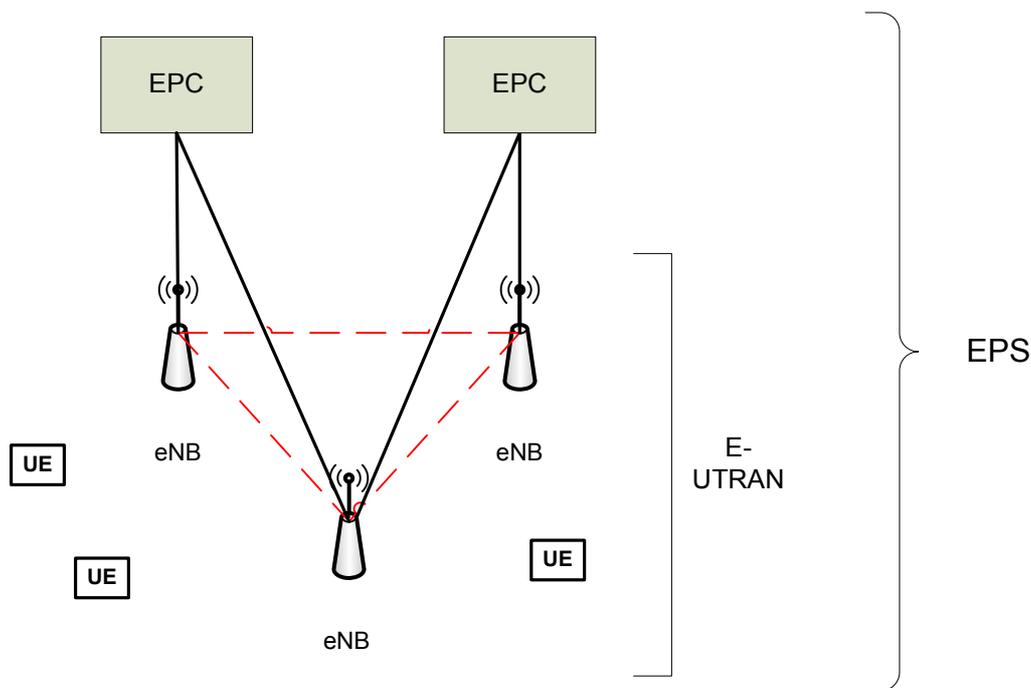


Figura 3.4 Arquitectura simplificada LTE

### 3.2.1. EPS: *Evolved Packet System*.

Como se mencionó anteriormente, la arquitectura general EPS tiene dos componentes distintos: la red de acceso y el núcleo de red. La red de acceso es la *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN), basada en las tecnologías OFDMA y SC-FDMA. El núcleo de red es llamado *Evolved Packet Core* (EPC), éste es diferente al núcleo de red de UMTS. El núcleo de red de UMTS y LTE respectivamente, se basa desde un principio en la evolución del núcleo de red utilizado en GSM/GPRS. Aunque el núcleo de red utilizado por UMTS está muy cerca del original de GSM/GPRS, LTE es una evolución radical de éste núcleo de red.

Todas las interfaces de red están basadas en protocolos IP. Los eNBs están interconectados entre sí por medio de la interfaz X2 y a su vez están interconectados a través de la interfaz S1 al EPC, más específicamente a la MME y a la S-GW como indica la Figura 3.5.

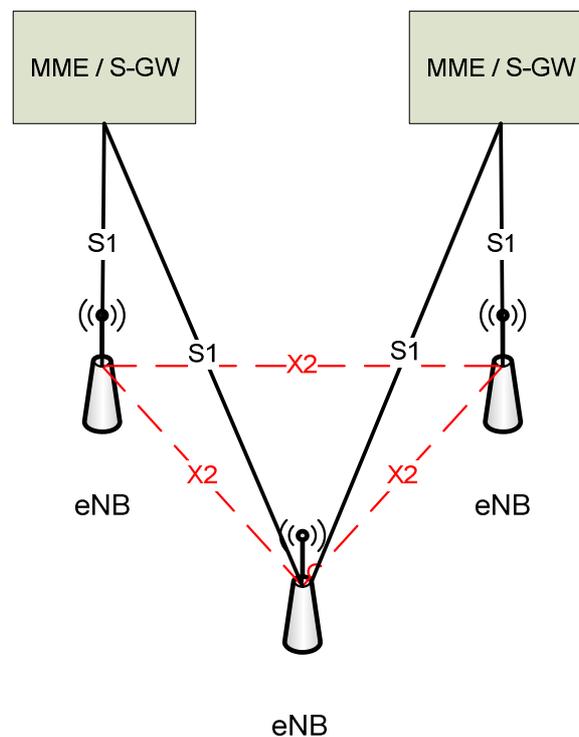
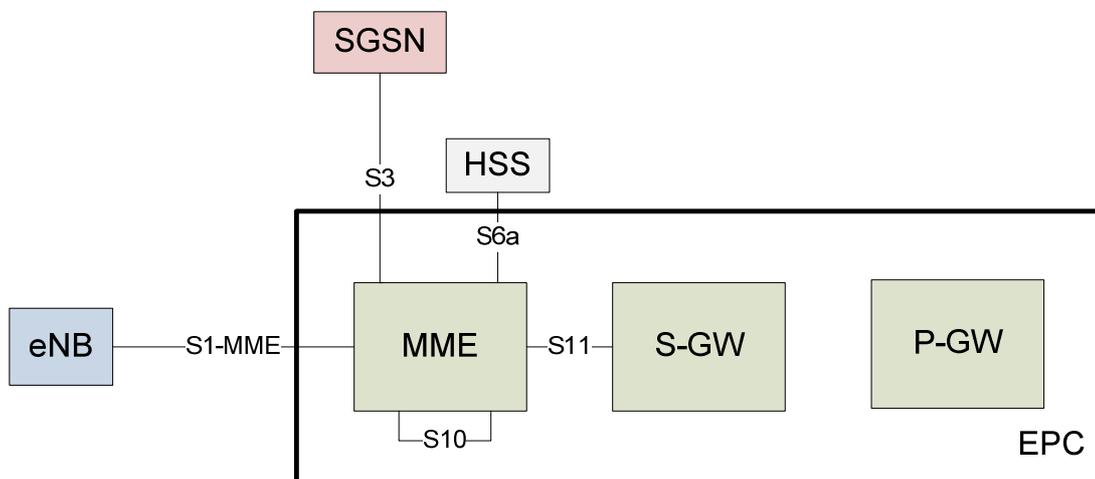


Figura 3.5 Interfaces definidas en LTE

- **MME: *Mobility Management Entity*.**

MME es el principal elemento que maneja el plano de control en el EPC. Este nodo realiza funciones similares al *Serving GPRS Support Node* (SGSN) en anteriores versiones del sistema 3GPP. El MME maneja funciones de seguridad; autentica y autoriza al UE, basado en la información que obtiene del *Home Subscriber Server* (HSS) a través de la interfaz S6a.

Los protocolos para la gestión de movilidad y la administración de sesiones se realizan en el MME a través del *Nonaccess Stratum* (NAS<sup>11</sup>). Y son llevados a cabo entre el UE y el MME sobre el *Stream Control Transmission Protocol* (SCTP<sup>12</sup>). NAS consiste del protocolo *EPS Mobility Management* (EMM) y del protocolo *EPS Session Management* (ESM). EMM establece procedimientos de control de movilidad y seguridad y el ESM es responsable del manejo de los contextos de la portadora EPS. Para realizar estas funciones existen varias interfaces que se definen para la MME, la cual se conecta a los eNBs mediante la interfaz S1-MME y la S-GW mediante la interfaz S11, como muestra la Figura 3.6.



**Figura 3.6 Interfaces definidas para la MME**

Los protocolos NAS alojados en el MME también especifican los procedimientos para el control de movilidad entre LTE y otras redes 3GPP o redes de acceso no 3GPP. En el caso de movilidad entre LTE y otras redes 3GPP, se lo realiza mediante la interfaz S3, desde el SGSN hasta el MME.

<sup>11</sup> *Nonaccess Stratum* (NAS): es el más alto estrato del plano de control entre la UE y la MME en la interfaz de radio.

<sup>12</sup> *Stream Control Transmission Protocol* (SCTP): protocolo de comunicación de la capa de transporte que provee confiabilidad, control de flujo. Es una tecnología orientada a conexión.

El término *MME pool* es introducido con el fin de facilitar el cambio de MME durante el *handover*. Los UEs cambian de MME cuando cambian de área de servicio. El contenido de la MME antigua es transmitido a la nueva MME a través de la interfaz S10.

- **S-GW: *System Architecture Evolution Gateway*.**

S-GW es el nodo del plano de usuario que une la red de acceso con el núcleo de la red. Tiene como función proveer el enrutamiento y reenvío de paquetes de datos al usuario mediante la interfaz S1-U. Se conecta al P-GW con la interfaz S5 si el usuario no está en *roaming* y con la interfaz S8 si el usuario está en *roaming* y recibe instrucciones de la MME a través de la interface S11. Actúa como un asegurador de movilidad local cuando existe *handover* entre eNBs y como un asegurador de movilidad entre LTE y otras tecnologías 3GPP mediante la interfaz S4. En la Figura 3.7 se muestra las interfaces definidas para S-GW.

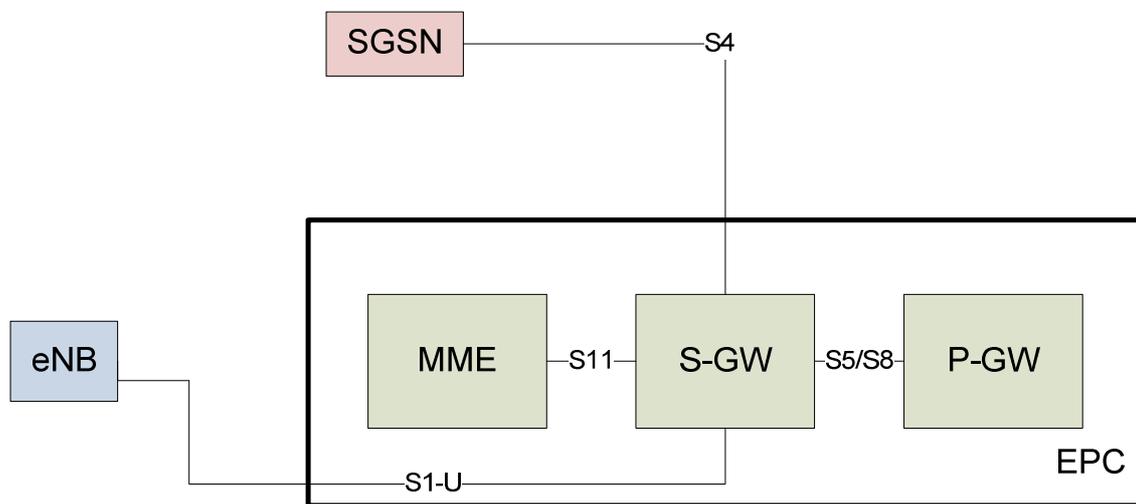


Figura 3.7 Interfaces definidas para la S-GW

Es responsable de las rutas de datos y de la compresión de encabezados IP, encriptación de los *streams* de datos del usuario y terminación de ruta de datos y de los *triggers paging* (en español disparadores de paginación) cuando el UE entra en modo *idle*,

además es responsable de almacenar el contenido del UE. En caso de “*Lawful interception*”<sup>13</sup>, el S-GW realiza replicación del tráfico de usuario.

- **P-GW o PDN-GW: *Packet Data Network Gateway*.**

P-GW provee conectividad a las Redes de Paquetes de Datos (*Packet Data Network* en inglés, PDN), tiene funciones similares al *Gateway GPRS Support Node* (GGSN) en anteriores versiones del sistema 3GPP, con la diferencia que el P-GW funciona como el principal punto de movilidad. El P-GW es el punto de interconexión a redes IP externas a través de la interfaz de SGi y es conectado mediante la interfaz S7 al *Policy and Charging Rules Function* (PCRF) para obtener información de las políticas de tarificación y calidad de servicio.

El P-GW incluye una funcionalidad para la asignación de dirección IP, el UE puede tener conectividad simultánea con más de una P-GW para acceder a múltiples PDNs, el P-GW se elige de acuerdo a la red destino de una sesión. Tiene soporte de carga, filtrado de paquetes para cada usuario, *Lawful Interception*, detección de paquetes y soporte de QoS para los usuarios finales de servicios IP.

La principal función del P-GW, es actuar como soporte de movilidad entre las tecnologías 3GPP y las tecnologías no 3GPP como WiMAX, 3GPP2 y WLAN a través de un conjunto de interfaces.

Las redes no 3GPP se dividen en: *Trusted* (Confiables) y *Untrusted* (No confiables), el operador decide a quien permite o no su conexión. Las redes *Trusted*, corresponden a las redes que son controladas por los operadores o por entidades como un operador local o un proveedor de servicios, las redes *Untrusted* son las redes controladas

---

<sup>13</sup> Monitorización de los datos de los usuarios para enviarlos a las autoridades para su inspección.

por entidades para uso interno, puede ser por ejemplo el uso de una WLAN pública con conexión a P-GW sobre el Internet público.

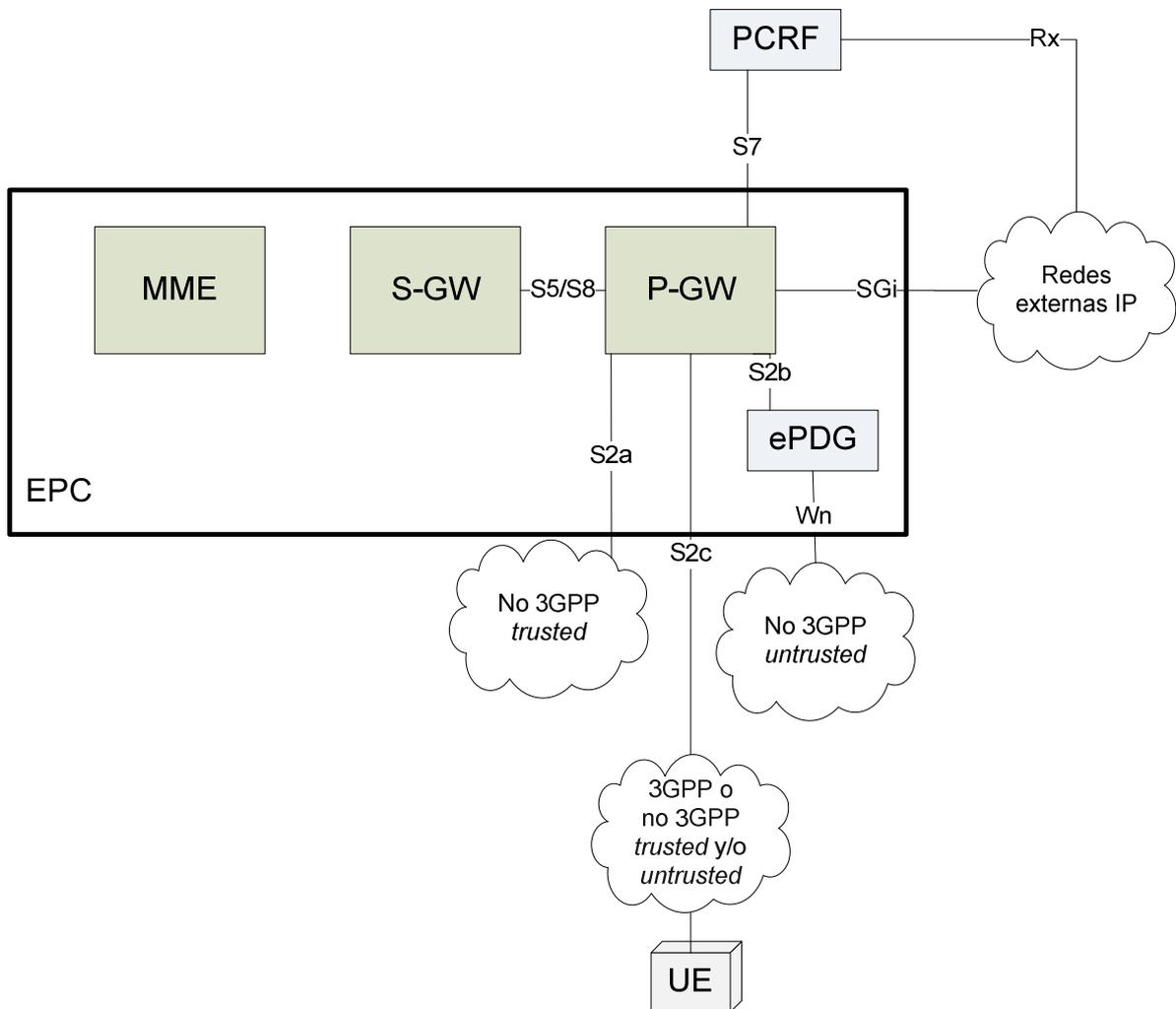
P-GW utiliza varias interfaces que sirven para la conexión con las redes *Trusted* y *Untrusted*. El P-GW se conecta a las redes *Trusted* mediante la interfaz S2a, mientras que la interfaz que conecta a las redes *Untrusted* es la interfaz S2b, ésta interfaz no está directamente conectada a las red, sino a un nodo lógico llamado *evolved Packet Data Gateway* (ePDG), éste es una evolución del *Packet Data Gateway* (PDG) que se especifica en versiones anteriores de los estándares 3GPP. Para asegurar la comunicación entre el UE y el ePDG se establecen túneles encriptados, creando una asociación lógica entre el UE y el ePDG. La interfaz Wn es la encargada de la conexión del ePDG a la red no 3GPP *Untrusted*.

Además de las soluciones de movilidad basadas en la red para redes *Trusted* y *Untrusted*, también existe una solución de movilidad basada en el cliente la cual utiliza la interfaz S2c que está conectada entre el P-GW y el dispositivo móvil. Esto quiere decir, que se crea una solución que no requiere el apoyo específico de la red de acceso no 3GPP.

- **PCRF: Policy and Charging Rules Function.**

PCRF es el elemento de la red responsable de la política y control de carga (en inglés, Policy and Charging Control, PCC). Gestiona y provisiona los servicios en términos de QoS y tarificación aplicadas al tráfico de usuario. Proporciona información al P-GW, esta información es llamada reglas PCC. El PCRF no es un elemento específico de esta nueva arquitectura, fue definido en el *Release 7* del 3GPP.

EL PCRF se conecta a servidores de aplicaciones externas mediante la interfaz Rx, envía información de servicio, que incluyen requerimientos y parámetros relacionados con el flujo IP. En la Figura 3.8 se ilustra las interfaces definidas para la P-GW y para el PCRF.



**Figura 3.8 Interfaces definidas para la P-GW y PCRF**

- **ePDG: evolved Packet Data Gateway.**

ePDG es una evolución del PDG que se especifica en las versiones anteriores del 3GPP. Su función es establecer un túnel seguro para la transmisión de datos con el terminal usando IPsec y un filtro para el tráfico no autorizado. Se introduce la interfaz Wm, con el propósito de intercambiar la información del usuario desde el 3GPP AAA Server al ePDG.

- **HSS: *Home Subscriber Server*.**

El HSS está conformado por el *Home Location Register* (HLR) y el *Authentication Center* (AuC), funciones que ya estaban presentes en las redes de versiones anteriores del 3GPP.

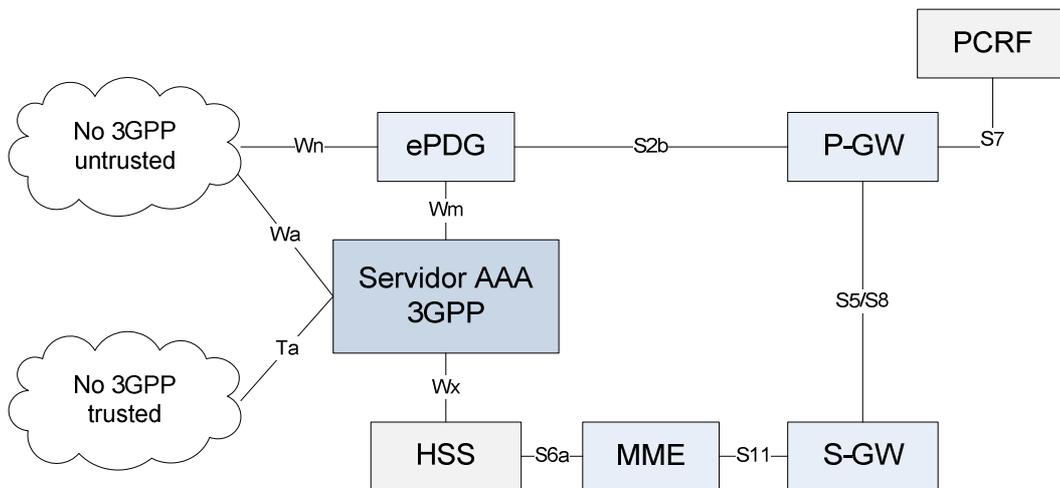
El HLR se encarga de almacenar y actualizar cuando sea necesario, la base de datos que contiene toda la información de suscripción de usuario (la identificación, direccionamiento y la información de perfil de usuario).

El AuC se encarga de generar la seguridad de la información, la cual es dada al HLR y a su vez es comunicada a las otras entidades de la red. Esta información es usada principalmente para la autenticación entre los terminales y la red y para el cifrado y protección de la integridad de la ruta de radio, asegurando la señalización y los datos transmitidos entre la red y el terminal.

- **El Servidor AAA 3GPP (*Authentication, Authorization and Accounting*).**

El Servidor AAA 3GPP ofrece mecanismos de autenticación y control de acceso basado en los protocolos IETF. Su función es actuar como una unidad de interfuncionamiento entre las redes 3GPP con el estándar IETF, el cual controla las redes WLAN, garantizando seguridad. Este servidor puede ser un componente dentro del HSS o puede ser un equipo independiente que se conecta al HSS mediante la interfaz Wx.

Las interfaces Ta y Wa conectan al servidor AAA 3GPP con las redes no 3GPP *Trusted* y *Untrusted* respectivamente como muestra la Figura 3.9.



**Figura 3.9 Interfaces definidas para el Servidor AAA 3GPP**

### 3.2.2. E-UTRAN: *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network*.

*Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN) está formada por los eNBs, que son las estaciones base de LTE y están directamente conectados al núcleo de la red mediante la interfaz S1. Esta interfaz se divide en dos planos; plano de usuario y de control, el plano de usuario, se interconecta con el S-GW, mediante la interfaz S1-U y al plano de control, se interconecta con el MME, mediante la interfaz S1-MME. Los eNBs están conectados entre sí mediante la interfaz X2, minimizando la pérdida de paquetes causada por la movilidad del usuario a través de la red de acceso. En la Figura 3.10 se muestra la arquitectura simplificada de la E-UTRAN.

E-UTRAN es la evolución de la red de acceso UTRAN especificada en versiones anteriores de los estándares 3GPP, la E-UTRAN integra todas las características del RNC de manera distribuida entre el eNB y las entidades MME y S-GW.

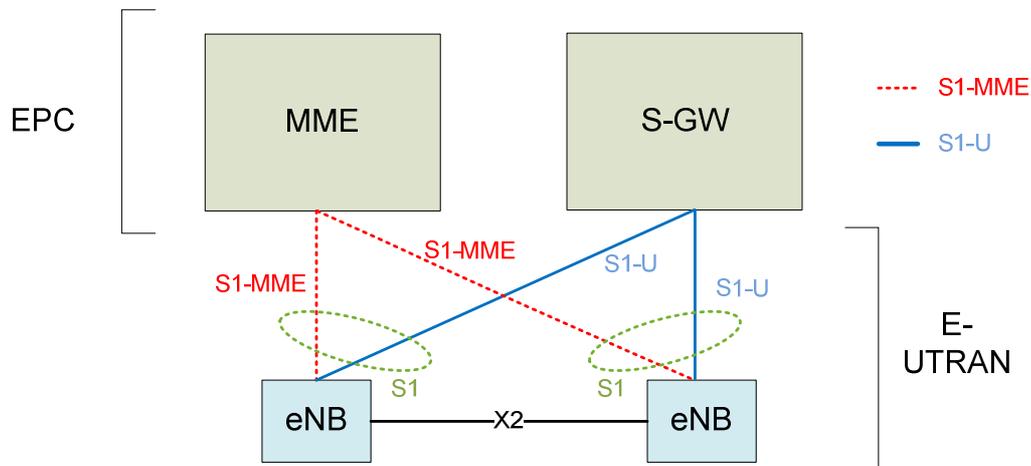


Figura 3.10 Arquitectura simplificada E-UTRAN

La E-UTRAN alberga las funciones descritas a continuación:

- Transferencia de datos del usuario a través de la E-UTRAN entre las interfaces S1 y Uu.
- Canal de radio cifrado y descifrado, protege la información transmitida, de terceros no autorizados.
- Protección de integridad, protege la información transmitida de la alteración, de terceros no autorizados.
- Compresión de cabecera, proporciona una compresión de cabecera de la capa de red, transporte o una combinación de protocolos de capas superiores como TCP/IP y RTP/UDP/IP.
- Funciones de control de movilidad: *Handover*, *Paging* y Posicionamiento.
  - *Handover*, gestiona la movilidad de la interfaz de radio, se utiliza para mantener la calidad de servicio solicitado por el EPC. El *handover* puede ser dirigido a o desde otro sistema.

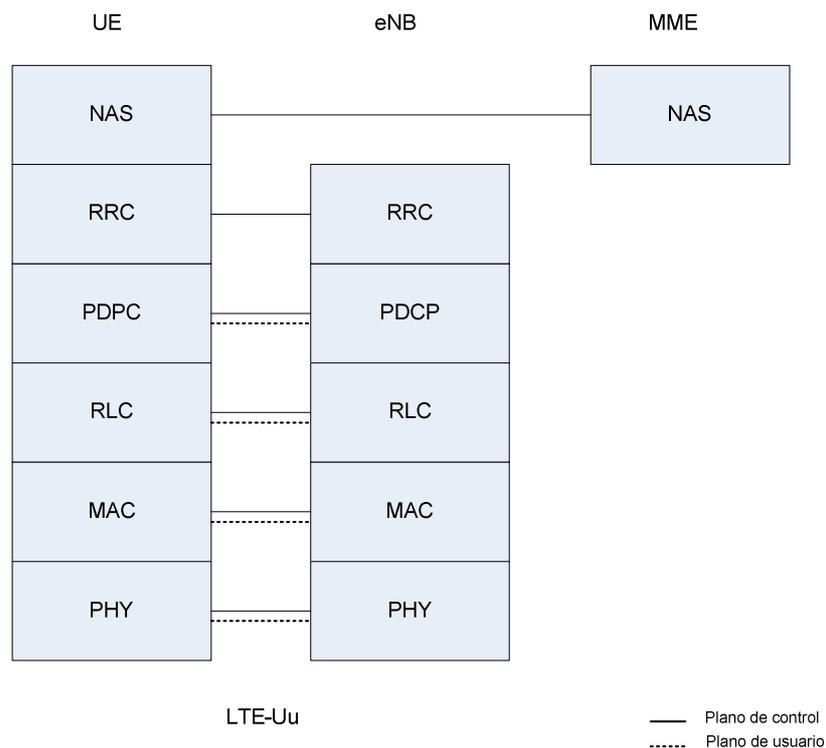
- *Paging*, proporciona un mecanismo al UE para contactar la E-UTRAN cuando el UE está en estado idle.
  - Posicionamiento, está siendo diseñado para proporcionar información sobre la ubicación física del UE.
- 
- Coordinación de interferencia entre celdas, mantener bajo control la interferencia entre celdas.
  - Configuración de la conexión y liberación, mantener y gestionar la configuración de conexión y liberación de extremo a extremo.
  - Balanceo de carga.
  - Distribución de los mensajes NAS de forma transparente para los protocolos *Radio Resource Control (RRC)* y *S1 Application (S1-AP)*.
  - Selección del nodo NAS, selección del MME/S-GWs para el UE.
  - Sincronización, mantener la sincronización entre los diferentes nodos de la red.
  - Compartición de la red de acceso, permite compartir múltiples *Public Land Mobile Networks (PLMNs)* una red de acceso. Tiene un mecanismo para dirigir al UE a la PLMN adecuada.
  - *Multimedia Broadcast and Multicast Service (MBMS)*, permite transmitir los mismos datos a múltiples receptores.
  - Seguimiento del suscriptor y del equipo, dar seguimiento a los equipos del abonado. El seguimiento inicia en el núcleo de la red y es transferido en las interfaces X2 o S1 durante el *handover*.

El *Evolved NodeB (eNB)*, es la única entidad de la E-UTRAN que interactúa con el UE a través de la interfaz LTE-Uu. Está formada por las capas: *Physical (PHY)*, *Medium Access Control (MAC)*, *Radio Link Control (RLC)* y *Packet Data Control Protocol (PDCP)* y RRC. Los protocolos de plano de usuario (PHY, MAC, RLC, PDCP) se implementan en el servicio de portadora con el fin de llevar los datos del usuario. Los protocolos del plano de control (PHY, MAC, RLC, PDCP, RRC) controlan la portadora y la conexión entre el UE y la red.

### 3.2.3. UE: *User equipment*.

UE es el dispositivo que el usuario utiliza para la comunicación con la red. Normalmente se trata de un dispositivo portátil como un teléfono inteligente o una tarjeta de datos, como las que se utilizan actualmente en las redes 2G y 3G.

Consiste de un *stack* de protocolos de plano de usuario y de plano de control. El plano de usuario consta de las capas PHY, MAC, RLC y PDCP, que se comunican con los eNBs a través de la conexión inalámbrica. El plano de control además de constar de los protocolos del plano de usuario, consta de los protocolos NAS y RRC. NAS en el UE se comunica directamente con NAS en el MME, y el RRC en el UE se comunica directamente con el RRC en el eNB, como se muestra en la Figura 3.11.



**Figura 3.11** Protocolos del plano de usuario y del plano de usuario

El UE contiene un módulo de identificación llamado *Universal Subscriber Identity Module* (USIM), que es una aplicación que se ejecuta en una tarjeta inteligente

desmontable, llamada *Universal Integrated Circuit Card* (UICC). El USIM es usado para identificar y autenticar al usuario mediante claves de seguridad que permiten proteger la comunicación.

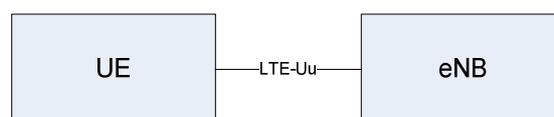
Para la tecnología LTE el UE puede estar en uno de los siguientes tres estados: *LTE\_Detached*, *LTE\_Active* y *LTE\_Idle*.

- *LTE\_Detached*: Es un estado transitorio en el que el UE es encendido y está en el proceso de búsqueda y registro a la red.
- *LTE\_Active*: En este estado el UE se registra en la red y tiene una conexión RRC con el eNB. La red conoce la celda a la cual el UE pertenece y puede transmitir y recibir datos del UE.
- *LTE\_Idle*: En este estado el UE está en modo de conservación de energía, donde el UE no está transmitiendo o recibiendo paquetes. En este estado, ningún contenido se almacena en el eNB y la ubicación del UE solo se conoce en el MME.

#### 3.2.4. Interfaces utilizadas en LTE.

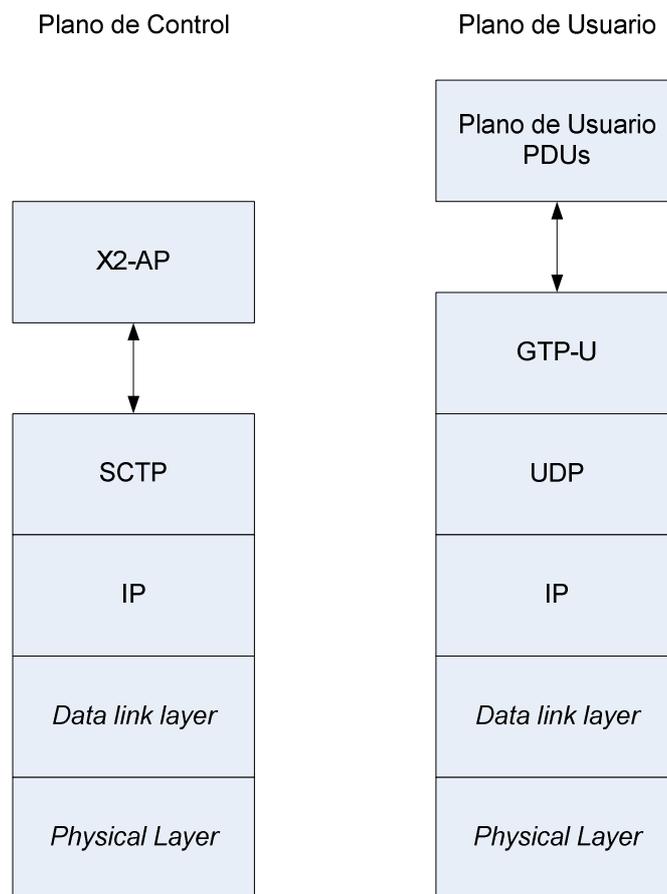
Con el fin de apoyar la comunicación entre LTE y las tecnologías UTRAN y GERAN, se han definido las siguientes interfaces en la nueva arquitectura EPS.

- LTE-Uu: Punto de referencia de la interfaz de radio definida entre el UE y el eNB.



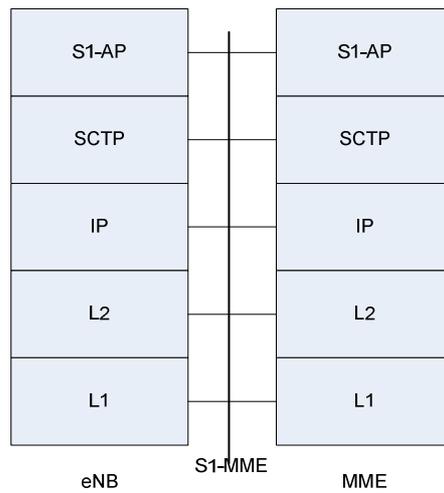
**Figura 3.12** Punto de referencia LTE-Uu

- X2: Punto de referencia encargado de soportar el intercambio de información de señalización entre los eNBs. Se definen dos puntos de referencia X2-C y X2-U. X2-C es una interfaz de señalización. Se define entre eNBs para el transporte del protocolo de plano de control (*X2-Application*). X2-U transporta los paquetes de datos del usuario entre eNBs y utiliza el protocolo GTP para generar los túneles de transmisión.



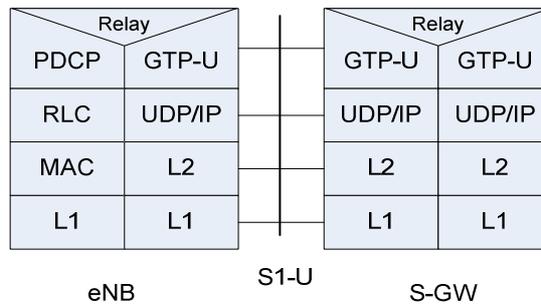
**Figura 3.13 Punto de referencia X2**

- S1-MME: Punto de referencia para el plano de control entre E-UTRAN y MME. NAS es transportado sobre S1-AP. Utiliza el protocolo de transporte SCTP.



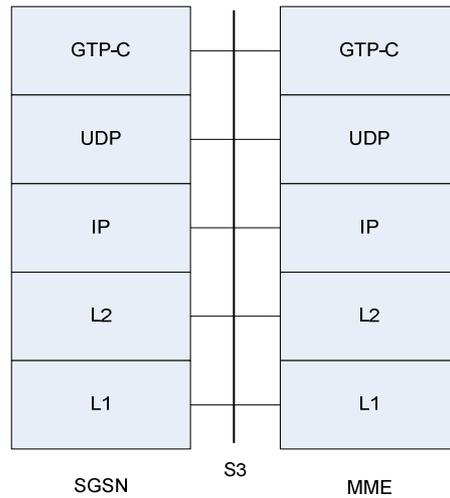
**Figura 3.14 Punto de referencia S1-MME**

- S1-U: Punto de referencia para el plano de usuario entre E-UTRAN y S-GW. Utiliza el protocolo *GPRS Tunnelling Protocol - User Plane* (GTP-U) para enviar los paquetes de datos del usuario final a través de túneles. Utiliza el protocolo de transporte *User Datagram Protocol* (UDP).



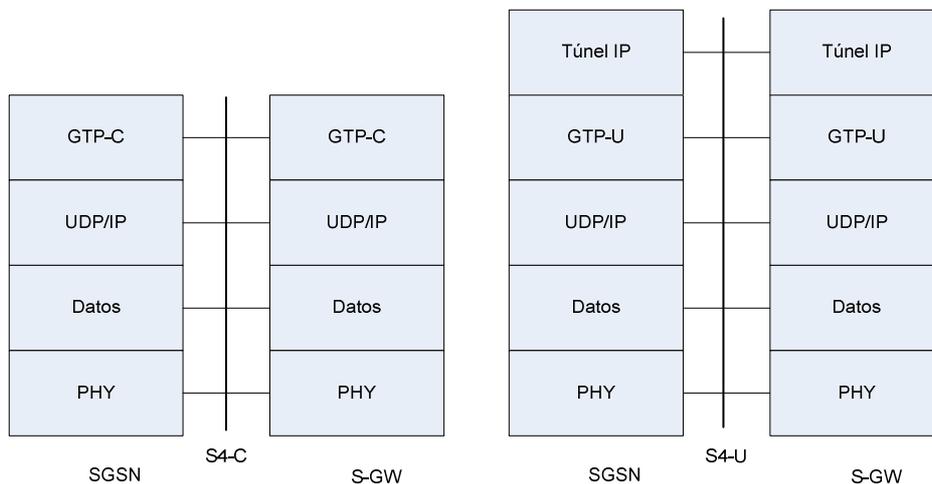
**Figura 3.15 Punto de referencia S1-U**

- S3: Punto de referencia entre SGSN y MME que permite al usuario y al portador el intercambio de información de movilidad entre las redes 3GPP (UTRAN/GERAN) en estado activo y/o inactivo. Se basa en el protocolo *GTP version 2 - Control plane* (GTPv2-C).



**Figura 3.16 Punto de referencia S3**

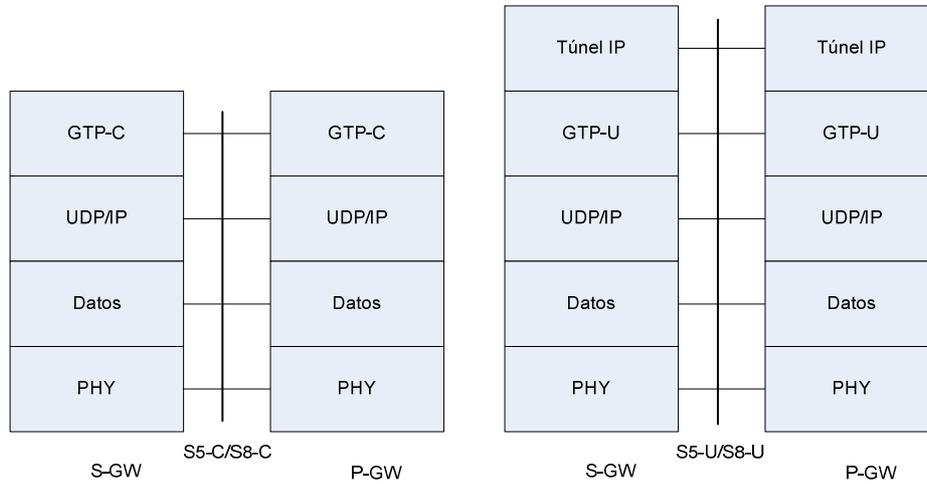
- S4: Punto de referencia para el plano de usuario relacionado con el control y apoyo de movilidad entre SGSN y S-GW. Se divide en dos partes S4-C y S4-U las cuales están basadas en GTPv2-C y GTPv1-U respectivamente. Provee un túnel al plano de usuario entre EPC y SGSN.



**Figura 3.17 Punto de referencia S4**

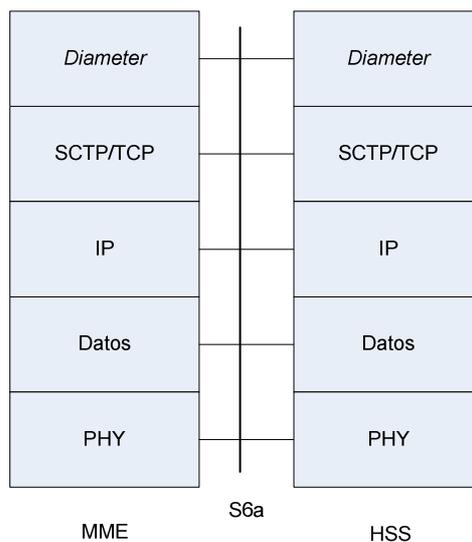
- S5/S8: Punto de referencia entre S-GW y P-GW. Es utilizado por el S-GW para la reubicación del UE. Provee un túnel al plano de usuario. S8 es una

variante de la interfaz S5. S5/8-C y S5/8-U son versiones basadas en GTPv2-C y GTPv1-U respectivamente.



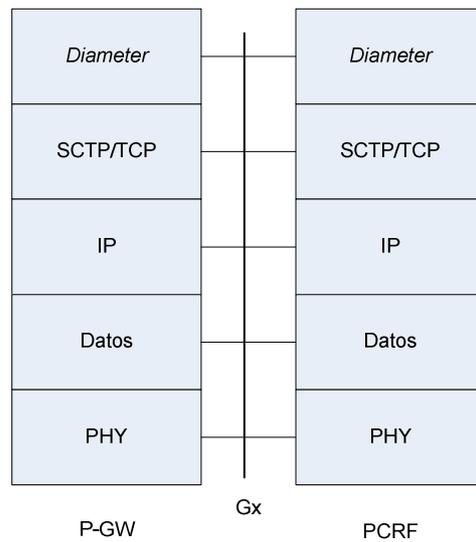
**Figura 3.18 Punto de referencia S5/S8**

- S6a: Punto de referencia entre MME y HSS que permite la transferencia de datos de suscripción y autenticación para la autenticación y autorización de acceso del usuario a los servicios del EPS. Está basado en el protocolo *Diameter*.



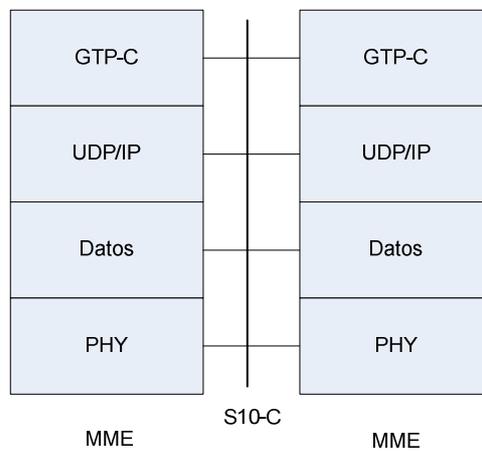
**Figura 3.19 Punto de referencia S6a**

- S7: Punto de referencia para proporcionar la transferencia de reglas de política y carga (QoS) desde PCRF a *Policy and Charging Enforcement Function* (PCEF) en el P-GW sobre la interfaz Gx. Gx está basado en el protocolo *Diameter*.



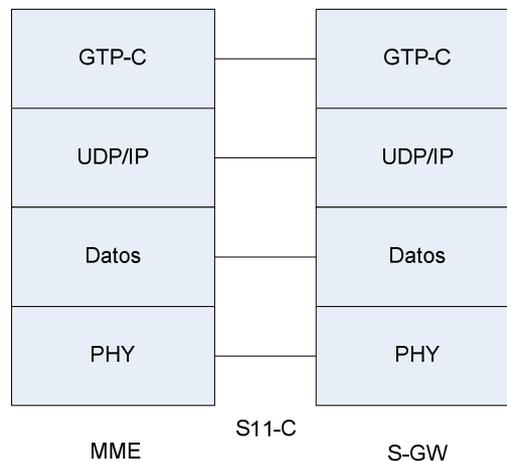
**Figura 3.20 Punto de referencia Gx**

- S10: Punto de referencia entre MMEs para la reubicación del MME y transferencia de información del anterior MME al nuevo MME. Está basado en GTPv2-C.



**Figura 3.21 Punto de referencia S10**

- S11: Punto de referencia entre MME y S-GW, se utiliza para establecer conectividad IP para los usuarios LTE a través de de las estaciones base y conectividad de las *Gateways*. Está basado en GTPv2-C.



**Figura 3.22 Punto de referencia S11**

- S2a: Punto de referencia para el plano de usuario relacionado con el control y apoyo de movilidad entre las redes no 3GPP *Trusted* y P-GW. Está basado en *Proxy Mobile IPv6* (PMIP<sup>14</sup>) y para apoyar con los accesos no compatibles con PMIP utiliza *Mobile IPv4*.
- S2b: Punto de referencia para el plano de usuario relacionado con el control y apoyo de movilidad entre el ePDG y el P-GW. Basado en el PMIP.
- S2c: Punto de referencia para el plano de usuario relacionado con el control y apoyo de movilidad entre el UE y el P-GW. Este punto de referencia se aplicará sobre las redes de acceso No 3GPP *Trusted* y/o *Untrusted* y/o las redes 3GPP: Está basado en el protocolo DS-MIPv6<sup>15</sup>.
- SGi: Punto de referencia entre P-GW y la red de paquetes de datos. Esta red puede ser de un operador externo de una red de paquetes de datos pública o privada o un intraoperator de una red de paquetes de datos, por ejemplo, para la prestación de servicios IMS.

<sup>14</sup> *Proxy Mobile Internet Protocol* (PMIP): Protocolo de movilidad basado en la red. Es una modificación del protocolo *Mobile Internet Protocol v6* (MIPv6).

<sup>15</sup> *Dual Stack MIPv6* (DSMIPv6): Es una extensión del MIPv6 que está siendo definida en el IETF, permite a las redes móviles usar IPv4 e IPv6.

- Rx: Punto de referencia entre PCRF y servidores de aplicaciones externas.
- Wn: Punto de referencia entre las redes no 3GPP y ePGD.

En la Figura 3.23 se muestra la arquitectura simplificada LTE con sus respectivas entidades e interfaces.

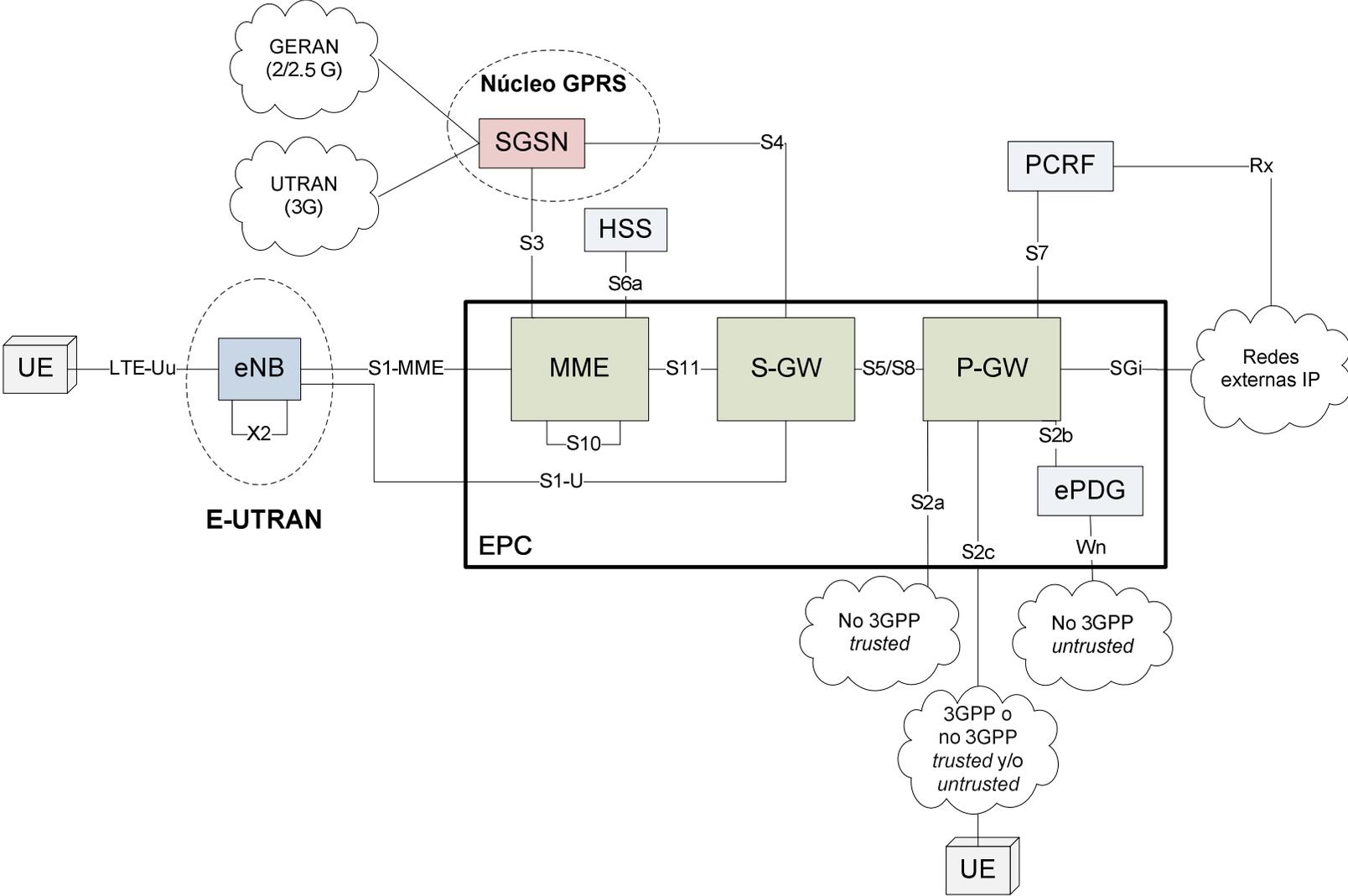


Figura 3.23 Arquitectura Simplificada LTE

### 3.2.5. Aspectos Del Sistema.

- **Calidad de Servicio QoS.**

El desarrollo del modelo de la portadora SAE y el concepto de calidad de servicio comenzó con las mejoras de los sistemas existentes 3GPP. Una característica importante de cualquier red de paquetes es la prestación de un mecanismo de QoS, que permite la diferenciación del flujo de paquetes basados en requerimientos de QoS. En EPS, el flujo de QoS es llamado portadora EPS, la cual se establece entre el UE y el P-GW como se muestra en la Figura 3.24 [8].

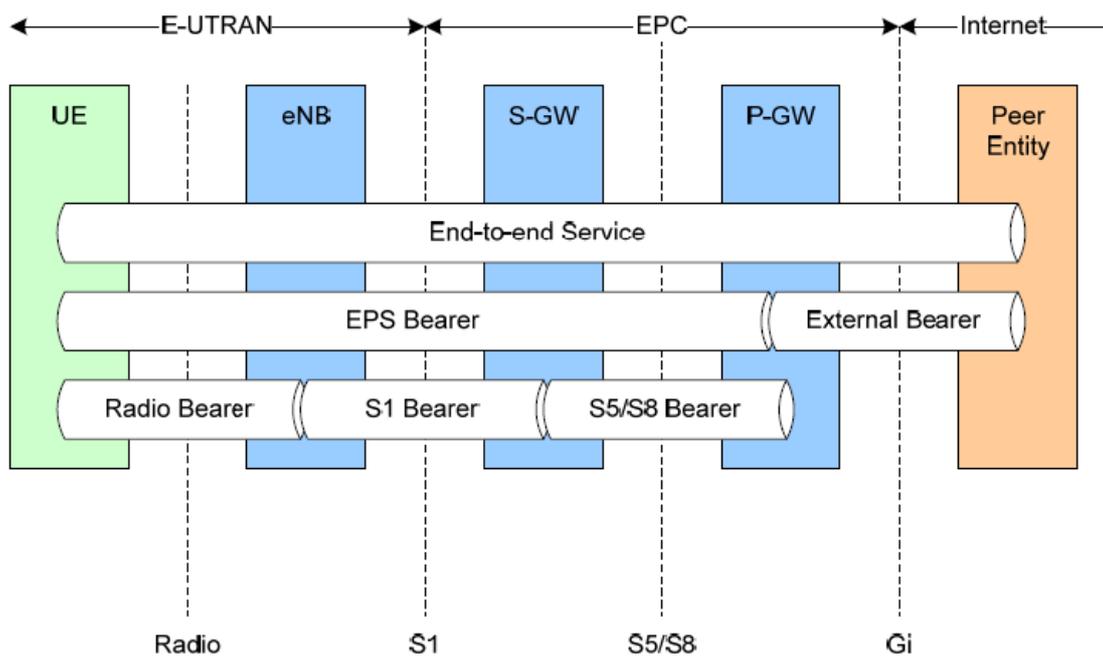


Figura 3.24 Arquitectura de los Servicios de Portadora EPS

La portadora EPS proporciona un servicio de conectividad al UE con la PDN, controlando el nivel de QoS. Existen dos tipos de portadoras EPS, la portadora por defecto y la portadora dedicada.

Cada UE que es registrado en el sistema tiene al menos una portadora, llamada portadora por defecto, que permite continuar la comunicación que ya ha sido establecida. Esta portadora tiene una capacidad muy básica de proporcionar QoS. Los diferentes requisitos de calidad de servicio para el control de la portadora exigen establecer una portadora EPS adicional, llamada portadora dedicada. La portadora por defecto es una portadora con *nonguaranteed bit rate* (en español, con tasa de bit no garantizada, non-GBR), puede sufrir pérdidas de paquetes. Una portadora dedicada con *guaranteed bit rate* (en español, con tasa de bit garantizada, GBR), garantiza parámetros de una máxima tasa de bit.

Una portadora EPS tiene una relación uno a uno con las siguientes portadoras de las capas inferiores: la Portadora de Radio, la Portadora S1 y la Portadora S5/S8.

La Portadora de Datos de Radio es usada para transportar paquetes de una portadora EPS entre eNB y UE. Cada flujo IP es asociado con una portadora EPS diferente y la red puede priorizar el tráfico. Cuando se recibe un paquete IP desde el Internet, P-GW realiza una clasificación de paquetes basada en ciertos parámetros predefinidos y envía una portadora EPS apropiada.

La Portadora S1 es usada para transportar paquetes de una portadora EPS entre eNB y EPC, específicamente S-GW sobre la interfaz S1-U. Y la Portadora S5/S8 es usada para transportar paquetes de una portadora EPS entre S-GW y P-GW.

Cada portadora EPS (GBR y non-GBR) se asocia con los siguientes parámetros de de QoS a nivel de portadora:

- *QoS Class Identifier (QCI)*: es un índice se utiliza como referencia a un conjunto de parámetros de acceso a la red relacionados con la calidad de

servicio, para la transmisión entre el terminal y el eNB y que han sido pre-configurados por el operador.

- *Allocation and Retention Priority* (ARP): El objetivo principal es decidir si un requerimiento de establecimiento o modificación de portadora puede ser aceptado o debe ser rechazado en el caso de limitación de recursos.

Cada portadora GBR (portadora que requiere servicios con QoS garantizados, tales como voz o *streaming*) es, además, asociada con los siguientes parámetros de QoS a nivel de portadora:

- *Guaranteed Bit Rate* (GBR): la tasa de bit que se espera que sea proporcionada por una portadora GBR.

GBR denota la tasa de bit del tráfico por portadora, mientras que *Aggregate Maximum Bit Rate* (AMBR) denota una tasa de bit o tráfico por grupo de portadoras.

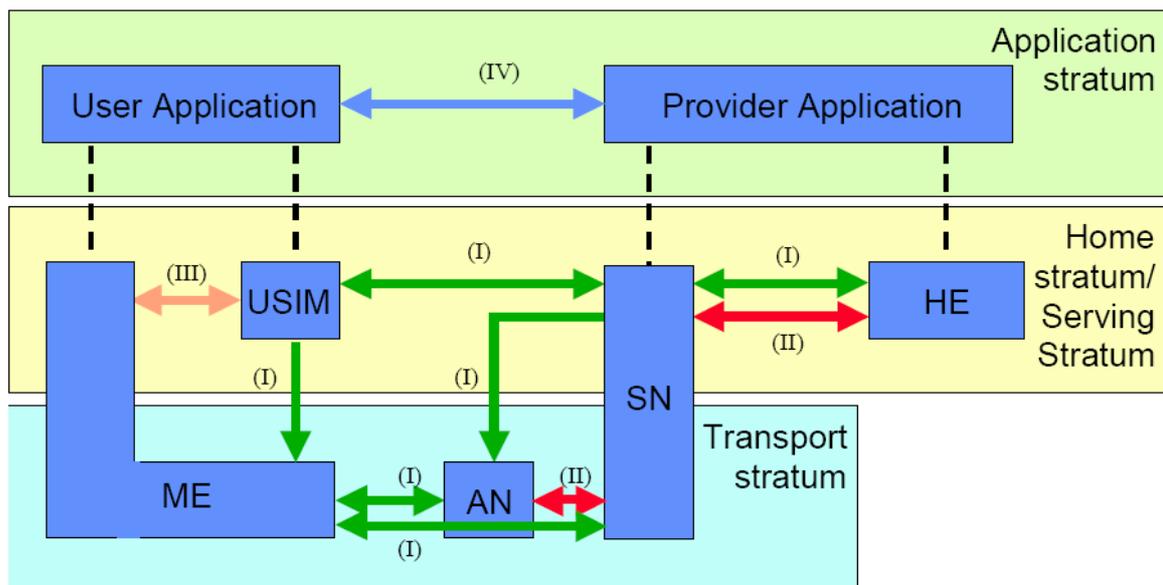
- **Seguridad.**

Se definen cinco grupos de función de seguridad:

- Seguridad de Acceso a la red (I): proporcionan a los usuarios un acceso seguro a los servicios y protege contra los ataques a las interfaces de acceso.
- Seguridad de Dominio de Red (II): permite a los nodos un intercambio seguro de datos de señalización y datos de usuario, y protege contra los ataques de la red de telefonía fija.
- Seguridad de Dominio de Usuario (III): provee un acceso seguro a las estaciones móviles.

- Seguridad de Dominio de Aplicación (IV): permiten a las aplicaciones en el usuario y en el dominio del proveedor el intercambio seguro de mensajes.
- Visibilidad y capacidad de configuración de seguridad (V): permite al usuario informarse si una característica de seguridad está en funcionamiento o no y si el uso y la prestación de los servicios dependerá de dicha característica.

La Figura 3.25 [8] presenta una información general sobre la Arquitectura de Seguridad.



**Figura 3.25 Información General de la Arquitectura de Seguridad**

La seguridad SAE/LTE define una nueva arquitectura con la jerarquía de clave extendida. Se prohíbe el acceso de la tarjeta SIM (*Subscriber Identity Module*) pero utiliza USIM (*Universal Subscriber Identity Module*). Con claves de longitud de 128 bits y para el uso futuro existe posibilidad de añadir claves de 256 bits. La autenticación del suscriptor es a través del procedimiento AKA entre UE y MME. EPS AKA es el procedimiento de autenticación y acuerdo de claves que se utilizarán en la E-UTRAN. Se introduce el elemento *Additional Access Security Management Entity* (ASME) en MME,

para proteger la señalización NAS, las claves utilizadas para la protección NAS son diferentes en eNB y EPC, esto hace que sea imposible extraer la clave de EPC usando la clave de eNB. Las claves CK/IK se limitan a la red doméstica y ASME recibe la clave derivada ( $K_{ASME}$ ) para la autenticación con UE. ASME pasa esta clave a MME y también envía claves derivadas de  $K_{ASME}$  a eNB. MME conserva las claves cuando UE va a estado *idle*.

Cuando UE entra en estado conectado, las claves de eNB son enviadas a eNB desde EPC. Si las claves son detectadas como corruptas. UE reinicia el procedimiento de acceso a la interfaz aire. Las claves NAS y  $K_{eNB}$  son derivadas desde  $K_{ASME}$ . Desde  $K_{eNB}$ , eNB y UE se derivan las claves UP y RRC. Las claves NAS son usadas para la protección del tráfico NAS, la clave UP es usada para la protección del tráfico del plano de usuario y la clave RRC es usada solo para la protección del tráfico RRC.

La jerarquía de clave extendida permite un rápido *handover* intra-LTE. Las claves son compartidas entre eNBs durante el *handover*. Para los *handovers* entre E-UTRAN y sistemas 2G/3G, el intercambio de claves es entre SGSN y MME. Para *handovers* de UTRAN/GERAN a E-UTRAN, SGSN envía CK/IK a MME para derivar  $K_{ASME}$  pero en dirección opuesta, MME deriva CK/IK de  $K_{ASME}$  y lo envía a SGSN como se muestra en la Figura 3.26 [7].

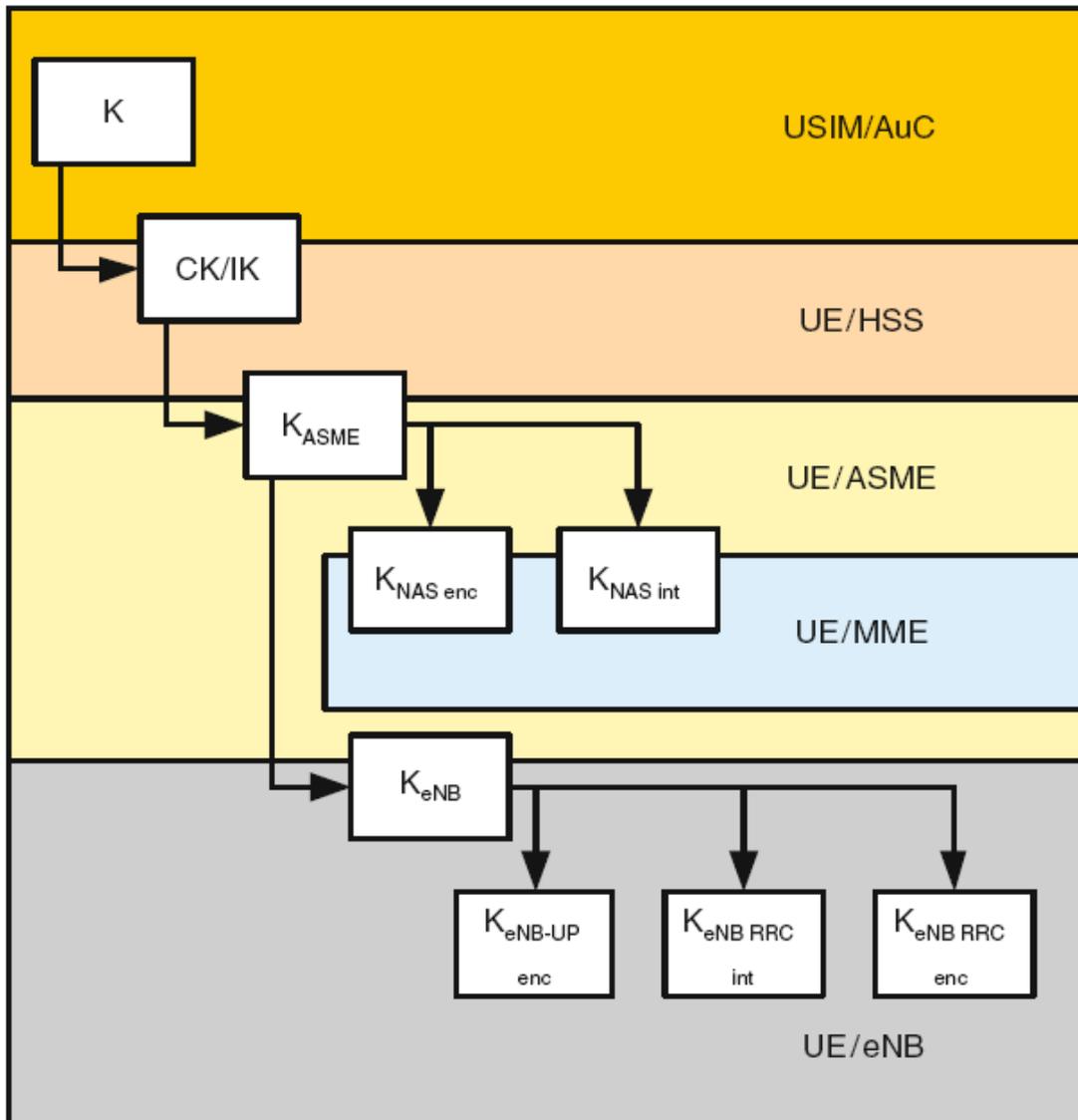


Figura 3.26 Jerarquía de claves

- **Servicios.**

EPC permite al operador de la red móvil ofrecer al usuario, un nuevo conjunto de servicios a través de su arquitectura plana. Proporciona una serie de características al operador a fin de apoyar el aprovisionamiento, supervisión, control y cobro de estos servicios. A continuación se dará una breve descripción de los servicios que EPC permite.

### **Servicio de Datos**

LTE y EPC han sido diseñados para permitir servicios IP, lo que significa, en teoría, que cualquier aplicación que necesite comunicación IP, puede utilizar el servicio de acceso IP que ofrece EPC. Las aplicaciones del cliente y del servidor residen en el terminal y en el servidor de la red, respectivamente. El papel de la red de acceso y del núcleo de red es proveer comunicación IP entre dos puntos finales. Las aplicaciones IP accesibles para los usuarios móviles a través del servicio de acceso IP EPC pueden ser:

- las proporcionadas por el operador móvil,
- las que residen en una red IP corporativa, o
- las de acceso a través de internet

Estas aplicaciones pueden coexistir, el usuario final puede acceder a cualquier aplicación siempre y cuando esté basada en IP.

### **Servicio de Conmutación de Circuitos**

Uno de los temas que aún no se ha definido para EPS es la administración de los servicios de conmutación de circuitos. Existen varias opciones, entre ellas las siguientes:

- *Circuit Switched Fall-Back (CSFB)*
- *Voice over IP Multimedia Subsystem (VoIMS)*
- *Single-radio voice call continuity (SRVCC)*

*Circuit Switched Fall-Back* define un mecanismo para el uso de una red de conmutación de circuitos para proporcionar servicios de voz en una red LTE. CSFB

permite al suscriptor el traspaso a la red de circuitos para recibir servicios de voz y luego regresar a LTE cuando se haya terminado.

La Figura 3.27 [31] muestra la arquitectura de CSFB. Cuando un suscriptor desea hacer una llamada de voz, UE hace una solicitud de servicio a la red LTE, la cual coordina con la red 3GPP de versiones anteriores para redirigir al UE a la red de conmutación de circuitos (CS).

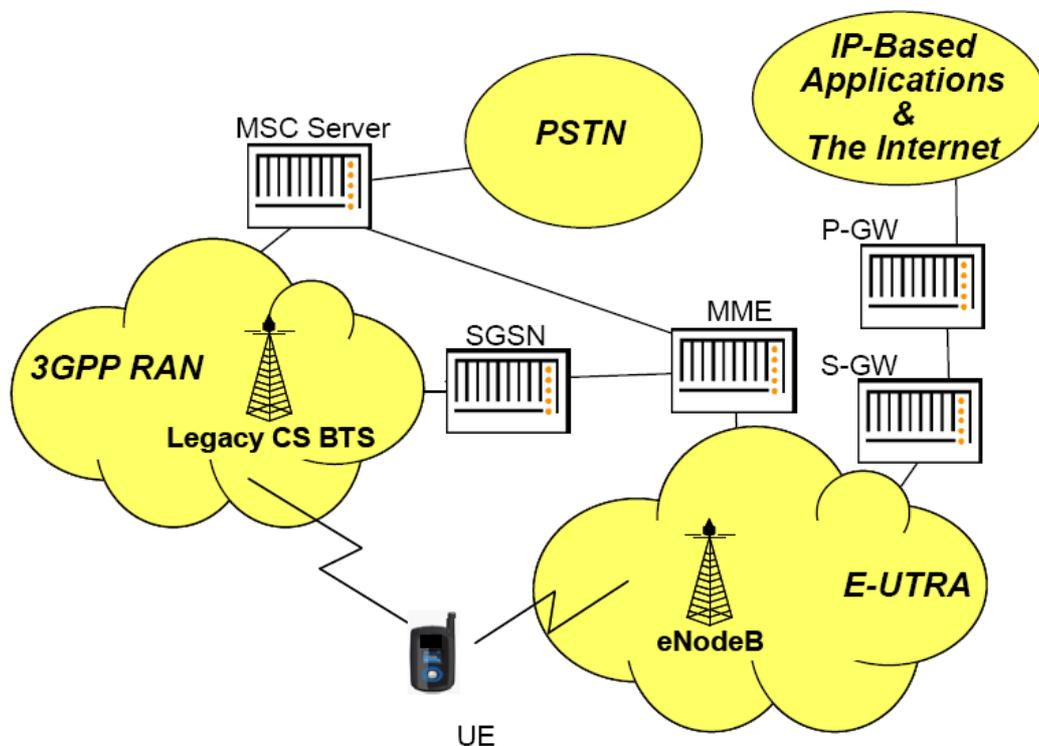


Figura 3.27 Arquitectura CS Fall-Back

*IP Multimedia Subsystem (IMS)* fue diseñado originalmente por 3GPP con el fin de permitir servicios multimedia basados en IP sobre los sistemas GSM y WCDMA, pero más tarde fue ampliado para soportar otras redes de acceso. El concepto IMS se basa en el protocolo SIP. Este protocolo fue diseñado por el IETF como un protocolo de señalización.

*Multimedia Telephony* (MMTel) ha sido diseñado para ofrecer llamadas de voz usando IMS. Ofrece más posibilidades que una llamada de voz en una red de conmutación de circuitos. Es una elección para ofrecer servicios de voz cuando se está dentro de la cobertura LTE, sin embargo, no se puede confiar en el hecho que la cobertura LTE esté presente cuando el usuario realice una llamada de voz. Ya que existen algunos factores que no lo permiten:

- otras redes de acceso complementan el acceso a la red LTE en términos de cobertura,
- el dispositivo utilizado para realiza la llamada de voz es compatible con éstas tecnologías de acceso,
- es posible *handovers* entre sistemas

Sin embargo, existen tres diferentes casos que deben ser considerados para el uso de MMTel:

- Una llamada de voz se establece cuando el usuario está dentro de la cobertura LTE y no se mueve fuera de ésta durante la llamada. En este caso MMTel se utilizará para proveer el servicio de voz sobre LTE.
- Una llamada de voz se establece cuando se está fuera de la cobertura LTE, la llamada entonces se establece mediante el acceso de conmutación de circuitos, por ejemplo, con la tecnología GSM. La llamada se puede convertir en una llamada basada en SIP y manipulada por el sistema IMS, o puede ser manejada como una llamada tradicional de conmutación de circuitos por el MSC.
- Una llamada de voz se establece cuando el usuario está dentro de la cobertura LTE y se mueve fuera de ésta durante la llamada. Puede soportar servicios de voz IMS/MMTel, si se maneja a través de *handover* de paquetes entre LTE y otros sistemas (WCDMA/HSPA or eHRPD), el servicio de voz continua siendo un servicio basado en IP y manipulado por la infraestructura IMS. Si este no es el caso, son necesarias medidas específicas para garantizar la

continuidad del servicio cuando se pierde la cobertura LTE. La solución 3GPP para esto, es llamada *Single-Radio Voice Call Continuity (SRVCC)*.

*Single-Radio Voice Call Continuity (SRVCC)* define una solución de como las llamadas de voz basadas en IP pueden ser entregadas de un sistema “A” a un sistema “B” que permite a la llamada de voz utilizar procedimientos de conmutación de circuitos. 3GPP ha especificado las siguientes combinaciones para SRVCC (de un sistema “A” a un sistema “B”):

- LTE a GSM
- LTE a WCDMA
- WCDMA (HSPA) a GSM
- LTE a 1xRTT.

La red LTE determina que la llamada de voz tiene que ser trasladada a un dominio de circuitos. Esta notifica al servidor MSC<sup>16</sup> y se inicia un *handover* de la portadora de voz de LTE a la red de circuitos. El servidor MSC establece una ruta de portadora para el móvil en la red y notifica al núcleo IMS que la llamada se está moviendo del dominio de paquetes al de circuitos. El núcleo IMS realiza las funciones necesarias para el interfuncionamiento. Cuando el móvil llega a la red, esta cambia de un proceso de VoIP a un circuito de voz, y continúa la llamada. En la Figura 3.28 [31] se muestra la arquitectura SRVCC.

---

<sup>16</sup> *Mobile Services Switching Center (MSC)*: es una parte central de la de la arquitectura de red de conmutación de circuitos.

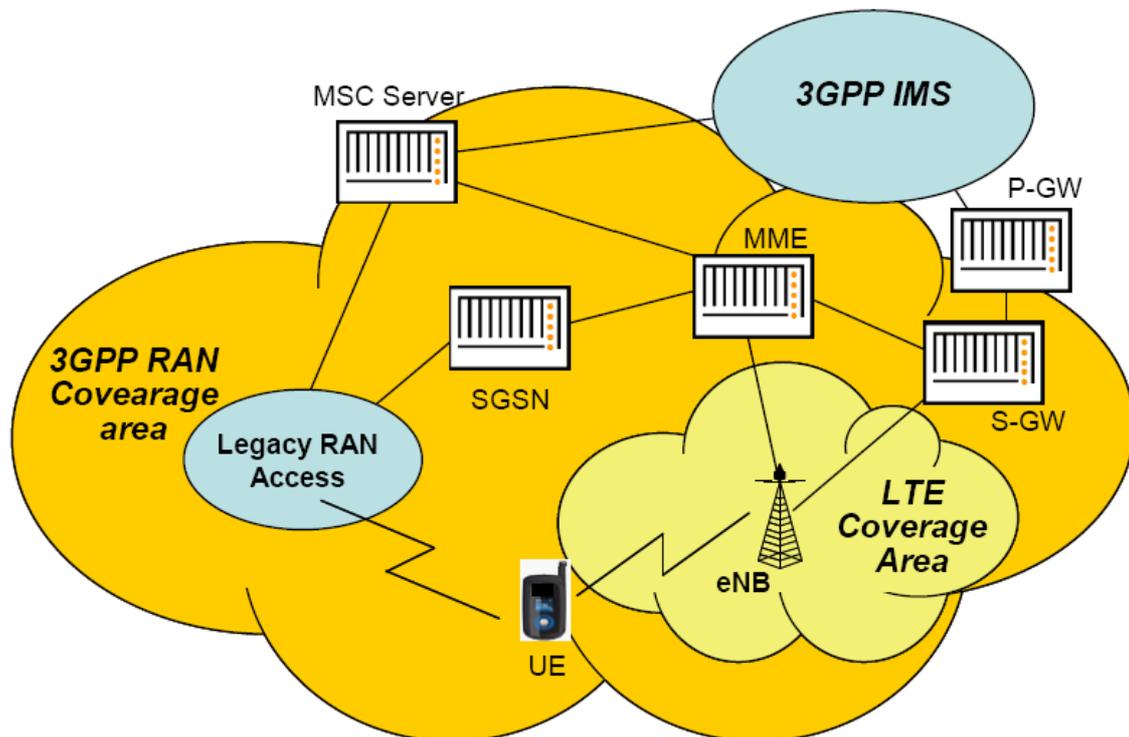


Figura 3.28 Arquitectura SRVCC con dominio de circuitos 3GPP

### 3.2.6. Protocolos de las Capas superiores de LTE.

La arquitectura general de los protocolos de la interfaz de radio de LTE se muestra en la Figura 3.29. Existen un conjunto de protocolos de plano de usuario y de plano de control en el eNB y UE, además de protocolos en el núcleo de red que son transparentes a las capas de radio.

La comunicación entre capas se establece a través de canales. Cada canal se caracteriza por un cierto conjunto de parámetros y funciones. E-UTRAN presenta tres tipos de canales:

- Los canales lógicos (lo que se transmite),
- canales de transporte (como se transmite) y
- canales físicos

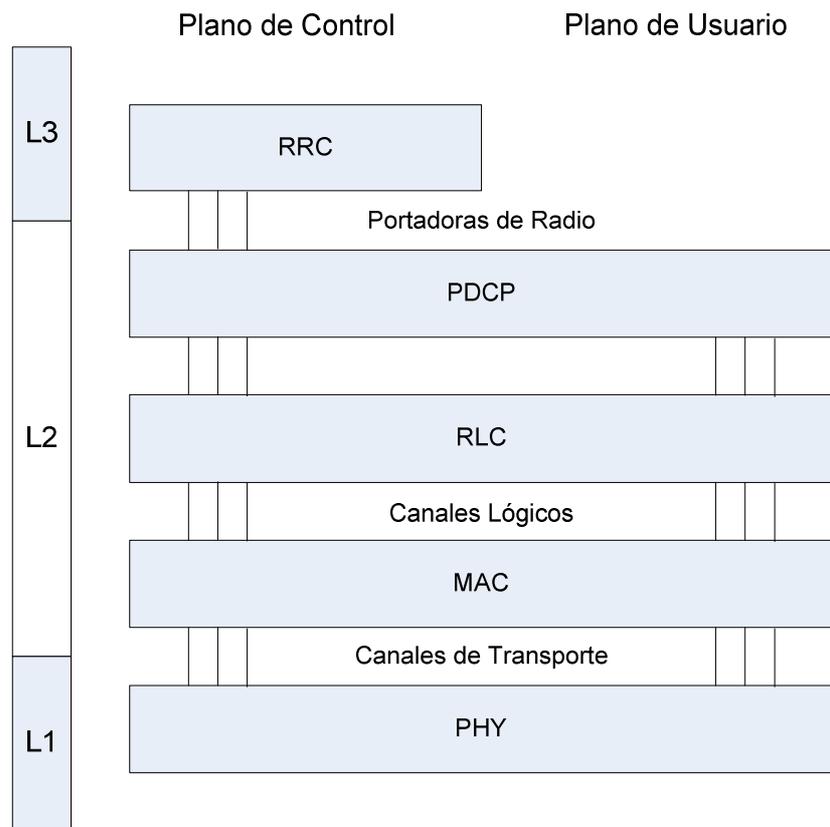


Figura 3.29 Arquitectura general de los protocolos de la interfaz de radio de LTE

### Canales Lógicos

Los canales lógicos permiten la transferencia de datos de los servicios ofrecidos por los protocolos de la interfaz de radio de las capas superiores. Existen dos tipos de canales lógicos: canales de control y de tráfico.

Los canales lógicos de control se utilizan para la transferencia de información del plano de control:

- *Broadcast Control Channel* (BCCH): utilizado para difundir la información del sistema E-UTRAN a los terminales presentes en la celda de radio.

- *Paging Control Channel (PCCH)*: transfiere la información de *paging* cuando UE no es localizado.
- *Common Control Channel (CCCH)*: utilizado por UE cuando UE no tiene conexión RRC.
- *Multicast Control Channel (MCCH)*: utilizado para la transmisión de información de *Multimedia Broadcast and Multicast Service (MBMS)* desde la red a uno o varios terminales.
- *Dedicated Control Channel (DCCH)*: es un canal bidireccional punto a punto, utilizado por un terminal determinado para la conexión RRC.

Los canales lógicos de tráfico se utilizan para la transferencia de información del plano de usuario:

- *Dedicated Traffic Channel (DTCH)*: es un canal bidireccional punto a punto, que se utiliza entre un terminal determinado y la red. Soporta la transmisión de datos de usuario.
- *Multicast Traffic Channel (MTCH)*: es un canal de datos punto a multipunto que permite la transmisión del tráfico de datos entre la red y uno o varios terminales.

### **Canales de Transporte**

Los canales de transporte describen cómo y con qué características la información es transmitida por la interfaz radio. Los canales de transporte se clasifican en dos categorías, canales de transporte para *downlink* y los canales de transporte para *uplink*.

Los canales de transporte para *downlink* son los siguientes:

- *Broadcast Channel* (BCH): transmite información a toda el área de la celda con un formato de transporte fijo. Está asociado con el canal lógico BCCH.
- *Downlink Shared Channel* (DL-SCH): es el principal canal de *downlink* de transferencia de datos de control o de tráfico del usuario. Es utilizado por muchos canales lógicos.
- *Paging Channel* (PCH): transmite información a toda el área de la celda, soporta una recepción discontinua permitiendo el ahorro de energía al terminal. Está asociado con el canal lógico PCCH.
- *Multicast Channel* (MCH): proporciona soporte para *Multicast Broadcast - Single Frequency Network* (MB-SFN) con una asignación de recursos semi-estática. Está asociado con el canal lógico MCCH.

Los canales de transporte para *uplink* son los siguientes:

- *Uplink Shared Channel* (UL-SCH): es el principal canal de *uplink* de transferencia de datos de control o de tráfico del usuario. Es utilizado por muchos canales lógicos.
- *Random Access Channel* (RACH): utilizado para los requerimientos de acceso aleatorio.

### **Canales Físicos**

Los canales de transporte están conectados con los canales físicos. Los canales físicos se clasifican en dos categorías, canales físicos para *downlink* y los canales físicos para *uplink*.

Los canales físicos para *downlink* son los siguientes:

- *Physical Downlink Shared Channel (PDSCH)*: lleva los datos de usuario y de señalización a las capas superiores. Es utilizado para transmisión *unicast* y funciones de *paging*.
- *Physical Downlink Control Channel (PDCCH)*: lleva la información de control de acceso.
- *Physical Multicast Channel (PMCH)*: lleva información de *multicast* y *broadcast*.
- *Physical Broadcast Channel (PBCH)*: lleva la información del sistema para UEs que requieren acceder a la red.
- *Physical Control Format Indicator Channel (PCFICH)*: informa a UE el tipo de modulación del canal (número de símbolos OFDM).
- *Physical Hybrid ARQ Indicator Channel (PHICH)*: se utiliza para informar el estado de *Hybrid ARQ*.

Los canales físicos para *downlink* son los siguientes:

- *Physical Uplink Shared Channel (PUSCH)*: Cumple las mismas funciones que el canal físico PDSCH, pero en este caso en el proceso de *uplink*.
- *Physical Uplink Control Channel (PUCCH)*: utilizado para enviar información de señalización (ARQ, ACK, NACK).
- *Physical Random Access Channel (PRACH)*: se utiliza para las funciones de acceso aleatorio.

### **Protocolos en UE y eNB**

Los protocolos en UE son los siguientes:

- NAS: *Non-Access Stratum*
- RRC: *Radio Resource Control*

- PDCP: *Packet Data Convergence Protocol*
- RLC: *Radio Link Control*
- MAC: *Medium Access Control*
- PHY: *Physical Layer*

Los protocolos en eNB son los siguientes:

- RRC: *Radio Resource Control*
  - PDCP: *Packet Data Convergence Protocol*
  - RLC: *Radio Link Control*
  - MAC: *Medium Access Control*
  - PHY: *Physical Layer*
- 
- **Capa NAS: *Non-Access Stratum*.**

*Non-Access Stratum* (NAS) contiene todas las funciones y protocolos que se usan directamente entre UE y el núcleo de la red, específicamente con MME, para el establecimiento de control de señalización, realiza la autenticación, el control de seguridad y gestión de movilidad. Los protocolos NAS son transparentes para el acceso a la red.

- **Capa RRC: *Radio Resource Control*.**

*Radio Resource Control* (RRC) es un protocolo de señalización, cuya función principal es la de administrar la conexión entre el terminal y la red E-UTRAN. Para lograr esto, se han definido estados del protocolo RRC, cada uno de ellos corresponde a los estados de conexión y describe cómo la red y el terminal manejan funciones de movilidad del terminal, procesamiento de mensajes y *broadcast* de la información del sistema.

En la nueva arquitectura E-UTRAN se presentan sólo dos estados *RRC\_IDLE* y *RRC\_CONNECTED*.

En el estado *RRC\_IDLE*, el UE vigila un canal que detecta las llamadas entrantes, adquiere información del sistema y realiza la medición y selección de las celdas vecinas. Además la movilidad es controlada por UE. En el estado *RRC\_CONNECTED* hay una conexión activa entre el terminal y el eNB, el UE envía y recibe datos a y desde la red y la movilidad es controlada por la red.

- **Capa PDCP: *Packet Data Convergence Protocol*.**

*Packet Data Convergence Protocol (PDCP)* se encarga principalmente de la compresión y descompresión de los paquetes IP, cifrado de datos y señalización. Además apoya la movilidad sin pérdidas en el caso de *handover* entre eNBs.

Una de las diferencias en LTE con respecto a WCDMA, es que la capa PDCP se encontraba en el núcleo de la red, ahora se encuentra en eNB.

- **Capa RLC: *Radio Link Control*.**

*Radio Link Control* tiene las funciones de transferencia de *Payload Data Units* (PDUs) entre UE y eNB con segmentación si es necesario. Aplica corrección de errores a través de la Solicitud de repetición automática (en inglés, Automatic Repeat Request, ARQ) para los datos recibidos, concatenación, entrega en secuencia y detección de duplicados.

RLC propone tres modos de transmisión: *Transparent Mode* (TM), *Unacknowledged Mode* (UM) y *Acknowledged Mode* (AM).

El modo de TM es la más simple, ya que no cambia o altera los datos de la capa superior. Este modo se utiliza normalmente para las transmisiones del canal lógico BCCH o PCCH, que no requiere tratamiento específico de la capa RLC. La entidad de TM recibe datos de las capas superiores y simplemente las pasa a la capa MAC. No existe cabecera RLC, segmentación o concatenación de datos.

El modo UM permite la detección de pérdida de paquetes, la entidad que lo recibe, puede detectar que un paquete RLC no ha sido recibido correctamente y establece la reordenación o re ensamblaje de los paquetes, esto es posible realizarlo ya que posee un número de secuencia en el encabezado de paquete RLC. La reordenación se refiere a la re secuenciación de los paquetes debido a que no se recibieron en orden y el re ensamblaje se realiza cuando un paquete de la capa superior se ha segmentado.

Este modo puede aplicarse a cualquier canal lógico dedicado o *multicast*, dependiendo del tipo de aplicaciones.

El modo AM es el más complejo. Proporciona, además de las funciones de UM, la retransmisión, si se pierden PDUs como resultado de operaciones de las capas inferiores. Los datos AM también se pueden volver a segmentar para adaptarse a la capa física y poder ser retransmitidos. El encabezado contiene información de los paquetes recibidos correctamente en el lado del receptor, junto con los números de secuencia, como en UM.

El modo AM sólo se aplica a los canales lógicos DCCH o DTCH.

### 3.2.7. Capa MAC de LTE.

La capa *Medium Access Control* (MAC) es un protocolo que se ejecuta en UE y eNB. Se comporta de diferente manera dependiendo donde se ejecute, generalmente en eNB da órdenes y en UE responde a ellas. Como su nombre lo indica, MAC controla el acceso al medio de transmisión compartido.

Las principales funciones de la capa MAC son:

- Multiplexación de PDUs RLC desde uno o más canales lógicos en bloques de transporte. Estos se entregan a la capa física sobre los canales de transporte.
- Demultiplexación de PDUs RLC desde uno o más canales lógicos de bloques de transporte. Estos se entregan desde la capa física sobre los canales de transporte.
- Presentación de informes de medición de tráfico.
- Corrección de errores a través de *Hybrid ARQ* (HARQ), para controlar el *uplink* y *downlink* de las retransmisiones en la capa física manejadas en el eNB.
- Decidir cuál UE podrá enviar y recibir datos en los recursos compartidos físicos (sólo en la MAC de eNB)
- Selección del formato de transporte, es decir, elegir un tipo de modulación y codificación que se utilizará para enviar datos a UE (sólo en la MAC de eNB).
- Manejo de prioridad entre los canales lógicos de un terminal y entre terminales.

#### Manejo de Prioridad

El manejo de prioridad se refiere al proceso de selección de paquetes de diferentes colas de espera para presentarlos a la capa física para la transmisión en la interfaz de radio. Este proceso cuenta con los diferentes flujos de información a transmitir con su prioridad, así como la repetición de paquetes en el caso de que un paquete transmitido no

sea recibido en el otro extremo. Por esta razón el manejo de prioridad está estrechamente unido a la HARQ.

## HARQ

ARQ es un protocolo de control de errores que se usa con el acuse de recibo positivo (en inglés, *positive acknowledgments* ACK) y con el acuse de recibo negativo (en inglés, *negative acknowledgments* NACK) para lograr una mayor confiabilidad en la transmisión de los datos. HARQ es una variación de ARQ, donde utiliza *Forward Error Correction* (FEC) para codificar los datos y mejorar el rendimiento del esquema ARQ.

HARQ en LTE considera *Incremental Redundancy* (IR) y *Chase Combining*. IR reduce gradualmente la tasa de codificación en cada retransmisión mediante el envío de bits de redundancia adicionales. *Chase Combining*, almacena los paquetes erróneos en un buffer y los valores correspondientes a nivel de bit se combinan de acuerdo a los pesos de la señal recibida a ruido (SNR).

HARQ puede ser síncrona o asíncrona. En el *downlink*, HARQ está basada en retransmisiones asíncronas con parámetros de transmisión adaptativa, mientras que en el *uplink*, HARQ está basada en retransmisiones síncronas.

HARQ en LTE es similar a los de HSDPA (para la transmisión de *downlink*) y a HSUPA (para la transmisión de *uplink*).

### ***Scheduling***

El acceso a la red LTE, se basa en la transmisión del canal compartido. eNB tiene un programador (*scheduler*) que controla los recursos de tiempo-frecuencia durante un tiempo determinado para el *uplink* y *downlink*. El programador asigna dinámicamente los recursos a los terminales. Dependiendo de las condiciones del canal, el programador selecciona la mejor multiplexación para UE.

#### **3.2.8. Capa Física de LTE.**

La capa física cubre la transmisión de *downlink* desde eNB a UE, y la transmisión de *uplink* desde UE a eNB. Ofrece servicios de transporte de datos a las capas superiores.

Se espera que la capa física realice las siguientes funciones:

- Detección de errores en el canal de transporte e indicaciones a las capas superiores.
- Codificación y Decodificación FEC a los canales de transporte.
- HARQ.
- Asignación de los símbolos codificados a los canales físicos.
- Fuente de ponderación de los canales físicos.
- Modulación y demodulación de los canales físicos.
- Frecuencia y sincronización de tiempo.
- Características de Medidas de radio e indicaciones a las capas superiores.
- *Multiple Input Multiple Output* (MIMO).
- *Beamforming*.
- Procesamiento RF.

La capa física soporta dos esquemas de múltiple acceso: OFDMA en el *downlink* y SC-FDMA en el *uplink*. Y se presentan dos modos *duplex*: FDD que soporta *full duplex* y *half duplex* y TDD. Aunque en el *downlink* y *uplink* se utilizan diferentes esquemas de múltiple acceso, estos comparten una estructura de trama común. La estructura de la trama define dos tipos: tipo 1 para FDD y tipo 2 para TDD.

### Estructura la Trama

La Figura 3.30 muestra la estructura de trama LTE Tipo 1 es definida para el modo FDD *full duplex* y *half duplex*. Cada trama tiene una longitud total de 10 ms y está formada por 10 subtramas. Cada subtrama contiene 2 *slots*, por lo tanto la trama contiene en total 20 *slots* numerados del 0 al 19. Cada uno de estos *slots* tiene una longitud de 0.5ms. En FDD, el *uplink* y *downlink* tienen la misma estructura de trama pero se utiliza un espectro diferente, es decir, los 20 *slots* se utilizan para el *uplink* o los 20 *slots* se utilizan para el *downlink*.

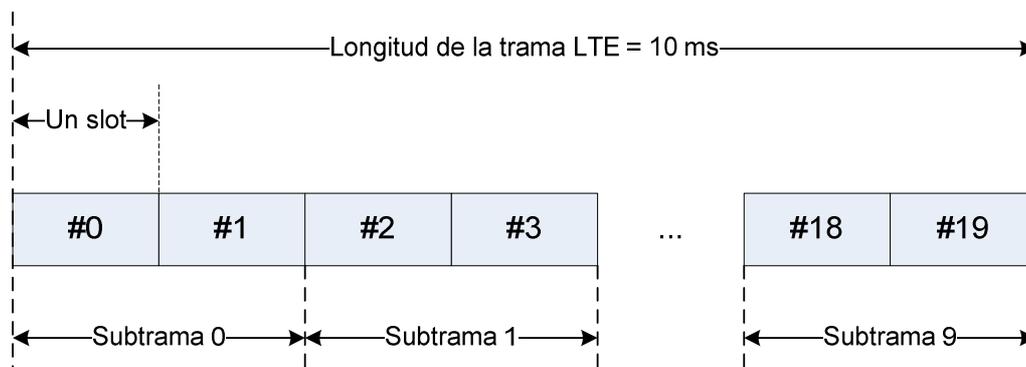
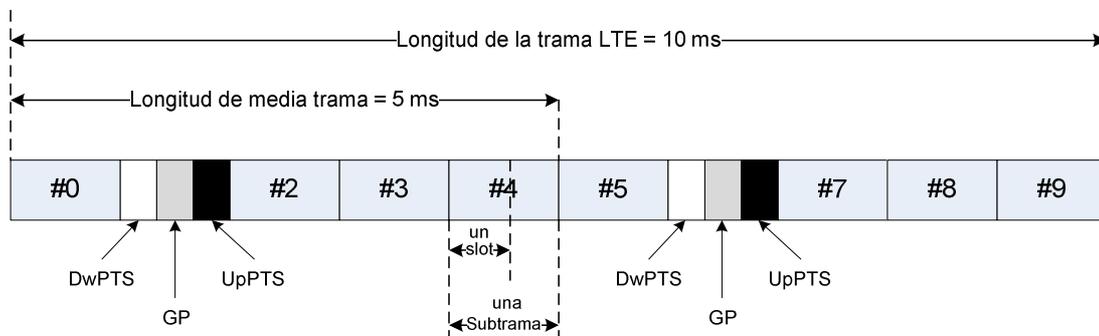


Figura 3.30 Estructura de Trama LTE Tipo 1

La Figura 3.31 muestra la estructura de trama LTE Tipo 2 es definida para el modo TDD. Cada trama tiene una longitud total de 10 ms y está formada por 2 medias tramas. Cada media trama contiene 5 Subtramas.

La Subtrama #1 y la Subtrama #6 son subtramas especiales, y constan de tres campos: *Downlink Pilot Time Slot* (DwPTS), *Guard Period* (GP) y *Uplink Pilot Time Slot* (UpPTS). La longitud total de estos tres campos es de 1ms. Las demás subtramas, que no son subtramas especiales contienen 2 *slots*, cada uno de estos *slots* tiene una longitud de 0.5ms.

DwPTS y las subtramas #0 y #5 se reservan siempre para *downlink*. UpPTS y las subtramas #2 y #7 están reservadas para *uplink*.



**Figura 3.31 Estructura de Trama LTE Tipo 2**

### Esquemas de Múltiple Acceso

OFDMA es un esquema elegido para el *downlink* para E-UTRAN. OFDMA es una tecnología que resiste bien a múltiples trayectos, permite una alta eficiencia espectral, compatible con MIMO y reduce la complejidad de implementación.

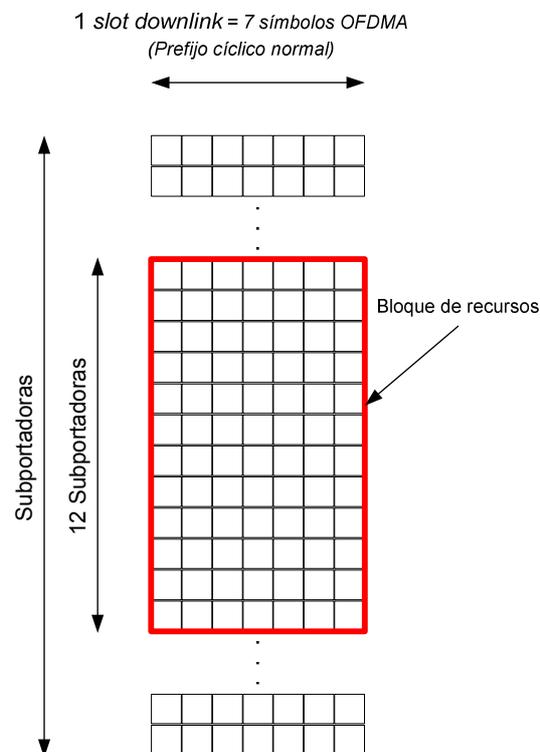
En el sistema OFDMA, el espectro es dividido en múltiples portadoras, llamadas subportadoras, cada una de estas subportadoras es modulada independientemente.

La señal utilizada en LTE comprende un máximo de 2048 subportadoras con un espaciamiento  $\Delta f = 15\text{kHz}$ . Un bloque de recursos está formado por 12 subportadoras en el dominio de la frecuencia y un slot en el dominio del tiempo. El ancho de banda del bloque de recursos es de 180kHz. El tamaño de este bloque es el mismo para todos los anchos de banda. El número de bloques de recursos para diferentes anchos de banda se presentan en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1 Número de bloques de recursos para diferentes anchos de banda**

Ancho de Banda del Canal [MHz]	1.4	3	5	10	15	20
Número de bloques de recursos	6	15	25	50	75	100

Para cada símbolo OFDMA, se añade un prefijo cíclico, que permite evitar interferencia entre símbolos. Un *slot downlink* consta de 6 o 7 símbolos OFDMA dependiendo de si el prefijo cíclico es configurado como extendido o normal como muestra la Figura 3.32.



**Figura 3.32 Bloque de recursos *downlink***

Utiliza señales físicas que terminan o se originan en la capa física, para estimar la respuesta al impulso del canal y para la sincronización del tiempo y frecuencia, a estas señales se las llama símbolos de referencia.

Los datos se asignan a UE en términos de bloques de recursos. En el dominio de la frecuencia se asignan bloques de recursos enteros, estos no tienen que ser adyacentes entre sí. En el dominio del tiempo la decisión de *scheduling* se hace desde la estación base eNB, cada transmisión se la realiza en un intervalo de tiempo de 1ms. La Figura 3.33 muestra un ejemplo para la asignación de datos de diferentes usuarios.

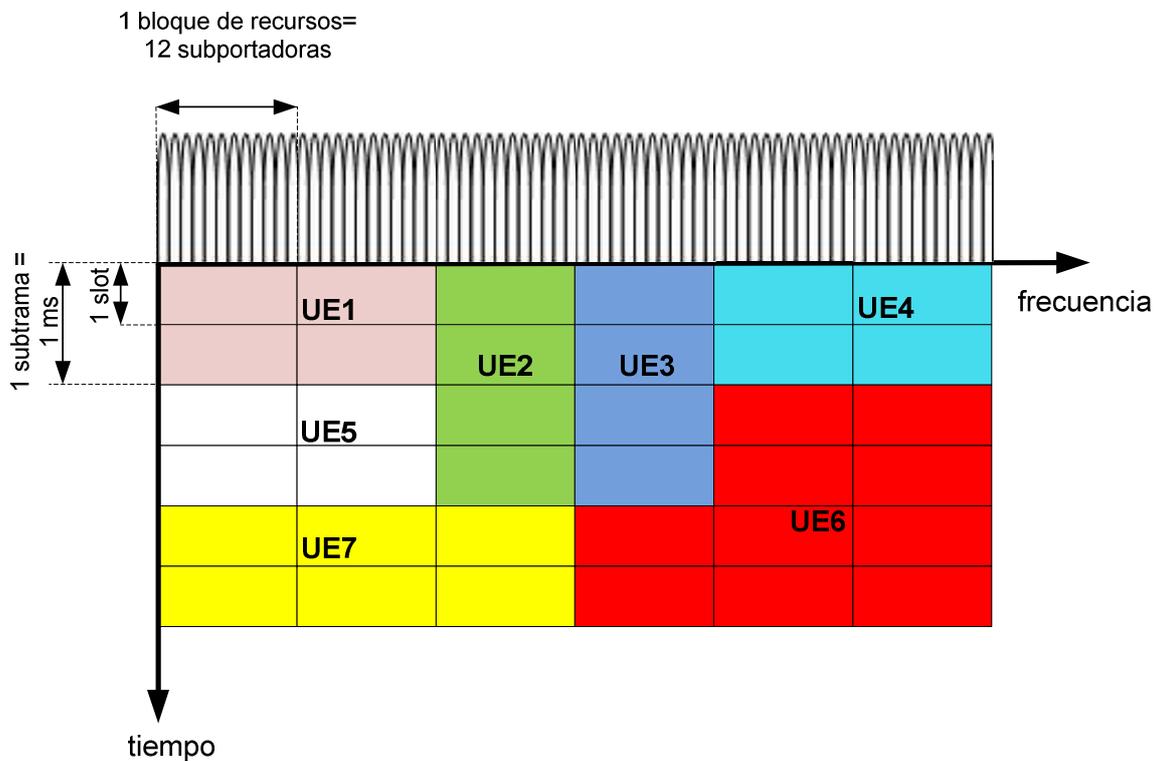


Figura 3.33 Multiplexación tiempo – frecuencia OFDMA

La transmisión *uplink* LTE para los modos FDD y TDD está basada en SC-FDMA con prefijo cíclico, utiliza la misma estructura de trama que en *downlink*. Del mismo modo, el espacio entre subportadoras es  $\Delta f = 15\text{kHz}$ . Las señales SC-FDMA tienen mejores propiedades PAPR<sup>17</sup> comparadas con las señales OFDMA.

La estructura de la subtrama para el *uplink* contiene seis Bloques largos (LB, por sus siglas en inglés) y dos Bloques cortos (SB, por sus siglas en inglés). Los Bloques largos son usados para la transmisión de datos, mientras que los bloques cortos son usados para las señales de referencia.

Los esquemas de modulación soportados tanto en el *downlink* como en el *uplink* son QPSK, 16QAM y 64QAM. La implementación de 64QAM en el *uplink* es opcional para los dispositivos.

### Múltiples Antenas

El uso de múltiples antenas en el receptor y en el transmisor es la tecnología clave para llegar a los objetivos más competitivos en el rendimiento de LTE y se utilizan de diferentes maneras. Para *downlink* comprende: *transmit diversity*, *spatial multiplexing*, *beamforming*.

En el caso del modo *transmit diversity*, cada antena transmite el mismo flujo de información, pero con diferente código. LTE emplea *Space Frequency Block Coding* (SFBC) como un esquema de *transmit diversity*. Una matriz especial es aplicada en el lado del transmisor, en la etapa de precodificación. En un determinado momento, la antena transmite los mismos símbolos de datos, pero con diferente codificación y

---

<sup>17</sup> El efecto de un alto *Peak Average Power Ratio* (PAPR) en la transmisión de símbolos OFDM da como resultado un *spectral spreading* (interferencia entre canales adyacentes) y un alto BER (*bit error rate*).

subportadora. Este modo incrementa la robustez de transmisión, permite que la señal sea más resistente al *fading* y puede mejorar el rendimiento en condiciones de baja SNR.

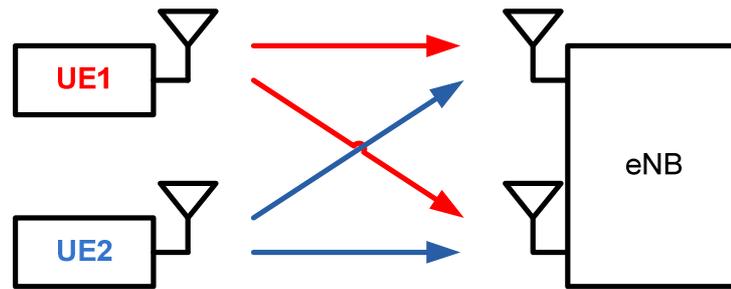
*Spatial multiplexing* permite transmitir diferentes flujos de datos simultáneamente en un mismo bloque de recursos. Estos flujos de datos pueden pertenecer a un único usuario (*single user MIMO* / SU-MIMO) o diferentes usuarios (*multi user MIMO* / MU-MIMO) como se muestra en la Figura 3.34. Mientras SU-MIMO incrementa la velocidad de datos de un usuario, MU-MIMO permite incrementar la capacidad (más usuarios por celda). *Spatial multiplexing* es solo posible si el canal de radio móvil lo permite.



**Figura 3.34 Técnicas de múltiples antenas**

*Beamforming*, este modo se utiliza para LTE TDD. Permite la mayor direccionalidad de la potencia de las antenas, lo cual mejora la recepción SNR, aumenta la cobertura y capacidad del sistema.

En el *uplink* solo una antena de transmisión está disponible en UE como se muestra en la Figura 3.35. Sin embargo, con múltiples antenas receptoras en eNB, MU-MIMO puede ser soportada, donde múltiples terminales de usuarios pueden transmitir simultáneamente en un mismo bloque de recursos.

Figura 3.35 MU-MIMO para *Uplink*

### 3.3. LTE FRENTE A OTRAS TECNOLOGÍAS.

LTE es una tecnología que tiene más posibilidades de consolidarse en el mercado. Sin embargo otras tecnologías también se disputan el mercado. Dos de los más fuertes competidores son 802.16m o también conocido como WiMAX 2 y UMB.

WiMAX es un estándar abierto creado a partir del estándar IEEE 802.16, que sea abierto y gracias a su nivel de estandarización hace que sea fácil y barato de implantar. Además WiMAX ya existe en el mercado, cosa que no sucede con LTE o UMB. Por otro lado los más interesados en la adopción de LTE son los operadores que utilizan las versiones 3GPP así como los más interesados en la adopción de UMB, son los operadores que utilizan las versiones 3GPP2. Mayormente los fabricantes de equipos a soluciones propietarias y entre los cuales los estándares abiertos no están dentro de su interés.

Desde el punto de vista técnico, LTE y WiMAX son tecnologías que utilizan métodos avanzados como OFDMA en el *downlink*, pero difieren en el *uplink*. Para el uso de OFDMA se necesita amplificadores de potencia, estos están ubicados en las estaciones base para el *downlink*, en el caso del *uplink* esto se convierte en un problema ya que los transmisores, son los dispositivos móviles que funcionan con baterías. LTE permite mantener una transmisión de la señal de alta eficiencia, mediante la utilización de SC-OFDMA para el *uplink*, permitiéndole un ahorro de energía. Mientras que WiMAX sigue utilizando OFDMA.

Otro aspecto técnico de estas dos tecnologías es que tanto LTE, como WiMAX son basadas en IP, ofreciendo altas velocidades de transmisión de datos, facilitando el acceso rápido a internet y aplicaciones avanzadas como video. Con el nuevo estándar de WiMAX se podrán alcanzar velocidades de *downlink* de hasta 350 Mbps y en *uplink* de hasta 200 Mbps.

UMB es una derivación del estándar conocido como CDMA2000, es muy similar a LTE en términos de tecnologías y características, con una diferencia principal que UMB soporta OFDMA y CDMA.

Las especificaciones técnicas de UMB incluyen el empleo de antenas con técnicas MIMO, alcanzando altas velocidades con baja latencia y alta eficiencia espectral. Las velocidades pico teóricas para 20 MHz en *downlink* es de 288 Mbps y para el *uplink* es de 75 Mbps. Soporta una conectividad de voz y datos en todos los ambientes de hasta 350 km/h al igual que LTE y WiMAX y la latencia requerida en las tres tecnologías es lo suficientemente pequeña como para soportar aplicaciones en tiempo real.

**Tabla 3.2 Características técnicas de LTE, UMB y WiMAX 2**

	LTE (3GPP R8)	UMB (3GPP2)	WiMAX 2
<b>Tecnología de acceso</b>	DL*: OFDMA UL*: SC-FDMA	OFDMA, CDMA**	DL: OFDMA UL: OFDMA
<b>Modo de acceso</b>	FDD y TDD	FDD y TDD	FDD y TDD
<b>Velocidad</b>	DL: 300 Mbps UL: 75 Mbps	DL: 288 Mbps UL: 75 Mbps	DL: 350 Mbps UL: 200 Mbps
<b>Ancho de Banda del canal</b>	1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz	1.25, 5, 10 y 20 MHz	5, 10, 20, 40 MHz
<b>Movilidad del usuario</b>	350 km/h	350 km/h	350 km/h

\**Downlink / Uplink* , \*\*UMB se limita a establecer el uso de las tecnologías. No hace mención en detalles del DL o UL

Como podemos ver en la Tabla 3.2, LTE, WiMAX y UMB son similares en cuanto a características, el aspecto en el que difieren es en el impacto que tendrán en el

mercado. LTE ya está siendo adoptada por varios operadores en toda Europa, Estados Unidos y Asia, a continuación se nombran algunos de los operadores: Vodaphone, China Mobile, Verizon Wireless, AT&T, T-Mobile (Europa y Australia), Orange, NTT DoCoMo. Mientras LTE tiene una gran acogida, UMB parece ser una tecnología que llego a su fin, Qualcomm<sup>18</sup> está dando apoyo a LTE. La tecnología WiMAX 2 ya está actualmente desplegada en Estados Unidos bajo la marca XOHM, y desplegada comercialmente en Corea del Sur por SK Telecom bajo el nombre de WiBro.

### 3.4. APLICACIONES SOPORTADAS POR LTE.

La implementación de LTE es necesaria para proporcionar a los suscriptores una experiencia de usuario muy similar a lo que tenemos en casa con conexiones xDSL o cableadas.

- *High Definition (HD) video streaming*

El usuario será capaz de cargar y descargar videos de alta calidad en tiempo real desde cualquier lugar, utilizando su teléfono móvil o incluso una cámara de vídeo LTE.

- *Video Blogging*

El usuario tendrá la posibilidad de subir videos a sitios de redes sociales, gracias al aumento de la tasa de datos en *uplink* de LTE.

---

<sup>18</sup> Líder mundial en tecnologías móviles de última generación

- **Videoconferencia**

El usuario tiene la posibilidad de realizar una comunicación simultánea bidireccional de audio y video, gracias a la baja latencia que ofrece LTE.

- **Sincronización con otros dispositivos**

Los usuarios LTE serán capaces de mantener todos sus dispositivos continuamente sincronizados, por ejemplo, si se toma una fotografía con un dispositivo LTE automáticamente se sincroniza y envía una copia a su computadora de casa.

- **Web en tiempo real**

Debido a las altas tasas de transmisión, el usuario puede navegar vía Web en tiempo real.

- **Juegos en línea en tiempo real**

Gracias a la baja latencia de LTE será posible realizarlos en cualquier lugar.

- **Aplicaciones P2P**

Intercambio de archivos a bajo costo.

### 3.5. TERMINALES.

La industria de las telecomunicaciones, donde forman parte de ella, operadores, fabricantes y distribuidores, debe atravesar un proceso de cambios para lograr el despliegue hacia LTE, y además tiene que lanzar al mercado una amplia oferta de nuevos dispositivos que soporten esta tecnología.

Al momento ya se comienza a divisar los primeros despliegues de LTE y por lo tanto, es necesario que los dispositivos terminales acompañen este avance. Según un informe de la Asociación de Proveedores Globales Móviles (*Global mobile Suppliers Association, GSA*), existen 98 dispositivos y módulos equipados con LTE. Respecto a los nuevos dispositivos más desarrollados, se encuentran: enrutadores, módems USB, teléfonos, tabletas y portátiles. [31]

Actualmente, ya existen en el mercado algunos terminales a la venta, entre ellos tenemos: los teléfonos *HTC ThunderBolt* comercializado por *Verizon* y *Samsung Craft* comercializado por *MetroPCS*, la tableta *BlackBerry PlayBook* disponible en Estados Unidos y Canadá y el módem *Huawei E398* disponible en Suecia. La comercialización de estos dispositivos es limitada, en América Latina, ninguna de estas terminales está a la venta. Uno de los inconvenientes en la adquisición de estos equipos, es el alto costo.

En la Figura 3.36 se presentan algunos de los dispositivos disponibles en el mercado.



**HTC ThunderBolt**



**Samsung Craft**



**BlackBerry PlayBook**



**Modem USB Huawei**

**Figura 3.36 Dispositivos que soportan LTE**

## **CAPÍTULO 4**

### **CONSIDERACIONES PARA IMPLEMENTAR LTE EN EL ECUADOR**

#### **4.1. INTRODUCCIÓN.**

La evolución de los sistemas de Telecomunicaciones en el Ecuador, no solo es un problema tecnológico, sino comprende varios aspectos. Las condiciones a tomar en cuenta para que la tecnología LTE sea implementada en el Ecuador son condiciones de mercado, tecnológicas y regulatorias.

#### **4.2. MARCO REGULATORIO DE LOS SERVICIOS MÓVILES EN EL ECUADOR.**

Las telecomunicaciones móviles en el Ecuador, actualmente están regidas por el Reglamento para el Servicio Móvil Avanzado (SMA) en sustitución del Reglamento para la prestación del Servicio de Telefonía Móvil Celular (STMC), para lo cual el presente reglamento se encuentra regulado por la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada. [38]

Mediante la Ley Especial de Telecomunicaciones publicada en el año de 1992 se creó la Superintendencia de Telecomunicaciones. Luego, en la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, publicada el 30 de agosto de 1995 se crea el Consejo

Nacional de Telecomunicaciones, la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y, se asignan nuevas funciones a la Superintendencia de Telecomunicaciones. Estas entidades son las encargadas de la interacción en representación del Estado con los operadores de telefonía móvil. Y según la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada se describen más adelante.

En el año 2009, el presidente de la República, Rafael Correa, firmó el decreto mediante el cual se creó el Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información. Este organismo estatal está encargado del desarrollo de las tecnologías de información y comunicación en el país y actualmente está estructurado como se muestra en la Figura 4.1 [25].



**Figura 4.1 Estructura del Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información**

El Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información tiene como misión: *“Ser el órgano rector del desarrollo de las Tecnologías de la Información y Comunicación en el Ecuador, que emite políticas, planes generales y realiza el*

*seguimiento y evaluación de su implementación, coordinando acciones de asesoría y apoyo para garantizar el acceso igualitario a los servicios y promover su uso efectivo, eficiente y eficaz, que asegure el desarrollo armónico de la sociedad de la información para el buen vivir de toda la población.” [25]*

#### **4.2.1. Organismos de Regulación.**

- **Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL). [39]**

El CONATEL es el organismo encargado de la administración y regulación de las telecomunicaciones en el Ecuador. A este organismo le compete:

- Dictar las políticas del Estado con relación a las Telecomunicaciones;
- Aprobar el Plan Nacional de Desarrollo de las Telecomunicaciones;
- Aprobar el plan de frecuencias y de uso del espectro radioeléctrico;
- Aprobar las normas de homologación, regulación y control de equipos y servicios de telecomunicaciones;
- Aprobar los pliegos tarifarios de los servicios de telecomunicaciones abiertos a la correspondencia pública, así como los cargos de interconexión que deban pagar obligatoriamente los concesionarios de servicios portadores, incluyendo los alquileres de circuitos;
- Establecer términos, condiciones y plazos para otorgar las concesiones y autorizaciones del uso de frecuencias así como la autorización de la explotación de los servicios finales y portadores de telecomunicaciones;
- Designar al Secretario del CONATEL;
- Autorizar a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones la suscripción de contratos de concesión para la explotación de servicios de telecomunicaciones;
- Autorizar a la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones la suscripción de contratos de concesión para el uso del espectro radioeléctrico;
- Expedir los reglamentos necesarios para la interconexión de las redes;

- Aprobar el plan de trabajo de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones;
  - Aprobar los presupuestos de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y de la Superintendencia de Telecomunicaciones;
  - Conocer y aprobar el informe de labores de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones así como de sus estados financieros auditados;
  - Promover la investigación científica y tecnológica en el área de las telecomunicaciones;
  - Aprobar los porcentajes provenientes de la aplicación de las tarifas por el uso de frecuencias radioeléctricas que se destinarán a los presupuestos del CONATEL, de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones y de la Superintendencia de Telecomunicaciones;
  - Expedir los reglamentos operativos necesarios para el cumplimiento de sus funciones;
  - Declarar de utilidad pública con fines de expropiación, los bienes indispensables para el normal funcionamiento del sector de las telecomunicaciones;
  - En general, realizar todo acto que sea necesario para el mejor cumplimiento de sus funciones y de los fines de esta Ley y su Reglamentación; y,
  - Las demás previstas en esta ley y sus reglamentos.
- 
- **Secretaría Nacional de Telecomunicaciones (SENATEL). [39]**

La SENATEL es el organismo encargado de la ejecución de las políticas de telecomunicaciones en el país. A este organismo le compete:

- Ejercer la representación legal de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones;
- Cumplir y hacer cumplir las resoluciones del CONATEL;
- Ejercer la gestión y administración del espectro radioeléctrico;
- Elaborar el Plan Nacional de Desarrollo de las Telecomunicaciones y someterlo a consideración y aprobación del CONATEL;

- Elaborar el Plan de Frecuencias y de uso del espectro Radioeléctrico y ponerlo a consideración y aprobación del CONATEL;
  - Elaborar las normas de homologación, regulación y control de equipos y servicios de telecomunicaciones, que serán conocidas y aprobadas por el CONATEL;
  - Conocer los pliegos tarifarios de los servicios de telecomunicaciones abiertos a la correspondencia pública propuestos por los operadores y presentar el correspondiente informe al CONATEL;
  - Suscribir los contratos de concesión para la explotación de servicios de telecomunicaciones autorizados por el CONATEL;
  - Suscribir los contratos de autorización y/o concesión para el uso del espectro radioeléctrico autorizados por el CONATEL;
  - Otorgar la autorización necesaria para la interconexión de las redes;
  - Presentar para aprobación del CONATEL, el plan de trabajo y la proforma presupuestaria de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones;
  - Presentar para aprobación del CONATEL, el informe de Labores de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, así como sus estados financieros auditados;
  - Resolver los asuntos relativos a la administración general de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones;
  - Promover la investigación científica y tecnológica en el campo de las telecomunicaciones;
  - Delegar una o más atribuciones específicas a los funcionarios de la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones; y,
  - Las demás que le asignen esta Ley y su Reglamento.
- 
- **La Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPATEL). [39]**

La SUPATEL es un ente autónomo encargado del control de las telecomunicaciones del país. Y sus funciones son:

- Cumplir y hacer cumplir las resoluciones del CONATEL;
- El control y monitoreo del espectro radioeléctrico;
- El control de los operadores que exploten servicios de telecomunicaciones;
- Supervisar el cumplimiento de los contratos de concesión para la explotación de los servicios de telecomunicaciones;
- Supervisar el cumplimiento de las normas de homologación y regulación que apruebe el CONATEL;
- Controlar la correcta aplicación de los pliegos tarifarios aprobados por el CONATEL;
- Controlar que el mercado de las telecomunicaciones se desarrolle en un marco de libre competencia, con las excepciones señaladas en esta Ley,
- Juzgar a las personas naturales y jurídicas que incurran en las infracciones señaladas en esta Ley y aplicar las sanciones en los casos que correspondan; y,
- Las demás que le asigne la Ley y el Reglamento.

#### **4.2.2. Contratos de Concesión.**

*“La concesión es la delegación del Estado para la instalación, prestación y explotación de los servicios finales y portadores de telecomunicaciones y la asignación de uso de frecuencias del espectro radioeléctrico correspondiente, mediante la suscripción de un contrato autorizado por el CONATEL y celebrado por la Secretaría Nacional de Telecomunicaciones, con una persona natural o jurídica domiciliada en el Ecuador y que tenga capacidad legal, técnica y financiera.” [26]*

Actualmente existen tres operadores que brindan Servicio Móvil Avanzado, con gran aceptación en el mercado, estas son: CONECEL S.A. (Claro), OTECEL S.A. (Movistar) y TELECSA S.A. (Alegro PCS). Los mismos que deben establecer y mantener un sistema de medición y control de la calidad del servicio, cuyos registros de mediciones deberán ser confiables y de fácil verificación.

Para CONECEL S.A. (Claro) y OTECEL S.A. (Movistar) las principales normas que las regulan son: [27]

- Ley Especial de Telecomunicaciones, publicada en el Registro Oficial No. 996 del 10 de agosto de 1992 y sus reformas.
- Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, publicado en el Registro 50 del 21 de octubre de 1996.
- Reglamento de Interconexión, publicado en el Registro Oficial No. 481 del 26 de Diciembre de 2001.
- Reglamento Especial para Determinar la Calidad de Empresas Relacionadas, publicado en el Registro Oficial No. S-1008 del 10 de agosto de 1996.
- Reglamento de Telefonía Pública de Prepago, publicado en el Registro Oficial No. 353 del 3 de julio de 1998.
- Reglamento para el Servicio de Telefonía Móvil Celular, publicado en el Registro Oficial No.10 del 24 de agosto de 1998.
- Reglamento para la Homologación de Equipos Terminales de Telecomunicaciones, publicado en el Registro Oficial No. 10 del 24 de agosto de 1998, y su reforma, publicada en el Registro oficial No. 623 del 22 de julio del 2002.
- Plan Nacional de Frecuencias, publicado en el Registro Oficial No. 192 del 26 de octubre del 2000.

Para TELECSA S.A. (Alegro PCS) las principales normas que las regulan son [27]:

- Reglamento General a la Ley Especial de Telecomunicaciones
- Reformada, publicado en el Registro 50 del 21 de octubre de 1996.
- Reglamento de Interconexión, publicado en el Registro Oficial No. 481 del 26 de Diciembre de 2001.
- Reglamento para la prestación de Servicios Móviles Avanzados, publicado en el Registro Oficial No. 687 del 21 de octubre de 2002.

El concesionario CONECEL S.A. conocido comercialmente como Claro, obtuvo la Concesión del Servicio Móvil Avanzado, el 26 de Agosto de 2008 y operará en el país hasta el 2023. De la misma manera, OTECEL S.A. conocido comercialmente como Movistar obtuvo su contrato de concesión el 20 de Noviembre de 2008. En tanto TELECSA S.A. conocido comercialmente como Alegro PCS, recibió una concesión de parte del estado, el 3 de abril de 2003 también por 15 años y entró en operaciones en diciembre de ese año, esta concesionaria comenzó comercializando el Servicio Móvil Avanzado. En la Tabla 4.1 se indica los servicios que ofrece cada concesionario y la fecha de suscripción del contrato.

**Tabla 4.1 Concesionarios de Telefonía Móvil. FUENTE: Elaborado por la DGGST-SENATEL, mayo 2009**

CONCESIONARIO	SERVICIO	FECHA DE SUSCRIPCIÓN DEL CONTRATO	ÁREA DE CONCESIÓN
TELECSA S.A.	Concesión del Servicio Móvil Avanzado	3-abr-03	Nacional
CONECEL S.A.	Concesión del Servicio Móvil Avanzado, Concesión del Servicio Telefónico de Larga Distancia Internacional y Concesión de Bandas de Frecuencias Esenciales	26-ago-08	Nacional
OTECCEL S.A.	Concesión del Servicio Móvil Avanzado, Concesión del Servicio Telefónico de Larga Distancia Internacional y Concesión de Bandas de Frecuencias Esenciales	20-nov-08	Nacional

### 4.2.3. Espectro Radioeléctrico

Según la Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada, *“El espectro radioeléctrico es un recurso natural de propiedad exclusiva del Estado y como tal constituye un bien de dominio público, inalienable e imprescriptible, cuya gestión, administración y control corresponde al Estado”* [39].

En un inicio la banda de 800-900 MHz se empleo para la telefonía móvil celular. La Banda A fue asignada a CONCECEL y la banda B a OTECEL, el espectro asignado es de 25 MHz, 12,5 MHz para transmisión y recepción, respectivamente como muestra la Figura 4.2.

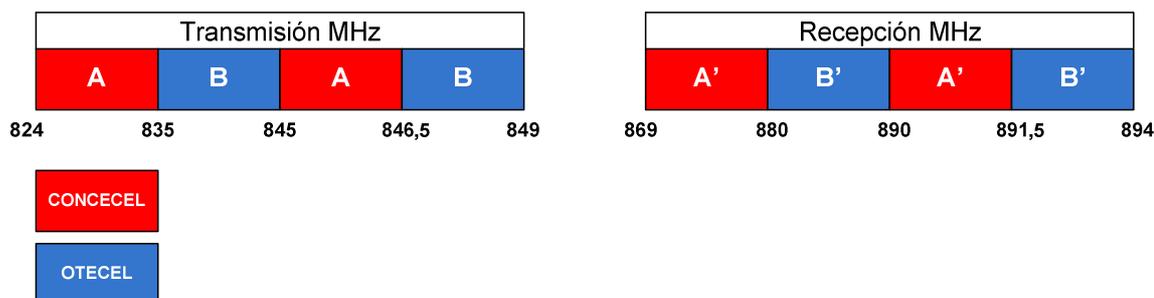


Figura 4.2 Asignación de bandas en 800-900 MHz

A partir del ingreso de TELECSA, se inició la explotación de la banda de 1.900 MHz. En el año 2006, el CONATEL concedió 10 MHz adicionales a cada uno de los operadores como se detalla en la Figura 4.3.

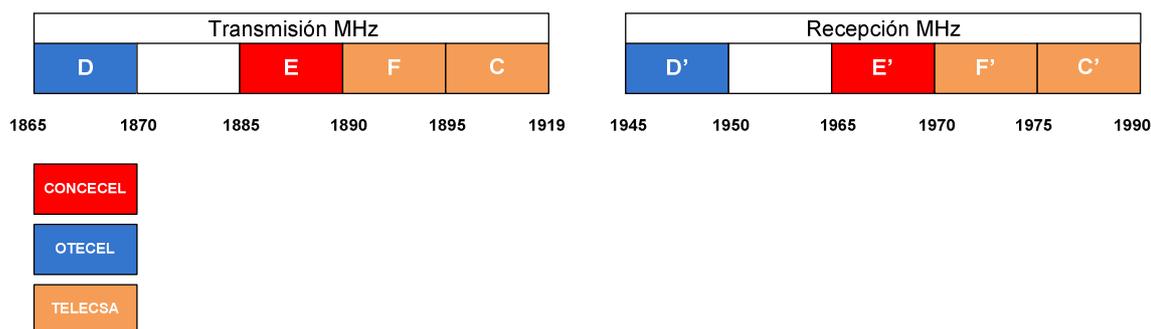


Figura 4.3 Asignación de bandas en 1900 MHz

Para la prestación de servicios LTE, el Estado debe licitar una banda que se encuentre libre. En la Tabla 4.2 [9] se muestra las bandas de frecuencia definidas para LTE, junto con el modo dúplex correspondiente.

Tabla 4.2 Bandas de frecuencia LTE

Banda LTE	<i>Uplink</i>	<i>Downlink</i>	Modo Dúplex
1	1920 MHz – 1980 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
2	1850 MHz – 1910 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	FDD
3	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
4	1710 MHz – 1755 MHz	2110 MHz – 2155 MHz	FDD
5	824 MHz – 849 MHz	869 MHz – 894 MHz	FDD
6	830 MHz – 840 MHz	875 MHz – 885 MHz	FDD
7	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
8	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
9	1749.9 MHz – 1784.9 MHz	1844.9 MHz – 1879.9 MHz	FDD
10	1710 MHz – 1770 MHz	2110 MHz – 2170 MHz	FDD
11	1427.9 MHz – 1452.9 MHz	1475.9 MHz – 1500.9 MHz	FDD
12	698 MHz – 716 MHz	728 MHz – 746 MHz	FDD
13	777 MHz – 787 MHz	746 MHz – 756 MHz	FDD
14	788 MHz – 798 MHz	758 MHz – 768 MHz	FDD
17	704 MHz – 716 MHz	734 MHz – 746 MHz	FDD
18	815 MHz – 830 MHz	860 MHz – 875 MHz	FDD
19	830 MHz – 845 MHz	875 MHz – 890 MHz	FDD
33	1900 MHz – 1920 MHz	1900 MHz – 1920 MHz	TDD
34	2010 MHz – 2025 MHz	2010 MHz – 2025 MHz	TDD
35	1850 MHz – 1910 MHz	1850 MHz – 1910 MHz	TDD
36	1930 MHz – 1990 MHz	1930 MHz – 1990 MHz	TDD
37	1910 MHz – 1930 MHz	1910 MHz – 1930 MHz	TDD
38	2570 MHz – 2620 MHz	2570 MHz – 2620 MHz	TDD
39	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
40	2300 MHz – 2400 MHz	2300 MHz – 2400 MHz	TDD

Todas las inversiones que los operadores realicen, dependen de las bandas de frecuencia disponibles, pero no todas las bandas están disponibles en cada una de las regiones del mundo.

El espectro más adecuado para el despliegue de la tecnología LTE incluye la banda de 2.5-2.6 GHz, identificada globalmente por la ITU como la "banda de extensión 3G" y el espectro de "dividendo digital" (700 MHz en América y 800 MHz en Europa), que quedará libre por la conversión de la televisión analógica a digital. Siendo necesario señalar que la ventaja de las bandas de frecuencias más bajas es que ofrecen mayor cobertura.

### 4.3. OPERADORAS DE TELEFONÍA CELULAR.

Actualmente en el Ecuador existen tres operadoras de telefonía celular que utilizan diversas tecnologías de segunda y tercera generación. Las operadoras son: CONECEL S.A., OTECEL S.A. y TELECSA S.A.

Claro es el nombre comercial del concesionario CONECEL S.A. filial de la multinacional mexicana América Móvil en Ecuador. Es la compañía con mayor número de clientes a nivel nacional y operadora líder en América Latina. Anteriormente su nombre comercial era Porta, y cambia a Claro a partir de Marzo de 2011. Claro es una marca que utiliza América Móvil en la mayoría de los países donde está presente.

En 1992 entra al mercado de la telefonía móvil del Ecuador OTECEL S.A. bajo el nombre comercial de *Cellular Power*. En el año de 1998 aproximadamente, fue adquirida por la corporación *Bellsouth* de Estados Unidos y en el 2004 la compañía Telefónica Móviles de España compra el total de acciones de *Bellsouth* y se mantiene las marcas y sistemas comerciales de *Bellsouth* durante un período transitorio de seis meses. En abril del 2005 se presenta oficialmente la marca Movistar en el Ecuador.

Telefónica es uno de los operadores integrados de telecomunicaciones líder a nivel mundial, con presencia en Europa, África y Latinoamérica y que está presente en 25 países.

TELECSA concesionario del Estado Ecuatoriano para la prestación del Servicio de Telefonía Móvil Avanzado ingresó en marzo de 2003 con el nombre comercial de Alegro.

#### 4.3.1. Tecnología.

- **CONECEL S.A.**

En un inicio, esta empresa utilizó los sistemas AMPS<sup>19</sup> (1G). Posteriormente se produjo una migración hacia el estándar GSM (2G), fundamentado inicialmente en conmutación de circuitos y que luego se adaptó a transmisión de datos, utilizando la banda 850MHz en el Ecuador. Para mejorar la transmisión de datos en GSM se implementa sobre esta red las tecnologías GPRS y EDGE. En la actualidad CONECEL brinda Servicios Móviles Avanzados en la banda de 1900 MHz con tecnología UMTS (3G) en varios sitios del país con el mejoramiento HSDPA (3.5G).

- **OTECEL S.A.**

El despliegue tecnológico de la empresa se basa en las plataformas CDMA2000 1x y GSM. El número de usuarios en CDMA ha ido disminuyendo paulatinamente desde la puesta en funcionamiento de la tecnología GSM. Al igual que CONECEL, OTECEL apostó por implementar sobre su red GSM de segunda generación, los estándares GPRS y EDGE y brinda Servicios Móviles Avanzados con tecnología UMTS en varios sitios del país contando con el mejoramiento HSDPA.

- **TELECSA S.A.**

La empresa TELECSA ingresó al mercado Ecuatoriano con tecnología CDMA2000 1x y mejoramiento CDMA 1xEV-DO (3G). Debido al éxito comercial de la tecnología GSM en la región, ha llevado a Alegro a sostener un arreglo con Movistar, arrendando su red de radio, para de esta manera prestar servicios GSM en el Ecuador.

---

<sup>19</sup> AMPS( *Advanced Mobile Phone System*): Sistema analógico de Telefonía Móvil

### 4.3.2. Abonados.

La telefonía móvil en el Ecuador es la tecnología de mayor demanda y penetración en el país. En la Figura 3.4 observamos el rápido crecimiento del número de usuarios de telefonía móvil durante los últimos años, lo cual para el año 2010 superó los 15 millones de usuarios.

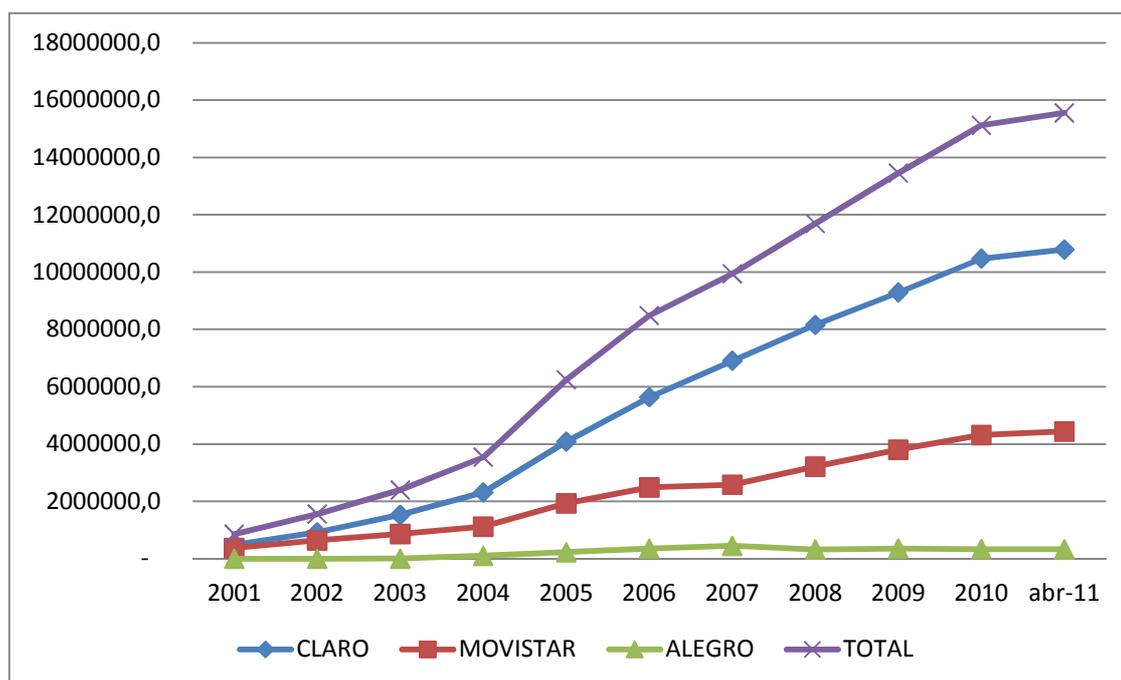
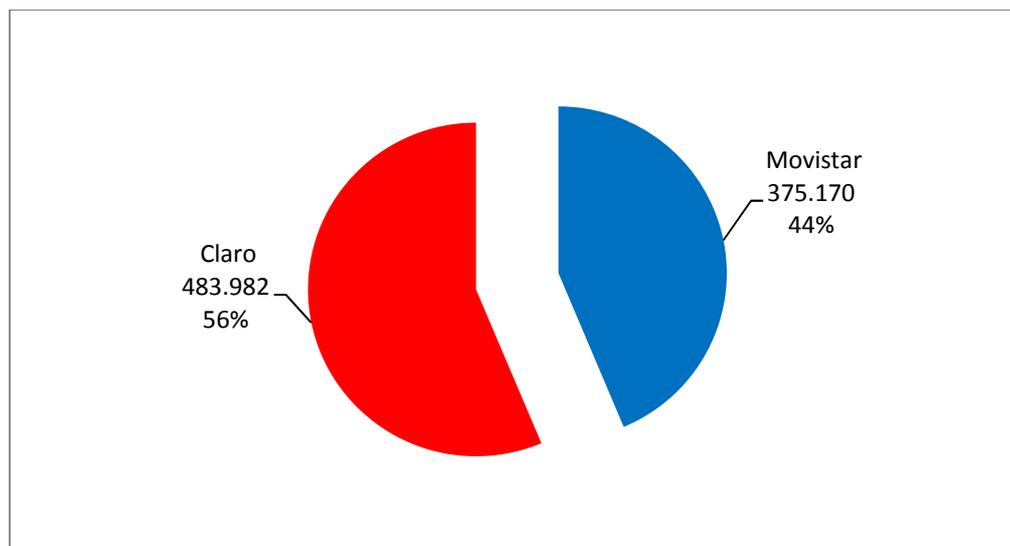
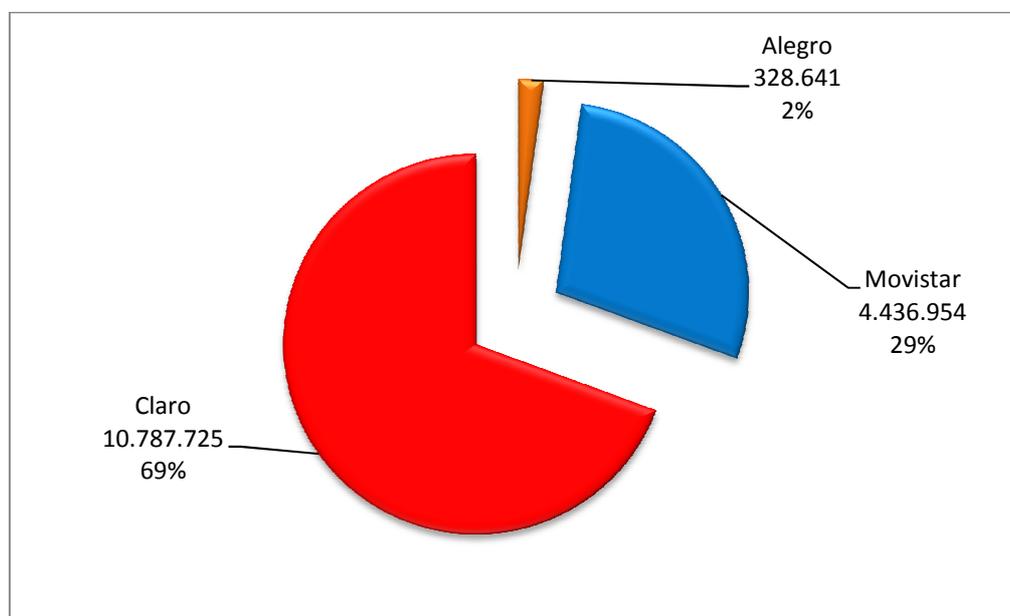


Figura 3.4 Usuarios de Telefonía Móvil. Fuente: SENATEL, Abril 2011

Actualmente la telefónica Claro domina el mercado, registrando una mayor participación con alrededor de 10,8 millones de abonados, mientras que Movistar registra casi 4,5 millones y Alegro con aproximadamente 330.000 usuarios. La Figura 4.5 muestra la participación del mercado de las tres operadoras para el año 2001 y abril de 2011.



a. Año 2001



b. Abril de 2011

**Figura 4.5 Mercado de telefonía móvil. Fuente: SENATEL**

En la Figura 4.6 podemos observar la distribución de abonados por tecnología de las tres operadoras hasta Abril de 2011. Donde la mayor participación tiene la tecnología GSM con aproximadamente 14 millones de abonados, mientras que la tecnología UMTS registra casi 1,3 millones de abonados y la tecnología CDMA con apenas 290.909 abonados. En el Anexo A se incluye la distribución de abonados por concesionario por tecnología desde el año 2001 al 2011.

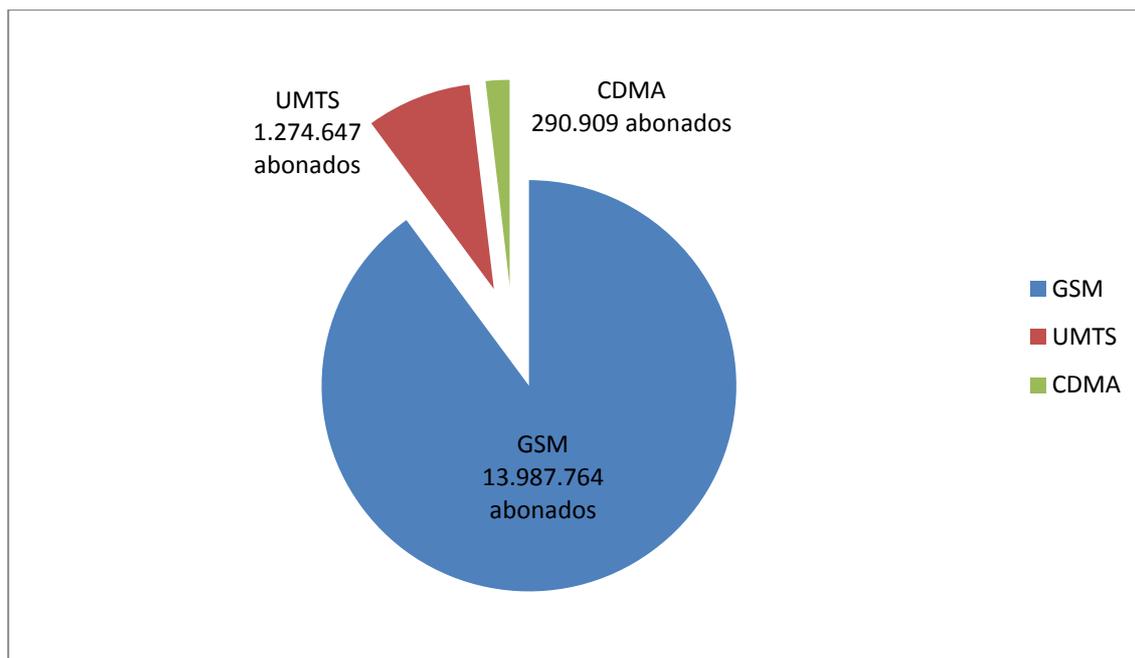


Figura 4.6 Distribución de Abonados por tecnología. Fuente: SENATEL, Abril 2011

### 4.3.3. Tarifas.

El modelo tarifario que aplica el Estado a las operadoras móviles, está sujeto al cumplimiento de techos tarifarios, estos techos corresponden a la tarifa máxima aplicable a cada uno de los servicios concesionados. Sin embargo los concesionarios de telefonía móvil pueden presentar sus tarifas de acuerdo a sus planes y estrategias de negocios, siempre y cuando no sobrepasen los valores establecidos por sus respectivos contratos de concesión.

En la Tabla 4.3 se presenta información relacionada con los techos tarifarios de cada operadora de Telefonía Móvil a partir del año 2003 hasta abril de 2011, no incluye los impuestos aplicables a la ley.

Tabla 4.3 Techos tarifarios móviles. Fuente: SENATEL-DGP, Publicación Mayo 2011

TARIFA USD POR USO									
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<b>CONECEL S.A.</b>	\$ 0,50	\$ 0,50	\$ 0,50	\$ 0,50	\$ 0,50	\$ 0,22	\$ 0,22	\$ 0,22	\$ 0,22
<b>OTECCEL S.A.</b>	\$ 0,50	\$ 0,50	\$ 0,50	\$ 0,50	\$ 0,50	\$ 0,22	\$ 0,22	\$ 0,22	\$ 0,22
<b>TELECSA S.A.</b>	\$ 0,49	\$ 0,49	\$ 0,49	\$ 0,49	\$ 0,49	\$ 0,49	\$ 0,49	\$ 0,49	\$ 0,49
TARIFA USD POR SMS									
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
<b>CONECEL S.A.</b>	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,06	\$ 0,06	\$ 0,06	\$ 0,06
<b>OTECCEL S.A.</b>	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,06	\$ 0,06	\$ 0,06	\$ 0,06
<b>TELECSA S.A.</b>	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,25	\$ 0,25

En la Tabla 4.4 se presenta información sobre los valores que el concesionario de telefonía móvil cobra a sus abonados por los servicios prestados, no incluye los impuestos aplicables a la ley.

Tabla 4.4 Planes Tarifarios del servicio de Telefonía Móvil. Fuente: SENATEL-DGP, Publicación Mayo 2011

TARIFAS PREPAGO (USD)				
Empresa	ONNET	OFFNET - Fijo	OFFNET - Otro Móvil	Promedio Simple
	Prepago en la misma red	Prepago - fijo	Prepago - otro móvil	
CONECEL S.A.	\$ 0,0500	\$ 0,1500	\$ 0,1500	\$ 0,12
OTECCEL S.A.	\$ 0,0800	\$ 0,1500	\$ 0,1625	\$ 0,13
TELECSA S.A.	\$ 0,0500	\$ 0,1200	\$ 0,1800	\$ 0,12
TARIFAS PREPAGO Y POSPAGO (MÁXIMAS Y MINIMAS) (USD)				
Empresa	TARIFAS MÁXIMAS		TARIFAS MÍNIMAS	
	Máxima Prepago	Máxima Pospago Off Net	Mínima Prepago	Mínima Pospago On Net
CONECEL S.A.	\$ 0,1500	\$ 0,2200	\$ 0,0500	\$ 0,0200
OTECCEL S.A.	\$ 0,1625	\$ 0,2332	\$ 0,0800	\$ 0,0400
TELECSA S.A.	\$ 0,2200	\$ 0,3000	\$ 0,0500	\$ 0,0400

#### 4.4. LTE EN EL MUNDO.

China: China Mobile, el mayor operador del mundo en cuanto al número de abonados, ha planeado poner a prueba una red experimental TD-LTE en las ciudades de Shanghai, Hangzhou, Nanjing, Guangzhou, Shenzhen, Xiamen y Beijing en el transcurso de este año y activar una red comercial en algún momento en el año 2012. La tecnología *Time-Division* LTE (TD-LTE), ha sido desarrollada por China Mobile y es una variación del estándar LTE. El proveedor clave de China Mobile es Huawei.

Japón: NTT DoCoMo en diciembre del año 2010 empezó a ofrecer conexiones de datos con LTE. El servicio se llama Xi. Otras grandes empresas de telecomunicaciones en Japón siguen su ejemplo. La operadora Softbank implementará TD-LTE, desarrollado por China Mobile este año y la operadora Emobile implementará LTE en el 2012. KDDI tiene previsto comercializar el servicio de LTE en el 2012 en la banda de 800 MHz. Se estima que Japón tendrá 26,5 millones de conexiones LTE para el 2015.

El resto de Asia: Reliance, propietaria de una de las grandes empresas móviles en la India es ahora el respaldo de tecnología TD-LTE. CSL de Hong Kong puso en marcha la primera red LTE de Asia a finales del 2010. SingTel de Singapur está probando una red LTE que es probable que sea lanzada en algún momento del 2011. Korea Telecom es probable que lance una red LTE en julio del 2011 en la banda de 850 MHz. Se estima que todo Asia (excepto China e India) tendrá 65 millones de suscriptores LTE para el año 2015, Indonesia representando 13.1 millones de conexiones, Corea del Sur con 9,8 millones y Australia con 4,3 millones de conexiones.

Países nórdicos: Telia Sonera de Suecia se convirtió en el primer operador en lanzar una red LTE en diciembre de 2009, y desde entonces muchas otras nuevas redes han venido en línea en los países nórdicos. Tele2 y Telnor, rivales de Telia han lanzado una iniciativa conjunta de LTE, a la que llamaron Net4Mobility y eligieron a Huawei para desplegar sus estaciones base LTE.

Resto del mundo: Orange, Vodafone y Movistar de España ya están adaptando sus equipos a LTE, de forma que todo esté listo para que, una vez concedidas las licencias, puedan activar LTE de forma masiva. Verizon Wireless lanzo a finales del 2010 su red comercial LTE en 38 áreas metropolitanas de Estados Unidos.

Según datos de 4G Americas aún se están dando los primeros pasos en el mercado de LTE, existiendo al momento 22 redes comerciales en 15 países de todo el mundo. Ver Anexo B.

Los ensayos de la tecnología ya han comenzado en Argentina, Brasil, Chile y México pero las limitaciones del espectro están causando retrasos en los despliegues de LTE en América Latina y no se espera que haya grandes avances hasta antes del 2013.

#### **4.5. MERCADO DE SERVICIOS DE BANDA ANCHA EN ECUADOR.**

La ITU define la banda ancha como una "capacidad de transmisión más rápida que la velocidad primaria de la red digital de servicios integrados (RDSI) a 1,5 ó 2,0 megabits por segundo (Mbits)" [28]. Pero en Ecuador no existe una definición oficial de banda ancha por lo que las empresas comercializan como Banda Ancha velocidades que van desde los 128 kbps hasta planes que tienen velocidades de banda ancha real. En la Tabla 4.5 se indica el número de usuarios que disponen de Banda Ancha en el Ecuador distribuidos por la velocidad de descarga.

Las tecnologías de banda ancha disponible en Ecuador incluyen módem de cable, ADSL, inalámbrica, satelital, fibra óptica, redes corporativas y dedicado.

**Tabla 4.5 Usuarios de Banda Ancha en el Ecuador. Fuente: SENATEL, Septiembre 2010**

<b>BANDA ANCHA (bits/seg)</b>	<b>USUARIOS</b>
64 -128 (Otra velocidad)	412.530
128 -256	441.160
256 -512	184.706
512 -1024	442.619
>1024	720.014
<b>BANDA ANCHA</b>	<b>1.788.499</b>
<b>TOTAL</b>	<b>2.730.338</b>

#### 4.5.1. Penetración de Banda Ancha.

**Tabla 4.6 Penetración de Banda Ancha en América Latina**

<b>País</b>	<b>Penetración por habitante</b>
Chile	10,66%
Argentina	10,56%
Uruguay	10%
México	9,1%
Brasil	6,34%
Costa Rica	6%
Colombia	5,26%
Venezuela	5,23%
Panamá	5,01%
República Dominicana	3,4%
Bolivia	2,8%
Perú	2,7%
El Salvador	2,4%
Paraguay	2,2%
Ecuador	2,1%
Guatemala	0,8%
Nicaragua	0,8%
Cuba	0,02%

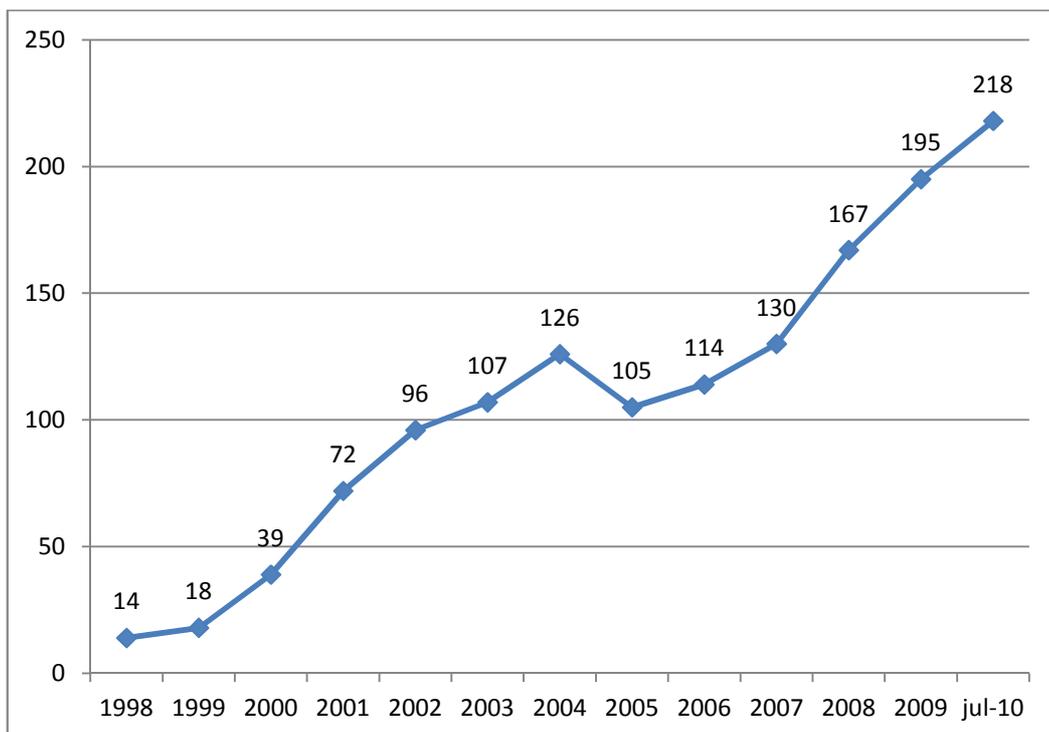
Las agencias de estadística de los diversos países de América Latina determinaron los niveles de penetración de Banda Ancha siendo Chile, Argentina y Uruguay los países

con mayor índice de penetración, superando el 10% en el año 2010. Ecuador se encuentra entre los países con menor índice de penetración con apenas un 2,1%. Las principales razones que explican este bajo nivel, son los elevados costos que tiene la banda ancha en el Ecuador.

En la Tabla 4.6 se detalla los índices de penetración por habitante de los diferentes países de América Latina.

**4.5.2. Empresas que proveen Banda Ancha.**

En el Ecuador existen varias empresas que proveen servicio de Internet permitiendo el acceso de clientes con cuentas personales y de empresas e instituciones mediante cuentas corporativas. En la Figura 4.7 podemos observar el crecimiento del número de proveedores de servicio de internet que se ha dado a partir del año 1998 hasta Julio del 2010, con un total de 218 proveedores a la fecha.



**Figura 4.7 Proveedores del servicio de internet. Fuente: SENATEL, Julio 2010**

Los cinco operadores más grandes concentran aproximadamente el 95% del mercado, y se presentan en la Tabla 4.7.

**Tabla 4.7 Participación de mercado en Ecuador de los principales proveedores servicio de Internet.**

**Fuente SUPERTEL, 2009**

<b>Operador</b>	<b>Participación en el mercado</b>
CNT S.A.	45,16%
SURATEL S.A.	35,93%
ECUADORTELECOM S.A.	8,88%
TELCONET S.A.	3,05%
ETAPA	2,53%

#### **4.6. CONSIDERACIONES SOBRE LAS TARIFAS DE LOS SERVICIOS DE BANDA ANCHA EN EL ECUADOR.**

Una vez analizado el mercado de banda ancha y la posibilidad de implementación de LTE en el Ecuador, es necesario definir las tarifas más adecuadas que permitan a las empresas que implementen LTE, poder competir con otras tecnologías de banda ancha. Para lo cual se considera las tarifas actuales que ofrecen al mercado los principales operadores en el Ecuador.

##### **4.6.1. Tarifas Locales.**

Para establecer las tarifas LTE se ha tomado como referencia cuatro de los principales operadores en el Ecuador que ofrecen el servicio de banda ancha fija y móvil.

- **CNT S.A.**

Operador con tecnología de acceso fija que provee internet de banda ancha a través de ADSL2+. Todos los paquetes que ofrece son ilimitados y los precios se muestran en la Tabla 4.8.

**Tabla 4.8 Tarifas de internet banda ancha que ofrece la empresa CNT S.A.**

PLAN	VELOCIDAD (Kbps)	TARIFA MENSUAL Inc. IVA	INSCRIPCION Inc. IVA
FAST BOY Plan Estudiantes	600X250	\$ 20,16	\$ 56,00
FAST BOY Plan Estudiantes	1024X250	\$ 27,89	\$ 56,00
FAST BOY Plan Multimedia	1400X250	\$ 33,49	\$ 56,00
FAST BOY Plan Multimedia	1600X250	\$ 44,69	\$ 56,00
FAST BOY Plan Multimedia	2000X500	\$ 55,89	\$ 56,00
FAST BOY Plan Profesionales	3100X500	\$ 72,80	\$ 56,00
FAST BOY Plan Profesionales	4100X500	\$ 95,09	\$ 56,00

- **SURATELS.A.**

Conocido comercialmente como Grupo TV Cable, es un operador de internet banda ancha a través de cable modem que funciona mediante una red de Fibra Óptica y Cable Coaxial. Todos los paquetes que ofrece son ilimitados y se muestran en la Tabla 4.9.

**Tabla 4.9 Tarifas de internet banda ancha que ofrece la empresa SURATEL S.A.**

PLAN	VELOCIDAD (Kbps)	TARIFA MENSUAL Inc. IVA	INSTALACION Inc. IVA
INT 700 Kbps	700X150	\$ 22,29	\$ 110,88
INT 1.4 Megas	1400X300	\$ 33,49	\$ 110,88
INT 1.6 Megas	1600X350	\$ 44,69	\$ 110,88
INT 2 Megas	2000X400	\$ 55,89	\$ 110,88
INT 5 Megas	5000X500	\$ 111,89	\$ 110,88
INT 6.5 Megas	6500X800	\$ 128,69	\$ 110,88

- **ECUADORTELECOM S.A.**

Ecuador Telecom S.A. (antes también conocida como Ecutel) es la representación jurídica de Claro en Ecuador para la prestación de Servicios de Televisión, Internet y Telefonía fija. Las tarifas se muestran en la Tabla 4.10 y todos los planes son ilimitados.

**Tabla 4.10 Tarifas de internet banda ancha que ofrece la empresa ECUADORTELECOM S.A.**

PLAN	VELOCIDAD (Kbps)	TARIFA MENSUAL Inc. IVA	INSTALACION Inc. IVA
Banda Ancha 512 Kbps	512X150	\$ 20,16	\$ 110,88
Banda Ancha 700 Kbps	768X150	\$ 27,89	\$ 110,88
Banda Ancha 1 Mega	1024X150	\$ 33,49	\$ 110,88
Banda Ancha 2 Megas	2048X350	\$ 55,89	\$ 110,88
Banda Ancha 4 Megas	4096X350	\$ 95,09	\$ 110,88
Banda Ancha 8 Megas	8192X550	\$ 162,40	\$ 110,88

- **CONECEL S.A.**

Operador móvil que brinda servicios de banda ancha móvil con tecnología EDGE/GPRS y UMTS/HSDPA. Las tarifas se presentan en la Tabla 4.11.

**Tabla 4.11 Tarifas de internet banda ancha que ofrece la empresa CONECEL S.A.**

PLANES PARA EQUIPOS CELULARES			
PLAN	MB INCLUIDO	TARIFA MENSUAL Inc. IVA	EQUIPO (No Incluido)
Blackberry Messenger	Solo servicio Blackberry Messenger	\$ 11,20	Blackberry
Blackberry Ilimitado	Ilimitado	\$ 22,39	
Nokia 50 MB	50	\$ 11,19	Nokia
Nokia 100 MB	100	\$ 16,79	
Nokia Ilimitado	Ilimitado	\$ 22,39	
Email móvil 50 MB	50	\$ 11,19	Cualquier equipo que no sea Blackberry o Nokia
Email móvil 100 MB	100	\$ 16,79	
Email móvil Ilimitado	Ilimitado	\$ 22,39	
PLANES PARA MODEMS			

PLAN	MB INCLUIDO	TARIFA MENSUAL Inc. IVA	EQUIPO (Incluido)
Banda Ancha Móvil 19	1000	\$ 21,28	Modem alcatel X060, ZTE MF100 o Huawei E173
Banda Ancha Móvil 29	2000	\$ 32,48	
Banda Ancha Móvil 39	3000	\$ 43,68	
Banda Ancha Móvil 49	5000	\$ 54,68	
<b>PLANES NETBOOK</b>			
PLAN	MB INCLUIDO	TARIFA MENSUAL Inc. IVA	EQUIPO (Incluido)
BAM Netbook 1000 MB	1000	\$ 43,68	Netbook marca Lenovo
BAM Netbook 2000 MB	2000	\$ 54,88	
BAM Netbook 5000 MB	5000	\$ 72,80	

La velocidad depende del Equipo (en el caso de Planes para Equipos celulares) y la cobertura del lugar en que se encuentre. Permite velocidades de Navegación 2G, 3G o 3.5G

#### 4.6.2. Tarifas LTE.

Para establecer las tarifas más adecuadas para la prestación del servicio de banda ancha sobre LTE, se debe tomar en cuenta aspectos como la velocidad que esta nueva tecnología brinda y los precios que se encuentran vigentes en el mercado y que ofrecen otras operadoras con diferentes tecnologías. Las tarifas LTE deben ser menores o al menos iguales a las actuales para tener acogida en los usuarios.

Otro factor que se debe tomar en cuenta es el alto costo de los terminales LTE, ya que al momento su comercialización es limitada, en este caso, estos deberán ser subsidiados por los operadores dependiendo del plan contratado, permitiendo así la penetración al mercado de esta tecnología.

Las tarifas de internet banda ancha para LTE se muestran en la Tabla 4.12, los valores que se han establecido se los ha determinado basándose en las tarifas actuales que ofrecen los operadores citados anteriormente, pero se ha tomado mayor importancia a las tarifas que ofrece el operador móvil CONECEL, ya que es el operador móvil con mayor número de usuarios en el país. Los valores para los Planes para Equipos Celulares se han determinado con valores mayores a los vigentes, debido a que los equipos celulares LTE son equipos inteligentes que podrían remplazar a una laptop con características básicas. Los valores para los Planes para módems se mantienen iguales a los que ofrece la operadora actualmente pero se incorpora una opción que permita navegar ilimitadamente.

**Tabla 4.12 Tarifas de internet banda ancha para LTE**

<b>PLANES PARA EQUIPOS CELULARES</b>			
<b>PLAN</b>	<b>MB incluido</b>	<b>TARIFA MENSUAL Inc. IVA</b>	<b>EQUIPO (no incluido)</b>
Banda Ancha Móvil 1000 MB	1000	\$ 11,20	Equipo Celular LTE
Banda Ancha Móvil 2000 MB	2000	\$ 16,80	
Banda Ancha Móvil Ilimitado	Ilimitado	\$ 28	
<b>PLANES PARA MODEMS</b>			
<b>PLAN</b>	<b>MB incluido</b>	<b>TARIFA MENSUAL Inc. IVA</b>	<b>EQUIPO (incluido)</b>
Banda Ancha Móvil 1000 MB	1000	\$ 21,28	Modem
Banda Ancha Móvil 2000 MB	2000	\$ 32,48	
Banda Ancha Móvil Ilimitado	Ilimitado	\$ 54,68	

LTE es una tecnología que cuenta con el respaldo mundial de operadores, fabricantes y distribuidores debido a su alto rendimiento y su baja latencia en un entorno móvil. Al momento ya se han visto despliegues de la tecnología en todo el mundo y en Ecuador los operadores móviles están optando adaptar esta tecnología a sus redes actuales.

#### **4.7. PLAN DE MIGRACIÓN.**

Las redes implementadas de HSPA han sido de gran utilidad para la adopción del acceso móvil a la banda ancha, razón por la cual los operadores consideran varias rutas de actualización en sus redes, con el fin de satisfacer la creciente demanda de servicios y aplicaciones que requieren este tipo de acceso.

En varias partes del mundo se ha mencionado que LTE es la tecnología preferida para dar servicio de comunicaciones móviles con un gran ancho de banda, ya que es una tecnología basada en IP. Los operadores que deseen desplegar LTE, deben considerar su implementación sobre un ambiente celular que aún trabaja con tecnologías 2G y 3G, es decir, LTE debe ser compatible con versiones anteriores de 3GPP para tener acogida en el usuario.

El estudio de SAE se centró en la evolución de la red principal 3GPP, enfocándose en la migración del dominio de conmutación de circuitos al dominio de conmutación de paquetes. Esto se lo logra a través del núcleo de red evolucionado (EPC), permitiendo la fácil coexistencia de la tecnología LTE con tecnologías de versiones anteriores 3GPP.

EPC permite al operador de la red móvil entregar al usuario un nuevo conjunto de servicios a través de su arquitectura plana, ofreciendo servicios de datos y voz mediante varias estrategias ya mencionadas anteriormente en el ítem 3.2.5.

Al momento se ha considerado únicamente la parte tecnológica, con el fin de definir un plan de migración hacia la tecnología LTE, sin embargo, es necesario tomar en cuenta la parte económica y social.

Para definir de manera rápida el grado de aceptación de esta nueva tecnología en el usuario final, se ha aplicado un modelo de encuesta a una muestra de veinte personas de

clase media en la ciudad de Quito, la cual nos permite establecer costos de equipos, tipos de planes, entre otros aspectos detallados en el Anexo C. Se espera que en un futuro este modelo de encuesta pueda ser útil para los operadores móviles, con el fin de verificar la factibilidad de implementación de LTE en nuestro país, para lo cual se debe tomar en cuenta métodos que permitan obtener una muestra adecuada, estableciendo un nivel de confianza estadístico.

El análisis de la encuesta se detalla a continuación:

- **Pregunta 1: ¿Cuántos teléfonos celulares ha tenido?**

**Tabla 4.13. Número de equipos celulares que han tenido los encuestados**

Número de equipos celulares	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor Porcentual	-	-	15%	5%	25%	25%	10%	5%	10%	5%

En la Tabla 4.13 se determina que el mayor porcentaje del número de equipos que dispone un usuario, se concentra en un valor de 5 a 6 equipos, se ha estimado que el período de cambio de equipo, se lo ha realizado en los últimos 7 años, ya que a partir del año 2004 la telefonía celular manifiesta un mayor crecimiento en cuanto al número de abonados, esto representa un cambio de equipo celular aproximadamente cada año.

- **Pregunta 2: ¿De cuántos teléfonos celulares dispone al momento?**

**Tabla 4.14 Número de equipos celulares que disponen actualmente los encuestados**

Número de equipos celulares	1	2
Valor Porcentual	80%	20%

En la Tabla 4.14 se observa que el 80% de los usuarios encuestados dispone de un equipo celular, mientras que el 20% dispone de dos equipos celulares; es decir, por cada diez usuarios dos poseen más de una línea de telefonía celular.

- **Pregunta 3: ¿Cuál es el costo del equipo o equipos celulares que dispone al momento?**

**Tabla 4.15 Costo del equipo o equipos celulares que disponen al momento los encuestados**

Costo del equipos celulares	\$ 50	\$ 100	\$ 150	\$ 230	\$ 250	\$ 260	\$ 300	\$ 350	\$ 380	\$ 400	\$ 450
Valor Porcentual	4%	8%	4%	4%	8%	8%	38%	8%	4%	4%	8%

En la Tabla 4.15 se presenta que la mayor parte de los encuestados disponen de un equipo de \$300 dólares, un equipo valorado en ese precio se caracteriza por tener múltiples aplicaciones que pueden ser utilizadas con el acceso a internet, estos resultados se deben a que los encuestados pertenecen a una clase social media.

- **Pregunta 4: ¿Qué tipo de plan (Prepago o Pospago) ha contratado para estos equipos y por qué?**

**Tabla 4.16 Tipo de plan contratado por los encuestados**

Tipo de Plan	POSPAGO	PREPAGO
Valor Porcentual	71%	29%

Un 71% de los encuestados disponen de un Plan Pospago como se observa en la Tabla 4.16. La principal razón de la adquisición de este tipo de Plan, es que los operadores móviles ofrecen mayores beneficios en cuanto a la reducción de costos en los equipos y en los minutos aire.

- **Pregunta 5: ¿Con qué operador móvil tiene su número o números de celular?**

**Tabla 4.17 Distribución por operador móvil de usuarios encuestados**

Operador móvil	MOVISTAR	CLARO
Valor Porcentual	91%	9%

- **Pregunta 6: ¿Del 1 al 10 qué margen le pondría al servicio de su operador móvil? Siendo 1 el valor más bajo y 10 el más alto, en calidad de servicio.**

**Tabla 4.18 Percepción de la calidad de servicio del operador móvil Movistar de los usuarios encuestados**

Margen de calidad de servicio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor Porcentual	-	-	-	5%	10%	15%	45%	15%	10%	-

**Tabla 4.19 Percepción de la calidad de servicio del operador móvil Claro de los usuarios encuestados**

Margen de calidad de servicio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor Porcentual	-	-	-	-	-	50%	-	-	50%	-

En la Tabla 4.17 se observa que la mayoría de los encuestados tienen su línea celular con el operador móvil MOVISTAR, este resultado es válido en la muestra tomada, ya que la encuesta se realizó en la ciudad de Quito donde el operador MOVISTAR tiene gran acogida por los habitantes de esta ciudad. Sin embargo el margen que asignan a la calidad de servicio es menor que el margen que asignan los usuarios del operador móvil Claro, como muestra la Tabla 4.18 y Tabla 4.19.

- **Pregunta 7: ¿Cada qué tiempo cambia de teléfono celular?**

**Tabla 4.20 Tiempo de cambio de equipo celular de los usuarios encuestados**

Tiempo de cambio de celular	3 MESES	6 MESES	12 MESES	18 MESES	24 MESES	36 MESES	48 MESES
Valor Porcentual	5%	10%	25%	5%	40%	10%	5%

La Tabla 4.20 muestra que un 40% de los encuestados cambian de equipo celular cada dos años, sin embargo existen usuarios que lo hacen en menor tiempo. Al ser la telefonía móvil, la tecnología de mayor demanda y penetración, los fabricantes se ven obligados a realizar mejoras en sus equipos, ofreciendo productos que satisfagan las necesidades del cliente cada vez más exigente.

- **Pregunta 8: ¿Cuál es la razón principal por la que decidiría comprarse un teléfono celular (necesidad, oferta, moda)?**

**Tabla 4.21 Razón por la cual los usuarios encuestados comprarían un teléfono celular**

Razón principal por la que decidiría comprarse un teléfono celular	NECESIDAD	OFERTA	MODA	FUNCIONALIDAD
Valor Porcentual	63%	17%	17%	4%

En la Tabla 4.21 se observa que una de las principales razones por las que los usuarios adquieren un equipo celular, es por necesidad, facilitando la comunicación personal.

- **Pregunta 9: ¿Cuál cree que es el mayor factor de influencia al momento de la elección de su teléfono celular (publicidad, funcionalidad, precio, marca)?**

**Tabla 4.22 Factor principal de los usuarios encuestados al momento de elegir un teléfono celular**

Factor de influencia al momento de la elección de su teléfono celular	PUBLICIDAD	FUNCIONALIDAD	PRECIO	MARCA
Valor Porcentual	-	75%	17%	21%

El factor de mayor influencia al momento de escoger un teléfono celular está dado por su funcionalidad como se muestra en la Tabla 4.22. El usuario ha optado por adquirir dispositivos multifuncionales que permitan el acceso a diferentes servicios desde un solo dispositivo.

- **Pregunta 10: ¿Cuál sería el valor máximo que pagaría por un teléfono celular?**

**Tabla 4.23 Valor máximo que los usuarios encuestados pagarían por un teléfono celular**

Valor máximo que pagaría por un teléfono celular	\$ 150	\$ 200	\$ 300	\$ 350	\$ 380	\$ 400	\$ 450	\$ 500	\$ 600	\$ 700
Valor Porcentual	5%	5%	30%	5%	5%	5%	5%	30%	5%	5%

El valor máximo que un usuario pagaría por un teléfono celular está entre 300 y 500 dólares, como se muestra en la Tabla 4.23, sin embargo existen usuarios que pagarían más de estos valores por un equipo que tenga mejores características. Como ya se había mencionado, la razón por la que se obtuvo estos resultados, es porque los encuestados pertenecen a un nivel social medio.

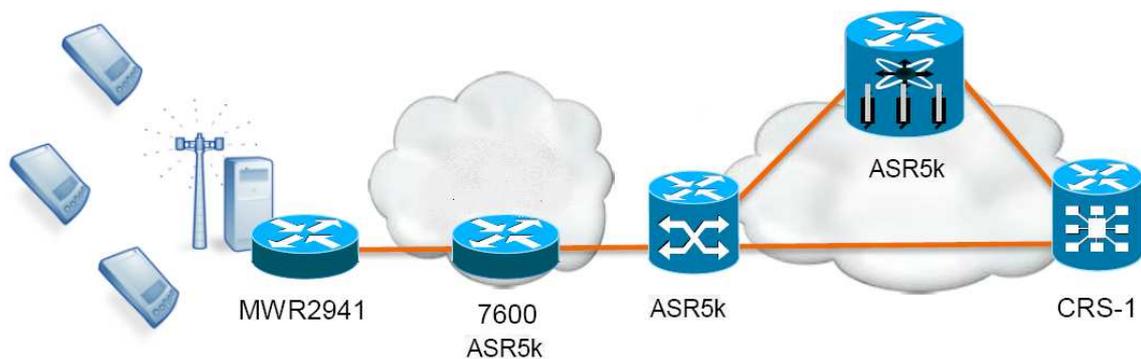
La encuesta realizada, determina que gran parte del mercado de clase social media, tiene una buena aceptación sobre la tecnología celular, viéndose reflejado en todas las personas encuestadas al disponer de un dispositivo celular. Actualmente el uso que se le da a este equipo es para múltiples funciones que necesiten del acceso a internet,

convirtiéndose en una necesidad de los usuarios y creando una amplia demanda de servicios con mayor calidad en cuanto a conectividad y velocidad.

A medida que los equipos ofrecen más funciones su precio aumenta, el valor de un dispositivo de 4G tiene actualmente un costo elevado, sin embargo se espera que más adelante este valor disminuya y que los usuarios puedan tener acceso a ellos.

Las soluciones que varios fabricantes ofrecen para la implementación de LTE son muy importantes y presentan al operador alternativas de infraestructura para migrar hacia redes de 4G, entre ellos tenemos Alcatel Lucent, Nokia Siemens Networks, Ericsson y Cisco Systems, entre otros.

Uno de los modelos tomados como referencia para la implementación de la red LTE es el que ofrece CISCO Systems y que se muestra en la Figura 4.8. Este modelo utiliza conexiones MPLS para ofrecer mayores velocidades.



**Figura 4.8 Arquitectura LTE con equipos Cisco**

El Router *Carrier Routing System* (CRS-1), es un sistema completamente modular y distribuido de routing que permite a los proveedores ofrecer un conjunto de servicios de voz, datos y video, con alta disponibilidad y una infraestructura escalable. El router Cisco CRS-1 combina las innovaciones de hardware y software necesarias para cumplir los

requisitos que plantea el núcleo de las redes de nueva generación. En la Figura 4.9 se muestran los routers Cisco CRS-1.



**Figura 4.9 Routers Cisco CRS-1**

El router Cisco ASR 5000 simplifica la migración hacia el núcleo EPC de LTE a través de una actualización de software, sin necesidad de grandes cambios. Cisco ASR 5000 puede servir como las siguientes entidades, ya sea por separado o integrados en una sola plataforma:

- Cisco MME *Mobility Management Entity*
- Cisco PGW *Packet Data Network Gateway*
- Cisco SGW *Serving Gateway*
- Cisco ePDG *Evolved Packet Data Gateway*
- Cisco SGSN *Serving GPRS Support Node Release 8*
- HRPD *Serving Gateway*

En la Figura 4.10 se muestra el router Cisco ASR 5000.



**Figura 4.10 Router Cisco ASR 5000**

El router Cisco 7600 es parte de las soluciones de NGN de Cisco, es un router de borde de alta densidad de conmutación Ethernet, de enrutamiento IP/MPLS e interfaces 10Gbps y es líder en servicios triple *play*. En la Figura 4.11 se muestra el equipo Cisco 7600.



**Figura 4.11 Router Cisco 7600**

El router MWR 2941 es un gateway que establece el estándar para la ubicación de la celda en la Red de Acceso al Radio. Este equipo se muestra en el Figura 4.12.



**Figura 4.12 Router MWR 2941**

Según cifras comparativas presentadas en *Telesemana.com* y a pesar de la creciente necesidad que muestran los operadores por incrementar capacidad y velocidades de transmisión, Fabricio Martínez, director de servicios de *Aircom*, comenta que LTE no es la solución en la actualidad para que los operadores hagan frente a estos retos. Martínez estima que la recuperación sobre la inversión de una actualización a HSPA+ sería de tres años, lo que considera un plazo perfecto para después lanzar LTE. Si un operador quisiera implementar una red LTE, el costo sería de unos 750 millones de dólares, mientras que la misma implementación con HSPA+ sería de 250 millones de dólares, según las estimaciones de *Aircom*. [24]

## **CAPITULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES**

Del estudio de presente proyecto de titulación se presentan las siguientes conclusiones:

El desarrollo de las redes de datos se ve evidenciado por las necesidades de telecomunicaciones, su proceso de evolución ha tenido un rápido progreso en el tiempo en cuanto a mejoras tecnológicas, estas mejoras tecnológicas han dando lugar a una convergencia de redes por lo que se recomienda a los organismos de control, realizar una estructuración de nuevas normas regulatorias en el país, determinando en gran parte las condiciones de competencia de los mercados de los servicios de telecomunicaciones.

LTE, WiMAX y UMB son tecnologías basadas en IP que ofrecen altas velocidades de transmisión y que son similares en cuanto a características, el aspecto en el que difieren es el impacto que tendrán en el mercado. LTE será la tecnología con mayor aceptación, ya que la base principal del mercado Ecuatoriano está constituida por los usuarios de la familia GSM. Esto beneficia a los operadores ya que pueden mantener sus usuarios al migrar de su red existente hacia LTE.

---

LTE es una tecnología inalámbrica basada en IP, con una infraestructura diseñada para ser tan simple como sea posible de implementar y operar, ofreciendo un alto rendimiento y baja latencia en un entorno móvil, con velocidades de hasta 300Mbps en *downlink* y de 75Mbps en *uplink* con un ancho de banda de 20MHz. La eficiencia espectral de LTE ha tenido una gran mejora, llegando a cuatro veces HSPA en *downlink* y tres veces en *uplink*.

La telefonía móvil en el Ecuador es la tecnología de mayor demanda y penetración en el país, existe un rápido crecimiento de usuarios de telefonía celular en los últimos años, superando los 15 millones de abonados para el año 2010, razón por la cual la implementación de LTE es factible desde el punto de vista del mercado. Sin embargo es recomendable inicialmente migrar hacia las redes HSPA+ ya que la inversión a realizar sería menor que migrar directamente hacia LTE. Además que el operador podrá recuperar su inversión en un plazo estimado de tres años, lo que se considera un plazo perfecto para después lanzar LTE.

Las inversiones que realicen los operadores, dependen de las bandas de frecuencia disponibles. El espectro más adecuado para el despliegue de LTE en el Ecuador, sería la banda del espectro de 700MHz o de “dividendo digital”, ya que las bandas más bajas ofrecen mayor cobertura y mejor propagación, sin embargo la banda de 700MHz no está liberada, razón por la cual es de vital importancia que se propongan planes estratégicos que permitan liberar dicha banda. Una opción alternativa sería trabajar en la banda de 2.5-2.6 GHz o “banda de extensión 3G”, mientras se procede a realizar la conversión de la televisión analógica a digital.

## 5.2. RECOMENDACIONES

Del estudio de presente proyecto de titulación se presentan las siguientes recomendaciones:

A los proveedores de servicios de internet, ofrecer planes mejorando las tarifas existentes, con el fin de tener un mayor acceso a internet y así apoyar su crecimiento a nivel nacional.

A los entes reguladores, establecer un plan de migración que permita liberar las bandas de frecuencia que se encuentran actualmente brindando servicios de televisión analógica, ya que uno de los aspectos para que la tecnología LTE sea implementada es la banda de frecuencia en la que va a operar.

A los operadores de telefonía móvil, referenciarse sobre el modelo de encuesta propuesto con métodos que permitan obtener una muestra adecuada, estableciendo un nivel de confianza estadístico, con el fin de verificar la factibilidad de implementación de LTE en el Ecuador.

A los operadores de telefonía móvil, establecer un plan de negocios que permita establecer valores exequibles al usuario a planes y equipos de tecnología LTE, permitiendo así la penetración al mercado de esta tecnología.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### LIBROS:

- [1] KHAN Farooq, “LTE for 4G Mobile Broadband: Air Interface Technologies and Performance”, Cambridge, 2009.
  
- [2] LESCUYER Pierre, LUCIDARME Thierry, “Evolved Packet System (EPS): The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS”, Wiley, 2008.
  
- [3] DAHLMAN Erik, PARKVALL Stefan, SKOLD Johan, BEMING Per, “3G Evolution HSPA and LTE for Mobile Broadband”, Segunda edición, 2008.
  
- [4] Comisión Europea Bruselas, “Libro Verde sobre la Convergencia de los Sectores de Telecomunicaciones, Medios de Comunicación y Tecnologías de la Información y sobre su reglamentación”, 1997.
  
- [5] HOLMA Harri, TOSKALA Antti, “WCDMA for UMTS – HSPA Evolution and LTE”, cuarta edición, Wiley, 2007.
  
- [6] OLSSON Magnus, SULTANA Shabnam, ROMMER Stefan, FRID Lars, MULLIGAN Catherine, “SAE and the Evolved Packet Core: Driving the Mobile Broadband Revolution”, primera edición, 2009.
  
- [7] ERGEN Mustafa, “Springer Mobile Broadband: Including WiMax and LTE”, Springer, 2009.
  
- [8] RUMNEY Moray, “LTE and the Evolution to 4G Wireless: Design and Measurement Challenges”, Agilent Technologies, Julio de 2009.
  
- [9] HOLMA Harri, TOSKALA Antti, “LTE for UMTS –OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access”, primera edición, Wiley, 2009

## **REVISTAS:**

[10] “La era de la convergencia”, Revista: Newsletter de CHT, Número 1, 2005.

[11] CAMELO, Miguel, CASTRO, Harold, DONOSO Yesid, “Convergencia de servicios en redes de próxima generación”, Revista: Convergencia de Servicios de Tecnología, 2008.

[12] TEMBOURY, Mercedes “Convergencia digital en América Latina”, Revista: Nota Enter, 2008.

[13] FARIAS María, LANZILLOTTA Analía, “Latin America: LTE on the road”, Revista TyN, edición 26.

## **PAGINAS WEB:**

[14] “Historia de las telecomunicaciones”,  
<http://www.uv.es/hertz/hertz/Docencia/teoria/Historia.pdf>

[15] Joskowicz, José, “Breve Historia de las Telecomunicaciones”, Universidad de la República, Agosto 2006.  
<http://ie.fing.edu.uy/ense/assign/redcorp/material/2006/Historia%20de%20las%20Telecomunicaciones%202006.pdf>

[16] Huidobro, José Manuel, “Evolución de las tecnologías de Telecomunicaciones”,  
<http://www.coit.es/foro/>

[17] Slamovitz, Gadi, “Telecomunicaciones, el camino hacia la convergencia”, Universidad ORT Uruguay, 30 de Noviembre de 2006.  
<http://geconomics.files.wordpress.com/2007/05/slamovitz-g-noviembre-2006.pdf>

[18] LTE Physical, Logical and Transport Channels  
<http://www.radio-electronics.com/info/cellulartelecomms/lte-long-term-evolution/physical-logical-transport-channels.php>

[19] [www.wimaxforum.org](http://www.wimaxforum.org)

[20] [www.3gpp.org](http://www.3gpp.org)

[21] [www.3GAmericas.org](http://www.3GAmericas.org)

[22] [www.3gpp2.org](http://www.3gpp2.org)

[23] [www.4gamericas.org](http://www.4gamericas.org)

[24] HSPA+ versus LTE: el debate es real

<http://www.telesemana.com>

[25] [www.mintel.gob.ec](http://www.mintel.gob.ec)

[26] Reglamento para otorgar concesiones de los servicios de telecomunicaciones

[www.conatel.gob.ec](http://www.conatel.gob.ec)

[27] [www.supertel.gob.ec](http://www.supertel.gob.ec)

[28] Nacimiento de la Banda Ancha, 2003.

<http://www.itu.int/osg/spu/publications/birthofbroadband/faq-es.html>

[29] Banda Ancha en América Latina: desafíos 2011

<http://reportic.blogspot.com/2010/12/banda-ancha-en-america-latina-desafios.html>

## **PAPERS:**

[30] Recomendación ITU-T Y.1291

[31] “LTE Inter-technology Mobility: Enabling Mobility Between LTE and Other Access Technologies”, Motorola, 2008.

[32] 3GPP TS 36.300 V8.5.0 (2008-05)

[33] 3GPP TS 36.201 V9.1.0 (2010-03)

[34] 3GPP TS 36.211 V9.1.0 (2010-03)

[35] ABICHAH Zakhia, CHANG J. Morris, HSU Chau-Yun, “WiMAX vs. LTE”, IEEE, 2010.

[36] GHOSH Amitava, RATASUK Rapeepat, “Multi-Antenna Systems for LTE eNodeB”, IEEE, 2009.

[37] “The Drivers to LTE”, Motorola, 2007.

[38] SARANGO Wilson, CARRION Hugo, “Propuesta de regulación para redes móviles de cuarta generación para el Ecuador”, 2010.

[39] Ley Especial de Telecomunicaciones Reformada.

Sangolquí, 21 de Octubre de 2011

**ELABORADO POR:**

---

**Karina Alejandra Muñoz Vera**  
**C.I. 100343780-1**

---

**Ing. Gonzalo Olmedo Ph.D**

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**