



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

EFFECTO DE LAS REDES DE CUARTA GENERACIÓN (LTE) EN LOS SERVICIOS MÓVILES EN CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA

NICOLÁS ANTONIO LÓPEZ MUÑOZ

PROFESOR GUÍA:
PATRICIO VALENZUELA CANO

PROFESOR CO-GUÍA:
JOSÉ MIGUEL TORRES TORAL

MIEMBRO DE LA COMISIÓN:
HÉCTOR AGUSTO ALEGRÍA

SANTIAGO DE CHILE
ABRIL 2011

RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA
POR: NICOLÁS LÓPEZ MUÑOZ
PROF. GUÍA: SR. PATRICIO VALENZUELA C.
FECHA: 18 DE ABRIL DE 2011

“EFECTO DE LAS REDES DE CUARTA GENERACIÓN (LTE) EN LOS SERVICIOS MÓVILES EN CHILE”

El objetivo general del presente trabajo de título es estudiar la tecnología LTE y el posible comportamiento que podría tener la incorporación de esta en Chile, específicamente en los sistemas de datos de alta velocidad como la banda ancha móvil (BAM).

El trabajo de título se centra en dos tópicos relevantes, por un lado, el estudio técnico de la tecnología misma y las capacidades que puede entregar, lo que permite fundamentar las ventajas que entregará en comparación a los actuales sistemas de datos de alta velocidad. Y por otro lado, el estudio de tendencia del mercado mundial y nacional de los sistemas móviles, específicamente de la BAM, que permite realizar una proyección a nivel nacional sobre el futuro ingreso de las redes LTE en Chile.

Los sistemas de comunicaciones móviles se han ido desarrollando acorde a los nuevos intereses de los usuarios. Las actuales tecnologías permiten conectarse a internet pero con ciertas limitaciones en velocidad, cobertura y movilidad. Lo que se espera con la llegada de LTE es mejorar la experiencia de usuario de tal forma de entregar un servicio de banda ancha similar a las redes de banda ancha fija, pero con la posibilidad de movilidad.

En este trabajo se determinan y discuten factores que podrían influir en la entrada de LTE al mercado nacional, tomando en consideración el desarrollo en Chile de los sistemas de banda ancha móvil. Entre ellos se puede mencionar el desarrollo de nuevos dispositivos y servicios, el ingreso de nuevos operadores junto con la aplicación de la portabilidad numérica, el proceso de licitación de bandas de frecuencia, los cambios en la experiencia de usuario, las modificaciones en el modelo de negocio y evaluaciones comerciales de implementar LTE.

De esta forma se concluye que los sistemas de banda ancha ofrecidos por LTE serán posibles en el territorio nacional, ya que las compañías locales tienen todas las posibilidades técnicas y regulatorias para incorporar LTE. Esto último se ve reflejado en los compromisos que han asumido EntelPCS y Movistar para desplegar sus redes LTE durante el 2012.

Por otra parte, la incorporación de nuevas redes de banda ancha HSPA+ logrará fomentar el uso de la BAM, generando mayor interés por sistemas que siguen la línea de LTE. La llegada de LTE permitirá a las compañías operadores competir con la banda ancha fija ya que ofrecerá una experiencia de usuario similar, lo que permitirá un desarrollo del mercado móvil.

Agradecimientos

Los más sinceros agradecimientos a mi profesor guía, Patricio Valenzuela, por darme la posibilidad de hacer esta memoria y por su buena disposición desde el primer día, fue un pilar fundamental durante todo el proceso. También a mi profesor co-guía, J.M. Torres, por todo el tiempo y ayuda entregada. Quiero además dar las gracias a mi profesor integrante de la comisión, Héctor Augusto, por las observaciones y la buena disposición para hacerlas.

Gracias a mis padres Víctor Hugo y María Teresa por el apoyo constante e incondicional. Estoy feliz con todo lo que me han entregado, han sido unos grandes maestros. Los quiero mucho. También agradezco a mis dos hermanas, Eleonora y Victoria, por siempre apoyarme y entenderme a pesar de las diferencias. Me encanta sentir que yo soy parte de sus vidas y ellas de la mía, simplemente gracias por existir. Igualmente quiero agradecer a mi abuela Teresa por todo el cariño. Aunque no se lo he dicho, le tengo mucha admiración y me enorgullezco de ser su nieto.

Además doy las gracias a todos mis amigos y compañeros de la universidad. A mis amigos de primer año; Eduardito, Mondy, Renato, Jorge y Vivi. Guardo muy buenos recuerdos con ellos, estudiando en la biblioteca o disfrutando de su compañía un viernes por la tarde. Quiero agradecer en especial a Jorge Lascani por ser siempre tan positivo, por escucharme y subirme el ánimo cuando lo necesitaba y por ser en uno de mis mejores amigos.

Igualmente quiero dar las gracias a todos mis amigos de eléctrica, en particular a Pame Castillo, Seba Perjam, Pablito Vásquez, Eduardo Pavéz y Ulises Soto. También a Alonso González que a pesar de seguir otro rumbo siempre fue parte del grupo. Gracias por compartir largas jornadas de estudio, los recreos, las ventanas, los almuerzos, los momentos complicados y las celebraciones. Espero seguir viéndolos durante muchos años más. En especial quiero agradecer a Pamela por su buena voluntad siempre, por darle el toque femenino al grupo y por motivarme a volver a nadar, si no fuera por ella creo que no estaría haciendo unas de las cosas que más me gusta en la vida. Es una gran amiga. A Sebastián por su forma relajada de ver la vida, por las conversaciones en la azotea de eléctrica y al costado de la biblioteca y por convertirse en uno de mis mejores amigos. Y a Pablo por su buena onda y amistad. Estudiar con él era lo mejor, formábamos un buen equipo.

Por último quisiera mencionar a mi tío Toño, que a pesar de nunca conocerlo fue un pilar fundamental durante los años de ingeniería eléctrica. Su historia de vida me sirvió para seguir adelante y terminar la carrera. Gracias por tu legado tío.

Índice de Contenidos

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	MOTIVACIÓN.....	1
1.2	OBJETIVO GENERAL.....	1
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1
1.4	ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	2
2	TECNOLOGÍAS MÓVILES.....	3
2.1	ASPECTOS GENERALES	3
2.1.1	<i>Arquitectura general.....</i>	3
2.1.2	<i>Tipos de Acceso.....</i>	4
2.2	TECNOLOGÍAS EXISTENTES.....	6
2.2.1	<i>Primera generación.....</i>	6
2.2.2	<i>Segunda generación</i>	6
2.2.2.1	<i>Arquitectura GSM.....</i>	7
2.2.2.2	<i>GPRS.....</i>	10
2.2.2.3	<i>EDGE</i>	11
2.2.2.4	<i>Tipos de acceso</i>	12
2.2.3	<i>Tercera generación.....</i>	12
2.2.3.1	<i>Características generales.....</i>	12
2.2.3.2	<i>Arquitectura UMTS.....</i>	13
2.2.3.3	<i>IMS: Internet Multimedia Subsystem.....</i>	16
2.2.3.4	<i>Acceso de radio</i>	17
2.2.3.5	<i>Sistemas 3.5G.....</i>	18
2.2.3.6	<i>Limitaciones UMTS.....</i>	18
3	CUARTA GENERACIÓN LTE.....	19
3.1	EVOLUCIÓN HACIA LTE	20
3.2	CARACTERÍSTICAS GENERALES	21
3.3	ESPECIFICACIONES LTE.....	22
3.4	ARQUITECTURA LTE.....	23
3.4.1	<i>Protocolos de radio LTE/SAE.....</i>	29
3.4.1.1	<i>Capa 2.....</i>	30
3.4.1.2	<i>Protocolos Control.....</i>	32
3.5	TÉCNICAS LTE/SAE.....	33
3.5.1	<i>Servicio de Portadora-EPS</i>	33
3.5.2	<i>Control de recursos de energía.....</i>	34
3.5.3	<i>SopORTE para la movilidad sin problemas.....</i>	35
3.5.4	<i>HARQ.....</i>	37
3.5.5	<i>Modulación y codificación adaptativa (AMC).....</i>	38
3.6	TIPOS DE ACCESO	39
3.6.1	<i>Modos de acceso de radio.....</i>	39
3.6.2	<i>Acceso Downlink OFDMA</i>	39
3.6.3	<i>Acceso en el uplink SC-FDMA</i>	41
3.6.3.1	<i>Descripción técnica Accesos.....</i>	41
3.6.4	<i>Técnica MIMO</i>	43
3.6.4.1	<i>Configuración SIMO</i>	43
3.6.4.2	<i>Configuración MIMO.....</i>	44
4	MARCO DE MERCADO	45
4.1	CONTEXTO MUNDIAL	45
4.1.1	<i>Estado operadores.....</i>	45
4.1.1.1	<i>Estado HSPA.....</i>	47
4.1.1.2	<i>Estado HSPA+</i>	47
4.1.1.3	<i>Estado LTE</i>	48

4.1.1.3.1	Frecuencias de operación	50
4.1.1.3.2	Estado proveedores.....	51
4.2	ESCENARIO NACIONAL.....	51
4.2.1	<i>Internet Móvil</i>	54
4.2.2	<i>LTE en Chile</i>	56
5	PROYECCIONES Y DISCUSIONES	56
5.1	DESARROLLO DE NUEVOS DISPOSITIVOS	56
5.2	DESARROLLO DE NUEVOS SERVICIOS	58
5.3	ENTRADA DE NUEVOS OPERADORES	59
5.4	CONVERGENCIA DE SERVICIOS CON LTE.....	59
5.5	PORTABILIDAD NUMÉRICA	60
5.6	REGULACIÓN GUBERNAMENTAL.....	60
5.7	EXPERIENCIA DE USUARIO	61
5.8	CAMBIO EN EL MODELO DE NEGOCIO	62
5.8.1	<i>Modelo centrado en el cliente</i>	62
5.8.2	<i>Otras modificaciones</i>	63
5.9	EVALUACIÓN DE NEGOCIO PARA LTE.....	63
6	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	69
7	REFERENCIAS	72
8	ANEXO	74
8.1	ANEXO A: ABREVIATURAS.....	74
8.2	ANEXO B: DISPOSITIVOS COMPATIBLES CON LTE	77
8.3	ANEXO C: FLUJO DE CAJA EVALUACIÓN MODELO LTE	77

Índice de Figuras

Figura 2.1: Acceso FDMA.....	5
Figura 2.2: Acceso TDMA.....	5
Figura 2.3 Acceso CDMA.....	6
Figura 2.4: Arquitectura redes GSM (2G).....	9
Figura 2.5 Arquitectura redes GPRS/GSM (2.5G).....	11
Figura 2.6: Acceso GSM/GPRS.....	12
Figura 2.7: Arquitectura Redes UMTS (3G).....	13
Figura 2.8: Arquitectura de red GSM/GPRS y UMTS.....	14
Figura 2.9: Arquitectura UMTS con IMS.....	16
Figura 2.10: Separación capas IMS.....	16
Figura 3.1 Evolución de los sistemas celulares.....	21
Figura 3.2: Separación de funcional entre eNB y MME/SGW.....	24
Figura 3.3: Separación funcional entre el eNB, MME, SGW y PGW.....	25
Figura 3.4: Arquitectura de red redes LTE (4G).....	28
Figura 3.5: Protocolos del plano de usuario.....	29
Figura 3.6: Pila de protocolos plano de control.....	29
Figura 3.7: Estructura downlink Capa 2.....	30
Figura 3.8: Estructura uplink Capa 2.....	30
Figura 3.9: Servicio de Portadora EPS para QoS.....	34
Figura 3.10: Transición de estados en el UE.....	35
Figura 3.11: Esquema handover entre eNBs.....	36
Figura 3.12: Ejemplo modulación adaptativa LTE.....	38
Figura 3.13: Esquema Modulación OFDM en el dominio del tiempo y frecuencia.....	40
Figura 3.14: Asignación de sub-portadoras en el canal por diferentes usuarios.....	41
Figura 3.15: comparación Accesos OFDMA y SC-FDMA.....	42
Figura 3.16: Esquema MIMO.....	43
Figura 3.17: Flujo de datos en una red LTE con sistema MIMO.....	44
Figura 4.1: Distribución de usuarios telefonía móvil en el mundo.....	46
Figura 4.2: Crecimiento de las tecnologías móviles 3GPP y 3GPP2.....	46
Figura 4.3: Participación tecnologías a nivel mundial.....	47
Figura 4.4: Estado redes LTE. Fuente GSA.....	49
Figura 4.5: Participación de mercado Telefonía Móvil en Chile. Septiembre 2010.....	52
Figura 4.6: Número de abonados telefonía móvil a nivel nacional. Septiembre 2010.....	53
Figura 4.7: Tráfico desde móviles en miles de minutos a nivel nacional.....	54
Figura 4.8: Participación de mercado BAM en Chile.....	55
Figura 5.1: Predicciones tráfico mundial por dispositivos para redes LTE.....	57

Índice de Tablas

Tabla 3.1: Características definitivas LTE	22
Tabla 3.2: Velocidades máximas en el <i>uplink</i> y <i>downlink</i> en modo FDD para distintas configuraciones	23
Tabla 4.1: Operadores LTE en servicio..	50
Tabla 4.2: Número de abonados e índices por tipo de plan comercial en Chile.	53
Tabla 4.3: Distribución por tipo de ancho de banda. Fuente Subtel Junio 2010.....	55
Tabla 5.1: Servicios ofrecidos por las compañías operadoras.....	59
Tabla 5.2: Bandas de frecuencia y ancho de banda licitación LTE en Chile.....	61
Tabla 5.3: Tiempos de descarga para velocidades promedio en HSPA+ y LTE.....	61
Tabla 5.4: Costos e ingresos Evaluación BAM HSPA+..	65
Tabla 5.5: Costos e ingresos Evaluación BAM LTE caso (a).....	66
Tabla 5.6: Costos e ingresos Evaluación BAM LTE caso (b.1).....	67
Tabla 5.7: Costos e ingresos Evaluación BAM LTE caso (b.2).....	68
Tabla 8.1: Dispositivos compatibles con LTE. Fuente GSA	77
Tabla 8.2: Flujo de caja escenario base HSPA+.....	74
Tabla 8.3: Flujo de caja unitario escenario (a) LTE.	75
Tabla 8.4: Flujo de caja unitario escenario (b.1) LTE, 30kbps.....	76
Tabla 8.5: Flujo de caja unitario escenario (b.2) LTE, 20kbps.....	77

1 Introducción

1.1 Motivación

Los sistemas de comunicaciones móviles se han ido desarrollando acorde a los nuevos intereses de los usuarios. Cada vez los consumidores son más exigentes y buscan nuevas y mejores alternativas de comunicación. Es por esto que el desarrollo hacia nuevas tecnologías móviles apunta hacia la transmisión de alta velocidad, permitiendo el acceso a nuevos servicios como la banda ancha móvil (BAM).

En Chile el proceso de actualización a las nuevas redes de comunicaciones móviles será un hecho, por lo que proyectar el efecto que tendrán estas redes en base a los antecedentes y proyecciones será de utilidad.

1.2 Objetivo General

En esta memoria se busca explorar la evolución de las tecnologías de comunicaciones móviles en rumbo hacia un nuevo paso, denominado *Long Term Evolution* (LTE). El objetivo general del presente trabajo de título es la realización de un estudio de la tecnología LTE para posteriormente establecer el posible efecto que podría tener la incorporación de esta en Chile.

1.3 Objetivos Específicos

Los objetivos específicos del presente trabajo se explicitan a continuación:

- Estudio de la tecnología actual y las previas. Segunda y tercera generación.
- Estudio evolutivo de las redes 4G. Considerando específicamente su arquitectura, tipos de acceso de radio y técnicas ocupadas.
- Investigación de avances en LTE en el mercado mundial y nacional, considerando operadores y proveedores.
- Proyectar el posible efecto en el mercado nacional por la introducción de esta tecnología.

1.4 Estructura de la memoria

La memoria se divide en 6 capítulos, incluido el presente, correspondiente a la introducción. El capítulo 2 entrega una descripción general de los sistemas de comunicación móvil y sobre sus inicios. Posteriormente se presenta un estudio de la tecnología de segunda generación con el objetivo de entregar una base para la descripción de la tercera generación. Se hace una distinción mayor de la tecnología actual debido a que LTE se basa en el modelo 3G por lo que es importante describir el punto de partida hacia 4G. En el capítulo 3 se describe el estado evolutivo en que se encuentra LTE en términos técnicos, arquitectura, tipos de acceso, entre otros. Se consideran las estandarizaciones y normalizaciones que se han desarrollado, describiendo el modelo que se está implementado. En el capítulo 4 se entrega información sobre el estado actual de los sistemas móviles considerando el escenario mundial y nacional. En el capítulo 5 se realizan estimaciones, proyecciones y discusiones de la implementación de esta nueva tecnología en el mercado nacional. En el Capítulo 7 se exponen las conclusiones y el trabajo futuro que se podría realizar en base a la presente memoria. El Capítulo 8 entrega las referencias utilizadas en el transcurso del trabajo. Finalmente, el Capítulo 9 corresponde al anexo en donde se incorpora un resumen de las abreviaturas ocupadas en la memoria, tablas y evaluaciones del sistema LTE.

2 Tecnologías Móviles

En este capítulo se entrega una descripción general de la estructura de un sistema de comunicación móvil. Posterior a esto se explica de forma breve las principales características de la primera generación de la telefonía móvil para luego describir de forma más detallada las tecnologías 2G y 3G. La descripción de estas tecnologías permite entregar las bases para una mayor comprensión de la tecnología de cuarta generación LTE.

Las tecnologías 2G, 3G que se estudian en este trabajo son las desarrolladas por la organización 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) ya que éstas, GSM y UMTS, han sido las tecnologías que han predominado en cada generación y han entregado los antecedentes para desarrollar LTE.

2.1 Aspectos generales

Los sistemas de comunicación móvil [1] se basan principalmente en la transmisión de datos (en particular voz) a través de un *terminal* o *teléfono móvil* y la *interfaz radio eléctrica* que conecta al usuario a la red móvil. El *teléfono móvil* es el dispositivo que permite tener acceso a la red celular. El nombre *celular* se originó debido a la distribución de las antenas repetidoras en la red, donde a cada una se le considera una célula. La comunicación móvil consiste en la combinación de una red de estaciones transmisoras-receptoras de radio (repetidores, antenas) y una serie de centrales de conmutación, que posibilita la comunicación entre celulares o entre móviles y teléfonos de la red fija.

2.1.1 Arquitectura general

La arquitectura general de una red móvil está compuesta por varias etapas. Estas se describen a continuación:

- **El terminal:** Es el equipo que interactúa con el usuario y que cumple la función de codificar (*vocoder*) la información y transmitirla hacia la red. Es capaz de transmitir, audio, datos, imágenes y multimedia.
- **Interfaz radio radioeléctrica:** Es el tipo de transmisión de la información a través del aire. También se le llama tipo de acceso de radio. Esta etapa es sumamente importante porque

realiza la comunicación entre el usuario y la red. En esta interfaz se regula la velocidad y forma de transmitir los datos.

- **Estaciones bases:** Corresponde al conjunto de antenas y sus equipos de monitoreo. Cumple la función de dar cobertura al terminal.
- **Control Estaciones Base:** Controla un grupo de estaciones bases con el objetivo de mantener la conexión a través del salto de una antena a otra o también conocido como *handover*.
- **Núcleo de Red:** Es donde se realiza la conmutación de la información, el enlace hacia las otras redes. Además posee la información de autenticación de los usuarios.

2.1.2 Tipos de Acceso

Como ya se mencionó, la interfaz radioeléctrica corresponde al formato de transmisión de la información que viaja por el aire y que permite que varios usuarios puedan establecer una comunicación al mismo tiempo. Sin un método de organización, surgirían interferencias que afectarían la comunicación.

Existen varios métodos de transmisión de la información [4]. Estos pueden ser analógicos o digitales. Cada método se caracteriza por transmitir a cierta cantidad de potencia, operar con un ancho de banda determinado, por su dirección de transmisión; en un sentido (*simplex*) o en ambos sentidos (*duplex*). Para los sistemas de datos cada tipo de acceso permite diferentes velocidades de transmisión.

A continuación se describen en forma general los tipos de acceso posibles en comunicaciones móviles:

- **Acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA)**

Técnica usada tanto en tecnología análoga como digital. En FDMA, el acceso al medio se realiza dividiendo el espectro disponible en canales, que corresponden a distintos rangos de frecuencia, asignando estos canales a los distintos usuarios, sin interferirse entre sí. En otras palabras este acceso proporciona a cada usuario una banda de frecuencia propia. En esta interfaz los canales son asignados según la demanda. (Ver Figura 2.1).

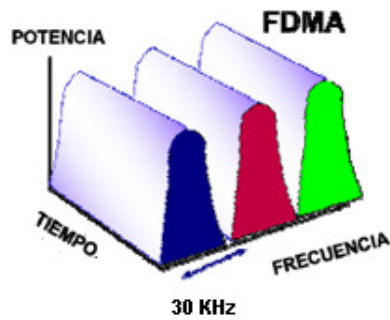


Figura 2.1: Acceso FDMA

- **Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA)**

Esta técnica solo permite la transmisión de señales digitales. Transfiere la información por medio de la multiplexación que distribuye las unidades de información en ranuras o *slots* alternados en el tiempo, permitiendo el acceso múltiple a un reducido número de frecuencias. En otras palabras esta técnica permite que varios usuarios puedan comunicarse ocupando la misma frecuencia pero de forma alternada, es decir, cada usuario ocupa un intervalo de tiempo por cada ciclo. TDMA divide la información en paquetes de datos para luego reconstruirla uniendo los bloques (Ver Figura 2.2).

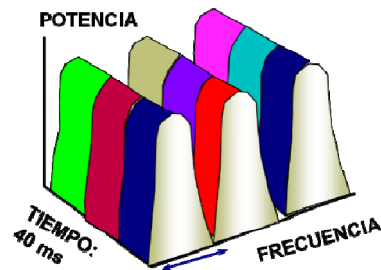


Figura 2.2: Acceso TDMA

- **Acceso múltiple por división de código (CDMA)**

El acceso por código es un método de multiplexación basado en la tecnología de espectro expandido (*Spread Spectrum*) y un esquema especial de codificación, al que a cada transmisor se le asigna un código único escogido de forma ortogonal con respecto al resto. El receptor capta las señales emitidas por todos los transmisores al mismo tiempo, pero como emplea el esquema de codificación es capaz de seleccionar la señal de interés si conoce el código

empleado. Con este método se utiliza una sola frecuencia para transmitir la información a varios usuarios (Ver Figura 2.3).

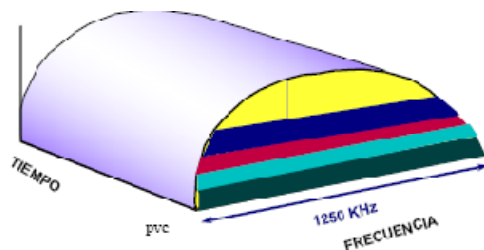


Figura 2.3 Acceso CDMA

2.2 Tecnologías existentes

2.2.1 Primera generación

La primera generación (1G) [2], [3] hizo su aparición en 1979. Se trataba de un sistema analógico de baja capacidad orientado únicamente a transmisión de voz. La tecnología aplicada a esta generación tenía como nombre *AMPS (Advanced Mobile Phone System)*. El tipo de acceso que utilizó fue FDMA. Este requería de un ancho de banda grande para poder soportar varios usuarios. Entre sus limitaciones se encontraban las bajas velocidades de transmisión, los enlaces pocos estables que provocaban la pérdida de la comunicación fácilmente y la poca seguridad que poseía el sistema.

Por el lado de su arquitectura, era poco robusta ya que estaba formada por una gran cantidad de sistemas incompatibles entre sí, lo que hacía muy difícil la opción de tener cobertura fuera de la zona geográfica (*roaming*).

2.2.2 Segunda generación

La segunda generación de telefonía móvil [4] que apareció fue bautizada como GSM (*Sistema Global de comunicaciones Móviles*) y fue desarrollada por la 3GPP. Uno de los grandes saltos que generó fue el paso a un sistema totalmente digital. Gracias a este cambio la red pudo entregar más servicios tales como, transmisión de datos (mensajes de texto) y *roaming*. GSM utilizó como tipo de acceso una variación de TDMA y FDMA. Dentro de la segunda generación se realizaron varias modificaciones con respecto al sistema de transmisión de datos ya que los servicios de mensajería SMS carecían de una conectividad eficiente debido

a que GSM realizaba estas operaciones a través de *conmutación de circuitos*. Las tecnologías desarrolladas para mejorar el sistema fueron *GPRS (General Packet Radio System)* y luego *EDGE (Enhanced Data rate for GSM Evolution)*. GPRS fue una actualización que agregó al núcleo de red un bloque de *conmutación de paquetes*, que se encargó de gestionar el tráfico de datos. Mientras que EDGE se basó en mejoras en la interfaz aérea, lo que permitió un aumento en la velocidad en la transmisión de datos.

2.2.2.1 Arquitectura GSM

La arquitectura GSM conserva los bloques generales de una estructura básica de red móvil. Entre cada uno de estos bloques funcionales, existe una interfaz eléctrica adecuada, responsable de hacer posible el intercambio de información entre ellos. A su vez, cada bloque se encuentra constituido por sub-bloques, que realizan operaciones específicas dentro de la red. A continuación se define la estructura de cada bloque con sus elementos funcionales o sub-bloques (ver Figura 2.4).

- 1) **El Terminal Móvil (*MS: Mobile Station*)** Es desde donde el usuario se conecta a la red y a través de él recibe sus servicios. El terminal móvil está compuesto de dos elementos funcionales:
 - a) **El equipo móvil (*ME: Mobile Equipment*)** Es el dispositivo que ocupan los usuarios para acceder a la red. Es capaz de transmitir voz y datos, posee un número identificador *IMEI (International Mobile Equipment Identity)*. Además realiza control de potencia y determina la calidad de la señal de las células vecinas para realizar *handover*.
 - b) **Módulo de identidad del suscriptor (*SIM: Subscriber Identity Module*)** Corresponde a un chip que se introduce en el ME, contiene la información necesaria para activar el terminal. El chip es la tarjeta que representa inequívocamente a un abonado. Contiene información y procedimientos que permiten su identificación y autenticación, además de información para el usuario, como por ejemplo, la agenda telefónica. También posee un sistema de protección a través del *PIN (Personal Identification Number)* que es la clave de usuario del chip.

2) Subsistema de Estaciones Bases (BSS: Base Station Subsystem) Corresponde a la red de acceso del terminal móvil. Está constituida por las estaciones bases (BTS) y el controlador de estaciones bases (BSC). Permite la movilidad del usuario dentro del área de cobertura de la red (*handover*).

a) Estación base (BTS: Base Transceiver Station) Proporciona la conectividad entre el terminal y la red. Físicamente corresponde a la antena y a la estación que controla a la antena. Realiza la transmisión y recepción aérea, permitiendo la configuración a distancia (canales y potencia), además entrega un monitoreo continuo ante perturbaciones y fallas. Codifica, encripta, multiplexa y alimenta las señales de radiofrecuencia que se transmiten desde la antena. Por último generan las zonas de cobertura (celdas), pudiendo administrar una o más celdas.

b) Controlador de Estaciones Bases (BSC: Base Station Controller) Agrupa a un conjunto de BTS y las administra. Está encargado de recuperar la información de las BTS para entregarla al centro de conmutación (MSC). También asigna frecuencias y *time-slot* a todos los terminales en su área, gestiona el tráfico, realiza control de potencia a través de mediciones del enlace ascendente y descendente cada cierto tiempo. Su principal función es mantener la comunicación móvil, esto lo logra controlando el *handover* entre celdas.

3) Núcleo de red (CN: Core Network) Este bloque está compuesto de varios subsistemas que operan en conjunto. Permite la conexión entre BSS y otras redes (otras redes GSM o redes fijas). Está formado por el centro de conmutación (MSC) por el puerto de enlace a otras redes (GMSC) y por bases de datos que permiten la identificación del usuario, localización, conducción de llamadas, facturación, entre otras operaciones.

a) Centro de Conmutación (MSC: Mobile Switching Center) Corresponde al corazón de la red. Agrupa un conjunto de BSS, cubriendo una amplia zona geográfica. Es el sistema encargado de direccionar el flujo de tráfico a través de *conmutación de circuitos* desde y hacia los terminales de radio. Provee y maneja la comunicación entre la red móvil GSM y otras redes. Además realiza la administración de movilidad; actualiza la ubicación, autenticación, seguridad, control de acceso y gestiona el *handover* entre MSC.

- b) **Puerto de enlace MSC (GMSC: Gateway MSC)** Es un tipo especial de MSC que hace de pasarela hacia las redes externas. Ante una llamada entrante consulta al HLR sobre la ubicación del móvil, y luego dirige la llamada al MSC correspondiente.
- c) **Registro General de Abonados (HLR: Home Location Register)** Es la base de datos con información sobre el abonado móvil. La información se refiere al tipo de abonado (plan, prepago o post-pago), servicios habilitados, así como también la ubicación actual del abonado dentro de la red.
- d) **Registro de Abonados Visitantes (VLR: Visitor Location Register)** Base de datos similar al HLR, guarda una copia de la información de éste para los usuarios que se encuentran dentro de su zona. Es consultada por el HLR para el correcto direccionamiento de las llamadas. Se relaciona directamente con el MSC.
- e) **Centro de Autenticación (AuC: Authentication Center)** Es el encargado de almacenar las claves de seguridad para autenticación del abonado, información requerida por el HLR. Logra proteger la interfaz aérea de intrusos.
- f) **Registro de identidad de Equipos (EIR: Equipment Identify Register)** Es el encargado de verificar si el terminal está autorizado para acceder a la red. Clasifica a cada ME en una lista blanca, negra o gris. La lista blanca contiene los números de serie de todos los equipos que pueden ser usados en la red. La lista negra contiene a los equipos que no pueden ser utilizados en la red. La lista gris contiene a los equipos que serán observados por el sistema, sin ser bloqueados, para su evaluación u otros propósitos.

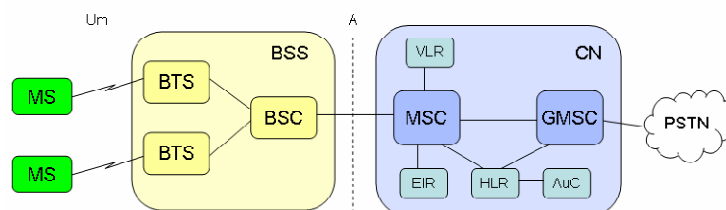


Figura 2.4: Arquitectura redes GSM (2G).

2.2.2.2 GPRS

El sistema GSM con la arquitectura antes mencionada estaba limitado para las aplicaciones básicas de mensajería (*SMS*) y datos. Esto se debía a que para realizar una transferencia de datos había que tener una conexión abierta durante todo el tiempo de envío de la información. GPRS [4], [5] permitió un sistema de transmisión de datos (paquetes) más eficiente. Incorporó nuevos bloques en el núcleo de red GSM, que permitieron la transferencia de datos a través de *conmutación de paquetes*. De esta forma la transmisión de voz se realizaría dentro de la arquitectura GSM (basada en conmutación de circuitos) y los servicios de mensajería y datos como conexión a internet se realizarían gracias a GPRS.

Los nuevos nodos que incluye GPRS en el núcleo de la red son el Nodo de Soporte GPRS de Servicio *SGSN (Serving Support Node)* y el nodo de Soporte del Gateway *GGSN (Gateway GPRS Support Node)*. La interfaz *Gb* permite la comunicación de datos entre el BSC y el SGSN, quedando la interfaz *A* conectada solamente al MSC, encargándose exclusivamente del tráfico de voz (ver Figura 2.5).

A continuación se describen las funciones de los bloques que incorpora GPRS en el núcleo de la red:

- a) **Nodo de Soporte GPRS de servicio (*SGSN: Serving GPRS Support Node*)** Es el encargado de manejar, enrutar y transmitir todo el tráfico de paquetes en la red. Cumple funciones similares al MSC, pero para datos. Es decir, se encarga de la ubicación del terminal, realiza funciones de autenticación, seguridad y control de acceso.

- b) **Nodo de Soporte del Gateway (*GGSN: Gateway GPRS Support Node*)** Es el enlace hacia las redes externas. Se encarga principalmente de encapsular los paquetes recibidos de redes externas (internet) y los direcciona hacia el SGSN. Asigna direcciones IP en forma dinámica a los terminales móviles durante la transferencia de datos.

Otra de las modificaciones que realiza GPRS a la arquitectura original GSM es sobre el HLR que ahora debe almacenar información de las cuentas de usuarios de datos, que se guardan en el registro GR (*GPRS Register*) del HLR.

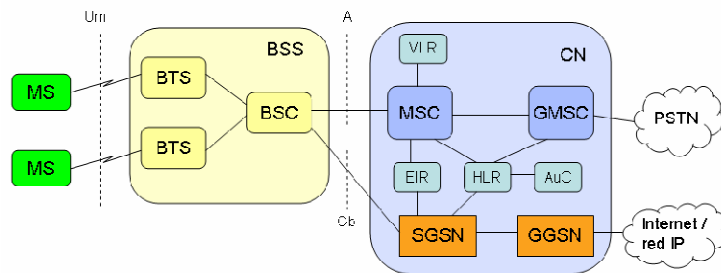


Figura 2.5 Arquitectura redes GPRS/GSM (2.5G).

2.2.2.3 EDGE

GPRS al permitir la transmisión de datos y la conexión a internet, mostró las limitaciones que existían con respecto a las velocidades de transmisión. Para solucionar este tema se realizaron modificaciones en la interfaz aérea de GSM/GPRS. A estas modificaciones se les denominó *EDGE* [4], [5]. A la combinación de la red de acceso de radio GSM/GPRS y EDGE se le llamó *GERAN* (*GSM EDGE Radio Access Network*).

EDGE se trató básicamente de la incorporación de una nueva modulación. En GSM/GPRS la modulación ocupada era GMSK (*Gaussian Minimum Shift Keying*) que transmitía 1 bit de información por cada símbolo. La modulación que integró EDGE fue 8-PSK (*8 Phase Shift Keying*) logró triplicar las tasas de transmisión de bits en cada símbolo, lo que permitió mejorar los *peak* teóricos en el enlace ascendente de 115 Kbps (GSM/GPRS) a 473 Kbps.

Además incorporó distintos sistemas de codificación que junto con las técnicas de modulación permitieron que el sistema se pudiera adaptar a las condiciones del medio a través de la selección del tipo de modulación y esquema de codificación óptimo.

2.2.2.4 Tipos de acceso

Con respecto al tipo de acceso [4] GSM/GPRS/EDGE ocupa una combinación entre FDMA y TDMA. Tiene 8 canales *full-rate* (o 16 canales *half-rate*). De esta forma permite 7 comunicaciones simultáneas en donde cada usuario recibe 4.615ms de *time-slot*. Opera con un ancho de banda de 200KHz (Ver Figura 2.6).

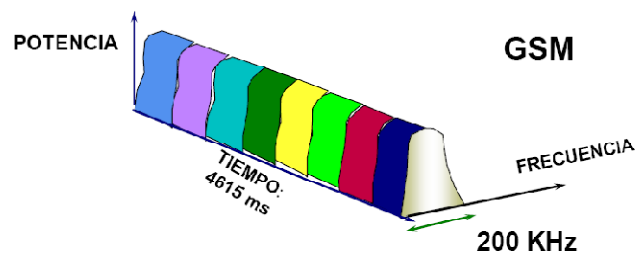


Figura 2.6: Acceso GSM/GPRS

Previo a la integración de GPRS los *time-slot* eran entregados por tiempo indefinido donde los usuarios eran asignados a un canal durante la duración de la llamada. Luego para el caso de mensajería la asignación de los *time-slot* fue sobre paquete a paquete permitiendo una mayor eficiencia en la transferencia de datos ya que logró que varios usuarios compartieran el mismo canal. Como ya se mencionó la incorporación de EDGE entregó nuevos tipos de modulación y codificación para los paquetes de datos.

2.2.3 Tercera generación

A pesar de las mejoras de velocidad para datos que entregó EDGE en GSM/GPRS, el sistema siguió siendo limitado sobre todo para el acceso a servicios multimedia y conexiones a internet. Por otra parte debido al aumento de usuarios se requirió de un sistema que permitiera mayor capacidad, entre otras modificaciones. Estas razones permitieron la evolución hacia la tercera generación de sistemas móviles [4], [5] y [6].

La tecnología que permitía mejorar GSM/GPRS/EDGE, y que provocaba un menor impacto fue UMTS, que también fue desarrollada por la 3GPP. Los *Release* involucrados en la estandarización de UMTS fueron los *Release 99, 4, 5 y 6*.

2.2.3.1 Características generales

Para mejorar las velocidades de transferencia y capacidad en la red, UMTS modificó el tipo de acceso y los terminales móviles. UMTS consideró muy pocos cambios en la arquitectura de la red, lo que permitió compatibilidad (coexistencia) entre las redes.

Gracias a los cambios en el acceso de radio y las siguientes actualizaciones realizadas sobre UMTS (3.5G *HSPA/HSPA+*), se logró entregar un sistema de banda ancha móvil que

permitió un acceso rápido a servicios básicos de internet desde los celulares y computadores portátiles a través del *modem USB*.

UMTS también separó definitivamente el tráfico de datos y de voz en dos dominios. En el núcleo de red se definieron el dominio de conmutación de circuitos (CS) para los servicios de voz y el dominio de conmutación de paquetes (PS) para los servicios de datos. UMTS también permitió que los sistemas de datos estuvieran basados totalmente en protocolo IP, lo que facilitó el sistema de cobro en función del tráfico o descarga.

2.2.3.2 Arquitectura UMTS

UMTS se compone de tres grandes bloques (ver Figura 2.7):

- Terminal móvil (*UE: User Equipment*).
- Red de Acceso de radio (*UTRAN: UMTS Terrestrial Radio Access Network*).
- Núcleo de Red (*CN: Core Network*).

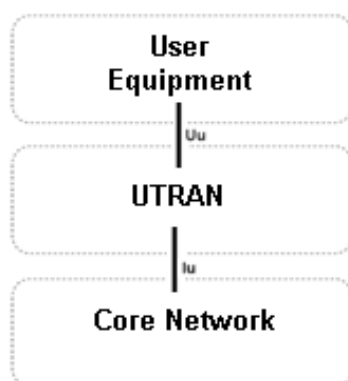


Figura 2.7: Arquitectura Redes UMTS (3G).

Dada la coexistencia de ambas redes se realiza la distinción entre el acceso de radio de GSM/GPRS GERAN y el de UMTS UTRAN. La figura 2.8 muestra la arquitectura de una red UMTS en conjunto con una red GSM/GPRS. En rojo se identifican los bloques que incorpora UMTS.

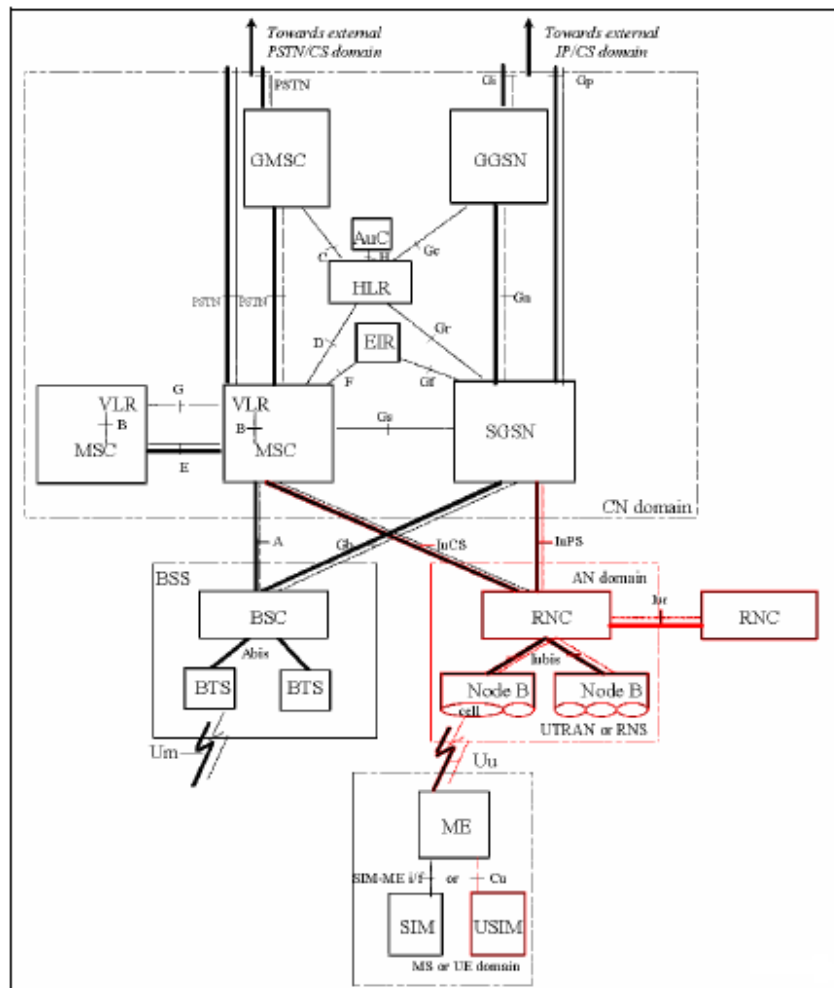


Figura 2.8: Arquitectura de red GSM/GPRS y UMTS.

A continuación se describen las funciones de cada bloque de UMTS presentados en la figura 2.8.

1) Terminal Móvil (UE: User Equipment)

Son Equivalentes al MS de GSM. La diferencia es que ocupa un chip distinto llamado *USIM* (*UMTS Subscriber Identity Module*) que cumple las mismas funciones que su homólogo SIM, pero permite el acceso a las redes UMTS. Los ME en UMTS son dispositivos mucho más avanzados tanto en *software* como en *hardware* a sus predecesores. Son capaces de desplegar diferentes tipos de información en sus pantallas de mayor resolución, poseen nuevos dispositivos integrados como cámaras digitales, reproducen audio de alta calidad, realizan una mayor cantidad de procesos simultáneos, y por sobre todo son capaces de conectarse a

diferentes redes móviles, como GSM y UMTS, permitiendo la comunicación transparente entre ellas (coexistencia). Otro tipo de terminal compatible con UMTS son los modem USB que permiten conexiones de BAM para internet o servicios multimedia.

2) Red de Acceso de radio (UTRAN: UMTS Terrestrial Radio Access Network)

La red de acceso de radio UTRAN proporciona la conexión entre los terminales móviles y el núcleo de red (Ver Figura 2.8). La UTRAN está formada por varias estaciones bases que son llamados *Nodos-B* y de varios controladores de radio de la red (*RNC*). La conexión de un *Nodo-B* y un *RNC* forma un *RNS (Radio Network Subsystem)*, equivalente a un *BSS* de GERAN.

UTRAN se conecta a los terminales UE mediante la interfaz Uu, y con el MSC y el SGSN mediante las interfaces Iu-CS y Iu-PS respectivamente.

a) Nodos-B (Node-B)

Equivalente a una BTS en GERAN, depende directamente del RNC. Es responsable de la transmisión y recepción de radio de una o más celdas. Se encarga de la modulación/demodulación y codificación CDMA de la señal. Soporta los modos *FDD* y *TDD* simultáneamente. Realiza control de errores y monitoreo de la calidad de la señal mediante un ciclo de control de potencia. Para el lado del núcleo de red su función es la conversión de paquetes de datos hacia el RNC.

b) Controlador de radio de la Red (RNC: Radio Network Controller)

Equivalente al BSC en GERAN. El RNC es el encargado de controlar a uno o varios *Nodos-B*. Es capaz de manejar los recursos de radio ya que puede comunicarse con los demás RNC. Entre sus funciones están; el control de admisión, control de congestión de celdas, asignación de canal, control de *handover*, segmentación y reensamble de paquetes, la señalización del *broadcast* y el control de potencia. Hacia el lado del CN, dirige el tráfico al dominio de circuitos (MSC) si es voz, o al dominio de paquetes SGSN (SGSN) si es datos.

Posterior al sistema base UMTS, se realizaron varias incorporaciones en el núcleo de red.

En el CS, el MSC se dividió en dos puertos de enlace *MG (Media Gateway)*, uno para señalización llamado *MSC Server* y otro encargado del tráfico de usuario (*CS-MGW*).

2.2.3.3 IMS: Internet Multimedia Subsystem

Otra incorporación que tuvo UMTS fue el subsistema *IMS (IP Multimedia Subsystem)* [4], [5]. IMS permitió manejar de forma más eficiente las aplicaciones multimedia, basándose en una diferenciación del tráfico de cada aplicación, a través del nivel de calidad del servicio. El IMS facilitó el acceso de los usuarios a aplicaciones ubicadas en servidores de internet, así como también mejoró las sesiones multimedia entre usuarios (punto-a-punto). Este subsistema es independiente al tipo de acceso de radio (ver Figura 2.9).

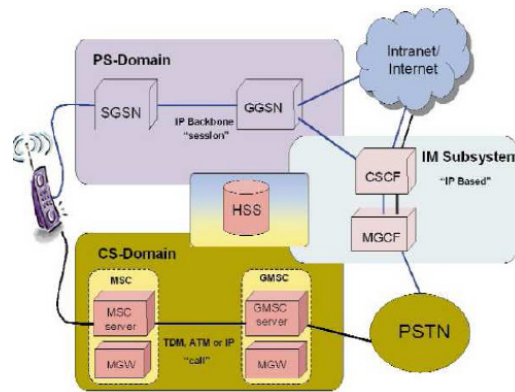


Figura 2.9: Arquitectura UMTS con IMS.

Otra forma de ver la funcionalidad de IMS es a través de la separación de capas que lleva a cabo. IMS corresponde a una capa intermedia entre la capa de aplicaciones/servicios y la capa de transporte y acceso (ver Figura 2.10). De esta forma las aplicaciones pasan a ser independientes del tipo de acceso.

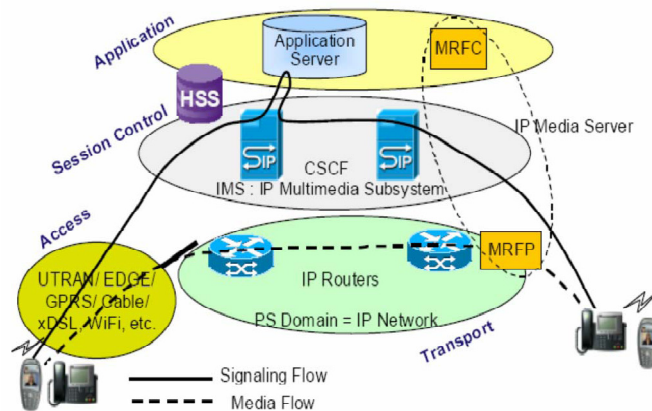


Figura 2.10: Separación capas IMS.

El IMS está formado por cuatro entidades. El bloque principal corresponde al *CSFS (Call State Control Function)* que se encarga de interconectar las capas de aplicación y acceso para garantizar la calidad de servicio para los distintos servicios. El *HSS (Home Subscriber Server)* es equivalente al HLR pero con funciones de control IP. El nodo *MRFC (Multimedia Resource Function Controller)* controla los recursos de flujo de multimedia, en tanto el *MRFP (Multimedia Resource Function Processor)* mezcla y procesa los flujos entrantes.

2.2.3.4 Acceso de radio

El tipo de acceso de radio que se ocupa en la tecnología UMTS es CDMA con una expansión por secuencia directa, denominado WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) [4], [5]. Esta interfaz utiliza un ancho de banda de 5MHz que no permite flexibilidad, es decir, que si se quiere aumentar el ancho de banda este debe ser en múltiplos de 5MHz. WCDMA es capaz de transferir datos desde 144 hasta 512 Kbps para áreas de cobertura amplias y en áreas locales puede llegar a velocidades de 2Mbps.

WCDMA es una técnica que se basa en el sistema de división por código, donde la banda base es ensanchada en su espectro, mediante la multiplicación por una secuencia conocida de alta frecuencia. La secuencia conocida permite identificar la señal en banda base en ambos extremos de la transmisión (receptor y transmisor). Al tener mayor frecuencia la señal ensanchada permite una mayor velocidad de transmisión. Para la recuperación de la señal de banda base en la recepción se multiplica la señal modulada por la misma secuencia. Esta operación restaura el ancho de banda de la señal útil (banda base), sin embargo, ensancha la de cualquier otra señal interferente de banda estrecha que pudiera recibirse.

Con respecto a la transmisión, en WCDMA existen dos modos de operación:

- **TDD (*Time Division Duplexing*)** En este método bidireccional, las transmisiones del enlace ascendente y del descendente son transportadas en la misma banda de frecuencia usando intervalos de tiempo de forma síncrona. Así las ranuras de tiempo en un canal físico se asignan para los flujos de datos de transmisión y de recepción.
- **FDD (*Frequency Division Duplex*)** Los enlaces de las transmisiones de subida y de bajada emplean dos bandas de frecuencia diferentes. Se le asigna un par de bandas de frecuencia para cada enlace, las cuales se denominan frecuencias emparejadas.

2.2.3.5 Sistemas 3.5G

Para mejorar aún más los sistemas UMTS y con el objetivo de obtener conexiones de banda ancha móvil se desarrollaron los sistemas HSPA (*High Speed Packet Access*) y posteriormente HSPA+ (evolved-HSPA) [5].

HSPA/HSPA+ es una funcionalidad que apunta principalmente a la obtención de altas velocidades en la transmisión de datos desde el Nodo-B al terminal, mediante la incorporación de modificaciones en la interfaz radioeléctrica, permitiendo llegar a velocidades de transmisión desde 14Mbps hasta 84Mbps.

Estas actualizaciones consideran un canal distinto de transporte en UMTS, denominado HS-DSCH (*High Speed Dedicated Shared Channel*), que puede ser compartido por distintos usuarios dinámicamente. A este canal se le aplican técnicas que, finalmente, no solo permiten aumentar las velocidades de transferencia, sino que además permiten disminuir la latencia a menos de 100ms en los tiempos de ida y vuelta (50ms en las últimas actualizaciones).

Las técnicas ocupadas por HSPA y HSPA+ para obtener mayores velocidades se muestran a continuación:

- Codificación y Modulación adaptativa (*AMC*).
- Operación multi-código.
- *HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request)*.
- Programación rápida.
- *MIMO (Multiple Input Multiple Output)*.

Estas técnicas también son aplicadas en LTE, pero con ciertas modificaciones, por lo que la descripción de varias de estas se explican en el siguiente capítulo.

2.2.3.6 Limitaciones UMTS

A pesar del mejoramiento en términos de conexión y velocidad entregados por las actualizaciones HSPA/HSPA+, las redes UMTS presentan varias limitaciones [5] que afectan el buen funcionamiento de los sistemas de banda ancha y de voz. Algunas de las desventajas que tiene este sistema se explican a continuación:

- **Cobertura de red limitada.** Dependiendo del lugar de localización, la velocidad de transferencia puede disminuir considerablemente o incluso carecer totalmente de cobertura.
- **Disminución de la velocidad** si el dispositivo desde el que se conecta está en movimiento. Las redes UMTS no logran mantener la calidad de la señal cuando se realizan muchos *handover*, por ejemplo cuando se está circulando en un automóvil.
- **Sistema jerárquico.** Al tener división de sistema de voz (CS) y datos (PS) provoca aumentos en los costos de operación y mantenimiento de la red. Además el sistema de voz es similar a la tecnología previa, lo que entrega sistemas de voz de baja calidad.
- **Sistema poco flexible.** Al tener un tipo de acceso por código no permite la flexibilidad en las bandas de frecuencia. Solo puede operar con bandas de 5MHz o múltiplos, por lo que no es capaz de soportar otros tipos de accesos como el de GSM/GPRS. Las redes UMTS funcionan de forma independiente con respecto a GSM, pero entre ellas puede haber comunicaciones gracias a los puertos de enlace entre redes.

3 Cuarta generación LTE

Posterior a la salida de UMTS, el interés por el desarrollo de una nueva tecnología móvil surgió primero por la necesidad de garantizar la competitividad de UMTS [5]. Debido a sus limitaciones y a los nuevos avances en tecnologías móviles, se decide por desarrollar un nuevo sistema. La nueva tecnología toma las bases de UMTS e incorpora una serie de cambios [9], [10]. En comparación a las otras evoluciones (2G y 3G), la cuarta generación es la que ha incorporado mayores modificaciones; tanto en la interfaz aérea como en toda la arquitectura (núcleo y red de acceso).

El organismo encargado de la estandarización y descripción del nuevo sistema fue la 3GPP. Al proceso de transición que ha realizado la 3GPP, en conjunto con empresas proveedoras y operadoras de sistemas móviles, se le denomina *Long Term Evolution* (LTE). El proceso de estandarización se ha estado desarrollando desde el *Release 8* hasta el actual *Release 11*.

En este capítulo se describe las características del sistema. Además se presenta de forma detallada la nueva estructura, considerando la arquitectura, protocolos y los tipos de acceso en la interfaz de radio aérea.

3.1 Evolución hacia LTE

Los requerimientos generales que determinó la 3GPP para el diseño de la red LTE fueron [8], [11]:

- Red simplificada sin división de dominios.
- Red unificadora con tecnologías previas.
- Red eficiente y automatizada.
- Velocidades de datos comparables con la banda ancha fija.
- La reducción de costos por bit en el tráfico.
- Mejor calidad y tipos de servicio.
- Ahorro de energía en los terminales móviles.

Para poder lograr estos objetivos la 3GPP consideró los avances realizados por el Comité de estándares LAN/MAN (*LMSC - LAN/ MAN Standard Committe*) [10]. El LMSC presentó el estándar IEEE 802.16e para accesos móviles de banda ancha inalámbrica. El estándar 802.16e empleó una tecnología de acceso distinta llamada *OFDMA* (Acceso Múltiple por División de Frecuencia Ortogonal) que mejoró la velocidad de datos y la eficiencia espectral que entregaba la última tecnología 3G (HSPA) la familia de las normas IEEE 802.16 se le llamó *WIMAX Móvil* (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*). Como el estándar 802.16e estaba referido a sistemas que soportaban movilidad y además de que empleaba una arquitectura de red de datos más simple y basada en protocolo IP, la 3GPP tomó este estándar como guía para desarrollar un sistema que tuviera OFDMA como tipo de acceso.

Por otra parte la 3GPP desarrolló otro proyecto paralelo llamado “*System Architecture Evolution*” (*SAE*) que impulsó la idea de obtener una red de transmisión de paquetes basada totalmente en IP (para voz y datos). Este proyecto definía un núcleo de red de paquetes (*EPC – Evolved Packet Core*) con el objetivo de eliminar la separación de los dominios de paquetes (PS) y de circuitos (CS) en el núcleo de red.

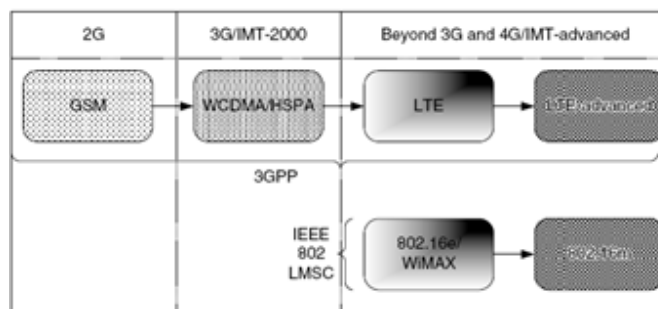


Figura 3.1 Evolución de los sistemas celulares.

La figura 3.1 muestra la corriente evolutiva en los sistemas móviles desarrollados por la 3GPP. La combinación de los avances entregados por *WIMAX Móvil* sobre el tipo de acceso y la 3GPP con su arquitectura simplificada *SAE* dieron las bases para desarrollar la red que permitiera lograr los requerimientos planteados.

3.2 Características generales

Como ya se mencionó, el sistema LTE es una colección de tecnologías que inserta a las comunicaciones móviles en una red simplificada, de alto rendimiento [7], [8] y [10]. Dentro de los avances que entrega LTE, se encuentra el aumento de las velocidades de transmisión de datos en la interfaz aérea, esto gracias a la implementación de nuevos tipos de acceso en el *uplink* como en el *downlink*, junto con la incorporación de la técnica de acceso con múltiples antenas en el receptor y transmisor (*MIMO*).

La arquitectura simplificada de LTE permite el flujo de datos y voz a través de un mismo sistema de paquetes, basado totalmente en protocolo IP.

Con respecto al espectro, LTE provee flexibilidad o escalabilidad entre bandas de frecuencia. Además es capaz de operar en múltiples bandas, incluyendo las ocupadas por 2G y 3G.

LTE tiene la capacidad de solucionar los problemas de la red de forma autónoma, ya que posee un sistema de auto-optimización y auto-reparación mediante el seguimiento de indicadores en la red junto con la medición de los datos en los terminales. También tiene configuración automática "*Plug and play*" al momento de incorporar nuevos elementos a la red, logrando una fácil actualización de *hardware* en el sistema. El comportamiento autónomo de la red permite bajar los costos de mantención y actualización.

Otro de las mejoras que entrega LTE es el ahorro de energía. LTE incorpora una nueva configuración para el control de recursos de energía denominado RRC (*Radio Resource Control*), el cual permite en estados de inactividad “*Idle*” del terminal reducir el flujo de información pero manteniendo la movilidad. De esta forma se logra reducir el consumo energético del terminal móvil, estaciones bases y en el núcleo de la red.

3.3 Especificaciones LTE

Las especificaciones de LTE se resumen en la tabla 3.1 [7], [8] y [10]. El ancho de banda ocupado en LTE puede estar entre 1.25 y 20MHz, lo que permite mayor flexibilidad en el proceso de selección del ancho de banda.

Espectro		1.25-20MHz
Modos Transmisión		FDD, TDD, Half-duplex FDD
Movilidad		hasta 350km/h
Acceso Radio	Downlink	OFDMA
	Uplink	SC-FDMA
MIMO	Downlink	2x2,4x2,4x4
	Uplink	1x2,1x4
Peak velocidad 20MHz	Downlink	173Mbps 2x2, 326Mbps 4x4
	Uplink	86Mbps 1x2
Modulación Adaptativa		QPSK, 16QAM y 64AM

Tabla 3.1: Características definitivas LTE [10].

LTE tiene un mejor desempeño al establecer una conexión en movimiento. A pesar de que el sistema está pensado para operar de forma óptima a velocidades de 15km/h, el sistema es capaz de apoyar la movilidad hasta los 350km/h.

Con el objetivo de utilizar de mejor manera el espectro disponible, se ocupan distintos tipos de acceso de radio en el enlace ascendente y descendente, estos nuevos accesos permiten la flexibilidad en las bandas de frecuencia. Además incorpora el método de acceso MIMO, que logra aumentar la velocidad de transferencia dependiendo del número de antenas que se agreguen. La siguiente tabla 3.2, muestra los *peak* de velocidad para distintas configuraciones posibles en el enlace ascendente y descendente. Es importante destacar que para el *uplink* siempre se ocupa una configuración *MIMO 1x2*, es decir, que el terminal móvil transmite por una sola antena dos canales y la estación base recibe la información de dos canales por dos antenas.

FDD downlink con 64QAM	Configuración antena	1x1	2x2	4x4
	Velocidad máxima	100Mbps	172,8Mbps	326,4Mbps
FDD uplink con SISO	Tipo modulación	QPSK	16QAM	64QAM
	Velocidad máxima	50Mbps	57,6Mbps	86,4Mbps

Tabla 3.2: Velocidades máximas en el *uplink* y *downlink* en modo FDD para distintas configuraciones [8].

El sistema permite velocidades máximas de bajada de datos a 326 Mbps con una configuración MIMO 4x4 en la banda de 20MHz. Para el enlace ascendente la velocidad máxima bordea los 86 Mbps en la banda de 20MHz. Además de las mejoras de la velocidad máxima de transmisión, el sistema LTE ofrece dos a cuatro veces mayor eficiencia en las celdas del espectro en relación con la tecnología UMTS, esta mejora se ve reflejada en rendimiento (*throughput*). El *throughput* corresponde al volumen de información o tráfico que fluye a través de las redes de datos como la banda ancha móvil. Es un índice que indica los niveles de eficiencia de las redes. En particular el *throughput* corresponde a la relación entre cantidad de paquetes que pasan por un punto y que se han transmitido con éxito, es decir, es una relación entre el tráfico efectivo y el tráfico total (que incluye las retransmisiones por errores o interferencias).

En cuanto a la latencia, la interfaz de radio de LTE proporciona retardos menores a 10ms para la transmisión de un paquete de la red al terminal móvil (muy por debajo de los 50ms de HSPA+). Permitiendo una experiencia de usuario con mayor capacidad de respuesta y así promoviendo el desarrollo de servicios interactivos y en tiempo real, como por ejemplo videoconferencias o juegos en línea.

LTE también entrega mayores áreas de cobertura en comparación a su sistema predecesor. Una celda LTE ofrece un rendimiento óptimo para un radio de hasta 5km, un rendimiento efectivo para un radio de hasta 30km y rendimiento limitado en torno a 100km. Gracias a este aumento de las capacidades de cobertura la planificación de las redes es mucho más flexible y de menor costo ya que requiere una menor cantidad de estaciones bases para cubrir un área.

3.4 Arquitectura LTE

La arquitectura LTE [9], [10], [11] y [12] además de disminuir la cantidad de bloques en la red y permitir la coexistencia con las redes 2G/3G y redes no 3GPP, logra entregar muchos beneficios en comparación a la arquitectura UMTS. Estos son:

- Reducción de latencia debido a un único nodo en la interfaz aérea.
- Mejor calidad de servicios debido a la simplicidad del núcleo.
- Mayor soporte de *handover* debido a la disminución de bloques.
- La simplicidad en la operación y mantención de la red.

La arquitectura de red LTE está formada por los siguientes bloques:

- **UE:** *User Equipment* (Equipo de usuario).
- **eNB:** *Evolved Node-B* (Nodo-B evolucionado).
- **MME:** *Mobility Management Entity* (Entidad de gestión de movilidad).
- **GW:** *Gateway* (Puerto de enlace).

A su vez el subsistema *Gateway* (GW) está formado por bloques. El *Serving-Gateway* (SGW) y el *Packet data Network Gateway* (PGW).

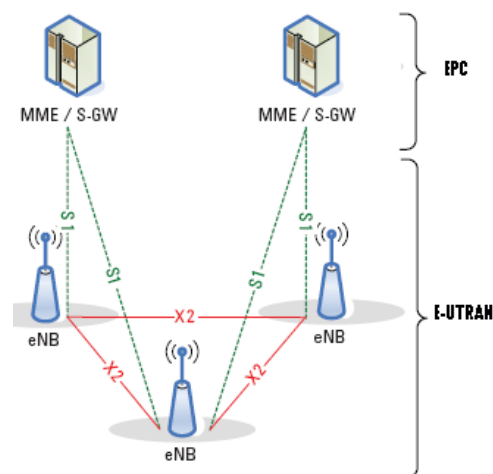


Figura 3.2: Separación de funcional entre eNB y MME/SGW [9].

Como se ve en la figura 3.2, el conjunto de estaciones base eNB corresponde a la red de acceso de radio *E-UTRAN* (*Evolved-UMTS Terrestrial Radio Access Network*). Mientras que el conjunto de MME y GW (en la imagen SGW) interconectados corresponde al núcleo de red

EPC (Evolved Packet Core). La interfaz *X2* permite la interconexión uno a uno entre eNBs. Mientras que la interfaz *S1* logra la conexión de varios eNBs a MME o SGW (ver Figura 3.4).

La conexión entre estaciones bases eNBs ya no se realiza a través de un controlador de radio (RNC) como en UMTS. Todas las funciones del RNC se incorporan al eNB. De esta forma el control de los recursos de radio y la comunicación entre eNB cercanas es mucho más directa.

Las redes LTE separan en *dos planos* la transferencia de *datos de usuario* y de *control* en la interfaz de radio. En el *plano de usuario* circulan los datos del usuario, permitiendo la distribución y procesamiento de los servicios y aplicaciones en el terminal móvil. Mientras que en el *plano de control* se distribuye y procesa la información de control propia del sistema, permitiendo la supervisión de la red. Esta separación entrega un mayor control de los datos y una mejor calidad de tráfico cuando la red está congestionada. Cada uno de estos planos posee una pila de protocolos que permite realizar las diversas funciones de cada bloque de la arquitectura de red.

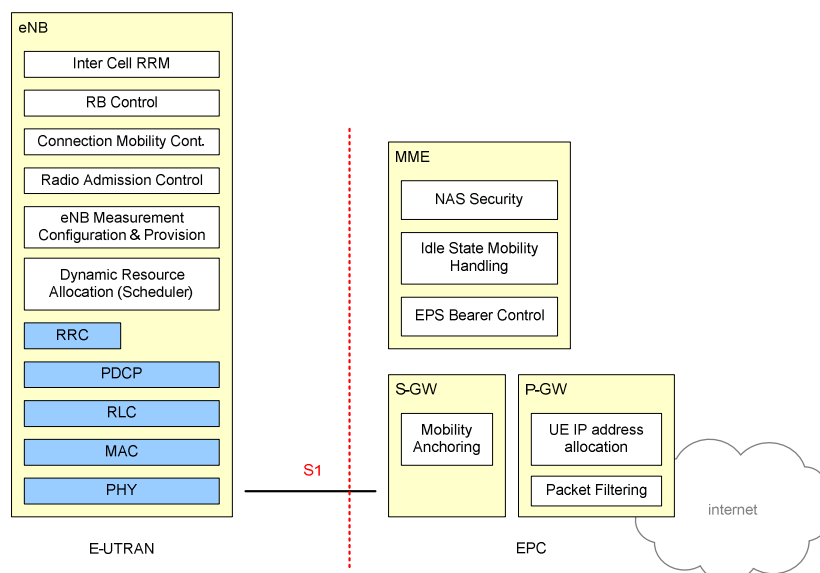


Figura 3.3: Separación funcional entre el eNB, MME, SGW y PGW. [9]

En la figura 3.3 se muestra la separación funcional entre el E-UTRAN y el EPC. Los cuadros amarillos representan los bloques de la red, los blancos las funciones de cada bloque en el plano de control y en azul se muestra la capa de protocolos de radio.

Las funciones generales de cada bloque de la red LTE se describen a continuación:

a) Equipo de Usuario (UE: User Equipment)

El equipo de usuario en esta tecnología es más sofisticado, permite servicios más completos y soporta mayores velocidades de transferencia. Además cuando se encuentra sin uso puede pasar a un estado inactivo “*Idle*”, que permite el ahorro de energía en el terminal sin perder la movilidad.

b) Nodo-B evolucionado (eNB: Evolved Node B)

El eNB realiza las mismas funciones que los Nodos-B de UMTS. Al incorporar las funciones del RNC, permite la total autonomía de los eNBs lo que se traduce en una mayor eficiencia para la movilidad (*handover*).

Entre sus funciones se encuentran:

- Manejo de recursos de radio: control de portadoras de radio, control de admisión, control de movilidad de conexión, asignación dinámica de recursos para el enlace ascendente y descendente, control de potencia, control de congestión de celdas.
- Compresión de la información IP de cabecera, el cifrado, reensamble y envío confiable de los paquetes al UE.
- Selección del MME cuando el enrutamiento no se puede realizar con la información entregada por el UE.
- Enrutamiento de datos del plano de usuario hacia el SGW.
- Programación y transmisión de mensajes *paging* (originados por el MME).
- Programación y transmisión de información *broadcast* (originados por el MME).
- Medición y emisión de reportes de configuración de la movilidad y programación.

El *paging* corresponde a un proceso de solicitud de una conexión *NAS* (*Non-Access Stratum*). El protocolo de control *NAS* se describe más adelante. La transmisión *broadcast* es una transmisión desde la red a todos los terminales que están conectados sin saber quien la recibe.

c) Entidad de gestión de movilidad (MME: Mobility Management Entity)

El MME es una entidad de señalización (opera en el plano de control) que permite el control de los nodos en las redes LTE. Una de las ventajas de tener una entidad de señalización independiente es que la capacidad de la red y el tráfico pueden crecer de forma autónoma. El

MME administra la movilidad hacia las redes externas ya que realiza la selección del *PGW*, esto último lo logra a través del protocolo NAS. De forma análoga es el responsable de la conexión con el *SGW* apropiado logrando establecer la conexión entre el UE y un nuevo eNB. Realiza la autenticación de los usuarios a través de una comunicación directa con el HSS. Además posee un sistema de control de *Portadoras-EPS* que permite gestionar el tráfico estableciendo un enlace, entregando mayor prioridad a los servicios que requieren de cierto ordenamiento en el envío de paquetes (como la voz, video conferencia, etc.). Sus funciones se resumen a continuación:

- NAS de señalización.
- Accesibilidad al modo “*Idle*” del UE.
- Manejo de *Portadora-EPS*.
- Seguimiento de la ubicación del UE.
- Selección del PGW y SGW.
- Selección de un nuevo MME para cambio de zona.
- Selección de SGSN. Permite movilidad con redes 2G y 3G.
- *Roaming*.
- Autenticación (con el HSS).
- Recolección de cobro.

d) Puerto de Enlace de Servicio (*SGW: Serving Gateway*)

Este bloque es similar al SGSN de UMTS, es decir, es el encargado de enrutar todos los paquetes de datos. El SGW es un equipo del plano de usuario (datos de usuario) que es controlado por el MME. Actúa como un anclaje de movilidad local reenviando y recibiendo los paquetes al eNB y entregando cobertura al UE. Permite la movilidad con las redes GSM, UMTS (ver Figura 3.4). En el modo “*Idle*” del UE, el SGW permite liberar la ruta de datos del enlace descendente, permitiendo el re-uso de ancho de banda disponible. Además el SGW gestiona y almacena información del UE como la del servicio transmitido y la del enrutamiento.

Sus funciones se resumen a continuación:

- Punto de anclaje para *handover* entre eNBs.
- Anclaje de movilidad para redes 3GPP.
- Enrutamiento y envío de paquetes de datos al eNB.

- Liberación de ruta de datos del *downlink* en modo “*Idle*” del UE.
- Transporte y contabilidad de información de UE conectado.

e) Puerto de Enlace hacia Red de Paquetes de Datos (PGW: PDN Gateway)

El PGW incorpora las funciones del GGSN de UMTS. Es la interfaz que se conecta con las redes externas de paquetes de datos (*Packet Data Network - PDN*), como Internet e IMS. Tiene un importante rol en el control de la movilidad del UE ya que asigna la dirección IP, realiza aplicación de políticas de seguridad, filtrado de paquetes y enrutamiento.

Sus funciones se resumen a continuación:

- Filtrado de paquetes por usuario (inspección de paquetes).
- Asignación de dirección IP al UE.
- Enrutamiento de paquetes.
- Servicio de Carga, bloqueo y cumplimiento de tráfico en ambos enlaces.

f) Servidor de suscriptores abonados (HSS: Home Subscriber Server)

El HSS es equivalente al HLR UMTS. Al igual que en el IMS almacena y administra todo lo relativo a los datos de suscripción de los usuarios. Se conecta directamente con el MME que realiza la autenticación (Ver Figura 3.4).

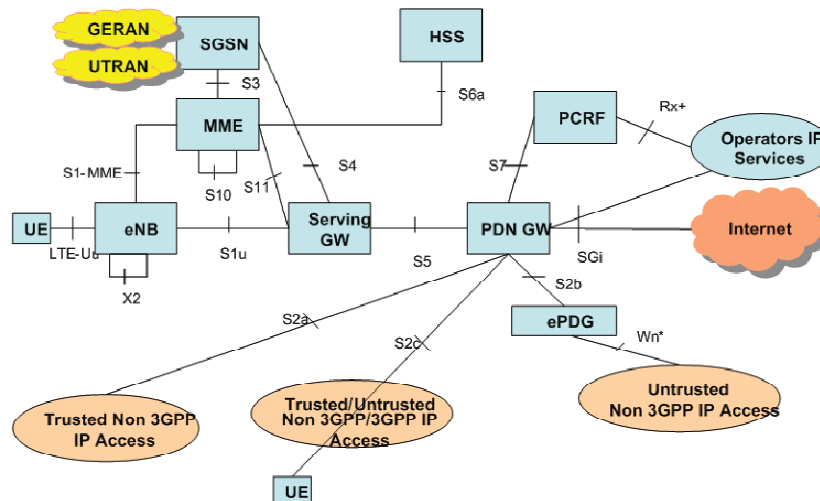


Figura 3.4: Arquitectura de red redes LTE (4G) [12].

3.4.1 Protocolos de radio LTE/SAE

Para realizar las funciones de cada bloque de la red y así obtener una correcta transferencia de datos de control y usuario en la interfaz aérea, se requiere de una capa de protocolos en los bloques de la red [9], [10], [13] y [14].

En las Figuras 3.5 y 3.6 se muestra la arquitectura de protocolos de radio para cada plano.

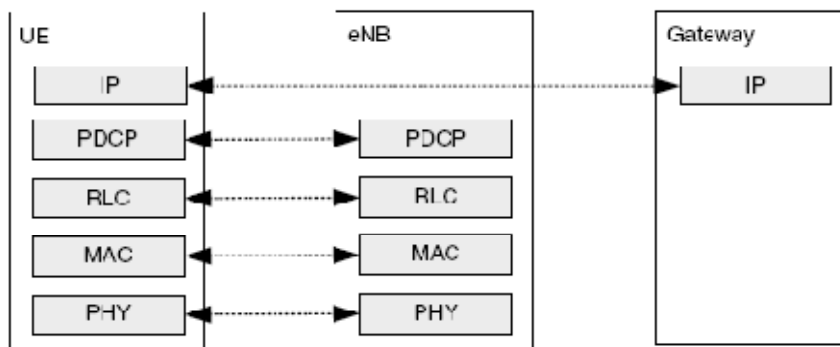


Figura 3.5: Protocolos del plano de usuario.

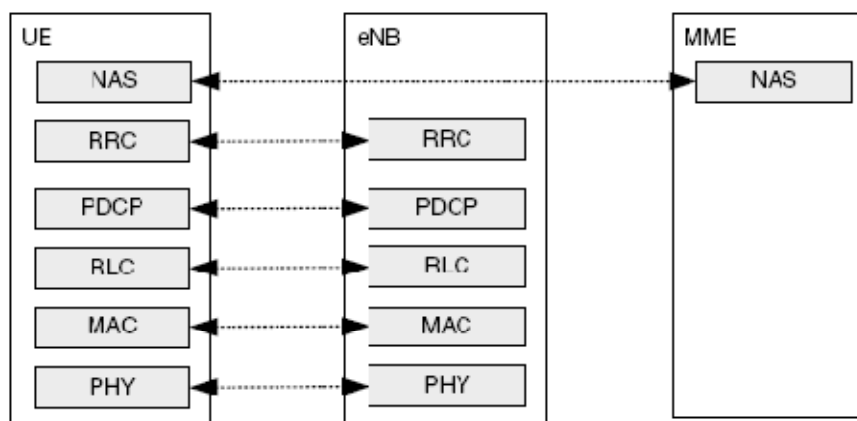


Figura 3.6: Pila de protocolos plano de control.

La pila de protocolos en el plano de usuario permite la transferencia en la interfaz aérea entre el terminal UE y la estación base eNB. Además el protocolo IP permite la asignación de dirección IP al UE desde el PGW (ver Figura 3.5).

Para el plano de control, en la Figura 3.6, la transferencia de datos ocupa los mismos protocolos que en el plano de usuario. Además agrega el protocolo de control de recursos de

radio (RRC) que gestiona los recursos energéticos y la movilidad del UE, y el protocolo NAS a través de una comunicación directa entre el eNB y MME.

3.4.1.1 Capa 2

Los protocolos que permiten el enlace en el *uplink* y *downlink* son el PDCP, RLC y MAC. A estos tres protocolos se les denomina capa 2 (Ver figura 3.7).

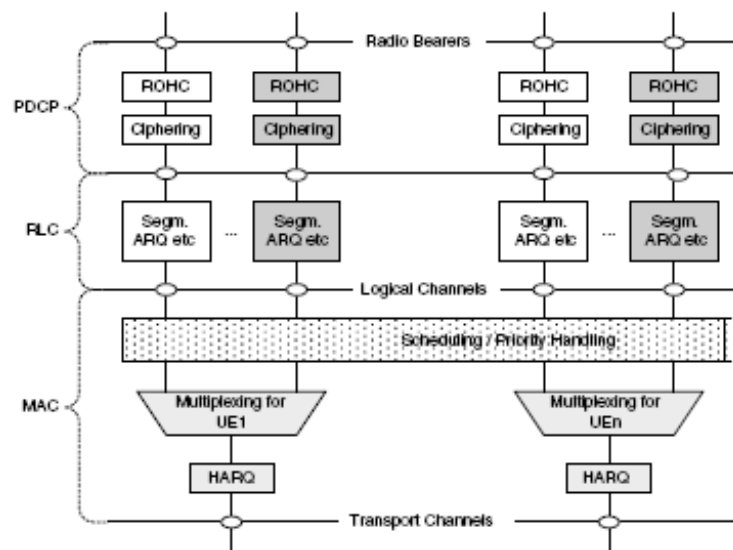


Figura 3.7: Estructura downlink Capa 2. [9]

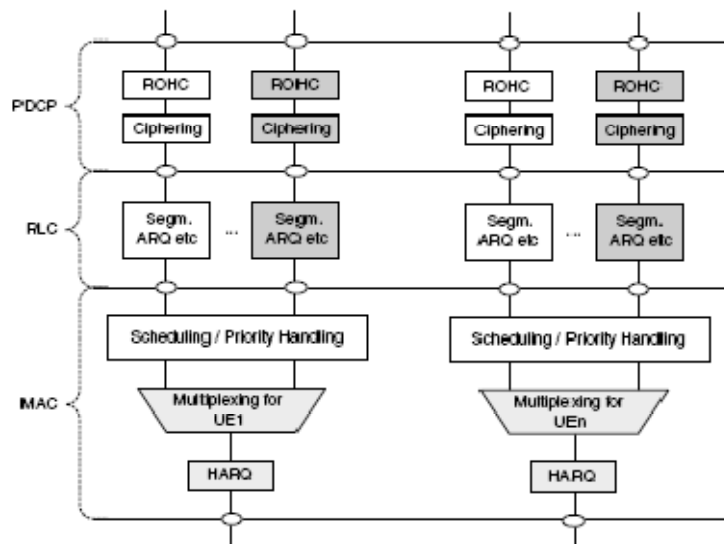


Figura 3.8: Estructura uplink Capa 2 [9].

Para el enlace descendente el orden de los protocolos desde el terminal hacia el eNB es MAC, RLC y PDCP. En el enlace ascendente el orden de los protocolos desde el eNB hacia el UE es PDCP, RLC y MAC.

Las funciones de cada protocolo son las siguientes:

a) Protocolo de la Convergencia de Datos (*PDCP: Packet Data Convergence Protocol*)

Para el plano de usuario las principales funciones de la subcapa PDCP son:

- Compresión y descompresión de datos de cabecera mediante el protocolo *ROHC* (*Robust Header Compression*).
- Transferencia de datos de usuario en la interfaz aérea.
- Entrega en secuencia de las unidades de paquetes de datos.
- Cifrado y descifrado.
- Detección de paquetes duplicados en el *handover*.

En el plano de control realiza las siguientes funciones:

- Cifrado y protección de los paquetes.
- Transmisión de datos.

b) Control del Enlace de Radio (*RLC: Radio Link Control*)

El RLC puede estar configurado en modo confirmación (*AM*) o en modo sin confirmación (*UM*) para la transferencia en secuencia de los paquetes de datos. El modo UM puede ser usado para portadoras de radio que pueden tolerar un valor determinado de pérdidas. Los principales servicios y funciones que entrega esta subcapa son:

- La transferencia de paquetes de datos sin pérdidas a la capa siguiente.
- Corrección de errores a través del ARQ, solo en transferencia AM.
- Concatenación, segmentación y reensamble de paquetes de datos.
- Detección de errores, paquetes duplicados y recuperación de datos.

c) Control de acceso a los medios (*MAC: Media Access Control*)

El protocolo MAC se encarga de controlar el acceso a la red en el enlace ascendente y descendente. Esta subcapa entrega los siguientes servicios:

- Asignación de los canales lógicos (canales de control y usuario) y canales de transporte.
- Multiplexación y demultiplexación de las unidades de paquetes de datos de la subcapa superior RLC.
- Reportes de la organización de los paquetes.
- Corrección de errores a través del HARQ.
- Selección del formato de transporte.
- Relleno de información (*Padding*).

3.4.1.2 Protocolos Control

Los protocolos RRC y NAS de control no están involucrados en la transferencia en la interfaz aérea, pero permiten entregar movilidad al UE. A continuación se muestran sus funciones.

d) Control de los Recursos de Radio (*RRC: Radio Resource Control*)

Este protocolo que gestiona los recursos de radio realiza las siguientes funciones:

- Establecimiento, configuración, mantenimiento y liberación de una conexión RRC entre el UE y el acceso de radio.
- Establecimiento, configuración, mantenimiento y liberación de una portadora de radio *broadcast* (permite realizar *broadcast*).
- Funciones de movilidad para localización (*paging*).
- Funciones de seguridad incluyendo gestión de claves.
- Reporte de informaciones de medición y control del UE.
- Funciones de gestión de calidad de servicio.

e) Sin-Acceso de Estrato (*NAS: Non-Access Stratum*)

Este protocolo del plano de control entre la UE y MME en la interfaz de radio, permite el soporte de la movilidad de los UE y la gestión de sesiones para establecer y mantener la conectividad IP entre la UE y PGW. Realiza varias de las funciones específicas del MME, tales como:

- Gestión de *Portadoras-EPS*.
- Autenticación (con el HSS).
- Control de seguridad.
- Manejo de la movilidad en el estado inactivo *Idle*.
- *Paging* originados en estado *Idle*.

3.5 Técnicas LTE/SAE

Como ya se ha mencionado, en los bloques de la arquitectura LTE se han incorporado técnicas que permiten la correcta transferencia de cualquier servicio, ahorro en recursos energéticos y mayor movilidad. Los sistemas que permiten entregar estas mejoras [5], [9] y [10] son:

- Servicio de Portadoras-EPS.
- Control de recursos de energía.
- Sistema de soporte de movilidad.
- HARQ.
- Modulación y codificación adaptativa.

3.5.1 Servicio de Portadora-EPS

Aplicaciones tales como voz, navegación web, videoconferencia y *streaming* de video tienen necesidades especiales de QoS (Calidad de Servicio). Estas necesidades deben considerarse sobre todo para redes que están basadas totalmente en transmisión de paquetes IP.

Por ejemplo para aplicaciones como voz es necesario poder entregar prioridad de tráfico para recuperar la información transmitida de forma fidedigna. LTE posee un sistema que entrega prioridad a los servicios especiales, permitiendo reducir la latencia otorgando una buena experiencia de usuario.

En el *Evolved-PS (EPS)*, los flujos de paquetes para las aplicaciones con QoS específicos (*flujos QoS*) son llamados *Portadoras-EPS* y se establecen entre el UE y el PGW, como se muestra en la Figura 3.9. Para lograr la transmisión de los flujos de QoS en la interfaz aérea se ocupan una *Portadora de Radio*. Es decir, la *Portadora de Radio* transporta los paquetes de una *Portadora-EPS* entre el eNB y UE.

Cada flujo de datos IP puede priorizar el tráfico dependiendo del tipo de servicio que sea. Cuando se recibe un paquete IP desde Internet por ejemplo, el PGW realiza una clasificación de los paquetes basada en ciertos parámetros predefinidos (como orden temporal del paquete en el video), luego selecciona el paquete de datos que entrega mayor prioridad y lo envía con la *Portadora EPS* correspondiente. Basándose en la *Portadora EPS*, el eNB mapea los paquetes de la aplicación (flujos QoS) y los asigna a la *Portadora de Radio* correspondiente al QoS. Luego se genera la conexión punto-a-punto entre las *Portadora EPS* y la *Portadora de Radio*, simulando una conexión directa con el PGW, obteniéndose una calidad de servicio acorde al servicio solicitado.

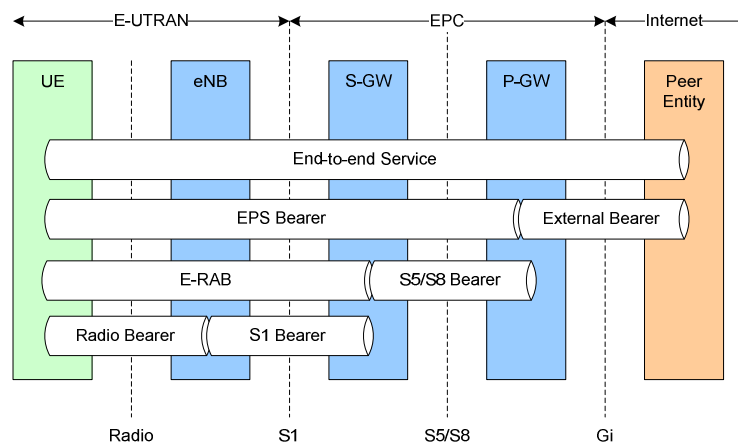


Figura 3.9: Servicio de Portadora EPS para QoS.

3.5.2 Control de recursos de energía

El sistema que permite bajar los niveles de consumo en UE es el RRC (*Radio Resource Control*). El RRC permite que el terminal móvil opere en dos estados; RRC-I (*Idle*) cuando está inactivo y el RRC-C (*Connected*) cuando está recibiendo un servicio.

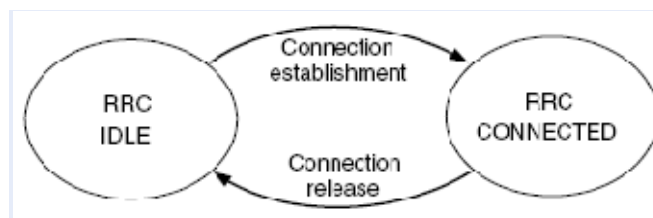


Figura 3.10: Transición de estados en el UE.

Justo antes de iniciar un servicio en el terminal móvil el protocolo RRC pasa del estado inactivo al conectado y cuando termina de realizar el servicio vuelve al estado inactivo (ver Figura 3.10).

En el estado RRC-I, el UE puede recibir datos a través de comunicaciones *broadcast* o *multicast*. La transmisión multicast es el envío de información de la red a un grupo de receptores específicos simultáneamente, mientras que la transmisión *broadcast* es una transmisión desde la red a todos los terminales que están conectados sin saber quien la recibe. En este estado, el terminal es capaz de obtener la información del sistema a través de mediciones entre celdas vecinas. El ahorro de energía se logra por medio de la activación de un *ciclo de recepción discontinua*, es decir, que cada cierto intervalo de tiempo se realizan las mediciones. De esta forma el UE no pierde la movilidad y consume menos energía.

En el estado RRC-C, además de la transferencia de forma *broadcast* y *multicast* a la UE hay comunicación punto-a-punto (*unicast*) hacia y desde el UE. El *unicast* permite el enlace entre las llamadas o la comunicación mutua con una celda. En este estado el UE realiza las mediciones con las celdas vecinas durante la comunicación pero las envía a la red para que controlen su movilidad.

3.5.3 Soporte para la movilidad sin problemas

Otra característica importante de las redes LTE es el apoyo a la movilidad sin desconexiones cuando el usuario se encuentra en movimiento, como por ejemplo en un auto, lo que permite tener sistemas de banda ancha móvil más robustos y con comunicación continua. Además tener *handover* rápidos y sin problemas es muy importante para los servicios sensibles al retardo (como la voz, videoconferencias). En LTE el *handover* se produce con mayor frecuencia entre eNBs que a través del núcleo EPC. Esto se debe a que el área cubierta por un MME/GW sirve para un gran número de eNBs que es generalmente mucho mayor que el área cubierta por solamente un eNB. La señalización en la interfaz X2 entre eNBs es usada para la

preparación del *handover*. Como ya se mencionó el SGW actúa como ancla al *handover* con el eNB.

Para hacer el *handover*, las redes LTE se basan en la detección de celdas vecinas que conoce el UE y por lo tanto no ocupa la información desde la red. Para la búsqueda y medición de celdas de frecuencias contiguas, se ocupa como indicador la frecuencia de la portadora.

Un ejemplo de *handover* activo en estado conectado (RRC-C) se muestra en la Figura 3.11, donde el UE se mueve de la zona de cobertura del eNB de origen (*eNB1*) a la zona de cobertura del eNB de destino (*eNB2*).

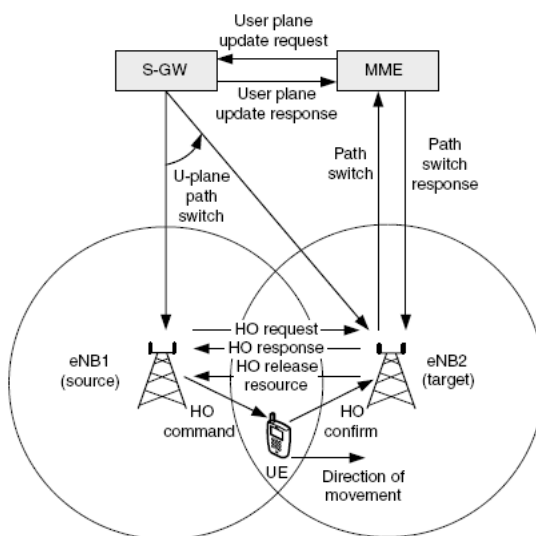


Figura 3.11: Esquema handover entre eNBs

En estado RRC-C el UE envía un informe sobre las mediciones de radio a la fuente eNB1 que indican que la calidad de la señal en eNB2 es mejor que la calidad de la señal en eNB1. Como preparación para el salto, el eNB1 envía al eNB2 la información de enganche y la solicitud del UE para hacer *handover*. Con la información EPS QoS recibida, el eNB2 puede llevar a cabo el control de admisión, que consiste en; configurar los recursos necesarios de acuerdo al tipo de servicio (con la información de QoS), realizar reserva del identificador temporal de celda (*C-RNTI*) y asignar un canal de acceso de radio. En el momento en que eNB2 puede enviar señales al eNB1 se encuentra listo para realizar el *handover*. El eNB1 envía el “comando *handover*” al UE para cambiar la *Portadora de Radio* al eNB2. El UE recibe la orden de *handover* con los parámetros necesarios (es decir, nuevo C-RNTI) y es comandado por el eNB1 para realizar el *handover*.

Después de recibir el “*comando handover*”, el UE realiza la sincronización con el eNB2 y accede a la celda. La red responde con la asignación de recursos para el enlace ascendente. Cuando el UE ha logrado acceder a la nueva celda, envía el mensaje de confirmación de *handover*, junto con un informe de estado del *buffer* del enlace descendente indicando que el procedimiento de entrega está completo. Después de recibir el mensaje de confirmación de *handover*, el eNB2 envía un “*switch message*” al MME para informar que el móvil cambió de celda. El MME envía una actualización al SGW. El SGW cambia la ruta de datos para el *downlink* al eNB2 y envía paquetes “*end maker*” al eNB1 y luego libera todos los recursos del plano de usuario del eNB1. Entonces SGW envía la actualización del plano de usuario como mensaje de respuesta al MME. Luego el MME confirma el mensaje de cambio de la ruta al nuevo eNB (eNB2) con un “*switch message*” de respuesta de cambio de ruta. Luego, el eNB2 informa el éxito del *handover* al antiguo eNB1 mediante el envío de mensaje de liberación de recursos restantes. Al recibir el mensaje de liberación de recursos, el antiguo eNB1 puede liberar recursos de radio y recursos de plano de control asociados con el UE.

3.5.4 HARQ

Al realizarse la decodificación en el receptor pueden encontrarse errores en la información recibida, debido normalmente a la interferencia en el espacio radioeléctrico. Cuando ese es el caso, se envía al transmisor una petición de retransmisión de la información. Al concepto general de solicitar retransmisión de la información que ha sido recibida con errores se le llama ARQ (Automatic Repeat reQuest). Así, se cuenta con dos instancias en que se podrá recuperar la información errónea en el receptor, primero por la redundancia agregada en la codificación (ver AMC), y segundo, de fallar la decodificación, mediante la retransmisión de la información no recuperada (ARQ).

La idea del híbrido (*HybridARQ*) viene de utilizar no sólo la retransmisión para recuperar la señal, sino combinarla con la información originalmente recibida, para así aumentar la probabilidad de éxito. Es decir, cuando el receptor detecta un error en la decodificación, solicita la retransmisión del bloque, pero a la vez guarda el bloque ya recibido, para combinarlo con el nuevo que arribará y entonces intentar la decodificación. Como resultado HARQ permite mejorar las tasas de transmisión de datos.

3.5.5 Modulación y codificación adaptativa (AMC)

AMC permite adaptar la velocidad de transmisión con respecto a las condiciones del medio, es decir, de acuerdo a la ubicación que tiene el UE con respecto a la estación base eNB. El principio que rige a AMC es el mismo que utiliza EDGE, las modificaciones vienen dadas por la utilización de nuevas técnicas de modulación.

Las técnicas de modulación permiten transferir una cantidad de bits por símbolo. A mayor cantidad de bits emitidos por símbolo (bloque) más sensible es al ruido, por lo que para distancias cercanas y sin tantos obstáculos se pueden ocupar modulaciones que permitan altas tasas de transferencia y para distancias alejadas se puede ocupar sistemas de bajas tasa de bits (ver Figura 3.12). LTE utiliza los sistemas de modulación QPSK, 16QAM y 64QAM. En donde la tasa de bits por símbolo es de 2, 4 y 6 bits respectivamente.

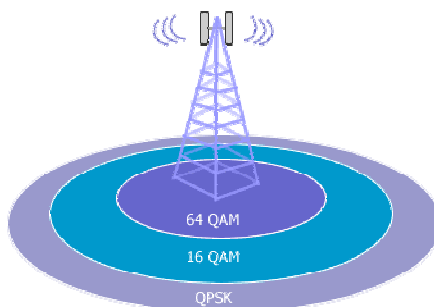


Figura 3.12: Ejemplo modulación adaptativa LTE.

Por otra parte para contrarrestar los desvanecimientos e interferencias también se ocupa un sistema de codificación dinámico que se adapta a las condiciones del enlace, permitiendo agregar redundancia a la información transmitida, de modo de poder recuperar la señal original a través de la información extra que se envía. El nivel de redundancia constituye la tasa de codificación. A mayor distancia entre el UE y eNB y mientras más alta la tasa de transmisión, mayor tendrá que ser la tasa de codificación o redundancia. LTE incorpora una técnica de *Codificación Turbo* que logra triplicar la redundancia en los paquetes permitiendo que para enlaces a distancia se obtenga una correcta transferencia.

3.6 Tipos de acceso

Los accesos de radio en esta tecnología [8], [10] y [11] son los que permiten las altas velocidades de transferencia, mejoras en la latencia y *throughput*, tanto para el enlace ascendente como descendente. Además aumentan la capacidad de la red (más usuarios conectados).

Para estas redes los accesos de radio se basan en sistemas de acceso múltiple. Para el *downlink* ocupa *Acceso Múltiple por División de Frecuencias Ortogonales (OFDMA)* y para el *uplink* utiliza el esquema de *Acceso Múltiple por División de Frecuencia con una Sola Portadora (SC-FDMA)*. La razón por la que no tienen el mismo esquema es que para el enlace ascendente se necesita un acceso que genere bajos niveles de *Peak-to-Average (PAR)* y OFDMA entrega niveles de PAR altos. Además se ocupa la técnica MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) en ambos enlaces.

Los modos de funcionamiento utilizados en LTE son FDD y TDD. Pero además incorpora *half-duplex FDD*.

3.6.1 Modos de acceso de radio

La interfaz aérea de LTE soporta los modos *FDD*, *Semi-duplex FDD* y *TDD*, cada uno con su propia estructura de trama.

El modo *Semi-duplex FDD* utiliza la misma banda de frecuencia para el *uplink* y *downlink*. Esta simplificación en la transmisión permite compartir el uso de hardware entre el enlace ascendente y descendente cuando el UE no está obligado a transmitir y recibir al mismo tiempo. Esta técnica se utiliza en algunas bandas de frecuencias y permite reducir a la mitad las tasas de datos lo que implica una disminución de los costos por tráfico y también una disminución en la construcción de los celulares, ya que evita la impresión doble cara de los circuitos del UE.

3.6.2 Acceso Downlink OFDMA

OFDMA está formado por dos técnicas de acceso, OFDM y TDMA. La primera etapa de la modulación se realiza con OFDM y posteriormente se utiliza TDMA.

OFDM es un esquema de modulación digital de varias *portadoras* (sub-portadoras) ortogonales que se transmiten en paralelo. Las sub-portadoras transportan los paquetes de

información o símbolos. Cada sub-portadora se modula con un esquema de modulación disponible en LTE (QPSK, 16QAM, 64QAM). Al tener una combinación de muchas sub-portadoras se logra la alta velocidad de transferencia.

La Figura 3.13 muestra las principales características de una señal con modulación OFDM en el dominio del tiempo y frecuencia. En el dominio de la frecuencia, muchas sub-portadoras son moduladas con información de forma independiente. En el dominio del tiempo, se insertan intervalos de seguridad *Cyclic Prefix (CP)* entre los paquetes de información (símbolos). Un CP es una copia del final del paquete de símbolo que se inserta al comienzo del paquete. El CP permite prevenir las interferencias entre símbolos en el receptor debido a los retardos causados por los múltiples caminos de difusión en el canal de radio.

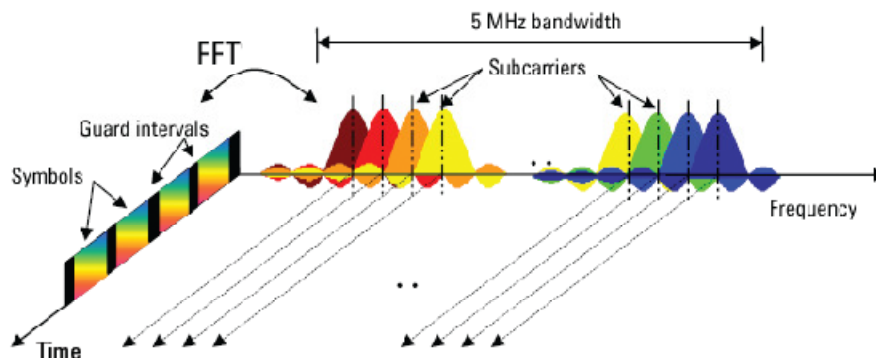


Figura 3.13: Esquema Modulación OFDM en el dominio del tiempo y frecuencia [8].

Con OFDM, las transmisiones entre usuarios son muy cercanas, pudiendo sufrir desvanecimiento e interferencia de banda estrecha. Por esta razón es que posterior a la modulación OFDM se realiza modulación TDMA en donde divide a las sub-portadoras moduladas por OFDM en subconjuntos y las asigna de forma dinámica dentro del canal de transmisión (ver Figura 3.14).

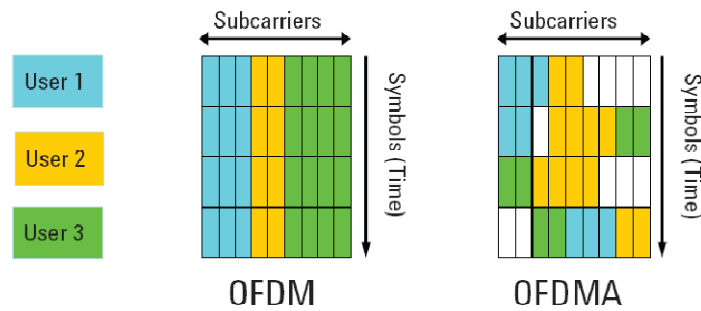


Figura 3.14: Asignación de sub-portadoras en el canal por diferentes usuarios [8].

3.6.3 Acceso en el uplink SC-FDMA

SC-FDMA fue elegido porque combina una técnica de bajo PAR y un sistema de transmisión de una sola portadora ideal para un acceso MIMO en donde el terminal UE (emisor) transmite con una antena y la estación base recibe con dos antenas.

Este acceso es un sistema de portadora simple donde los paquetes de símbolos están representados por una sola señal portadora que se divide en sub-símbolos. La cantidad de sub-símbolos depende del tipo de modulación (Ver Figura 3.14).

En el dominio de la frecuencia el paquete es modulado en serie en varios sub-símbolos y asignado a una portadora, es decir, se le asigna todo el ancho de banda a la portadora. Luego en el dominio del tiempo se inserta el CP para lograr coordinar la recepción de los paquetes.

3.6.3.1 Descripción técnica Accesos

Para la descripción técnica de los accesos se considera una modulación QPSK y 4 sub-portadoras. (Ver Figura 3.14).

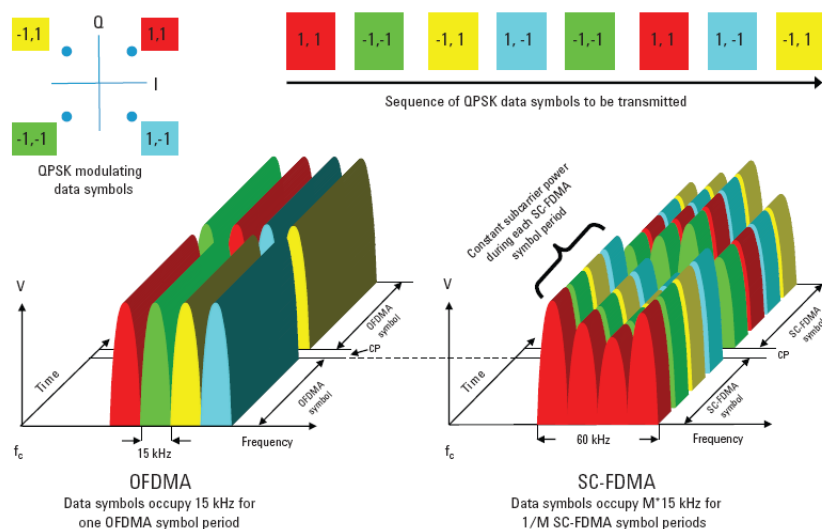


Figura 3.15: comparación Accesos OFDMA y SC-FDMA [8].

En ambos accesos para pasar al dominio de la frecuencia se ocupa transformada de Fourier discreta (*FDT*) y luego para pasar al dominio del tiempo se ocupa la transformada inversa (*IFFT*). Ambas tienen el mismo *time-slot* entre cada paquete de símbolo.

En el caso de OFDMA las sub-portadoras son de ancho 15KHz. Como se ve en la figura 3.14 los datos de símbolo son modulados en paralelo uno para cada sub-portadoras. Luego a las sub-portadoras se les inserta el CP. Como el CP es la copia del final del símbolo, la potencia de la señal transmitida no cambia pero se genera una discontinuidad en la fase de cada sub-portadora. La suma de las M sub-portadoras en el dominio del tiempo forman la señal final transmitida o paquete.

En SC-FDMA, como se ve en la figura 3.14, la generación de señales comienza con una precodificación especial en donde los datos de símbolo son modulados en serie (sub-símbolos) en una sola portadora que ocupa todo el ancho de banda del canal, que corresponde a $M \times 15\text{KHz}$. Donde M es la cantidad de sub-portadoras disponibles (en el ejemplo 4 sub-portadoras).

En la figura 3.14 se observa como OFDMA posee un alto PAR. Esto se debe a que transmite múltiples símbolos de forma paralela, mientras SC-FDMA transmite M símbolos de datos en serie con distinta amplitud, generando pocas señales de *peaks* altos.

3.6.4 Técnica MIMO

Un tema relevante en la tecnología LTE es la técnica de múltiples antenas con el objetivo de aumentar la cobertura y las capacidades en la capa física. Aumentando el número de antenas al sistema de radio mejora el desempeño de la transmisión ya que las señales pueden tomar diferentes caminos en la interfaz aérea.

Para la implementación de las antenas, LTE ocupa un método de separación espacial junto con el uso de multiplexación de las señales. A este método se le conoce como *MIMO*.

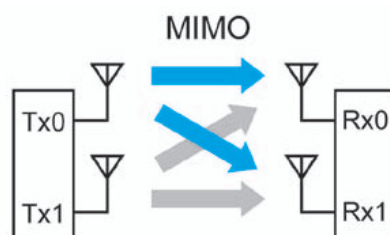


Figura 3.16: Esquema MIMO [8].

Como se ve en la figura 3.16, las antenas transmisoras envían la señal hacia todas las redes receptoras.

En LTE la configuración MIMO utilizada en el enlace ascendente se denomina SIMO (*Single Input Multiple Output*) en que hay una antena en el terminal UE y dos en el eNB. Para el enlace descendente la configuración usada es MIMO, que puede ser 2x2 o 4x4 antenas en el receptor y emisor respectivamente.

3.6.4.1 Configuración SIMO

SIMO utiliza un transmisor y dos o más receptores. En LTE se ocupa una configuración 1x2. El tipo de acceso SIMO es especialmente útil para tener una baja relación señal-ruido (*SNR*). Esto último permite mejorar la cobertura en el borde de la celda y bajar los niveles de pérdidas.

3.6.4.2 Configuración MIMO

Esta configuración requiere dos o más antenas transmisoras y dos o más antenas receptoras. En la transmisión cada antena tiene un identificador único que le permite a la antena receptora reconocer que combinación de la transmisión ha recibido (Ver Figura 3.16).

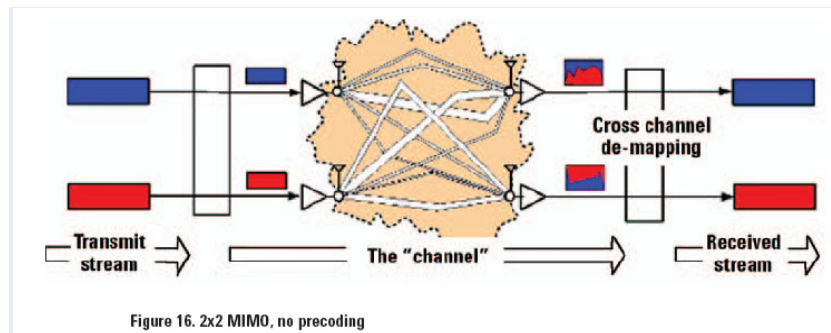


Figura 3.17: Flujo de datos en una red LTE con sistema MIMO [8].

De esta forma un flujo de datos es únicamente asignado a una antena con una asignación directa. El canal mezcla las dos transmisiones y las antenas receptoras ven la combinación de los flujos. La decodificación de las señales recibidas es un proceso inteligente en la que los receptores, mediante el análisis de los patrones que identifican de forma única cada transmisor, determinan qué combinación de cada uno de los flujos transmitidos está presente. Sumando los flujos recibidos y aplicando un filtro inverso, se recupera los datos originales.

En síntesis los beneficios de MIMO en el sistema dependen directamente del número de antenas receptoras y emisoras, las condiciones de propagación del sitio en que se encuentra la estación base, la capacidad del emisor para adaptarse a condiciones cambiantes y el ruido (*SNR*).

4 Marco de Mercado

En este capítulo se presenta el actual estado de los servicios móviles en el mundo, considerando el panorama general de las tecnologías existentes, para luego enfocarse directamente en el desarrollo de las redes de banda ancha móvil y de cuarta generación. Se realiza un estudio del mercado mundial y nacional. Se presentan reportes estadísticos que muestran el estado del mercado de los operadores, los niveles de aceptación de los usuarios, las tendencias de consumo de servicios, entre otros datos.

En la descripción del estado actual del mercado móvil mundial tanto de operadores como proveedores, se consideran los reportes entregados; en primer lugar por *4G Américas*, organización encargada de promover el desarrollo de tecnologías móviles 3GPP en el continente Americano, y de *GSA (Global Mobile Suppliers Association)*, organización que promueve el desarrollo de los sistemas móviles en todo el mundo.

Para el escenario nacional se describe el estado actual de todas las tecnologías móviles existentes en el país, tanto para los sistemas de voz y datos, con el objetivo de mostrar desde todos los ángulos las tendencias de los usuarios. La información es otorgada por la *Subsecretaría de Telecomunicaciones (Subtel)*, organismo gubernamental encargado de promover y regular las tecnologías de las comunicaciones en nuestro país.

4.1 Contexto mundial

4.1.1 Estado operadores

El mercado global se encuentra compuesto por operadores móviles distribuidos en los cinco continentes. De acuerdo a lo informado por 4G Américas [15], el número de usuarios, a Noviembre de 2010, suscritos a redes 3GPP supera los 4.800 millones de personas, lo que es equivalente a una penetración del 69%. La mayor concentración de usuarios se encuentra en Asia Pacífico con 2.400 millones de clientes que representan el 47% del total de usuarios, le sigue Europa con más de 1.000 millones de abonados, equivalente al 22% de participación. (Ver Figura 4.1)



Figura 4.1: Distribución de usuarios telefonía móvil en el mundo. Fuente 4G Américas Junio 2010.

Por otra parte la cantidad de usuarios de redes 3GPP2, como CDMA2000 y EV-DO, que se encuentran principalmente en Estados Unidos y Canadá (y en muy bajo porcentaje en Latinoamérica y Europa) ha crecido en niveles muy bajos. Actualmente no superan los 480 millones de usuarios, representando el 11% del mercado, lo que muestra el creciente dominio y expansión de las redes 3GPP en sectores en donde no tenían participación (Ver Figura 4.2).

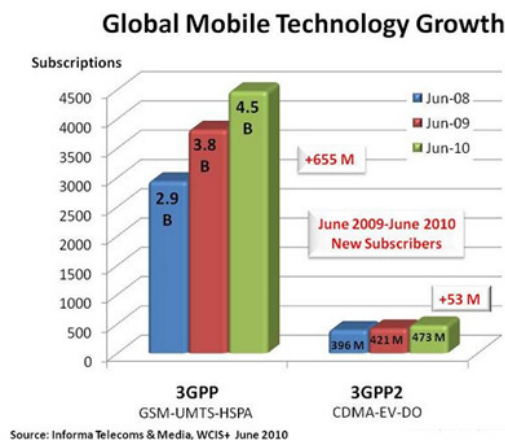


Figura 4.2: Crecimiento de las tecnologías móviles 3GPP y 3GPP2. Fuente 4G Américas. Junio 2010.

A nivel de tecnologías, GSM es el sistema más utilizado con aproximadamente 4.000 millones de usuarios, casi el 80% del mercado (ver Figura 4.3).

A pesar de este dominio, el escenario de las tecnologías 3G ha crecido considerablemente en comparación al año 2009, en donde tenía 300 millones de abonados. Actualmente UMTS/HSPA poseen casi el 11% de los usuarios (535 millones de personas).

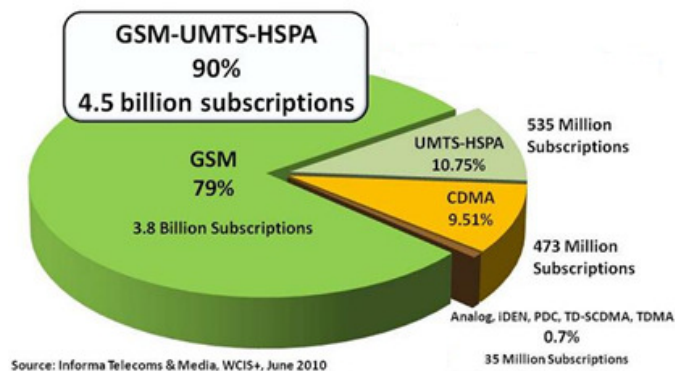


Figura 4.3: Participación tecnologías a nivel mundial. Fuente 4G Américas Junio 2010.

A diferencia de los sistemas GSM, los actuales sistemas UMTS (HSPA y HSPA+), aún se están desarrollando, lo que demuestra el interés del mercado móvil por sistemas que ofrezcan conexiones de banda ancha (BAM).

4.1.1.1 Estado HSPA

Como se mencionó anteriormente los sistemas de banda ancha móvil HSPA han mostrado un crecimiento. Las primeras redes HSPA aparecieron en el 2006 y a la fecha ya se encuentran totalmente masificadas. Según información entregada por GSA sobre el estado de las redes 3G [16], el 99% de las redes UMTS se encuentran actualizadas y operando con HSPA, que corresponde a 372 compañías en 149 países, abarcando a más de 826 millones de usuarios alrededor del mundo.

HSPA se encuentra incorporado principalmente en Europa, Latinoamérica, África y Asia. Por otra parte en países como Estados Unidos y Canadá, menos de la mitad de los operadores poseen HSPA.

De las compañías con HSPA, cerca del 62% permite velocidades máximas de 7.2Mbps o superiores [17]. Además existen 129 compañías en proceso de planeamiento o de despliegue de redes 3G directamente a servicios UMTS/HSPA.

4.1.1.2 Estado HSPA+

Según 4G Américas [18], para HSPA+, el crecimiento en el último año ha sido considerable. A Noviembre de 2010 existen 97 redes en 52 países. Además, 62 compañías con sistemas UMTS o HSPA en servicio, ya se encuentran planificadas o desplegadas con HSPA+.

Por último cerca de 62 compañías (en contraste con 29 operadores el 2009 [19]) se hallan comprometidas a su despliegue, algunas en proceso de pruebas y otras más avanzadas con anuncios de planificación de la red. Lo anterior refleja las opciones de alto crecimiento que aún tiene este mercado.

La mayoría de los operadores con HSPA+ (63 compañías) ofrecen velocidades máximas de hasta 21Mbps en el enlace descendente. Pero algunas compañías de Europa y Asia, han decidido actualizar sus redes HSPA+ para ofrecer velocidades con *peaks* de hasta 42Mbps. Para el caso de redes con *peaks* de 84Mbps solo existen compañías pre-comprometidas para ofrecerlo.

En el continente Africano, en países como Egipto, Sudáfrica y Angola, ya están otorgando servicios con HSPA+. En Latinoamérica solo Chile posee redes HSPA+, pero Argentina, México y Puerto Rico prometen tener sus redes en servicio para el 2011. En Asia las redes HSPA+ están desde el 2009. Algunos países con redes en servicio son Australia, Hong Kong, India, Malasia, Indonesia, China, Taiwán, Japón y Singapur. Europa es en donde los sistemas HSPA+ se encuentran más desarrollados. Países como Francia, Alemania, Bélgica, Austria, Suecia, Portugal y Turquía tienen todas sus compañías con redes HSPA y HSPA+ en servicio. Lo que refleja una alta demanda de banda ancha móvil en países desarrollados. Cabe destacar que países como Canadá y Estados Unidos, en donde la gran mayoría de sus redes son de estándares 3GPP2, poseen varias compañías ofreciendo HSPA+, sobre todo Canadá.

4.1.1.3 Estado LTE

Los avances en las redes LTE son considerables. El rápido crecimiento del tráfico de datos en los últimos tres años, soportado por HSPA y HSPA+, ha generado el interés por desplegar LTE lo más pronto posible.

Desde fines del 2009 ya existen redes LTE en operación, principalmente en Europa. Además muchos operadores en todo el mundo se encuentran en proceso de pruebas, licitación o planeamiento de las redes.

Las actuales redes LTE en servicio, están ofreciendo solamente transmisión de datos de alta velocidad (BAM) enfocada para dispositivos que generan mayor tráfico como los computadores portátiles y *smartphones* (generan 10 veces más tráfico que un celular convencional). Para la transmisión de voz, las redes LTE en servicio, ocupan el procedimiento *CS-fallback (CSFB)* que permite al terminal UE conectarse a una red UMTS o GSM y realizar la

llamada a través de su dominio CS, es decir, permite realizar llamadas en un enlace dedicado (a diferencia de LTE que las llamadas no son orientadas a la reserva de un canal, sino que en base a datagramas como lo hace el protocolo IP).

Según 4G Américas [15] y GSA en su reporte [20], a Noviembre de 2010, la cantidad de redes LTE en servicio son 9, distribuidas en 7 países. Por otra parte existen 208 redes ya planificadas que se pondrán en operación entre 2010 y 2013. Finalmente existen otras 59 empresas operadoras en proceso de evaluación sobre poner en servicio LTE (ver Figura 4.4).

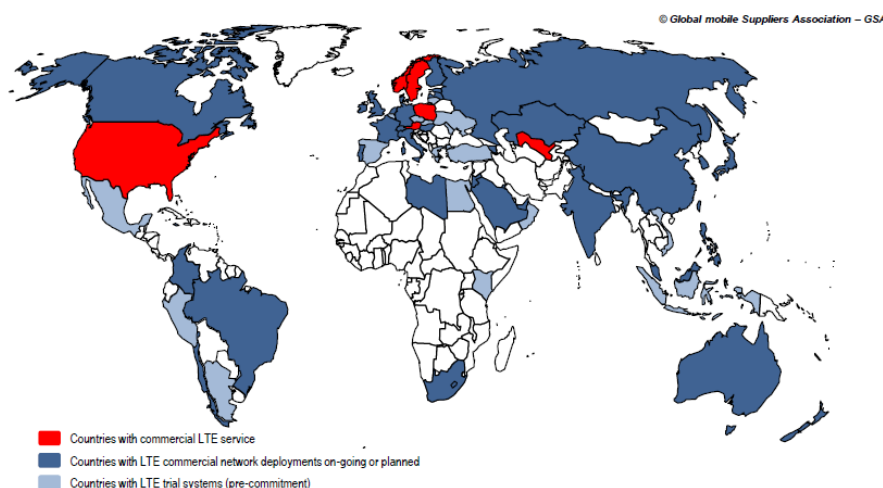


Figura 4.4: Estado redes LTE. Fuente GSA. Noviembre 2010.

En la Figura 4.4 se muestra los países, que a Noviembre de 2010, están ofreciendo sistemas LTE de datos. En rojo se están los países que poseen redes LTE en servicio, en azul los países que poseen redes planificadas y en celeste los países con compañías en proceso de pruebas o evaluación de implementación. Las compañías que están ofreciendo LTE de datos actualmente se muestran en la tabla 4.1:

País	Compañía	Salida	Banda LTE
Polonia	Aero2/Centernet-Mobyland	sep-10	1800MHz
Uzbekistan	Ucell/TeliaSonera	jul-10	2.6GHz
Uzbekistan	MTS-Uzbekistan	ago-10	2.6GHz
Austria	T-Mobile	oct-10	2.6GHz
Alemania	Vodafone D2	nov-10	800MHz
Noruega	Netcom/Telia	dic-10	2.6GHz
Suecia	Net4Mobility	nov-10	2.6GHz
Suecia	TeliaSonera Sweden	dic-09	2.6GHz
EEUU	Metro PCS	sep-10	1.7 y 2.1 GHz

Tabla 4.1: Operadores LTE en servicio. Noviembre 2010. Fuente 4G Américas.

Las velocidades de transferencia máximas reportadas por las compañías en servicio han sido de 50Mbps para un espectro de 10MHz y entre 90-100Mbps para 20MHz de ancho de banda.

Los operadores de CDMA2000, han desarrollado sistemas en colaboración con 3GPP, 3GPP2 y IEEE para actualizar las redes al sistema de banda ancha móvil. Gracias a este sistema es que la gran mayoría de las compañías de Estados Unidos y Canadá (países que ocupan tecnologías 3GPP2) se encuentran con sus sistemas LTE planificados para ser implementados entre 2011-2012. Con la entrada de LTE a estos dos últimos países se podrá tener un solo sistema global, lo que permitirá la simplificación del *roaming* en todo el mundo.

4.1.1.3.1 Frecuencias de operación

Con respecto a las bandas de frecuencia en que puede operar LTE ya se ha demostrado su funcionamiento en la bandas de 1.7GHz, 2.3GHz, 2.4GHz, 2.6GHz, 400MHz, en las bandas de televisión analógica 700-800MHz, y en las bandas de GSM 900 MHz, 1800MHz y 1900MHz. Con esta gran gama de espectros habrá mayor flexibilidad en los temas de regulación y licitación.

El interés por ocupar la banda de televisión analógica, se debe a que permiten buenos niveles de propagación para zonas edificadas e *in-building* y además entrega amplia cobertura para zonas rurales y semirurales.

La banda de 1.7GHz se utiliza principalmente en Japón. En Europa los intereses están puestos en las bandas de 900 y 1800 MHz de GSM, y por las bandas de televisión analógica por sus características ya mencionadas.

4.1.1.3.2 Estado proveedores

Junto con la puesta en servicio de redes LTE en el mundo, las compañías proveedoras de equipos móviles, módems USB (*dongles*), computadores portátiles, cámaras, reproductores de música y otras se han incorporado a la conectividad LTE, desarrollando sus dispositivos con capacidad para conectarse y soportar las velocidades ofrecidas por la nueva banda ancha móvil.

Los dispositivos que se encuentran en el mercado han sido desarrollados con la capacidad de soportar múltiples redes (3GPP y 3GPP2) y los modos TDD - FDD de LTE [20]. El resumen de los dispositivos a Octubre de 2010 se encuentra disponible en el Anexo B, tabla 8.2.

4.2 Escenario nacional

Dentro de América, Chile es un país sobresaliente en el tema de telefonía móvil [17]. Durante el surgimiento de las nuevas tecnologías, ha marcado la pauta adoptándolas tempranamente. Como ocurrió con GSM, en que presentó altos índices de penetración (sobre el 70%) y en el caso de UMTS sobre un 80% [21].

Actualmente el mercado Chileno cuenta con tres grandes operadores; EntelPCS, Movistar y Claro que entregan cobertura en todo el territorio nacional. En el año 2008 se integró la empresa Nextel y hasta la fecha se ha mantenido con un bajo porcentaje de participación.

A Noviembre de 2010, EntelPCS ofrece planes y servicios sobre múltiples tecnologías como; 2G con GSM, 3G con UMTS y 3.5G con HSPA/HSPA+ (con *peak* máximo de 21Mbps de bajada) [17], [22]. Movistar posee tecnologías de segunda y tercera generación, además ofrece servicios de banda ancha móvil HSPA/HSPA+ (con *peaks* de 21Mbps en el *downlink* y 5.8Mbps en el *uplink*) [17]. Claro ofrece servicios y planes con tecnologías GSM y UMTS con HSPA [23]. Por último Nextel basa su sistema con servicios de voz y mensajería, con una tecnología de segunda generación llamada *IDEN* (*Integrated Digital Enhanced Network*) desarrollada por *Motorola* [24].

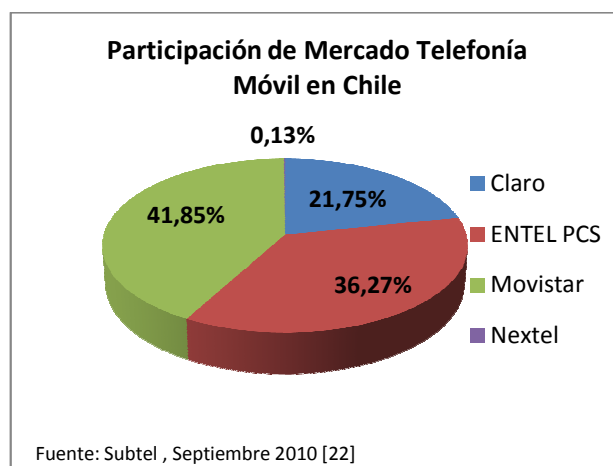


Figura 4.5: Participación de mercado Telefonía Móvil en Chile. Septiembre 2010 [21].

Según el último reporte entregado por Subtel, el número de abonados a nivel nacional, a Septiembre de 2010, supera los 18 millones. La figura 4.5 muestra la distribución de usuarios en las compañías móviles. Movistar es la empresa con mayor participación (41.85%), con un registro de 7.662.526 abonados. Lo sigue EntelPCS con una suscripción del 36,27% equivalente a 6.299.268 usuarios. Con una participación menor se encuentra Claro, 21,75% que corresponde a 3.983.174 de clientes. Por último está Nextel con un porcentaje de participación de 0.13% y 22.971 clientes.

A pesar de la alta cantidad de abonados en el escenario nacional (ver Figura 4.6), la industria se encuentra en crecimiento desacelerado, que se ve reflejado en el estancamiento del índice de *Crecimiento Anual*. Este último valor se ha mantenido similar al año 2009, cercano al 11%. Un efecto equivalente ha tenido la *Penetración por cada 100 habitantes* que ha aumentado con respecto al año 2009 de 96.7% a 106.87% a Septiembre de 2010 [21].

La *Penetración de la telefonía móvil en los Hogares Chilenos* también refleja este crecimiento de abonados, el índice durante este año ha crecido en un 28.87% en comparación al 2009, lo que refleja que en promedio existen 3.7 celulares por hogar (371.49%) [21]. Estos últimos datos demuestran que las opciones por desarrollar el mercado son a través del cambio a mejores planes para los usuarios o promoviendo la banda ancha móvil.

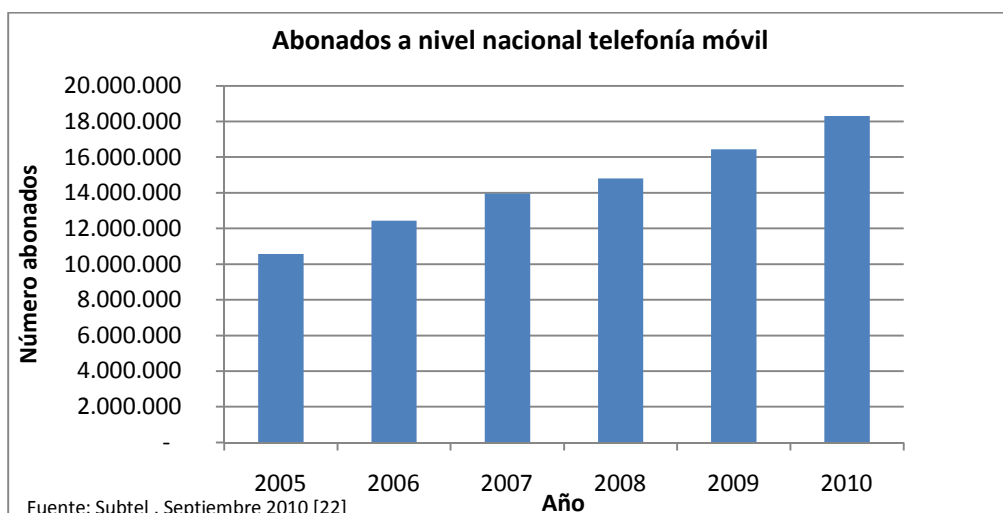


Figura 4.6: Número de abonados telefonía móvil a nivel nacional. Septiembre 2010 [21].

En Chile la existe una gran brecha entre los usuarios con prepago y plan. El resumen de esta información se muestra la tabla 4.2.

Año	Mes	Abonados con Contrato	Crecimiento Anual Contrato	Penetración cada 100 hab. Contrato	Abonados con Prepago	Crecimiento Anual Prepago	Penetración cada 100 hab. Prepago
2005	Dic	1.931.459	19,47%	11,81	8.638.113	12,99%	52,83
2006	Dic	2.644.224	36,90%	16,01	9.806.577	13,53%	59,38
2007	Dic	3.523.166	33,24%	21,12	10.432.036	6,38%	62,54
2008	Dic	4.033.678	14,49%	23,94	10.762.915	3,17%	63,89
2009	Dic	4.517.200	11,99%	26,55	11.933.023	10,87%	70,15
2010	Sep	5.379.609	19,09%	31,40	12.930.003	8,35%	75,47

Tabla 4.2: Número de abonados e índices por tipo de plan comercial en Chile. Fuente Subtel, Septiembre 2010 [21].

Considerando la información entregada en la tabla 4.2 y tomando la cantidad total usuarios en el país (más de 18 millones), se puede ver que hasta Septiembre de 2010 los abonados con prepago concentran la mayor cantidad de usuarios en la red alcanzando el 70.62%, mientras que los usuarios con plan abarcan un 25% de los abonados. A pesar de esta gran diferencia entre cantidad de usuarios de plan y prepago, los datos indican un decaimiento paulatino de los abonados de prepago y un crecimiento considerable en los usuarios de plan.

Con respecto al tráfico de datos en los servicios móviles este ha aumentado (ver Figura 4.7).

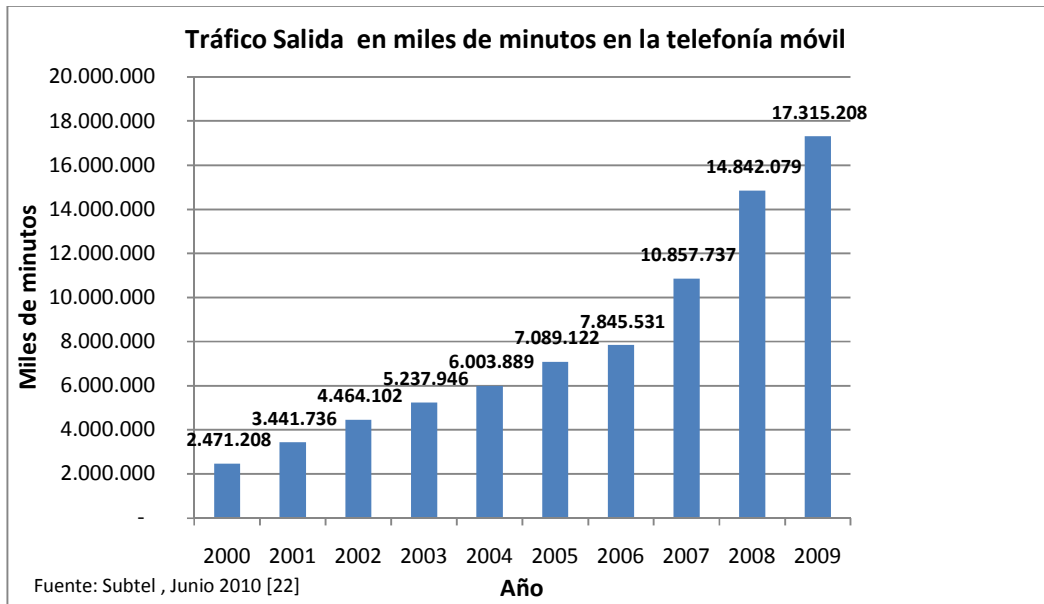


Figura 4.7: Tráfico desde móviles en miles de minutos a nivel nacional [21].

La duración promedio de tiempo de estos servicios se ha mantenido casi invariante. De esta forma se puede asumir que el aumento del uso de servicios y tráfico se ha debido al crecimiento en el número de abonados.

4.2.1 Internet Móvil

La Subsecretaría de telecomunicaciones también ha entregado un reporte con respecto a las conexiones de internet móvil 2G GSM y 3G UMTS [25].

Para el caso de internet 2G, a Junio de 2010 existen 4.052.296, en donde la mayor cantidad de las conexión las posee Movistar con 2.227.264, luego EntelPCS con 1.111.531 y por último Claro con 713.501.

Para la BAM 3G, la cantidad de conexiones es de 1.078.388, en donde la mayor cantidad de usuarios los tiene EntelPCS con el 41%, equivalente a 446.437 abonados. Para el caso de Claro y Movistar la participación es similar, cercana al 29% que corresponde 318.335 y 313.616 abonados respectivamente (ver Figura 4.8).

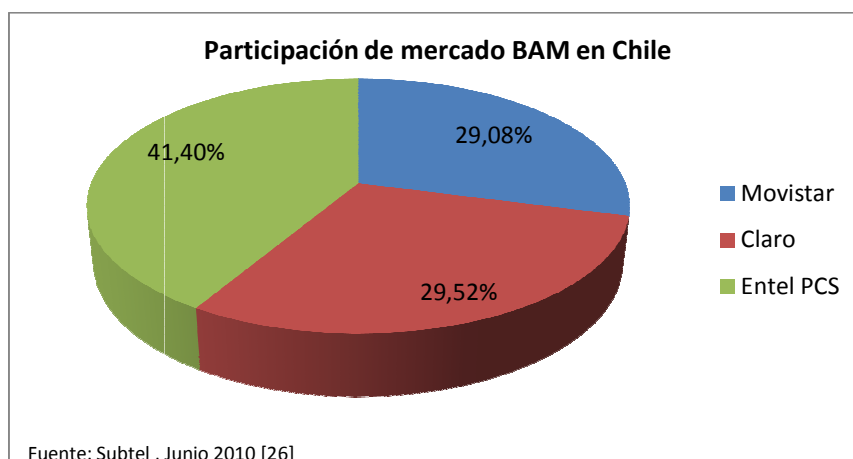


Figura 4.8: Participación de mercado BAM en Chile. Junio 2010 [25].

Las conexiones de internet 3G salieron al mercado a comienzos de 2009 con HSPA, durante este periodo su crecimiento ha sido considerable. Para Enero de 2009 la cantidad de conexiones era de 165.676, lo que refleja el gran interés de los usuarios por este tipo de sistemas. Sin embargo, como se muestra en la tabla 4.3, la distribución por tipo de conexión de internet móvil refleja que los sistemas de BAM aún no se han masificado en el país, mostrando que las conexiones 2G dominan el mercado de internet móvil.

Hasta 56 kbps	Sobre 56 kbps y hasta 128 kbps	Sobre 128 kbps y hasta 256 kbps	Sobre 256 kbps y hasta 512 kbps	Sobre 512 kbps y hasta 1 Mbps	Sobre 1 y hasta 2 Mbps	Sobre 2 Mbps	Total de conexiones
2.227.264	713.501	1.113.912	405.794	639.266	28.775	2.172	5.130.684

Tabla 4.3: Distribución por tipo de ancho de banda. Fuente Subtel Junio 2010 [25].

Un punto positivo que muestra el mercado de BAM 3G es la gran cantidad de usuarios con plan en comparación a los de prepago y post-pago. Esto refleja que los usuarios que ocupan estas redes consideran a este servicio como una alternativa a la banda ancha fija [27]. Por otra parte el usuario de prepago y post-pago de internet 3G corresponde en gran parte al cliente que se conecta a través del celular (o *smartphone*). El uso que le dan a la BAM no es tan intenso como los usuarios de plan, que ocupan la BAM principalmente en computadores portátiles a través del modem USB.

4.2.2 LTE en Chile

Los avances en las redes de cuarta generación en Chile son prósperos. El año 2009, EntelPCS realizó pruebas sobre una configuración real LTE con un ancho de banda de 20MHz (10MHz para el enlace ascendente y 10MHz para el enlace descendente), en donde se obtuvieron tasas máximas de descarga de 50Mbps de *video streaming de alta calidad*, transferencia de archivos, entre otros servicios.

Con respecto a los plazos de salida de esta nueva tecnología, Claro estima que su lanzamiento será dentro del 2011, mientras que Movistar y EntelPCS esperan tener los sistemas en servicio para el 2012 (fuente LTE *World* [28] y 4G Américas [15]).

5 Proyecciones y discusiones

En el capítulo 5 se entrega información de proyección relevante sobre LTE. La información de proyección que se presenta corresponde a estimaciones con respecto al desarrollo de los servicios de valor agregado en las futuras redes de banda ancha móvil, el desarrollo de dispositivos, entre otros datos. También se muestra información sobre las modificaciones que podría sufrir el actual modelo de negocios de la banda ancha móvil, suceso que también podría presentarse en Chile cuando surja la masificación de la BAM.

Por otra parte se da información sobre el futuro escenario comercial chileno considerando varios factores que influirán en el desarrollo de este nicho como son: la entrada de nuevos operadores, el ingreso de empresas de servicios virtuales, la aplicación de la portabilidad numérica y el proceso regulatorio.

En último lugar se realiza una evaluación comercial comparativa entre un plan promedio de BAM HSPA+ con uno de LTE, que entrega como datos relevantes la velocidad máxima y los costos de operación límites a los que podría ofrecerse LTE en su salida al mercado nacional.

5.1 Desarrollo de nuevos dispositivos

El desarrollo de nuevos dispositivos como los *smartphones* y computadores portátiles, ha provocado un aumento de los usuarios en las redes de banda ancha móvil e incluso en algunos casos ha permitido incorporar usuarios con mayores niveles de ingresos (*ARPU*). Esto se ha logrado en gran parte gracias a las estrategias de las compañías operadoras que subvencionan los nuevos dispositivos con planes que permiten el uso de la BAM.

El mejoramiento de los dispositivos también ha fomentado el desarrollo de nuevos servicios, permitiendo que los equipos puedan tener más opciones de operación en la red. Uno de estos servicios que permite una mayor experiencia de usuario es el *cloud computing*, que se basa en la posibilidad de tener espacio de memoria en un servidor terminal, similar a un servidor ftp, en un enlace dedicado de alta velocidad. Con esta opción los dispositivos que se conectan a la red no necesitan tener consigo memorias de almacenamiento. El único requisito de este servicio es poseer una conexión BAM de alta velocidad y su costo es regulado por el tiempo utilizado de la “nube”.

Con la llegada de LTE, el aumento de dispositivos capaces de conectarse a BAM será aún mayor. Como punto de referencia, Cisco estima que para el 2013, la cantidad de teléfonos celulares compatibles con LTE superará los 150 millones de unidades vendidas (ver Figura 5.1). Estos dispositivos además generarán el 90% del tráfico en las redes.

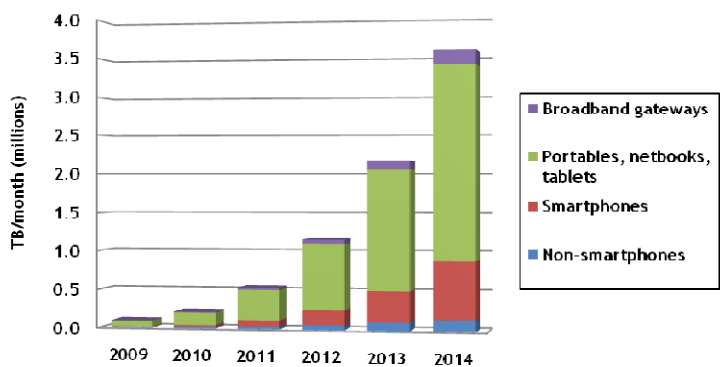


Figura 5.1: Predicciones tráfico mundial por dispositivos para redes LTE. Fuente Cisco Visual Networking [29].

Este escenario se espera que ocurra en Chile, ya que el país se ha caracterizado por ser un gran consumidor de tecnología.

Actualmente los operadores nacionales ofrecen servicios BAM principalmente a través del modem USB y en menor grado en celulares. Con la salida de los *smartphones* esta tendencia cambiará y permitirá que muchos usuarios que actualmente utilizan internet 2G, salten a 3G y luego a LTE, ya que al tener terminales más sofisticados querrán aprovechar los servicios que entrega la BAM.

5.2 Desarrollo de nuevos servicios

Gracias a los beneficios en velocidad de transmisión, reducción de latencia y aumento de capacidad, se podrán entregar nuevas posibilidades de servicios de valor agregado. LTE permitirá que las aplicaciones en banda ancha móvil se incorporen como un servicio básico en el largo plazo. Esto último se podrá lograr considerando que LTE busca mantener o aumentar en un bajo nivel los costos de los planes a través de la masificación que podrá ser soportable por este nuevo sistema (ya que permite mayor capacidad).

La nueva banda ancha móvil mejorará los servicios de contenidos multimedia, servicios web 2.0 (*blogs*, redes sociales, etc.) y el compartir archivos en aplicaciones *peer-to-peer* de forma rápida, similar a la actual banda ancha fija. Además permitirá tener acceso seguro a redes privadas (redes corporativas) en cualquier lugar, con la ayuda de servicios como *cloud computing*.

En Chile ya se ha mostrado un interés por el consumo de servicios para BAM. Basta con mencionar que el 80% de los servicios de valor agregado están relacionados con banda ancha móvil [27]. Esto permite suponer que cuando ingrese LTE el consumo de servicios de valor agregado será aún mayor.

Otra opción que entregará LTE, serán las comunicaciones *M2M* (máquina a máquina). LTE permitirá desarrollar un sin fin de proyectos relacionados con el control, monitoreo de maquinarias de todo tipo como; automóviles con centrales para control de tráfico, medidores de energía o agua, y muchas más posibilidades. Se estima que en el mundo existen aproximadamente 90.000 millones de máquinas aplicables a sistemas de monitoreo o trabajo en paralelo, esta cantidad podría ser soportada por la banda ancha LTE ya que permite entre 3 a 4 veces más capacidad que HSPA+. Integrarse a la comunicación M2M sería una gran alternativa que solamente LTE podría sostener.

Otra de las ventajas que entrega M2M es la posibilidad de realizar procesamiento de información distribuida, lo que permite entregar servicios de mejor calidad sin la necesidad de un equipo con un procesador avanzado.

Como punto de referencia, Ericsson prevé que para el 2020 existirán 50.000 millones de conexiones de dispositivos, que estarán conectados a redes 3.5G y LTE. Estas conexiones serán usadas para aplicaciones M2M y para usuarios naturales.

5.3 Entrada de nuevos operadores

La entrada de posibles nuevos operadores en el mercado nacional de la banda ancha móvil es casi una realidad. Las compañías VTR y Nextel tienen plazos de planificación de redes UMTS con HSPA para Abril del 2011. Además existen avances para el lanzamiento de la primera compañía virtual (OMV) bajo la marca *Telsur*. Una OMV es una compañía que no posee una red ni espectro de frecuencia propio, y que opera a través de la cobertura de algún otro operador.

La entrada de estas compañías permitirá mayor competencia para los servicios de voz y sobre todo de BAM.

Por otra parte, es posible que el ingreso de estas compañías ocurra en paralelo con la activación de la portabilidad numérica. Este escenario generará una mayor competencia de las compañías, lo que permitirá por una parte que los usuarios de planes simples y de prepago se interesen por planes que ofrezcan BAM en sus celulares.

5.4 Convergencia de servicios con LTE

Otro factor importante que permitirá cambios en el escenario nacional y en el modelo de negocios es el ofrecimiento de packs de servicios. Actualmente las compañías operadoras de telefonía móvil y BAM proveen otros tipos de servicios como telefonía fija y televisión por cable o móvil. Al poseer esta variedad pueden surgir nuevos packs de servicios, como un cuádruple pack (internet, televisión, telefonía fija y móvil), con el objetivo de atraer mayor cantidad de clientes y de entregar una mayor cantidad de servicios. A continuación en la tabla 5.3 se muestra los servicios que actualmente ofrecen las compañías operadoras.

	Telefonía Fija	Telefonía Móvil	Banda Ancha	TV
Movistar	Si	Si	Banda Ancha	Cable
EntelPCS	Empresas	Si	Fija/Móvil	IPTV móvil
Claro	Empresas	Si	Móvil	Cable
VTR	Si	En proceso	Fija/Móvil	Cable

Tabla 5.1: Servicios ofrecidos por las compañías operadoras.

Por otra parte con la aparición de estos packs podrá surgir un mayor interés para poner en marcha LTE, ya que este permite la convergencia de todos estos servicios en una misma

red. Esto se debe a que LTE es capaz de ofrecer telefonía móvil, BAM y televisión digital (IPTV) por el mismo medio.

5.5 Portabilidad numérica

La portabilidad numérica consiste en la posibilidad de que el cliente sea dueño de su número, de esta forma se eliminará cierta resistencia a mantenerse en una compañía para no perder el número telefónico. Con la habilitación de la portabilidad se genera una mayor competitividad en el rubro debido a que los usuarios tendrán más interés por analizar todas las opciones de planes y cambios de compañía.

El proyecto de ley que permite la portabilidad numérica fue aprobado en Agosto de 2010. Además ya se definieron las técnicas de encaminamiento. La etapa en que se encuentra el proyecto es en la licitación para adjudicar el organismo que administrará las bases de datos centrales de numeración y que coordinará todo el proceso una vez que esté en funcionamiento la portabilidad.

Debido a que en Chile el nivel de penetración de abonados a telefonía móvil es muy alto (106.87%) y que la gran mayoría de los abonados son de prepago (70.62%), lo que se podría lograr con la incorporación de la portabilidad numérica es incentivar el salto de prepago a planes 3G entre los usuarios. Esto se alcanzaría a través de incentivos o promociones para que los clientes ingresen a planes de redes 3G, con el fin de que se familiaricen con los servicios de banda ancha móvil que ofrecen las redes actuales.

El beneficio que traería esta modificación es que desarrollaría el nicho de la banda ancha móvil y permitiría que mayor cantidad de usuarios tenga interés en utilizar LTE al momento de su salida.

5.6 Regulación gubernamental

El ente regulatorio gubernamental (Subtel) se encarga de los procesos de licitación de bandas de frecuencia para las nuevas tecnologías móviles y a su vez de los procesos de tarificación de los sistemas, entre otras operaciones. En ese sentido las modificaciones que realice la Subtel generan cambios directos en el dinamismo de los sistemas móviles en Chile.

Para el caso de las redes LTE, la Subtel ha confirmado que el proceso de licitación del espectro a utilizar se iniciará en el segundo trimestre de 2011. La banda seleccionada para las redes 4G en Chile será la de 2.6GHz. (Ver tabla 5.1)

	Uplink [GHz]	Downlink [GHz]	Ancho de banda [MHz]
FDD	2500 - 2572	2620 - 2690	70
TDD	2572 - 2620	2572 - 2620	48

Tabla 5.2: Bandas de frecuencia y ancho de banda licitación LTE en Chile.

La Subtel ha determinado bandas de frecuencia distinta para los modos FDD y TDD. Para el caso de FDD el espectro disponible será de 70MHz, de esta forma por lo menos 3 compañías podrán desplegar sus redes LTE al máximo rendimiento (20MHz) y una cuarta compañía podrá operar con la mitad de sus capacidades. Con el modo TDD, se pondrá en concurso un espectro de 48MHz.

Si el proceso sigue su curso normal se espera que las redes LTE en Chile estén en servicio para el 2012. Por lo que el negocio de la banda ancha móvil se centra en las redes HSPA+ actuales y las que vendrán de la mano de Nextel y VTR.

Por último cabe mencionar que también existen conversaciones de utilizar la banda de televisión analógica 700MHz para redes de nueva generación, lo que ampliaría las posibilidades de espectro que son muy necesarias para poder ofrecer conexiones de mayores velocidades.

5.7 Experiencia de usuario

Otro factor que influirá en el desarrollo de la banda ancha móvil y de los servicios que se entregarán, será el cambio en la experiencia de usuario que recibirán los clientes con respecto a las velocidades de transferencia. Gracias a información obtenida por compañías que poseen redes LTE en servicio, como *Verizon* y *TeliaSonera* [26], y considerando las velocidades promedio que ofrece UMTS/WCDMA y HSPA+ actualmente, se realiza un cuadro comparativo con respecto a los tiempos de descarga de archivos de imagen, audio y video típicos. Para efectuar las comparaciones en tiempo se consideró una velocidad promedio de 128kbps para UMTS/WCDMA, 600kbps en HSPA+ y de 5Mbps para LTE (la peor velocidad promedio obtenida por las compañías) [30]. Se asume que las transferencias son de servidores locales (descargas directas).

	Tamaño	WCDMA	HSPA+	LTE
Foto JPG	500[kb]	4[seg]	0,8[seg]	0,1[seg]
Mp3	4800[kb]	38[seg]	8[seg]	1[seg]
video HD	560000[kb]	73[min]	16[min]	2[min]

Tabla 5.3: Tiempos de descarga para velocidades promedio en HSPA+ y LTE.

En la tabla 5.2 se puede ver que la experiencia de usuario con respecto a velocidades de bajada de archivos mejora considerablemente con LTE. Además con las velocidades promedio que está ofreciendo LTE, las diferencias con la banda ancha fija en términos de calidad son muy pocas.

5.8 Cambio en el modelo de negocio

El crecimiento de la banda ancha móvil involucra también modificaciones en su modelo de negocios [31]. El aumento del tráfico y la masificación en sistemas con capacidad limitada obligan a modificar las estrategias de alguna forma.

En un comienzo las redes BAM se ofrecieron con conexión ilimitada, pero debido al aumento de abonados y los usuarios de alto tráfico (*heavy-users*), la calidad de la red bajó. Como solución a los problemas de capacidad en la red y para que los nuevos usuarios que se integran a la BAM no perciban una baja en la calidad de servicio, se optó por modificar a planes controlados o limitados. Estos planes limitan la cantidad de descarga y en caso de excederse en el tráfico realizan cobros extras o reducción de la velocidad.

El problema principal en los actuales tipos de planes limitados es que están aplicados en un modelo de negocios *centrado en la red*, en donde los operadores son los que imponen los límites y topes. Esto provoca insatisfacción en los usuarios debido a que solamente se pueden informar de sus excesos en sus cuentas a fin de mes, es decir, que conocen sus límites pero después de haber ocupado los servicios. El no saber los costos de los servicios previamente provoca además un rechazo al uso de estos. Un ejemplo es el *roaming*, que se cobra luego de haberlo ocupado, sin saber su costo en el momento.

Lo que se propone es un modelo de negocios *centrado en el cliente*, que permita entregar mayor libertad de acción al usuario.

5.8.1 Modelo centrado en el cliente

El modelo de negocio centrado en el cliente se basa principalmente en entregar al usuario *control en tiempo real* de sus gastos, es decir, deja que toda la información de cobros de servicios pueda ser recibida antes de utilizarlo. De esta forma el cliente podrá tomar mejores decisiones y ocupar los servicios sin temor a cobros que considere injustos.

El usuario podría establecer sus propios límites, por ejemplo, saber en qué momento del día la descarga de archivos es más barata o saber cuándo se encuentra en cambio de zona

para realizar *roaming*. También podría recibir información de promociones, descuentos de servicios o simplemente la opción de poder acceder a aplicaciones que no le permite su plan (si es que está dispuesto a pagar el costo extra).

En el caso de Chile, las redes HSPA+ operan con planes restringidos sin control en tiempo real. Por lo que realizar la modificación en el modelo de negocios podría ser una alternativa que entregaría mayor confianza a la BAM.

5.8.2 Otras modificaciones

Otra opción que se podría desarrollar para poder mantener la calidad de la red es entregando prioridad a los servicios más usados o quitándole prioridad a servicios de mucho tráfico y de poco uso.

También se pueden generar más ganancias mediante la publicidad, pero de forma de no crear molestia innecesaria a los clientes. Por ejemplo, se puede hacer convenios de propaganda a cambio de descuentos en servicios o con nuevos contenidos. El usuario podría establecer los parámetros en donde la publicidad sea aceptable.

5.9 Evaluación de negocio para LTE

Un tópico importante que permite determinar el impacto de las redes LTE en el mercado nacional es la evaluación de negocio. Este estudio, en base a la comparación de la actual tecnología BAM HSPA+ y el futuro con LTE, permite determinar las posibilidades de implementación de las redes LTE, tanto en términos de calidad de servicio que pueda entregar (velocidades promedio), como los costos máximos de infraestructura y operación a los cuales se puede ofrecer un servicio mejor que el sistema actual (HSPA+).

El análisis se realiza sobre la evaluación unitaria (un usuario típico) de banda ancha móvil en Chile. La comparación se hace tomando de base una evaluación de costos unitaria para servicios de banda ancha móvil sobre HSPA+. La información estimada fue adquirida a través J.M. Torres. Profesor del departamento de ingeniería eléctrica de la universidad de Chile y gerente banda ancha e innovación de Telefónica Móviles, y por P. Valenzuela profesor del departamento de ingeniería civil electricista de la Universidad de Chile y consultor independiente de tecnologías móviles.

Para realizar la evaluación de ambos sistemas (HSPA+ y LTE), se considera como factor de dimensionamiento de la red el *throughput* (rendimiento). A modo de simplificación se

considera un valor de proyección comparativo en que se modelan ambos escenarios con un *throughput* de 1Mbps. Cabe mencionar que para ambos casos el costo de diseño de una red con este nivel de dimensionamiento (1Mbps) es distinto, debido a que por características de diseño, LTE podrá generar mayores velocidades a un menor costo de infraestructura (ver características LTE en Capítulo 3 de esta memoria).

Los costos de dimensionamiento de red corresponden a los costos de equipos (*CAPEX*), que se dividen en costos de infraestructura de radio (40%), transporte (40%) y *Core* (20%). Estos costos son considerados a comienzos del periodo de evaluación. Para el *CAPEX* ya se asume una diferencia sustancial entre las tecnologías, debido a que LTE disminuye la cantidad de bloques para la parte de radio (eNB integra al RNC), el transporte y *Core* (muchas funciones se integran en el GW/MME) permitiendo una disminución en los costos de equipos.

Con respecto a los costos operacionales (*OPEX*), se considera el costo mensual de mantener una red de 1Mbps de *throughput*. El costo viene dado por gastos en soporte de red (20%), operación de red (40%), arriendo y gastos (40%).

Además se consideran los costos comerciales que son el subsidio del modem USB, las comisiones por usuario contratado, atención al cliente, facturación y la tasa incobrable (2% de lo que se facture).

Los ingresos que se perciben mensualmente corresponden al *ARPU* (ingreso medio por usuario). Para la evaluación se considera un horizonte de 18 meses, este dato corresponde al tiempo promedio en que los usuarios permanecen en su plan de banda ancha móvil.

Como la evaluación se realiza mensualmente, la tasa de interés ocupada corresponde al interés mensual con respecto al interés anual (12%). Este cálculo del interés mensual se muestra a continuación:

$$\begin{aligned}(1 + r_{mensual})^{12} &= 1 + r_{anual} \\ (1 + r_{mensual})^{12} &= 1 + 0,12 \\ r_{mensual} &= 0,009489\end{aligned}$$

Para la evaluación se consideran dos escenarios que presentarán información de proyección sobre la factibilidad de implementar una red BAM de mayor velocidad y capacidad. Estos escenarios se comparan con el caso base de HSPA+. Los escenarios son los siguientes:

a) Evaluación para determinar límites de velocidad promedio por usuario con LTE considerando las mismas ganancias que se obtienen con BAM HSPA+ y tomando en cuenta la disminución del CAPEX y OPEX que se estiman en LTE.

b) Evaluación para determinar límites en costo de equipos (CAPEX) para una velocidad promedio 30kbps y 20kbps con LTE.

Para el caso base, según reportes de Movistar la velocidad promedio mensual en BAM HSPA+ es de 10kbps por usuario. Debido a que la evaluación es por cliente, los valores de costos deben ser proporcionales a este tráfico. Esta información se encuentra resumida en la tabla 1.

Caso Base HSPA+	
	Pesos \$
CAPEX 1Mbps	5000000
CAPEX 10kbps	48828,13
OPEX/mes 1Mps	157500
OPEX/mes 10kbps	1538,08
COMEX	
Subsidio	20000
Comisiones	40000
Atención al cliente/mes	300
Facturación/mes	300
Tasa Incobrable (2%)	240
ARPU	12000

Tabla 5.4: Costos e ingresos Evaluación BAM HSPA+. Fuente Movistar.

La evaluación unitaria con estos datos entrega un valor presente neto (VPN) de \$12.882. Es decir, que las ganancias obtenidas por un usuario con plan BAM HSPA+ son cercanas a los \$13.000. Con este valor se realiza las comparaciones de los escenarios propuestos para LTE.

Para mayor información sobre los flujos de caja realizados, tanto para caso base como los escenarios (a) y (b) de LTE, dirigirse a la sección B del Anexo de esta memoria. A continuación se muestran los valores para la evaluación de LTE en cada escenario:

a) Límite velocidad promedio LTE

Para determinar el caso límite de velocidad promedio para BAM LTE se consideran tres modificaciones en los valores de costo; primero se toma un CAPEX menor debido a que se asume que LTE tendrá un menor costo de dimensionamiento (el *throughput* por Mega bit por segundo será más barato). El CAPEX por usuario que se considera es de \$3.500.000 para un *throughput* de 1Mbps. En segundo lugar debido a que las redes LTE son más simplificadas, con mayor capacidad y eficientes, el costo de operación mensual también baja. Se considera un OPEX de \$105.000 mensuales. Por último se asume que debido a que LTE se implementará aproximadamente en el 2012 el ARPU para los usuarios de BAM aumentará. Se considera un ARPU de \$20.000. El resto de los valores se mantiene fijo ya que son precios que no varían por el cambio de tecnología (Ver tabla 2).

Escenario (a) LTE	
	Pesos \$
CAPEX 1Mbps	3500000
CAPEX 35kbps	119628,9
OPEX/mes 1Mps	105000
OPEX/mes 35kbps	3588,8
COMEX	
Subsidio	20000
Comisiones	40000
Atención al cliente/mes	300
Facturación/mes	300
Tasa Incobrable (2%)	300
ARPU	20000

Tabla 5.5: Costos e ingresos Evaluación BAM LTE caso (a). Fuente Movistar.

Para este caso la velocidad promedio límite por usuario a la cual se obtuvieron las mismas ganancias que el caso base fue de *35kbps*. Considerando que la velocidad promedio de un usuario de banda ancha fija (BAF) actualmente es de 60kbps, LTE permitirá una experiencia de de velocidad similar a los sistemas BAF existentes, pero con limitaciones en la cantidad de tráfico permitido (por eso es que la velocidad promedio es menor). Esta estimación concuerda con las características de diseño y proyecciones que se han realizado en base a LTE, que proyectan a esta nueva tecnología como una alternativa real ante las redes de BAF pero con la posibilidad de movilidad. Además este resultado demuestra que las opciones de

BAM LTE debe ser en base a un modelo de conexión limitada (como se mencionó anteriormente en los cambios en el modelo de negocios que se presentarán).

b) Límite costos CAPEX LTE con velocidad promedio de 30kbps y 20kbps

En este escenario el objetivo es determinar cuánto podría ser el máximo valor de la infraestructura de LTE al cual se obtienen los mismos niveles de ganancia que HSPA+. Esta evaluación se hace primero considerando una velocidad promedio por usuario tres veces mayor a la que ofrece HSPA+ actualmente. Posteriormente se hace la evaluación considerando el doble de velocidad, 20kbps, para estimar un caso poco favorable para LTE con el objetivo de ver hasta cuanto valor de CAPEX es soportable la aplicación de LTE. Se consideró 30kbps como velocidad máxima ya que por características de diseño LTE será capaz de triplicar o cuadruplicar las velocidades ofrecidas por HSPA+.

Para el caso de velocidad promedio 30kbps (escenario b.1) se considera un ARPU de \$20.000 por las mismas razones expuestas en el caso (a) y el valor del OPEX se mantiene en \$105.000.

De esta forma se pudo estimar hasta que valores de infraestructura (CAPEX) es conveniente desplegar una red LTE. (Ver tabla 3)

Escenario (b) LTE	
	Pesos \$
CAPEX 10Mbps	4375000
CAPEX 30kbps	128173,8
OPEX/mes 10Mps	105000
OPEX/mes 30kbps	3076,17
COMEX	
Subsidio	20000
Comisiones	40000
Atención al cliente/mes	300
Facturación/mes	300
Tasa Incobrable (2%)	300
ARPU	20000

Tabla 5.6: Costos e ingresos Evaluación BAM LTE caso (b.1). Fuente Movistar.

En el escenario (b.1), para una ganancia de \$12.820 se obtuvo un CAPEX de \$4.375.000.

Por otra parte para el caso más extremo (b.2), para una velocidad promedio de 20kbps, se consideró un ARPU menor, \$18.000, debido a que el servicio ofrecido es de menor calidad (Ver tabla 5.7). Con estos valores se obtuvo un CAPEX de \$6.080.000 para una ganancia de \$12.981. De esta forma se puede ver que LTE en un escenario pesimista es capaz de entregar el doble de velocidad que el sistema actual y soportar los aumentos de CAPEX que podrían surgir.

Caso (b.2) LTE	
	Pesos \$
CAPEX 1Mbps	6080000
CAPEX 20kbps	118750
OPEX/mes 1Mps	105000
OPEX/mes 20kbps	2050,78
COMEX	
Subsidio	20000
Comisiones	40000
Atención al cliente/mes	300
Facturación/mes	300
Tasa Incobrable (2%)	360
ARPU	18000

Tabla 5.7: Costos e ingresos Evaluación BAM LTE caso (b.2). Fuente Movistar.

Considerando el escenario nacional en donde el consumo por servicios de banda ancha y en específico de BAM es creciente, y además viendo que LTE será una red más eficiente, lo que permitirá mayor cantidad de usuarios conectados, los aumentos de costos CAPEX podrán ser solventados por las posibilidades de mayor cantidad de usuarios conectados.

Observando ambos escenarios (a) y (b) se puede prever que la incorporación de LTE en Chile podrá entregar mayores velocidades, capacidad y disminución de los costos para los sistemas de banda ancha móvil. Los operadores tendrán un incentivo a instalar redes de nueva generación ya que si se considera el caso en que la infraestructura es elevada, los sistemas podrán solventar este exceso con el ingreso de nuevos usuario.

6 Conclusiones y trabajo futuro

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

En la actualidad los sistemas de comunicaciones móviles tienen una gran importancia. Las personas han incorporado las tecnologías de comunicación como elementos básicos del diario vivir. Siendo la telefonía móvil, la mensajería y las conexiones a internet los sistemas de mayor uso.

En el mercado de las comunicaciones móviles se ha asumido globalmente la idea de implementar un servicio de alta velocidad que sea capaz de enfrentar las nuevas necesidades de los usuarios. Los operadores tienen conciencia que las actuales redes 3G, a pesar de sus actualizaciones con HSPA+, poseen una estructura limitada, lo que no permite garantizar la entrega a largo plazo de un mejor servicio. Para mantener la competitividad, sobre todo para la BAM, se hizo necesario el desarrollo de un nuevo sistema que permitiera entregar los nuevos requerimientos.

En términos técnicos LTE a través de sus mejoras en velocidades de transmisión, cobertura y capacidad, entrega un servicio de BAM de calidad similar a la banda ancha fija. Por otra parte, gracias a su diseño de red simplificada y eficiente logra reducir los costos de capital y de operación en comparación a las redes UMTS/HSPA+.

El escenario actual del mercado móvil es auspicioso para LTE. La tecnología móvil más utilizada sigue siendo GSM, sistema que entrega servicios de voz y mensajería. A pesar de este dominio, GSM ya se encuentra estancada en cuanto al aumento de abonados. En contraste, los sistemas UMTS han crecido considerablemente. Casi la totalidad de las redes UMTS operativas se encuentran actualizadas al menos con HSPA y las nuevas redes UMTS que se incorporarán lo harán directamente con servicios HSPA/HSPA+. Todo esto refleja el interés de los operadores y usuarios por redes de mayor velocidad y servicios ligados a conexiones de banda ancha móvil. Lo que promueve el desarrollo de redes LTE, pues los usuarios y los nuevos servicios requerirán mayores velocidades de conexión.

Lo mencionado en el párrafo anterior ya ha tenido repercusiones, actualmente ya existen redes LTE en operación, ofreciendo solamente servicios de datos (BAM). Además muchas

compañías se encuentran comprometidas o en proceso de pruebas para implementar LTE en el corto plazo. La existencia de estas redes en servicio, permite que las compañías que aún se encuentran en proceso de implementar LTE, como las chilenas, puedan tener información sobre su despliegue técnico y comportamiento del mercado. Así al momento de poner en servicio las redes LTE se tendrán antecedentes que permitirán respaldar la puesta en marcha. Por ejemplo se tendrá información sobre los modelos de negocios que han funcionado para esta tecnología y se podrán adaptar al mercado nacional.

Otro factor positivo que está impulsando a LTE, es que se está perfilando como la nueva tecnología de cuarta generación, dejando de lado a los sistemas 3GPP2. Esto se debe a que muchas compañías con redes 3GPP2 de tercera generación (CDMA2000) han decidido tomar como nuevo sistema a LTE en vez de *UMB (Ultra Mobile Broadband*, tecnología 4G de 3GPP2). Las ventajas de tener un sistema global son las simplificaciones en algunos servicios (*roaming*) y la obtención de economías de escala.

El escenario nacional es similar al mercado mundial. En Chile los sistemas móviles se encuentran masificados, en donde la mayor concentración está en los servicios de voz y mensajería (GSM y UMTS) con sistemas prepago, a pesar de esto la cantidad de personas con plan ha crecido considerablemente en los últimos años, reflejando el interés de los clientes por tener servicios de mejor calidad. Los servicios BAM a pesar de no estar masificados han mostrado un gran desarrollo. Actualmente existe más de un millón de usuarios y se espera que para el 2011 supere los 2 millones. Por otra parte el ingreso de nuevas compañías, como VTR y Nextel, al mercado de la BAM con UMTS, permitirá desarrollar aún más este nicho.

Con respecto a la implementación de redes LTE en Chile, los avances son considerables. El marco regulatorio permitirá, a través de su licitación de bandas de frecuencia, la opción de despliegue de las redes LTE a su máxima capacidad. Por otra parte, la activación de la portabilidad numérica entregará mayor competitividad que vendrá de la mano con la llegada de las nuevas redes de banda ancha HSPA (Nextel y VTR). El beneficio que traerá esta modificación, es que si se realizan buenas estrategias de mercado, podría desarrollarse el nicho de la banda ancha móvil y permitiría que mayor cantidad de usuarios tenga interés en utilizar LTE al momento de su salida.

Otro punto a considerar es la aparición de nuevos packs de servicios por parte de las compañías operadoras. Actualmente estas son capaces de ofrecer internet, televisión, telefonía móvil y fija, por lo que existen las posibilidades de ofrecer packs que contengan todos estos servicios. Esta estrategia de negocios se acomoda mucho a la nueva tecnología, ya que LTE

permite la convergencia de estos servicios en la misma red. Por lo que ofrecer este tipo de packs también logrará fomentar aún más la salida de LTE.

El desarrollo de nuevos dispositivos ha sido otro factor a considerar al momento de hablar del desarrollo de los sistemas móviles y en particular de la BAM. Los nuevos dispositivos como los *smartphones* y módems USB, junto con las estrategias de subvención de estos equipos han logrado bajar las barreras de entrada permitiendo el ingreso de nuevos clientes a la BAM.

Con respecto a los servicios de valor agregado, LTE logrará entregar una mejor experiencia de usuario sobre todo en los servicios en tiempo real y multimedia. Así permitirá desarrollar nuevos servicios de valor agregado y además podrá generar nuevas alternativas de negocio no solo a nivel de usuario, como por ejemplo las comunicaciones M2M.

Sin embargo, existe un factor negativo que podría afectar la competitividad de los servicios BAM y por ende la entrada de LTE. Este es el actual modelo de negocio centrado en la red, que junto con la aparición de planes limitados en la descarga para la BAM, genera insatisfacción en los usuarios debido a que ellos se informan de sus excesos en sus cuentas a fin de mes. Una alternativa para solucionar este tema es modificar el actual modelo de negocios a uno centrado en el cliente, en donde se le entregue más confianza y control en tiempo real al usuario, es decir, que la información de cobros extra pueda ser recibida antes de usar el servicio, dejando que los clientes establezcan sus propios límites. Esto permitiría incluso mejorar los niveles de satisfacción por parte de los usuarios, lo que se podría traducir en mayor consumo de servicios.

En síntesis, Chile posee todas las posibilidades técnicas y regulatorias para poder incorporar LTE. El escenario actual muestra el interés de las compañías y usuarios por redes de alta velocidad que ofrecen conexiones de banda ancha con movilidad. Además debido a que LTE permitirá generar bajas sustanciales en costos de operación, podrá competir con las redes de banda ancha fija, ya que ofrece una experiencia de usuario similar, permitiendo que los operadores móviles puedan incorporarse en un nuevo nicho de mercado.

Por último como trabajos futuros relacionados con esta memoria se pueden mencionar un estudio del escenario de los nuevos servicios de valor agregado que entregará LTE o un estudio más detallado sobre la transición a nivel técnico de los sistemas HSPA+ a LTE. Otro tema posible sería el modelamiento o diseño de una red LTE para alguna compañía nacional.

7 Referencias

- [1] P. Valenzuela. *Arquitectura de Sistemas de comunicaciones Móviles*. Departamento de ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile. 2009.
- [2] About.com: Inventors *Martin Cooper - History of Cell Phone*. http://inventors.about.com/cs/inventorsalphabet/a/martin_cooper.htm (Última visita 15/08/2010).
- [3] Advanced Mobile Phone System. <http://www.leapforum.org/published/internetnetworkMobility/split/node37.html> (Última visita 15/08/2010).
- [4] G. Contreras. *Servicios de Valor Agregado en Tecnología 3G*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista. 2008.
- [5] P. Goffard. *Descarga de datos a alta velocidad con HSDPA sobre UMTS*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Electricista. 2008.
- [6] L. Zepeda. *Redes Inalámbricas 3G UMTS/WCDMA*. Departamento de ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile. 2009.
- [7] Wiki-Tecnologías. *Long Term Evolution*. <http://es.wikitel.info/wiki/LTE> (Última visita 12/09/2010).
- [8] Agilent: *3GPP Long Term Evolution - System Overview, Product Development, and Test Challenges*. 2009.
- [9] 3GPP TS 36.300 V10.1.0 *Technical Specification Group Radio Access Network: E-UTRA and E-UTRAN; Overall Description. Stage 2. Release 10*. 2010.
- [10] Farooq Khan. *LTE for 4G Mobile Broadband: Air interface Technologies and Performance*. Cambridge University Press. 2009.
- [11] 3GPP TSG RAN TR 25.912 v7.2.0. *Feasibility Study for Evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)*.
- [12] 3GPP TS 23.401 V9.1.0 *GPRS enhancements for E-UTRAN*. 2009.
- [13] P. Beming, L. Frid, G. Hall, P. Malm, T. Noren, M. Olsson y G. Rune. *LTE-SAE Architecture and Performance. Ericsson Review No. 3*. 2007.
- [14] LTE-World Organization <http://lte-world.org/lte-protocols-specifications> (Última visita 16/08/2010).
- [15] 4G Américas. *Información Estadística*. <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page§ionid=117> (Última visita 06/01/2011).
- [16] 4G Américas: *Global 3G Status HSPA / HSPA+ / LTE / November 16, 2010*. Fuente Informa Telecoms & Media, 4G Americas, Public Announcements. 2010.

- [17] Global mobile Suppliers Association. *Digital Dividend Update report: latest plans, developments and availability globally, October 2010*. 2010.
- [18] 4G Américas: *Global 3G Status HSPA / HSPA+ / LTE / November 16, 2010*. Fuente Informa Telecoms & Media, 4G Americas, Public Announcements. 2010.
- [19] Global mobile Suppliers Association. *HSPA+ Network Commitments and Deployments report October 29, 2010*. 2010.
- [20] Global mobile Suppliers Association. *Evolution to LTE report, October 26 2010*. 2010.
- [21] Gobierno de Chile, Subsecretaria de Telecomunicaciones. *Informe Estadístico Abonados móviles*. Enero 2000 - Septiembre 2010. 2010.
- [22] Tecnologías EntelPCS.
<http://www.entelpcs.cl/compania/conozca.iws>
(Última visita 15/10/2010).
- [23] Tecnologías Claro.
<http://www.clarochile.cl/>
(Última visita 15/10/2010).
- [24] Tecnologías Nextel.
<http://www.nextel.cl/index.php?arbolid=31>
(Última visita 15/10/2010).
- [25] Gobierno de Chile, Subsecretaria de Telecomunicaciones. *Series conexiones internet*. Enero 2000 - Septiembre 2010. 2010.
- [26] Velocidades promedio TeliaSonera
<http://www.intomobile.com/>
(Última visita 01/11/2010).
- [27] Telecomunicaciones y Negocios: Aumento de los Clientes de banda Ancha Móvil.
<http://www.tynmagazine.com/358331-Aumentan-los-clientes-de-banda-ancha-movil.note.aspx>
(Última vista 15/10/2010).
- [28] LTEWorld. *LTE Deployments: LTE Maps, 2010*.
<http://ltemaps.org>
(Última vista 20/11/2010).
- [29] Pyramid Research: *The Business Case for 4G Mobile Networks. Projections of Cisco Visual Networking*. 2010.
- [30] Reporte velocidades BAM.
<http://www.mobile-broadband-reviews.com/long-term-evolution.html>
(Última visita 01/11/2010).
- [31] Telecordia Technologies & GSA. *Mobile Broadband: Surf the Broadband Wave with a Customer-Centric Business Model*. 2010.

8 Anexo

8.1 Anexo A: Abreviaturas

Núm.

1G:	Primera Generación.
2G:	Segunda Generación.
3G:	Tercera Generación.
3GPP:	3rd Generation Partnership Project.
4G:	Cuarta Generación
8-PSK:	Modulación de amplitud en cuadratura de 8 estados.
16QAM:	Modulación de amplitud en cuadratura de 16 estados.
64QAM:	Modulación de amplitud en cuadratura de 64 estados.

A

A:	Interfaz radioeléctrica entre BSC y MSC
AuC:	Authentication Center.
AM:	Acknowledge Mode.
AMC:	Adaptive Modulation and Coding.
AMPS:	Advanced Mobile Phone System.
ARPU:	Average Revenue Per User.
ARQ:	Automatic Repeat Request.

B

BAM:	Banda Ancha Móvil.
BAF:	Banda Ancha Fija.
BSC:	Base Station Controller.
BSS:	Base Station Subsystem.
BTS:	Base transceiver Station.

C

CAPEX:	Capital Expense.
CDMA:	Code division multiple access.
CDMA2000:	IMT-CDMA Multi-Carrier
CN:	Core Network.
COMEX:	Commercial Expense.
CP:	Cyclic Prefix.
C-RNTI:	Cell Radio Network Temporary Identifier.
CS:	Circuit Switch.
CSCF:	Call State Control Function.
CSFB:	Circuit Switch Fallback.
CS-MGW:	Circuit Switched – Media Gateway Function.

E

eNB:	Evolved Node-B.
EIR:	Equipment Identify Register.
EV-DO:	Evolution-Data Optimized.
EDGE:	Enhanced Data rate for GSM Evolution.
E-UTRA:	Evolved UMTS Radio Access.
E-UTRAN:	Evolved UTRAN.
EPC:	Evolved Packet Core.

F

FDD:	Frequency Division Duplex.
FDMA:	Frequency Division Multiple Access.
FDT:	Fourier Discrete Transform.

G

Gb:	Interfaz radioeléctrica entre BSC y SGSN.
-----	---

GERAN: GSM EDGE Radio Access Network.
 GGSN: Gateway GPRS Support Node.
 GMSC: Gateway MSC.
 GMSK: Gaussian Minimum Shift Keying.
 GPRS: General Packet Radio System.
 GR: GPRS Register.
 GSA: Global Mobile Suppliers Association.
 GSM: Sistema Global de comunicaciones Móviles.
 GW: Gateway.

H

HARQ: Hybrid Automatic Repeat Request.
 HLR: Home Location Register.
 HS-DSCH: High Speed Dedicated Shared Channel.
 HSPA: High-Speed Packet Access.
 HSPA+: Evolved High-Speed Packet Access.
 HSS: Home Subscriber Server.

I

IDEN: Integrated Digital Enhanced Network.
 IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
 IFFT: Inverse Fast Fourier Transform.
 IMEI: International Mobile Equipment Identity.
 IMS: Internet Multimedia Subsystem.
 IP: Internet Protocol.
 IP: Televisión vía IP. Televisión digital.
 Iu-CS: Interfaz radioeléctrica entre UE y MSC.
 Iu-PS: Interfaz radioeléctrica entre UE y SGSN.

L

LMSC: LAN/ MAN Standard Committee.
 LTE: Long Term Evolution.

M

M2M: Machine-to-machine.
 MAC: Media Access Control.
 ME: Mobil Equipment.
 MIMO: Multiple-input Multiple-output.
 MME: Mobility Management Entity.
 MRFC: Multimedia Resource Function Controller.
 MRFP: Multimedia Resource Function Processor.
 MS: Mobile Station.
 MSC: Mobile Switching Center.

N

NAS: Non-Access Stratum.
 NSS: Network Switching Subsystem.

O

OFDMA: Orthogonal FDMA.
 OMV: Operador Móvil Virtual.
 OPEX: operating expense.

P

PAR: Peak-to-Average.
 PDCP: Packet Data Convergence Protocol.
 PGW: PDN Gateway.
 PIN: Personal Identification Number.
 PS: Packet Switch.

Q

QoS: Quality of Service.
QPSK: Quadrature Phase Shift Keying.

R

RLC: Radio Link Control.
RRC: Radio Resource Control.
RRC-C: RRC-Connected
RRC-I: RRC- Idle.
RNC: Radio Network Controller.
RNS: Radio Network Subsystem.

S

S1: Interfaz radioeléctrica entre eNBs y MME.
SAE: System Architecture Evolution.
SGSN: Serving GPRS Support Node.
SGW: Serving-Gateway.
SIM: Subscriber Identity Module.
SIMO: Single Input- Multiple Output
SMS: Short Message Service.
SNR: Signal-to-Noise Ratio.
Subtel: Subsecretaría de Telecomunicaciones.

T

TDD: Time Division Duplex.
TDMA: Time Division multiple Access.

U

Uu: Interfaz radioeléctrica entre ME y Noto-B.
UE: User Equipment.
UIT: Unión Internacional de Telecomunicaciones.
UM: Un-acknowledge mode.
Um: Interfaz radioeléctrica entre MS y BTS.
UMTS: Universal Mobile Telecommunications System.
USB: Universal Serial Bus.
USIM: Subscriber Identity Module.
UTRAN: UMTS Terrestrial Radio Access Network.

V

VLR: Visitor Location Register.

W

WCDMA: Wideband Code Division Multiple Access.
WIMAX: Worldwide Interoperability for Microwave Access.

X

X2: Interfaz radioeléctrica entre eNBs.

8.2 Anexo B: Dispositivos compatibles con LTE

Proveedor	Nombre Modelo	Tipo de dispositivo
4M Wireless	PS100 UE protocol stack	Software
Altair Semi	FourGee™ 3100/6200 & FourGee™ 6150 for TDD	Chipset
Beceem	BCS500 LTE FDD/TDD and WiMAX™	Chipset
picoChip, Cavium	LTE femtocell reference design	Chipset
Huawei	E398 LTE/GSM/HSPA 2.6 GHz, 900 MHz	USB modem
Icera	Dual mode HSPA/LTE soft modem	Chipset
Innofidei	LTE TDD	Chipset,USB moden
Infineon	SMARTi™ LU LTE / 3G / 2G multimode RF Transceiver	Chipset
LG	LD100 & M13 test device CDMA EV-DO/LTE dual mode band 13	USB modem
LG	LTE handset modem chip	Chipset
MediaTek	LTE mobile terminal platform licensing arrangement with NTT DoCoMo	Chipset
MimoOn	mi!MobilePHY™ 3GPP Release 8 software stack supporting FDD and TDD	Software
Motorola	FDD LTE USB-LTE 7110	USB modem
Nokia	RD-3 multi mode	USB modem
Qualcomm	MDM9200, MDM9600 & MSM8960 (WCDMA-HSPA, HSPA+ and LTE)	Chipset
Samsung	GT-B3710 (2.6 GHz) & GT-B3730 (LTE/2G/3G)	USB modem
Samsung	N150 10 inch with Kalmia LTE chipset	Netbook
Samsung	SCH-r900 multi-mode CDMA-LTE handset	Handset
Sequans	SQN3010 LTE TDD being prepared for sampling	Chipset
Sierra Wireless	AirPrime MC7750 LTE, EV-DO, HSPA+ & MC7700 LTE, HSPA+ & MC7710 LTE, HSPA+	Module
ST-Ericsson	M700 LTE quad band & M710 multi mode LTE quad band	Chipset
Synopsys	LTE TDD Model Library	Software
Tata Elxsi	LTE Femto/Pico eNodeB solution compliant to 3GPP Rel 8 & Femto Forum specs	Chipset
Toshiba	T130 13.3 inch: choice of 4 Intel LTE ULV processors	Notebook
Wavesat	Odyssey 9000 family	Chipset
ZTE	AL600 LTE/UMTS/EV-DO & AL620 LTE/UMTS/EDGE	USB modem
ZyXEL	ZLR-2070S	Router

Tabla 8.1: Dispositivos compatibles con LTE. Fuente GSA [20].

8.3 Anexo C: Flujo de caja evaluación modelo LTE

En esta sección se muestran en detalle los flujos de cajas realizados para la evaluación de negocios de LTE. Se presentan los flujos de caja unitario del caso base con HSPA+ y los dos escenarios de LTE.

a) **Caso base HSPA+**

	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13	Mes 14	Mes 15	Mes 16	Mes 17	Mes 18
Ingresos/ARPU		12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000	12000
IVA ARPU		9720	9720	9720	9720	9720	9720	9720	9720	9720	9720	9720	9720	9720	9720	9720	9720	9720	9720
CAPEX	48828,13																		
OPEX 10kbps		1538,09	1538,09	1538,09	1538,09	1538,09	1538,09	1538,09	1538,09	1538,09	1538,09	1538,09	1538,09	1538,09	1538,09	1538,09	1538,09	1538,09	1538,09
COMEX																			
Subsidio	-20000																		
Comisiones	-40000																		
Atención al Cliente		-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300
Facturación incobrable (2%)		-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300
		-194,4	-194,4	-194,4	-194,4	-194,4	-194,4	-194,4	-194,4	-194,4	-194,4	-194,4	-194,4	-194,4	-194,4	-194,4	-194,4	-194,4	-194,4
		7318,07	7249,29	7181,15	7113,65	7046,78	6980,54	6914,93	6849,93	6785,55	6721,76	6658,58	6595,99	6534,00	6472,58	6411,74	6351,47	6291,77	6232,63
		-108828,13	121710,42																
VPN	12882,29																		

Tabla 8.2: Flujo de caja escenario base HSPA+.

b) Escenario (a) LTE

	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13	Mes 14	Mes 15	Mes 16	Mes 17	Mes 18	
Ingresos/ARPU		20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
IVA ARPU		16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200
CAPEX 60kbps	-119628,9																			
OPEX 60kbps		3588,87	3588,87	3588,87	3588,87	3588,87	3588,87	3588,87	3588,87	3588,87	3588,87	3588,87	3588,87	3588,87	3588,87	3588,87	3588,87	3588,87	3588,87	3588,87
COMEX																				
Subsidio	-20000																			
Comisiones	-40000																			
Atención al Cliente		-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300
Facturación incobrable (2%)		-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300
		-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324
		11577,28	11468,46	11360,66	11253,87	11148,09	11043,30	10939,50	10836,67	10734,81	10633,91	10533,96	10434,94	10336,86	10239,69	10143,44	10048,10	9953,65	9860,09	
		-179628,91	192547,29																	
VPN	12918,38																			

Tabla 8.3: Flujo de caja unitario escenario (a) LTE.

c) Escenario (b.1) LTE

	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13	Mes 14	Mes 15	Mes 16	Mes 17	Mes 18
Ingresos/AR PU		20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000	20000
IVA ARPU		16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200	16200
CAPEX	-128173,83																		
OPEX 10kbps		3076,17	3076,17	3076,17	3076,17	3076,17	3076,17	3076,17	3076,17	3076,17	3076,17	3076,17	3076,17	3076,17	3076,17	3076,17	3076,17	3076,17	3076,17
COMEX																			
Subsidio	-20000																		
Comisiones	-40000																		
Atención al Cliente		-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300
Facturación incobrable (2%)		-300	-300	-300	-300	-300	-3000	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300
		-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324	-324
		12085,15	11971,56	11859,03	11747,56	11637,14	11527,75	11419,40	11312,06	11205,73	11100,40	10996,06	10892,70	10790,32	10688,89	10588,42	10488,89	10390,30	10292,64
		-188173,83	20099,402																
VPN	12820,19																		

Tabla 8.4: Flujo de caja unitario escenario (b.1) LTE, 30kbps.

Escenario (b.2) LTE

	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	Mes 13	Mes 14	Mes 15	Mes 16	Mes 17	Mes 18	
Ingresos/ARPU		18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	18000	
IVA ARPU		14580	14580	14580	14580	14580	14580	14580	14580	14580	14580	14580	14580	14580	14580	14580	14580	14580	14580	
CAPEX	118750																			
OPEX 10kbps		2050,78	2050,78	2050,78	2050,78	2050,78	2050,78	2050,78	2050,78	2050,78	2050,78	2050,78	2050,78	2050,78	2050,78	2050,78	2050,78	2050,78	2050,78	
COMEX																				
Subsidio	20000																			
Comisiones	40000																			
Atención al Cliente		-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	300,00	300,00	300,00
Facturación		-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300	-300
incobrable (2%)		291,60	291,60	291,60	291,60	291,60	291,60	291,60	291,60	291,60	291,60	291,60	291,60	291,60	291,60	291,60	291,60	291,60	291,60	291,60
		11528,23	11419,87	11312,53	11206,19	11100,86	10996,52	10893,15	10790,76	10689,33	10588,86	10489,33	10390,73	10293,06	10196,31	10100,47	10005,53	9911,48	9818,32	
		17875,00	19173,154																	
VPN	1298,154																			

Tabla 8.5: Flujo de caja unitario escenario (b.2) LTE, 20kbps.